ISSN 2307-5732

Науковий журнал

3.2016

ВІСНИК Хмельницького національного університету

Технічні науки
Technical sciences

Scientific Journal

Herald of Khmelnytskyi National University

2016, Issue 3, Volume 237

Хмельницький

ВІСНИК
ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
серія: Технічні науки

Затверджений як фахове видання (перереєстрація)
Наказ МОН 04.07.2014 №793

Засновано в липні 1997 р. ***Виходить 6 разів на рік***

Хмельницький, 2016, № 3 (237)

Засновник і видавець: Хмельницький національний університет
(до 2005 р. – Технологічний університет Поділля, м. Хмельницький)

Включено до наукометричних баз:

Google Scholar	http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=aIUP9OYAAAAJ
Index Copernicus	http://jml2012.indexcopernicus.com/passport.php?id=4538&id_lang=3
РИНЦ	http://elibrary.ru/title_about.asp?id=37650
Polish Scholarly Bibliography	https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221

Головний редактор	**Скиба М. Є.**, д.т.н., професор, заслужений працівник народної освіти України, член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, ректор Хмельницького національного університету
Заступник головного редактора	**Войнаренко М. П.**, д. е. н., професор, заслужений діяч науки і техніки України, член-кореспондент Національної академії наук України, проректор з науково-педагогічної та наукової роботи, перший проректор Хмельницького національного університету
Відповідальний секретар	**Гуляєва В. О.**, завідувач відділом інтелектуальної власності і трансферу технологій Хмельницького національного університету

Члени редколегії

Технічні науки

Березненко М.П., д.т.н., Бубулис Алгимантас, д.т.н. (Литва), Гордєєв А.І., д.т.н., Грабко В.В., д.т.н., Диха О.В., д.т.н., Жултовський Б., д.т.н. (Польща), Зубков А.М., д.т.н., Камбург В.Г., д.т.н. (Росія), Каплун В.Г., д.т.н., Карван С.А., д.т.н., Карташов В.М., д.т.н., Кичак В.М., д.т.н., Кіницький Я.Т., д.т.н., Коновал В.П., д.т.н., Коробко Є.В., д.т.н. (Білорусія), Костогриз С.Г., д.т.н., Кофанов Ю.М., д.т.н. (Росія), Мазур М.П., д.т.н., Мандзюк І.А., д.т.н., Мельничук П.П., д.т.н., Мясіщев О.А., д.т.н., Натріашвілі Т.М., д.т.н. (Грузія), Нелін Є.А., д.т.н., Павлов С.В., д.т.н., Пастух І.М., д.т.н., Поморова О.В., д.т.н., Пановко Г.Я., д.т.н. (Росія), Попов В., доктор природничих наук (Німеччина), Прохорова І.А., д.т.н., Рогатинський Р.М., д.т.н., Ройзман В.П., д.т.н., Рудницький В.Б., д.фіз.-мат.н., Сарібеков Г.С., д.т.н., Сілін Р.І., д.т.н., Славінська А.Л., д.т.н., Сорокатий Р.В., д.т.н., Сурженко Є.Я., д.т.н. (Росія), Троцишин І.В., д.т.н., Шинкарук О.М., д.т.н., Шклярський В.І., д.т.н., Щербань Ю.Ю., д.т.н., Юрков М.К., д.т.н. (Росія), Ясній П.В., д.т.н.

Технічний редактор	Горященко К. Л., к.т.н.
Редактор-коректор	Броженко В. О.

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету, протокол № 9 від 31.3.2016 р.

Адреса редакції: редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету"
Хмельницький національний університет
вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, Україна, 29016

☎ (038-22) 2-51-08 **web:** http://journals.khnu.km.ua/vestnik

e-mail: visnyk_khnu@rambler.ru http://vestnik.ho.com.ua

http://lib.khnu.km.ua/visnyk_tup.htm

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 9722 від 29 березня 2005 року

© Хмельницький національний університет, 2016
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2016

ЗМІСТ

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

А.А. МЯСИЩЕВ
УПРАВЛЕНИЕ ЧЕРЕЗ ИНТЕРНЕТ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ И ДАТЧИКАМИ МИНИ КОМПЬЮТЕРОМ RASPBERRY PI 7

А.М. МЕЛЬНИК
РОЛЬ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ АВТОМАТИЗОВАНОГО НАВЧАННЯ В ПІДВИЩЕННІ ВІДВІДУВАНОСТІ ВЕБ-САЙТІВ 15

А.А. БУРЛАКОВ
ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ ПОСТІЙНОГО СХОВИЩА ДАНИХ ПІД ЧАС РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА JAVA-ПЛАТФОРМІ 20

А.А. БУРЛАКОВ, О.О. БАЛИШИН
ВИБІР СУЧАСНИХ ВЕБ-ОРІЄНТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОГРАМУВАННЯ ПІД ЧАС РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА JAVA-ПЛАТФОРМІ 26

О.А. КРАВЧУК, В.М. ПІДГОРОДЕЦЬКА
ПРАКТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПРОЕКТУ ACCELERATED MOBILE PAGES 30

С.М. ЗАХАРЧЕНКО, Т.І. ТРОЯНОВСЬКА, О.В. БОЙКО, В.С. РИБАЧЕНКО
ЗАСТОСУВАННЯ ОДНОСТОРІНКОВИХ ВЕБ-ОРІЄНТОВАНИХ ІНТЕРФЕЙСІВ В СОЦІАЛЬНО ЗНАЧУЩИХ ПРОЕКТАХ 33

Є.О. БАГАНОВ, С.А. РУСАНОВ, С.М. ПІВЕНЬ
ВИКОРИСТАННЯ ВАРІАЦІЙНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ КІНЕМАТИЧНОГО АНАЛІЗУ МЕХАНІЗМІВ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО МОДЕЛЮВАННЯ 40

В.І. КУНЧЕНКО-ХАРЧЕНКО, А.С. ГАВРИШ
МОДЕЛІ І МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ СТОХАСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ІНТЕГРОВАНІЙ СИСТЕМІ 46

В.Р. ЛЮБЧИК, К.Л. ГОРЯЩЕНКО
ФАЗОЧАСТОТНИЙ ПІДХІД ВИЗНАЧЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ТА ПОХИБКИ З НИМ ПОВ'ЯЗАНІ 52

М.І. СТАДНІК
ОПТИМІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОДНОРІДНИХ ОБ'ЄКТІВ 62

Н.Д. МИХАЙЛІВ
МЕТОДИЧНІ ТА МАТЕМАТИЧНІ АСПЕКТИ ПРОЕКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ТРЕНАЖЕРНИХ КОМПЛЕКСІВ СКЛАДНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ 66

І.В. ГУЛА, В. П. НЕЗДОРОВІН, А.В. КЛЕПІКОВСЬКИЙ, Є.Г. МАХРОВА
ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ УНІВЕРСАЛЬНОГО ПРОТОКОЛУ РОЗУМНОГО ДОМУ 72

О.В. ОСАДЧУК, А.Ю. САВИЦЬКИЙ, О.С. ЗВЯГІН
ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ГЕНЕРАТОРНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН 75

М.В. БАЧИНСЬКИЙ, О.С. КОВАЛЕНКО, С.В. ТИМЧИК, Н.В. ТИТОВА
КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ ЗАСОБІВ І СИСТЕМ ДЛЯ НИЗЬКОІНТЕНСИВНОЇ СВІТЛОВОЇ ТЕРАПІЇ 79

С.Р. КРАСИЛЬНИКОВ
РОЗРОБКА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЇ ПРОГРАМИ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «КІБЕРБЕЗПЕКА» НА КОМПЕТЕНТНІСНІЙ ОСНОВІ 82

І.В. ГУЛА, К.Л. ГОРЯЩЕНКО, В.В. МІШАН, Д.В. КУХАР
ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МІМО ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПРИСТРОЯМИ РОЗУМНОГО ДОМУ 87

Ю.П. ЗАСПА
КОНТАКТНЕ ДИНАМО ЯК ГЕНЕРАТОР КОГЕРЕНТНИХ КОСМІЧНИХ ФОРМ РУХУ ТА ДЖЕРЕЛО ПЛАНЕТАРНОЇ, СОНЯЧНОЇ, ГАЛАКТИЧНОЇ І МЕТАГАЛАКТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ. ЧАСТИНА III 92

O. MADEJ, W. KRUSZELNICKA
COMPARISON OF EFFICIENCY VACUUM AND FLAT SOLAR COLLECTORS 101

W.KRUSZELNICKA , O.MADEJ
ANALYSIS THE SIZE AND SHAE OF BIOMASS PARTICLES AFTER GRINDING WITH USING DIGITAL IMAGE PROCESSING 107

Ю.П. ЗАСПА
КОНТАКТНЕ ДИНАМО ЯК ГЕНЕРАТОР КОГЕРЕНТНИХ КОСМІЧНИХ ФОРМ РУХУ ТА ДЖЕРЕЛО ПЛАНЕТАРНОЇ, СОНЯЧНОЇ, ГАЛАКТИЧНОЇ І МЕТАГАЛАКТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ. ЧАСТИНА IV 115

E.I. KOLIBABCHUK, O.P. VOYTOVYCH, L.M. KUPERSHTEIN
INVESTIGATION OF DENIAL-OF-SERVICE ATTACKS 129

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

Р.В. АМБАРЦУМЯНЦ, Е.Д. КАРА
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ НОГИ ШАГАЮЩИХ МАШИН 134

І.М. ПАСТУХ, В.В. ЛЮХОВЕЦЬ
ЕФЕКТ НАКАЧУВАННЯ ІОНІВ АЗОТУ В ОТВОРИ ВІДНОСНО МАЛОГО ДІАМЕТРА 138

Г. М. СОКОЛОВА
ВІДНОСНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ ФАКТОРИ ПРОЦЕСУ АЗОТУВАННЯ У ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ 147

А.В. ГОРОШКО
МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПАРАМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РОТОРІВ 151

Е.А. МАНЗЮК
ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РОТАЦІЙНИХ ЧОВНИКОВИХ КОМПЛЕКТІВ 156

Р.В. АМБАРЦУМЯНЦ, А.А. ЧИЖ, С.В. ТУТАЕВ
СИЛОВОЙ АНАЛИЗ ПЛАНЕТАРНО-РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА С ПАССИВНЫМИ СВЯЗЯМИ 162

В.О. ХАРЖЕВСЬКИЙ
КІНЕМАТИЧНИЙ СИНТЕЗ ВАЖІЛЬНИХ ВОСЬМИЛАНКОВИХ МЕХАНІЗМІВ ІЗ ЗУПИНКОЮ НА БАЗІ ТОЧОК РОЗПРЯМЛЕННЯ 5-ГО ПОРЯДКУ 168

О.А. ПАСІЧНИК
ТЕХНОЛОГІЇ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ 172

Р.Д. ІСКОВИЧ-ЛОТОЦЬКИЙ, В.П. МІСЬКОВ, Я.В. ІВАНЧУК
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ІНЕРЦІЙНОГО ВІБРОПРЕС-МОЛОТА З ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЮ СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ ГІДРОІМПУЛЬСНОГО ПРИВОДА ДЛЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗАГОТОВОК З ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ 176

О.М. СИНЮК
МОДЕЛЬ БУДОВИ НЕДЕФОРМОВАНИХ ПОЛІМЕРІВ СФЕРОЛІТНОЇ СТРУКТУРИ 181

А.Я. КАРВАЦКИЙ, Т.В. ЛАЗАРЕВ, А.Ю. ПЕДЧЕНКО
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕССА ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ УГЛЕРОДНОЙ ПРОДУКЦИИ 188

Л.В. НАКАШИДЗЕ, Т.В. ГІЛЬОРМЕ
ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ 195

С.М. БОЙКО, О.В. ДОЗОРЕНКО, С.Я. ВИШНЕВСЬКИЙ, О.М. НАНАКА
ОСОБЛИВОСТІ ЗАРЯДУ ТЯГОВИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ В УМОВАХ ПІДЗЕМНИХ ВИРОБОК ЗАЛІЗОРУДНИХ ШАХТ 203

С.М. БОЙКО, В.С. ДЕМКІВ, С.Я. ВИШНЕВСЬКИЙ, О.М. НАНАКА
ЛАБОРАТОРНО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОНОМНИХ СОНЯЧНИХ МІНІЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ 206

В.Д. РУДЬ, Н.А. ХРИСТИНЕЦЬ
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ВІБРАЦІЙНОЇ СЕГРЕГАЦІЇ У ФОРМУВАННІ ГРАДІЄНТНОЇ СТРУКТУРИ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ 209

D. WÓJCICKA-MIGASIUK, A. URZĘDOWSKI
ANALYSIS OF DEMAND, LOSS AND PROFITS OF ENERGY IN PASSIVE BUILDING WITH THERMAL IMAGING TECHNOLOGY 214

ANETA DUDA, KLAUDIUSZ LENIK
THE USE OF COMPUTER SUPPORT FOR REGISTRATION AND EVALUATION PROCESS OF FRICTION 218

MAŁGORZATA DZIEWICZKIEWICZ, DOROTA WÓJCICKA-MIGASIUK
ANALYSIS OF HEAT TRANSFER ON THE BASIS OF MULTISPECTRAL IMAGES OF THE ELEMENTS OF CHIMNEYS' STRUCTURE 222

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

О.М. ГУЩАК, Б.Д. СЕМАК
ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЯКОСТІ ПОФАРБУВАНЬ РОСЛИННИМИ ТА КИСЛОТНИМИ БАРВНИКАМИ НА РІЗНОВОЛОКНИСТИХ ПЛАТТЯНИХ ТКАНИНАХ 230

В.А. ПАЛАМАР, О.Р. МОКРОУСОВА, О.А. ОХМАТ
ТЕРМОСТІЙКІ ВЛАСТИВОСТІ ШКІР, ОТРИМАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДИФІКОВАНОГО МОНТМОРИЛОНІТУ 237

Т.А. НАДОПТА, Н.С. КРИВЕНЬКА
ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНО-КОМПОЗИЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ШКІРГАЛАНТАРЕЙНИХ ВИРОБІВ 244

М.І. ІГНАТИШИН, Р.В. РОСУЛ, А.Б. ДОМБРОВСЬКИЙ
ВИЗНАЧЕННЯ РЕЛАКСАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ ШКІРИ НЕПРЯМИМ МЕТОДОМ 249

І.С. ГАЛИК, Б.Д. СЕМАК
ТОВАРОЗНАВЧІ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМИ ФОРМУВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ БЕЗПЕЧНОСТІ ТЕКСТИЛЮ І ОДЯГУ 254

І.М. БІЛОУС, Т.А. ПУДАЙЛО, В.С. ГОРОБЧИШИНА, В.В. ЛИПОВА
ВПЛИВ АЗБЕСТОВИХ ВОЛОКОН НА ЖИТТЄДІЯЛЬНІСТЬ ЛЮДСТВА 259

Н.І. УПІРОВА, А.М. СЛІЗКОВ, О.О. ГАЙДЕЙ
ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ГІГІЄНІЧНИХ ВИМОГ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ВИРОБІВ З НИХ 263

О.В. НАХАЙЧУК, Е.А. ЗАХАРОВА, Л.В. КОНДРАТЬЄВА, І.М. КОВАЛЕНКО
УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ СПОРТИВНОГО ОДЯГУ ІЗ УРАХУВАННЯМ УЗАГАЛЬНЕНОГО КРИТЕРІЮ РУЙНУВАННЯ ТКАНИН 267

І.О. ЗАСОРНОВА, О.О. СЕЛЬСЬКА, А.А. МИЧКО
КЛАСИФІКАЦІЯ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ УКРАЇНСЬКИХ НАЦІОНАЛЬНИХ СОРОЧОК ПОДІЛЛЯ 272

А.Н. КУНИК, О.Я. СЕМЕШКО, Ю.Г. САРИБЕКОВА, М.Л. КУЛИГИН
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ДИСКРЕТНОЙ ОБРАБОТКИ НА ОКИСЛЕНИЕ ШЕРСТНОГО ЖИРА В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ ШЕРСТИ 277

С.Л. ГОРЯЩЕНКО
МОДЕЛЮВАННЯ КРАПЛИН ПРИ РОЗПИЛЕННІ ДВОФАЗНОГО ПОТОКУ СОПЛОМ 282

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 004.522

А.А. МЯСИЩЕВ
Хмельницкий национальный университет

УПРАВЛЕНИЕ ЧЕРЕЗ ИНТЕРНЕТ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ И ДАТЧИКАМИ МИНИ КОМПЬЮТЕРОМ RASPBERRY PI

Разработано устройство для управления через Интернет электропитанием оборудования и получения информации с датчиков. Система управления реализована на базе одноплатного миникомпьютера Raspberry Pi. В качестве программного обеспечения для построения web-сервера, управления выводами порта GPIO, датчиками, для работы со скриптами на Python использован Фреймворк WebIOPi. Разработанное устройство позволяет отслеживать показания датчиков в течении длительного времени, записывая измеряемые значения в файл и графически отображая их. Реализована возможность подключения устройства к сети Интернет без использования реального IP-адреса благодаря использованию сервиса Weaved.

Ключевые слова: Raspberry Pi, Фреймворк WebIOPi, Weaved, микроконтроллер AVR, Wiznet W5100, датчик DS18B20.

A.A. MYASISCHEV
Khmelnytsky National University

MINI COMPUTER OF THE RASPBERRY PI USE FOR CONTROL OF SUPPLY POWER AND SENSORS VIA INTERNET

The device is created for controlling of power supply of equipment and receiving information from sensors via the Internet. Control system was created on base of mini computer Raspberry Pi. As the software for building of the web - server, for control of the ports of GPIO, for control of the sensors, and for work with scripts in Python is used WebIOPi Framework. The developed device allows you to monitor data with sensors for a long time, create records of the measured values to a file and graphically displaying them. We can to connect this device to the Internet without using a real IP - address by using Weaved service.

Keywords: Raspberry Pi, framework WebIOPi, Weaved, microcontroller AVR, Wiznet W5100, DS18B20 sensor.

Постановка задачи

В настоящее время достаточно остро стоит задача дистанционного обслуживания систем электропитания на удаленных объектах. Например, в развивающихся компаниях с небольшой штатной численностью сотрудников, которые вынуждены совмещать две-три специализации. Именно перед ними, в первую очередь возникает задача поиска экономичного решения организации удаленного управления электропитанием. Параллельно этой задаче устройства удаленного управления должны иметь возможность работать с датчиками для анализа состояния удаленного объекта с целью принятия решения или удаленного информирования персонала о состоянии объекта. Например, изменение температуры, влажности, давления на удаленном объекте требует принятия решения обслуживающим персоналом или автоматического срабатывания систем дистанционного обслуживания электропитанием. Эти задачи также возникают при создании "Умного дома", "Умной фирмы", "Умного офиса" и др. Создание систем управления по TCP/IP сети требует построения устойчиво работающего web-сервера, который имеет функции управления. Возможно построение такого сервера на базе микроконтроллеров, например фирмы AVR и контроллера сети Wiznet W5100 с встроенными в него Ethernet и TCP/IP протоколами на аппаратном уровне[1]. Также можно использовать и одноплатные мини компьютеры, работающие под управлением операционной системы Linux. В работе изучена возможность и представлены практические результаты связанные с созданием системы управления электропитанием через Интернет, которая должна решать задачи:

1. Удаленно включать и выключать три электророзетки. Первая розетка служит для подключения мощных потребителей энергии (например электронагревателя), две другие – стандартные бытовые устройства – это лампы накаливания, компьютер, кондиционер и др.
2. Определять температуру помещения, рисовать график изменения температуры для любого интервала времени.
3. Управление устройством и получение информации о температуре должно выполнятся удаленно через браузер (Chrome).
4. Должно быть предусмотрено управление устройством и в случае отсутствия у него реального IP-адреса (DNS имени). Необходимо лишь подключение к интернет, например через стандартный ADSL модем с установленным Nat (что в модемах установлено по умолчанию).
5. Интерфейс связи с устройством через браузер должен быть такой, как показано на рисунке 1. При включенной электророзетке кнопка должна изменяет цвет с черной на зеленую.

Розетка для подключения мощного источника (обогревателя) должна управляться временем. Необходимо предусмотреть время включения и выключения обогревателя, которые должны вводится в браузер (рис. 1). На рис. 2 показано фото экспериментального устройства.

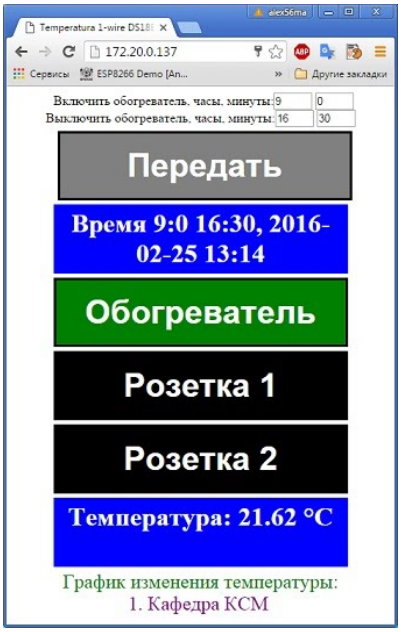


Рис. 1. Интерфейс с Интернет розеткой

Рис. 2. Фото системы управления электропитанием

Изложение основного материала работы

Рассмотрим удаленное управление устройствами и датчиками через компьютерную сеть (Интернет) с помощью одноплатных мини компьютеров. В настоящее время наиболее популярными и покупаемыми являются Raspberry Pi 2, Banana Pi 2 и Orange Pi PC (рис. 3).

Рис. 3. Фото одно платных мини компьютеров

Эти компьютеры объединяют следующие характеристики:

1. Малые размеры, с кредитную карточку.

Четырехядерный процессор, который работает на всех компьютерах примерно на частоте 1–1.2 ГГц.

2. Оперативная память 1 ГБайт.
3. SD card вместо жесткого диска для загрузки операционной системы и программ.
4. Ethernet порт для подключения к сети.
5. HDMI выход для подключения монитора или телевизора.
6. USB порты для подключения, например клавиатуры, мыши, флешь памяти.
7. Операционная система Linux.
8. И главное – 40-а пиновый GPIO порт, к которому подключаются устройства, датчики, которыми надо управлять.

Одной из основных задач был выбор компьютера для удаленного управления. Для этого рассматривались параметры:

1. Стоимость (на 25.02.2016, сайт http://ru.aliexpress.com с доставкой):

- Raspberry Pi 2 - $36.99;
- Banana Pi 2 (BPI-M2 A31S) - $50.21;
- Orange Pi pc - $18.99.

2. Быстродействие процессора + памяти: по вычислительным тестам с использованием 4-х ядер

- Banana Pi 2 (BPI-M2 A31S);
- Orange Pi pc;
- Raspberry Pi 2.

При использовании одного ядра для вычислительных работ (задача не распараллелена)

- Orange Pi pc;

- Banana Pi 2 (BPI-M2 A31S);
- Raspberry Pi 2.

Отмечают, что у Orange Pi работает устойчиво 3 ядра, 4-е ядро не всегда запускается.

3. Техническая поддержка и наличие отлаженного программного обеспечения:
- Raspberry Pi 2;
- Banana Pi 2;
- Orange Pi pc.

У Orange Pi pc пока нет главного условия для управления устройствами – это программной поддержки порта GPIO.

Ранее отмечалось, что удаленное управление устройствами может выполняться с помощью микроконтроллеров (дана ориентировочная цена):

1. Arduino Mega256 с Ethernet Shied w5100 – $12–15;
2. Arduino nano с контроллером сети enc28j60 – $8-9;
3. ESP8266-12 – $2-3.

Однако исследования показали, что в локальной сети микроконтроллеры работают неплохо, а в глобальной сети при потерях пакетов управление становиться ненадежным [1]. Мини компьютеры работают под управлением ОС Linux, у которой сетевые протоколы отлажены хорошо. Для мини компьютеров можно делать высокую степень защиты для входа в управляемую систему. У микроконтроллеров для надежно работающих протоколов и защиты от взлома недостаточно ресурсов. Рассмотрим последовательность решения задачи с использованием самой дешевой модели Raspberry Pi B[2].

1. Установка операционной системы Raspbian. Для этого с сайта https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/ скопируется образ операционной системы RASPBIAN JESSIE, например на компьютер под управлением Windows 8.1. Далее разархивированный файл с помощью утилиты Win32DiskImager (http://sourceforge.net/projects/win32diskimager) устанавливается на SD card компьютера. После этого SD card переносится на компьютер Raspberry Pi и подключается к источнику питания. Предварительно к компьютеру необходимо подключить монитор, клавиатуру, мышь и кабель Ethernet. Компьютер автоматически загружается и на экране появляется меню предварительной настройки, которое формируется файлом raspi-config. Опции этого файла можно посмотреть по ссылке https://www.raspberrypi.org/documentation/configuration/raspi-config.md

2. Назначение Raspberry Pi статического IP-адреса. Raspberry Pi выполняет здесь функцию web-сервера, поэтому он должен иметь статический IP-адрес. Для этого меняется содержимое файла /etc/network/interfaces на

```
auto lo
iface lo inet loopback
auto eth0
iface eth0 inet static
  address 172.20.0.137
  netmask 255.255.0.0
  gateway 172.20.200.1
  dns-nameservers 8.8.8.8
```

- полностью удаляется из системы dhcpcd5, выполнением команды:

sudo apt-get purge dhcpcd5

3. Установка Фреймворка Webiopi. Webiopi представляет собой пакет программ, специально разработанный для Raspberry Pi для удаленного управления устройствами. Совместно с Raspberry Pi он реализует технологию Internet of Things (Интернет вещей) и позволяет создавать различные пользовательские приложения. В качестве примера на рисунке 4 представлены основные возможности этого Фреймворка в соответствии с его описанием на официальном сайте http://webiopi.trouch.com/ [3], которые сводятся к следующим:

- Встроенный web-сервер, реализованный на языке Python;
- Встроенная поддержка более чем 30 устройств с интерфейсами UART, SPI, I2C, 1-Wire;
- Библиотеки Javascript / HTML для создания Web-интерфейса;
- Библиотеки Python / Java для создания приложений под Android;
- Поддержка протокола CoAP предназначенный для управления и взаимодействия между простыми электронными устройствами через сеть.

Webiopi имеет открытый код, который может быть изменен пользователем. Это позволяет увеличить количество задач для решения. Для настройки пакета под конкретную задачу изменяется файл конфигурации. Например, в этот файл записываются GPIO pins, к которым подключены устройства. Если используются датчики, их также заносят в конфигурационный файл. Однако необходимо в некоторых случаях также включить и драйвер устройства (например, для температурного датчика ds18b20). Рассмотрим установку версии 0.6 Webiopi. С этой версией устойчиво работает Raspberry Pi model B, который имеет 26 пиновый порт GPIO. Для установки WebIOPi, входим в Raspberry Pi через программу Putty (логин – pi, пароль – raspberry) и в терминале вводим поочередно следующие команды:

```
$ wget http://webiopi.googlecode.com/files/WebIOPi-0.6.0.tar.gz
$ tar xvzf WebIOPi-0.6.0.tar.gz
```

```
$ cd WebIOPi-0.6.0
$ sudo ./setup.sh
```

После завершения установки активируется автозапуск WebIOPi для того, что бы каждый раз после включения Raspberry Pi не выполнять запуск приложения вручную. Для этого выполняем команду:

```
$ sudo update-rc.d webiopi defaults
```

и перезапускаем Raspberry Pi:

```
sudo reboot
```

Рис. 4. Возможности Фреймворка Webiopi

Для проверки работы Webiopi с любого компьютера в локальной сети вводим в браузере сетевой адрес, присвоенный Raspberry Pi с указанием порта 8000. Например:

```
http://172.20.0.137:8000/app/gpio-header
```

Для доступа к WebIOPi необходимо в открывшейся форме ввести логин и пароль. По умолчанию используется логин «webiopi», пароль – «raspberry». При нормальной работе браузер отобразит интерфейс программы Webiopi с номерами пинов порта GPIO и их назначением, как показано на рис. 5.

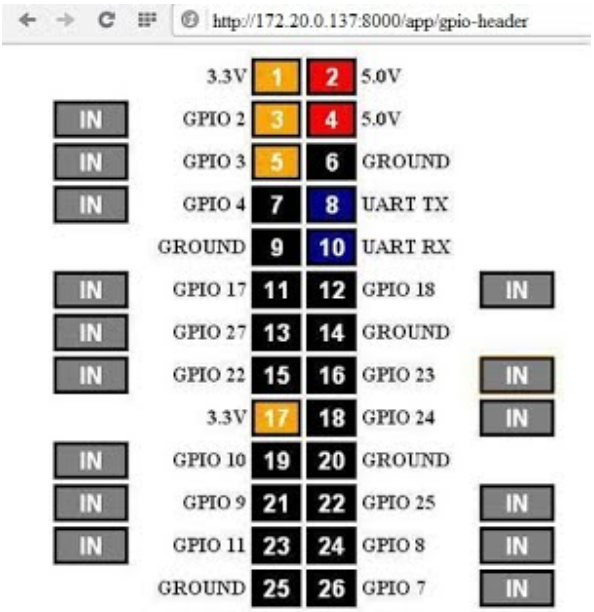


Рис. 5. Интерфейс Фреймворка Webiopi

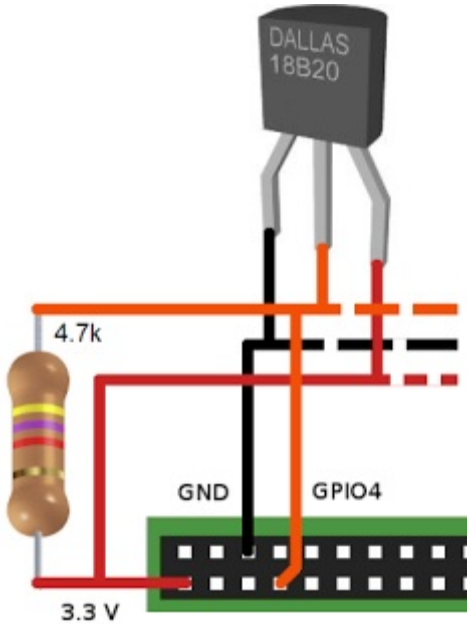


Рис. 6. Иллюстрация подключения DS18B20 к GPIO4

Из рисунка видно, что по умолчанию все пины GPIO работают на вход (IN). Для переключения на выход, необходимо мышкой нажать на кнопку IN. Значение этого пина измениться на OUT. Черный цвет пина означает низкий уровень порта, желтый – высокий. Если кликнуть мышкой на номер порта, его значение переключиться с низкого на высокий и черный цвет поменяется на желтый. В этом случае произойдет включение(или выключение) устройства, подключенного к этому пину.

Для настройки Webiopi под сформулированную здесь задачу необходимо выбрать пины порта GPIO для подключения розеток и датчика температуры DS18B20 и прописать их в конфигурационном файле Webiopi:

GPIO23 – розетка для подключения мощного источника (обогревателя);

GPIO9 – розетка 1;

GPIO11 – розетка 2.

Датчик температуры подключен к GPIO4, который реализует шину 1-wire (рис. 6).

Редактируем конфигурационный файл config:

```
sudo nano /etc/webiopi/config
```

Настраиваем порты GPIO 9, 11, 23 как выходы с высоким стартовым уровнем. В секции [GPIO] записываем:

```
9  =  OUT 1
11 = OUT 1
23 = OUT 1
```

Для того, чтобы работал датчик температуры в секции [DEVICES] прописываем:

```
tmp0 = DS18B20
```

В секции [SCRIPTS] указываем имя и расположение файла-скрипта на Питоне, необходимый для считывания данных с датчика температуры и контроля наступления включения или выключения обогревателя в заданное время:

```
myproject = /home/pi/myproject/python/script.py
```

В секции [HTTP] указываем имя и расположение html файла:

```
doc-root = /home/pi/myproject/html
```

и номер порта работы встроенного в Webiopi web-сервера:

```
port = 80
```

В секции [REST] прописываем активные порты (только они будут работать):

```
gpio-export = 9, 11, 23
```

и разрешаем вводить изменение с браузера величин GPIO (низкий и высокий уровень пина) но запрещаем менять функции GPIO (нельзя менять OUT на IN):

```
gpio-post-value = true
gpio-post-function = false
```

Для того, чтобы работал датчик DS18B20, необходимо в файл /boot/config.txt вставить строку

```
dtoverlay=w1-gpio.
```

Если к GPIO4 подключено несколько датчиков DS18B20, то каждый из них должен иметь свое имя. Для определении имени переходим в каталог: cd /sys/bus/w1/devices

Распечатываем файлы в этом каталоге:

```
ls
28-00000272b04c  28-000002d9a4f5  w1_bus_master1
```

Первые два имени определяют два датчика DS18B20. Заносим их в /etc/webiopi/config в секцию [DEVICES]:

```
tmp0=DS18B20 slave:28-00000272b04c
tmp1=DS18B20 slave:28-000002d9a4f5
```

Изменение пароля Webiopi выполняется командой

```
$ sudo webiopi-passwd
```

Далее выполняем перегрузку компьютера командой reboot. Подключиться к web-серверу webiopi теперь можно по адресу: http://172.20.0.137/app/gpio-header. В браузере появиться изображение аналогичное рисунку 5, но активными будут только порты gpio9, 11, 23. Проверить работоспособность датчика температуры можно, подключившись по адресу: http://172.20.0.137/app/devices-monitor. В браузере должно появиться значение температуры от датчика. Для перегрузки webiopi после внесения изменений в конфигурационный файл, в скипт на Python, html файл, необходимо выполнить команду: /etc/init.d/webiopi restart. Сообщения об ошибках при запуске Webiopi находятся в файле /var/log/webiopi. Его можно распечатать так: cat /var/log/webiopi.

4. Создание файла index.html. Этот html файл с WebIOPi Javascript library должен сформировать web-страничку, показанную на рисунке 1, передавать на сервер команды при нажатии на кнопки, получать от сервера информацию о состоянии кнопок, выводить значение даты, температуры и взаимодействовать со скриптом на Python. Файл index.html размещается в каталоге /home/pi/myproject/html, который предварительно создается. Из-за большого размера этого файла он не будет здесь представлен. Ниже для примера показан фрагмент JavaScript для создания двух кнопок управления розетками, добавления этой кнопки в controls box с использованием jQuery function:

```
// Create a "Розетка 1" labeled button1 for GPIO 9
var button1 = webiopi().createGPIOButton(9, "Розетка 1");
// Append button to HTML element with ID="controls1" using jQuery
$("#controls1").append(button1);
// Create a "Розетка 2" labeled button2 for GPIO 11
var button2 = webiopi().createGPIOButton(11, "Розетка 2");
// Append button to HTML element with ID="controls2" using jQuery
$("#controls2").append(button2);
```

А также пример вызова макроса каждые 5 секунд для запроса и получения температуры с датчика DS18B20:

```
// Вызов макроса изменения температуры с интервалом 5 сек.
```

```
setInterval ("callMacro_getTmp0()", 5000);{  }
// Запрос температуры
function callMacro_getTmp0(){ webiopi().
  callMacro("getTmp0", [], macro_getTmp0_Callback); }
// Получение температуры
function macro_getTmp0_Callback(macro, args, data)
  {  $("#celsius_0").text("Температура: "+data+" °C");  }
```

Полную распечатку файла index.html можно найти в источнике [3].

5. Создание файла-скрипта на Python - script.py

Этот файл должен находиться в каталоге /home/pi/myproject/python, который должен быть предварительно создан. Задачей скрипта является получение данных с температурного датчика и передача их в файл index.html, запись файла /home/pi/myproject/html/data_18B20.txt с значениями температур и времени их определения для построения графика, анализа времени включения и выключения розетки для мощного оборудования и ее включение или отключение. Ниже приведена распечатка файла /home/pi/myproject/python/script.py

```
import webiopi
import datetime
import time
from webiopi import deviceInstance
from time import strftime
GPIO = webiopi.GPIO
LIGHT = 23 # GPIO pin
HOUR_ON  = 0  # Turn Light ON at 13:00
HOUR_OFF = 0  # Turn Light OFF at 14:00
MIN_ON = 0
MIN_OFF = 0
celsius_0 = 0,0
cel_0=0,0
num=1
# setup function is automatically called at
WebIOPi startup
def setup():
    # set the GPIO used by the light to output
    GPIO.setFunction(LIGHT, GPIO.OUT)
    # retrieve current datetime
    now = datetime.datetime.now()
    # test if we are between ON time and tun
the light ON
    if (((now.hour >= HOUR_ON) and (now.hour
<= HOUR_OFF)) and ((now.minute >= MIN_ON) and
(now.minute <= MIN_OFF))):
        GPIO.digitalWrite(LIGHT, GPIO.LOW)
@webiopi.macro
def getTmp0():
    global celsius_0
    tmp0 = webiopi.deviceInstance("tmp0")
    celsius_0 = tmp0.getCelsius()  # получение
температуры
    print (celsius_0)
    return "%.2f" % celsius_0 # возврат данных
температуры в HTML
    # с округлением до сотых
@webiopi.macro
def tihour():
    now = datetime.datetime.now()
    return "Время {0}, {1}".format("%d:%d
%d:%d" % (HOUR_ON, MIN_ON,HOUR_OFF, MIN_OFF),
strftime("%Y-%m-%d %H:%M"))
```

(продолжение в следующем столбце)

```
def loop():
    global cel_0
    global num
   # retrieve current datetime
    now = datetime.datetime.now()
    # toggle light ON all days at the correct
time
    if ((now.hour == HOUR_ON) and (now.minute ==
MIN_ON) and (now.second == 0)):
         if (GPIO.digitalRead(LIGHT) ==
GPIO.HIGH):
            GPIO.digitalWrite(LIGHT, GPIO.LOW)
    # toggle light OFF
    if ((now.hour == HOUR_OFF) and (now.minute
== MIN_OFF) and (now.second == 0)):
         if (GPIO.digitalRead(LIGHT) ==
GPIO.LOW):
            GPIO.digitalWrite(LIGHT, GPIO.HIGH)
    if (num==300):
      tmp0 = webiopi.deviceInstance("tmp0")
      cel_0 = tmp0.getCelsius()
      f =
open('/home/pi/myproject/html/data_18B20.txt',
'a')
      data_entry =
"{0},{1}\n".format(strftime("%Y-%m-%d
%H:%M:%S"),"%.2f" % cel_0)
      f.write(data_entry)
      f.close()
      num=0
    num+=1
    # gives CPU some time before looping again
    time.sleep(1)
@webiopi.macro
def getLightHours():
    return "%d;%d;%d;%d" % (HOUR_ON, HOUR_OFF,
MIN_ON, MIN_OFF)
@webiopi.macro
def setLightHours(on, off, onm, offm):
    global HOUR_ON, HOUR_OFF, MIN_ON, MIN_OFF
    HOUR_ON = int(on)
    HOUR_OFF = int(off)
    MIN_ON = int(onm)
    MIN_OFF = int(offm)
    return getLightHours()
# destroy function is called at WebIOPi shutdown
def destroy():
    GPIO.digitalWrite(LIGHT, GPIO.HIGH)
```

6. Построение графика температуры

График температуры строиться с помощью библиотеки dygraph, файл которой dygraph-combined-dev.js необходимо скопировать в каталог /home/pi/myproject/html с сайта http://dygraphs.com. Эта библиотека для прорисовки графика использует файл /home/pi/myproject/html/data_18B20.txt, который формирует каждые 300 секунд скрипт на Python. Построение графика будет выполняться браузером при обращении по адресу:

http://172.20.0.137/temp.html.

Текст файла temp.html для формирования графика, показанного на рисунке 7, представлен в источнике [4].

7. Подключение к Интернет устройства, если оно не имеет реального ip-адреса или доменного имени, но имеет выход в Интернет(через модем, router, межсетевой экран). Одним из способов получения

доступа к Raspberry Pi как к устройству интернет вещей является использование сервиса Weaved [5]. Он предлагает следующие услуги:

SSH – позволяет войти в Raspberry Pi с любой точки мира по SSH;

Web (http) on port 80 – можно просматривать web-страницы с любой точки мира, размещенные на Raspberry Pi;

WebIOPI – позволяет управлять пинами GPIO порта Raspberry Pi, используя разработанное пользователем программное обеспечение.

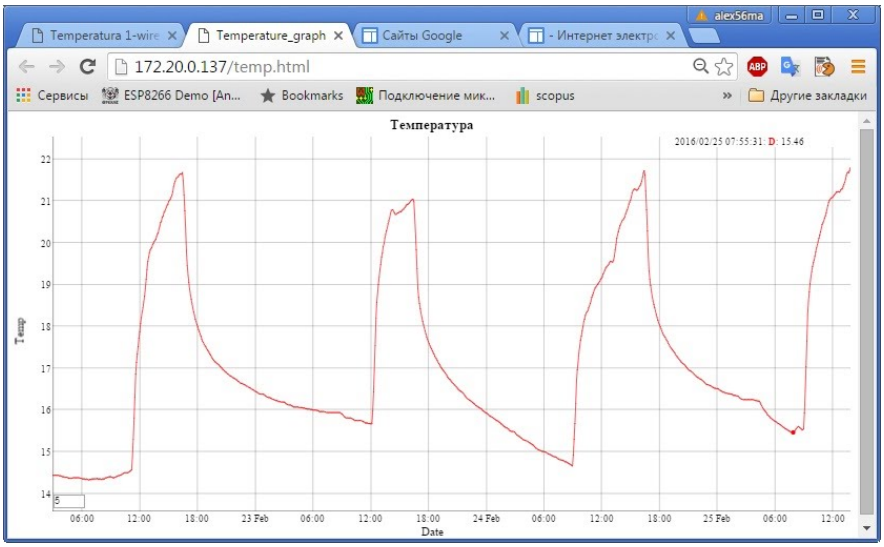


Рис. 7. График температуры, который генерируется при нажатии на ссылку "Кафедра КСМ" рисунка 1

Перед установкой Weaved создается каталог /home/pi/myproject/my, и выполняются следующие действия:

- На сайте https://developer.weaved.com/portal/login.php регистрируем аккаунт;
- Подключаем Raspberry Pi к Интернет;
- Загружаем Weaved Software на Raspberry Pi:

```
wget https://github.com/weaved/installer/raw/master/binaries/weaved-nixinstaller_1.2.13.bin
```

- Делаем файл weaved-nixinstaller_1.2.13.bin исполняемым:

```
chmod +x weaved-nixinstaller_1.2.13.bin
```

- Запускаем программу установки:

```
./weaved-nixinstaller_1.2.13.bin
```

- Выбираем услугу. При первом запуске программы будет предложено установить одну из услуг: SSH на порт 22, Web (HTTP) на 80-й порт, WebIOPi на порт 8000, VNC на порт 5091 (протестирован с tightvncserver), или пользовательский TCP на выбранном порту.

Выбираем здесь 2-ю услугу, т.е. Web (HTTP) на 80-й порт.

- Далее вводится информация для входа в Weaved (ввести аккаунт, который был получен на сайте Weaved).

Вводится имя своего устройства, например webiopi80.

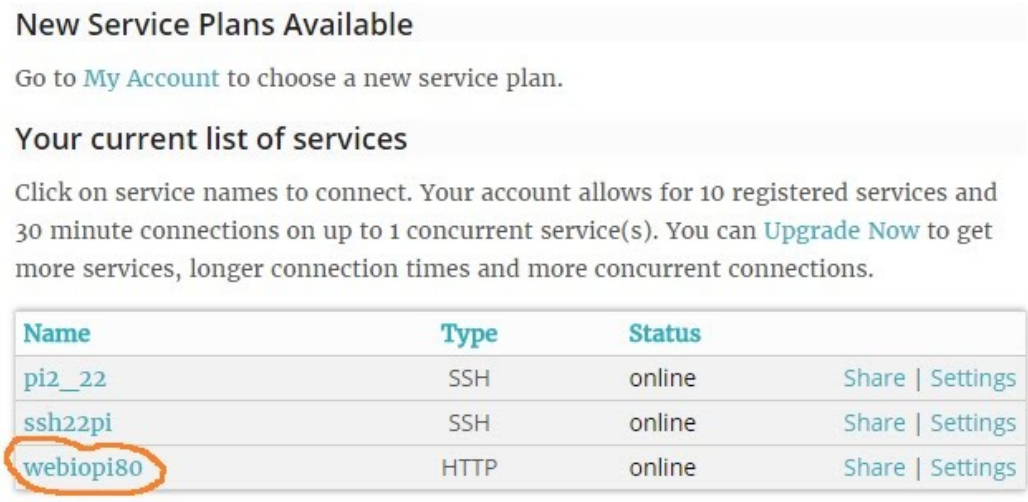


Рис. 8.

- Выполняется проверка, было ли создано новое устройство: для этого по адресу https://developer.weaved.com/portal/login.php вводим свой аккаунт. После входа должна появиться следующая страничка, где указано имя созданного устройства:

Если нажать на ссылку на имени устройства, то должна появиться страничка как на рис. 8, только адрес будет примерно такой: https://eksgaxwj.p19.weaved.com/. Таким образом подключение к Raspberry Pi было выполнено через промежуточный сервер, который предоставлен сервисом Weaved.

8. Подключение Raspberry Pi к релейному модулю. На рис. 9 представлена иллюстрация подключения релейного модуля к пинам порта GPIO Raspberry Pi и электророзеткам. Для повышения мощности нагрузки два реле подключены параллельно к розетки повышенной мощности (например, для подключения обогревателя). Приведенное на рисунке подключение работоспособно, если реле срабатывают от напряжения 5 вольт. Необходимо отметить, что реле срабатывает при подаче на вход модуля нулевого напряжения.

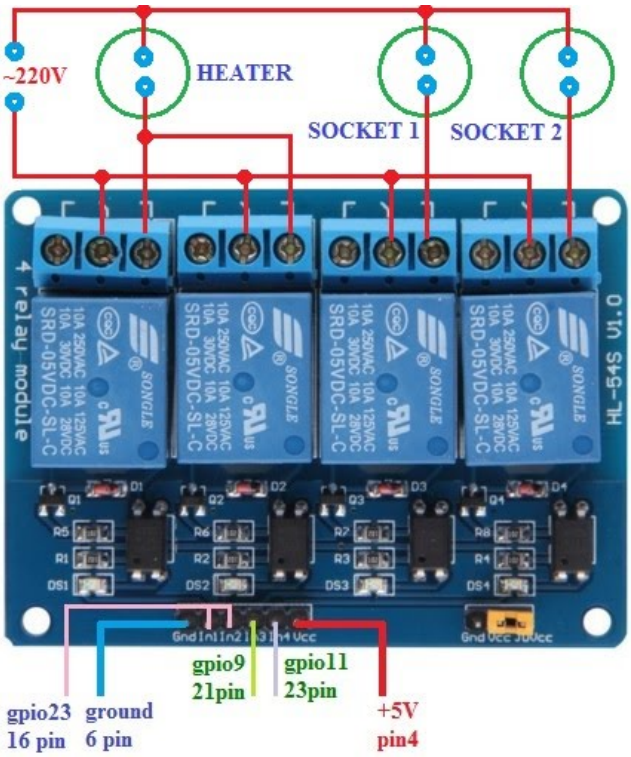


Рис. 9. Подключение релейного модуля к пинам Raspberry Pi и розеткам

Выводы

1. Показана практическая возможность создания надежной системы управления электропитанием через Интернет на базе миниатюрного компьютера Raspberry Pi.

2. В качестве программного обеспечения для построения web-сервера, управлением выводами порта GPIO, датчиками, для работы со скриптами на Python использован Фреймворк WebIOPi, который показал эффективность для решения подобных задач.

3. Показана возможность использования разработанного устройства в организациях, которые не могут предоставить реальные IP-адреса или DNS имена, но которые могут предоставить выход в Интернет по технологии с использованием NAT сервера, которая является самой распространенной и универсальной в настоящее время. Это отмечает высокую универсальность разработанного устройства.

4. Разработанное устройство позволяет отслеживать показания датчиков в течении длительного времен, записывая измеряемые значения в файл и графически отображая их. Здесь это показано на примере температурного датчика.

5. Необходимо отметить меньшую стоимость разработанного устройства по сравнению с существующими производственными аналогами (в 2-3 раза) [6].

6. Использование Фреймворка WebIOPi совместно с сервисом Weaved позволяет обеспечить высокую степень защиты от несанкционированного доступа к устройству управления электропитанием.

Литература

1. Мясищев А.А. Изучение возможности построения web-сервера на платформе Arduino для удаленного управления / А.А. Мясищев, С.В. Ленков, Г.Б. Жиров // Сучасна спеціальна техніка. – 2013. – № 4(35). – С. 41–50.

2. Raspberry Pi Foundation [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.raspberrypi.org/, 2016.

3. WebIOPi – The Raspberry Pi Internet of Things Framework [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://webiopi.trouch.com/, 2016.

4. Мясищев А.А. Интернет электророзетка на основе мини компьютера Raspberry Pi и Фреймворка WebIOPi. Практика для студентов [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://sites.google.com/site/webstm32/internet_rozetka, 2016.

5. Manage Networked Devises From Anywhere [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.weaved.com/, 2016.

6. Netping. Устройства мониторинга серверных комнат и удаленного управления электропитанием [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.netping.ru/, 2016.

7. Комплексная система домашней автоматизации на Raspberry Pi. 2014 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://electromost.com/.

Рецензія/Peer review : 30.5.2016 р. Надрукована/Printed : 6.6.2016 р.
Статья прорецензирована редакционной коллегией

УДК 519.7:378.147

А.М. МЕЛЬНИК
Тернопільський національний економічний університет

РОЛЬ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ АВТОМАТИЗОВАНОГО НАВЧАННЯ В ПІДВИЩЕННІ ВІДВІДУВАНОСТІ ВЕБ-САЙТІВ

В роботі запропоновано метод адаптивного управління структурою процесу навчання, який забезпечує суттєве підвищення ефективності засвоєння навчальних матеріалів, що формує зростання відвідуваності веб-сайту. Висвітлено поняття складності тестових завдань та ступінь її актуальності в сучасних дослідженнях. Відзначено, що підвищення ефективності формування тестових завдань вимагає автоматизації цього процесу, що включає автоматизацію оцінки складності завдань. Орієнтація методу на структурні особливості тестів дозволяє використовувати його для генерації тестів заданої складності в автоматизованих системах тестування. Ефективність запропонованих методів підтверджена експериментально.

Ключові слова: адаптивне управління, інтелектуальні навчальні системи, складність тестів, відвідуваність веб-сайту.

A.M. MELNYK
Ternopil National Economic University

MODEL OF MANAGEMENT AUTOMATED PROCESS TRAINING FOR INCREASE OF ATTENDANCE WEBSITES

Method of adaptive control structure learning, which provides significant cost savings in time without loss of learning efficiency, is proposed in this article. The concept of complication of test tasks and degree of its actuality is reflected in researches. It is marked that the increase of efficiency of forming of test tasks requires automation of this process which includes automation of estimation of complication of tasks. The orientation of method on the structural features of tests allows to use him for the generation of tests of the set complication in computerized system. Efficiency of the offered method is confirmed experimentally.

Keywords: Adaptive control, intelligent tuition systems, tests' complexity, Websites traffic.

Вступ

Сучасний веб-сайт – це розгалужена система програмних, інформаційних, медійних засобів, логічно пов'язаних між собою, а отже затрати часу і ресурсів на його створення та підтримку невпинно зростають. Тому серед розробників сайтів виділилася категорія професійних дослідників якості цих продуктів. Такого роду спеціалісти об'єднуються в компанії із надання послуг на платній основі. Однак ця діяльність носить радше характер мистецтва, оскільки її наукові засади мало досліджені, а методи носять рецептурний та суб'єктивний характер, що викликає часті дискусії у веб-спільноті [1, 2].

Очевидно, що інформація веб-сайту повинна бути достатньо різноманітною. Для спрощення доступу до неї сайт володіє певною структурою. Вона є базою для побудови інформаційного наповнення. Елементи інформаційного наповнення відрізняються як тематикою, так і ступенем і способом впливу на цільову аудиторію. Їх аналіз дозволив виділити наступні основні функції сайту: представницька, інформаційні послуги, он-лайн послуги. Представницька функція забезпечується звичайним вмістом сторінок сайту і представляє особливості функціонування об'єкту. Інформаційні послуги надаються за рахунок тематичних колекцій інформаційних сторінок або інформаційних ресурсів. Он-лайн послуги надаються за допомогою спеціальних он-лайн сервісів. Коли представницька функція як правило не може збільшити аудиторію сайту, то наступні дві можуть суттєво її розширити. Особливу роль тут відіграють он-лайн сервіси, оскільки вони забезпечують постійний потік користувачів. Тематика сервісів веб-сайту повинна узгоджуватися із функціональними задачами об'єкта, якого цей ресурс представляє.

Постановка задачі

В підвищенні популярності веб-сайтів навчальних підрозділів суттєву роль можуть відіграти веб-сервіси контролю знань, що будуть інтенсивно використовуватися як сегментами студентів, так і сегментами абітурієнтів цільової аудиторії при умові набуття такими сервісами навчальних функцій. Постійний інтерес цільової аудиторії може бути забезпечений лише при автоматичній генерації завдань та високій ефективності самого навчання. Перша особливість робитиме кожен новий сеанс із системою унікальним, а друга – привабливим для споживача.

Метою дослідження є реалізація методу адаптивного управління структурою автоматизованого навчання та моделі оцінки складності тестових завдань для зростання відвідуваності сайтів в мережі Інтернет. Виходячи з мети, необхідно виділити такі основні задачі дослідження, а саме:

- систематизація основних проблем, які виникають в процесі підвищення відвідуваності веб-сайтів;
- розробка моделі оцінки складності тестових завдань та її адаптація в умовах просування сайту;
- створення методу управління структурою процесу навчання для забезпечення необхідного рівня успішності з метою підвищення відвідуваності веб-сайтів навчальних підрозділів;
- дослідження впливу розроблених методів та програмних засобів на відвідуваність веб-сайтів навчальних підрозділів.

Модель оцінки складності тестових завдань та її ідентифікація

Особливо актуальним є завдання оцінки складності завдань в автоматизованих системах тестування, які використовуються як додаткові веб-сервіси в навчальних веб-орієнтованих системах. На сьогоднішній

час навіть порівняно складні моделі для цих систем не дають помітної ефективності в формуванні наборів тестів. Аналізуючи сучасні методи оцінки складності тестових завдань, необхідно відзначити, що практично усі вони базуються на статистичних оцінках або структурному аналізі. Статистичні методи вимагають великої вибірки, а методи на основі структурного аналізу – супроводжуються суб'єктивністю. Тому виникла задача створення адаптивно-структурного методу оцінки складності, що поєднував би переваги структурного аналізу та статистичних методів, та дозволяв проводити апріорну оцінку складності автоматично згенерованих тестових завдань [3–5].

Контроль знань за допомогою тестових завдань полягає в представленні сукупності альтернативних тверджень, серед яких необхідно вибрати вірні. З класичної теорії тестів та теорії тестування IRT відомо, що складність тестового завдання залежить від правдоподібності неправильних відповідей, тобто чим краще підібрані дистрактори (неправильні відповіді) тим складніше завдання. Встановлено, що вища частка вибору неправильних відповідей в процесі тестування, свідчить про вищу якість формування тесту.

Нехай тестові твердження представляються наступним чином:

$$O_i \to \{A_{i1},...A_{iN}\}, \tag{1}$$

де O_i – основна частина тестового твердження; A_{ij} – альтернативні специфікації тестового твердження; N – кількість альтернатив.

Оскільки у більшості автоматизованих систем тестування використовуються тестові завдання закритого типу (багато альтернативні та одноальтернативні) [4, 5], то для побудови оцінок складності тестових завдань розглянемо саме цей випадок.

Будемо оцінювати реальну складність RCS_i розв'язання тестових завдань на основі відносної частоти невірних відповідей на них. Тому значення функція складності повинна приймати із інтервалу [0, 1]. В теорії оцінки параметрів тестування IRT моделі будуються на основі неспостережуваних (латентних) змінних. Оскільки ми хочемо контролювати складність завдань, то параметри моделі складності повинні бути легко спостережувані.

В результаті попереднього аналізу проведених експериментів було встановлено, що складність тестового завдання залежить від кількості N альтернатив в ньому та від близькості його альтернатив до вірної. Міру такої близькості пропонується оцінювати за допомогою показників формальної F та композиційної D спорідненості альтернатив із основою.

Формальна спорідненість встановлюється при генерації тестового завдання і приймає максимальне значення коли альтернатива вірна, проміжні значення при наявності спільних фрагментів із вірною альтернативою та мінімальні значення, при відсутності будь-яких спільних фрагментів із вірною альтернативою. Показник композиційної спорідненості приймає максимальне значення при належності альтернативи до того ж підрозділу, що і основа тестового завдання, проміжне значення, при належності окремого фрагмента альтернативи до підрозділу, що включає основу тестового завдання та мінімальне значення при належності альтернативи до підрозділу, що не включає основу тестового завдання [5, 6].

Дані показники не є абсолютно незалежними, хоча і не зводяться один до одного. Так, якщо $D = D_{\min}$, то $F = F_{\min}$ і якщо $F = F_{\max}$, то $D = D_{\max}$. Однак проміжні значення цих параметрів не містять таких однозначних залежностей. Зокрема, значенню $D = D_{avg}$ можуть відповідати значення як $F = F_{\min}$, так і $F = F_{avg}$, чим забезпечується незалежність показників. Тут індексами $\min, avg, \max$ позначаються мінімальні, середні та максимальні значення відповідних показників.

$$F = \begin{cases} \alpha_0 - \textit{заздалегіть невірна} \\ \textit{альтернатива} \\ \alpha_0 + \beta_2 - \textit{невірна альтернатива}, \\ \textit{що близька до вірної} \\ \alpha_0 + 2\beta_2 - \textit{вірна альтернатива} \end{cases} \tag{2}$$

де α_0 – оцінка сили впливу кількості заздалегідь невірних альтернатив на її складність, β_2 – градація автентичності. При цьому:

$$\alpha_0 = \begin{cases} 0 - \textit{вплив не суттєвий}, \\ 1 - \textit{вплив суттєвий}. \end{cases} \tag{3}$$

Фактори композиційної та формальної спорідненості вимірюються на рівномірних шкалах із відповідними градаціями

$$D = \begin{cases} 1 - \textit{повна документованість} \\ 1 + \beta_1 - \textit{відносна документованість} \\ 1 + 2\beta_1 - \textit{утруднена} \\ \textit{документованість або її відсутність} \end{cases}, \tag{4}$$

де β_1 – градація документованості.

Оскільки взаємодія факторів не носить лінійного характеру, то моделюємо її однією із

найпростіших нелінійних залежностей – мультиплікативним механізмом:

$$CS^*_{i\,j}\left(F_{ij}, D_{ij}\right) = D_{ij}(\beta_1)\cdot F_{ij}(\beta_2)\,, \tag{5}$$

де $CS^*_{i\,j}\left(F_{ij}, D_{ij}\right)$ – функція складності j-ї альтернативи; INV – поправка на складність у врахуванні негативного представлення основної частини тестового завдання, яке прирівнюється до появи ще однієї вірної альтернативи.

Процедуру ідентифікації здійснимо на основі співвідношення

$$\sum_{i=1}^{CTt}\left(RCS_i\left(\vec{\beta}\right) - REA_i\right)^2 \underset{\vec{\beta}}{\rightarrow} \min\,, \quad \beta_1, \beta_2 \geq 0 \tag{6}$$

де REA_i – відносна частота помилкових відповідей; RCS – функції градацій композиційної та формальної спорідненості альтернатив; EA_i – частота помилкових відповідей на i -е тестове завдання; MEA – максимальна частота помилкових відповідей; CTt – кількість тестових завдань.

Ідентифікація реалізується на основі алгоритму Левенберга-Марквардта із використанням процедури nlinfit в програмному середовищі моделювання MatLab. При цьому застосовується метод дзеркальних відображень, що запропонований в [5, 6], який полягає у використанні $|\beta_i|$ замість β_i в представлені (6).

На рис. 1 представлено результати апроксимації відносних частот функцією складності. В ході експериментів встановлено, що параметр оцінки сили впливу кількості заздалегідь невірних альтернатив α_0 доцільно покласти рівним 1. При цьому вектор коефіцієнтів функції складності для формули (5) отримав представлення $\vec{\beta} = [0.16\ \ 1.28]$.

Максимальне відхилення прогнозованої складності від частоти помилок становило 27%. Однак оскільки для контролю знань на практиці використовуються набори тестів, то інформативною оцінкою відхилення функції складності від частоти слід вважати її середнє значення. Для цього випробовування воно склало 11 %, що дозволяє використовувати побудовану модель для формування тестових наборів заданої складності із достатньою для практики точністю.

Орієнтація методу на структурні особливості тестів дозволяє використовувати його для генерації тестів заданої складності в автоматизованих системах тестування.

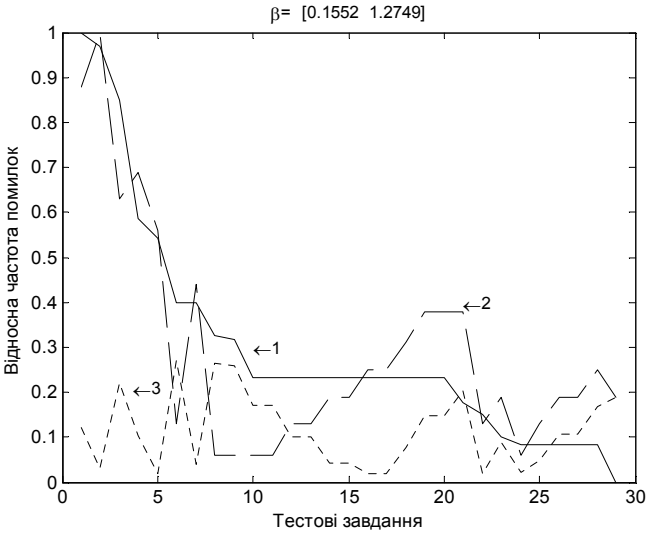


Рис. 1. Апроксимація відносних частот функції складності (модельована відносна складність тесту (1), відносна частота помилок (2), відхилення прогнозованої складності від частоти (3)

Управління процесом автоматизованого навчання з використання веб-сервісів контролю знань

Застосування тестів дозволяє мінімізувати витрати часу викладача на процес контролю правильності знань та активізувати процес її самоконтролю, які є цільовими компонентами структури процесу автоматизованого навчання. Якість самопідготовки студентів зростатиме якщо тестові завдання впорядковувати по наростанню складності. Питання оцінки складності завдань досліджувалося в роботах [5, 6], та обґрунтовано в попередньому підрозділі даної роботи, де було описано ефективний підхід до оцінки складності тестових завдань на основі мало-параметричної регресійної моделі, параметри якої ідентифікуються по невеликій вибірці тестів для конкретних студентських аудиторій та типів тестових завдань. Даний підхід дозволяє генерувати рівноцінні набори тестових завдань, а також забезпечувати адаптацію студентів до наростання їх складності.

Однак диференціювання складності завдань дозволяє не тільки нарощувати складність завдань, але й управляти тривалістю підготовки по тестах для отримання реально досяжного рівня успішності по сукупності предметів при обмеженому ресурсі часу відведеного на підготовку. Актуальність цієї задачі випливає із потреби в забезпеченні вузької спеціалізації при достатньо високому загальному рівні підготовки та недостатньому їх висвітленню в наукових публікаціях.

Серед близьких робіт до даної тематики варто відзначити роботи [7–9]. Однак абстрактний класифікаційний підхід не дозволяє врахувати індивідуальні особливості суб’єктів навчального процесу, а формування індивідуальної траєкторії навчання в [9] базується на врахуванні великої кількості суб’єктивних оцінок важко спостережуваних факторів.

Задачу управління ефективністю навчання розглядаємо як мінімізацію часу на досягнення бажаного рівня успішності по окремій темі [9, 10]. При початковому тестуванні студентові пропонуються тести всіх

рівнів складності. Отримані значення успішності дозволяють оцінити її динаміку лінійною функцією по кожному рівню. При отримані наступної точки спостереження по вибраному рівні складності переходимо до двопараметричної степеневої апроксимації:

$$U_k^{s,tm,nt}(T) = \begin{cases} \dfrac{U_k^{s,tm,1}}{t_k^{s,tm,nt}} T, \text{ коли } nt = 1 \\ \min\left\{ A_k^{s,tm,nt} T^{\gamma_k^{s,tm,nt}}, 1 \right\}, \text{ коли } nt > 1 \end{cases}, \quad (7)$$

де $U_k^{s,tm,nt}$ – функція залежності успішності від часових витрат; t – поточний час ознайомлення із навчальними матеріалами в системі; T – часові витрати; $A_k^{s,tm,nt}, \gamma_k^{s,tm,nt}$ – параметри регресійної функції; nt – номер навчального тестового контролю.

В результаті застосування розробленої моделі встановлено, що адаптивне управління структурою навчального процесу при автоматичній генерації тестів із врахуванням їх складності забезпечує суттєву економію часових витрат без втрати ефективності засвоєння навчальних матеріалів, яка дозволяє будувати покращені оперативні навчальні стратегії в межах локальних тем або модулів. Таке управління дозволяє розширити аудиторію користувачів навчальної веб-орієнтованої системи, а це в свою чергу сприяє сприяє підвищенню відвідуваності Інтернет ресурсів на яких вона розміщена.

Для проведення експериментів використано результати навчального тестування в ході підготовки до здачі модуля з дисципліни «Засоби програмування баз даних і знань». Аналіз застосовано до представників категорій студентів, що характеризуються невисоким, середнім та високим рівнями базової підготовки, який визначається на основі попереднього аналізу їх успішності.

Суть експериментальних досліджень зводилася до оцінки витрат часу для досягнення бажаного рівня успішності по трьох рівнях складності навчальних матеріалів для студентів із різними ступенями базової підготовки. Для кожного студента фіксувалися його показники успішності при освоєнні завдань різного рівня складності шляхом розподілу затраченого часу пропорційно кількості розв'язаних завдань кожного рівня. Функція успішності студентів в освоєнні навчального матеріалу міняється після кожного сеансу навчання і остаточно проявляється лише на завершальних його етапах.

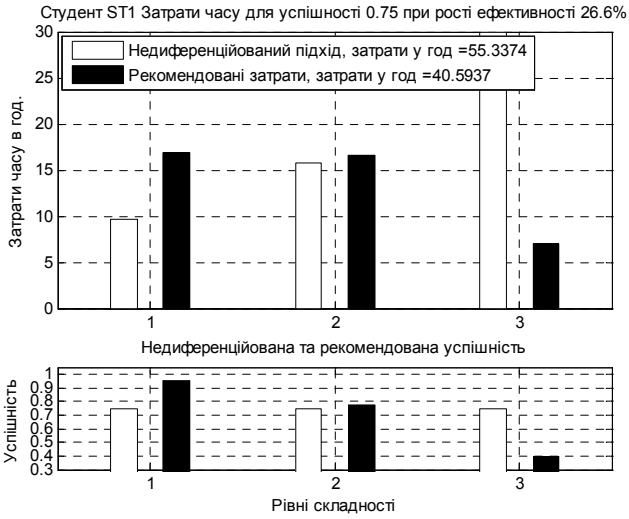


Рис. 2. Управління процесом навчання з використанням веб-орієнтованої системи

На рис. 2 наведено результати управління витратами часу для студента із невисоким рівнем базової підготовки для досягнення успішності 0.75. У порівнянні з недиференційованим підходом ефективність склала 26.6 %. Якщо розглянути розподіл часу по рінях складності, то тут варто відзначити суттєву економію для вивчення навчальних розділів, які формують найскладніший рівень тестового розподілу.

Розподіл тестових завдань по рівнях складності та адаптивне управління дозволяє оцінити можливості кожного студента (часові, індивідуальну підготовку, кінцеву мету навчання) та сформувати вірну навчальну стратегію в межах локальних тем або модулів.

Експериментальні дослідження

Усі запропоновані підходи покладено в основу інформаційної технології автоматичної генерації тестових завдань з керованою складністю, яка дозволяє мінімізувати часові витрати як викладачів так і студентів в процесі як традиційного, так і дистанційного навчання. Цей підхід реалізовано в рамках системи SAGT (System of the automatic generation of tests), яка створена засобами технологій PHP та MySQL з елементами JavaScript [1, 11].

Дана система розміщена як окремий веб-сервіс на офіційному сайті Факультету комп'ютерних інформаційних технологій Тернопільського національного економічного університету. На рис. 3 показано динаміку зростання кількості користувачів до використання веб-сервісу (січень 2016 року) і після впровадження. Дані спостереження підтвердили ефективність запропонованих підходів.

Висновки

В статті розглянуто основні фактори, що впливають на відвідуваність веб-сайту та виділено роль автоматизованих систем контролю знань із навчальними функціями в підвищенні відвідуваності веб-сайтів навчальних підрозділів. Представлено модель та метод оцінки складності тестових завдань на основі показників формальної та композиційної спорідненості, який поєднує переваги статистичних та структурних

методів. Показано, що адаптивне управління структурою навчального процесу при автоматичній генерації тестів із врахуванням їх складності забезпечує суттєву економію часових затрат без втрати ефективності. Експериментально підтверджено, що веб-сервіси контролю знань дозволяють суттєво підвищити відвідуваність сайтів навчальних підрозділів.

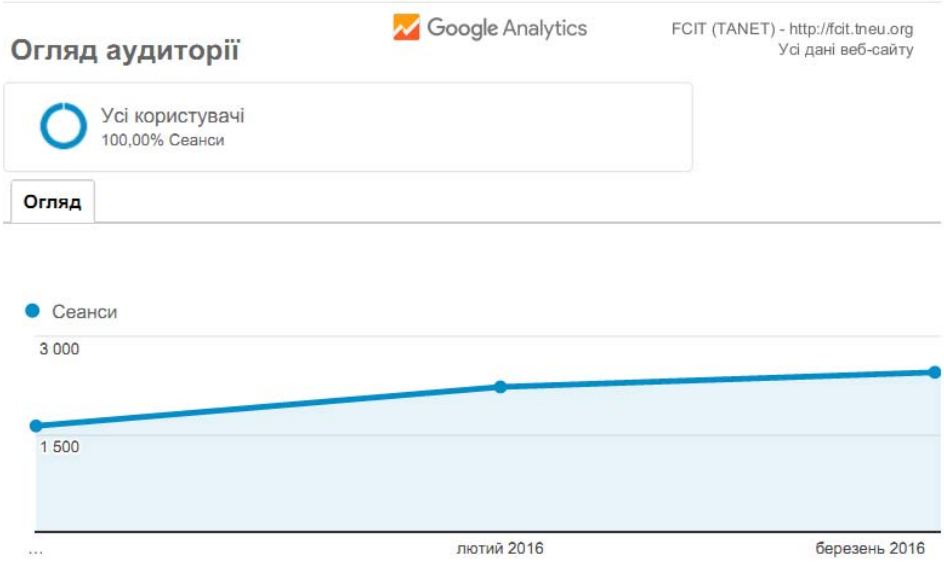


Рис. 3. Відвідуваність сайту після впровадження додаткових сервісів у веб-орієнтованих системах

Література

1. Мельник А. М. Автоматична генерація тестових завдань різних типів / А. М. Мельник // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 4. – С. 124–129.
2. Pasichnyk N. Management the website attendance based on the projected traffic / N. Pasichnyk, A. Melnyk, N. Dobrovolska // The Expirence of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics. Proceedings of the International Conference. CADSM ’2013. – Lviv-Polyana, Ukraine, 2013. – 277 p.
3. Мельник А.М. Метод генерації тестових завдань на основі системи семантичних класів / А.М. Мельник, Р.М. Пасічник // Вісник ТДТУ. — 2010. — Том 15. — № 1. — С. 187–193.
4. Мельник А. М. Метод адаптивного управління структурою процесу навчання / А. М. Мельник, Р. М. Пасічник // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – № 1. – С. 132–137.
5. Мельник А.М. Модель оцінки складності тестових завдань / А.М. Мельник, Р.М. Пасічник // Науковий вісник Чернівецького університету : збірник наук. праць. Комп’ютерні системи та компоненти. — 2009. — № 479. — С. 108–113.
6. Pasichnyk R. Modeling of effective studies in Adaptive Educational Systems / R. Pasichnyk, A. Melnyk // The Expirence of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics. Proceedings of the International Conference. CADSM ’2009. – Lviv-Polyana, Ukraine, 2009. – P. 248–250.
7. Pasichnyk R. Modeling of Cognitive Processes for Bio-Technical Systems / R. Pasichnyk, A. Melnyk // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the International Conference. TCSET’2008. – Lviv-Slavsko, Ukraine, 2008. – P. 27–28.
8. Мельник А.М. Моделювання результативності навчання в інтелектуальних адаптивних навчальних системах / А.М. Мельник, Р.М. Пасічник // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія : міжнародний науково-технічний журнал. — 2009. — № 3. — С. 107–117.
9. Pasichnyk R. Method of Adaptive Control Structure Learning Based on Model of Test's Complexity / R. Pasichnyk, A. Melnyk, N. Pasichnyk, I. Turchenko // Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications Proceedings of the 6th IEEE International Conference IDAACS’ 2011, Volume 2 (Prague, Czech Republic, 15–17 September 2011) / IEEE Ukraine I&M / CI Joint Societies chapter, Research Institute for Intelligent Computer Systems, 2011. – P. 692–695.
10. Lendyuk T. Individual learning path building on knowledge-based approach / T. Lendyuk, A. Melnyk, S. Rippa, I. Golyash, S. Shandruk // Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications Proceedings of the 8th IEEE International Conference IDAACS’ 2015, Volume 2 (Warsaw, Poland, 24–26 September 2015) / IEEE Ukraine I&M / CI Joint Societies chapter, Research Institute for Intelligent Computer Systems, 2015. – P. 949–954.
11. Pasichnyk N. Mathematical modeling of the Website quality characteristics in dynamics / N. Pasichnyk, M. Dyvak, R. Pasichnyk // Journal of Applied Computer Science / Technical University Press – Lodz, Poland. 2014. – V. 22, № 1. – P. 171–183.

Рецензія/Peer review : 11.5.2016 р. Надрукована/Printed : 6.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н. Березький О.М.

УДК 62-752-62-755: 621.634

А.А. БУРЛАКОВ
Хмельницький національний університет

ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ ПОСТІЙНОГО СХОВИЩА ДАНИХ ПІД ЧАС РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА JAVA-ПЛАТФОРМІ

Проаналізовано потреби ринку розробки програмного забезпечення в сучасних мовах та технологіях програмування. Показано доцільність використання об'єктного підходу при розробці сучасних програмних продуктів. Досліджено різні моделі даних та типи систем управління базами даних. Проведено аналіз ринку сучасних об'єктно-орієнтованих СУБД.

Ключові слова: мова програмування java, база даних, система управління базами даних, розробка програмного забезпечення, моделі даних, об'єктний підхід до розробки.

A.A. BURLAKOV
Khmelnytskyi National University

CHOICE A DATA STORAGE DURING SOFTWARE DEVELOPMENT ON JAVA-PLATFORM

Analyzes the market of modern languages and programming technologies. Established that the Java programming language last six years is the most popular language for software development. We discuss about object-oriented approach in the development of modern software. In the article we can see the various data models and database management systems such as flat, hierarchical, network, document-oriented, relational, object-oriented, object-relational. It shows the advantages and disadvantages of these data models. It was found the advantages of object-oriented databases, which in the design of certain types of applications are the most important We have analyzed the rating object-oriented databases.

Keywords: java, database, database management system, software development, data model, object approach to development.

Якщо переглянути результати аналізу рейтингу різних мов програмування на ринку розробки програмного забезпечення (ПЗ) за 2015 рік та за минулі шість років (рисунки 1–3), проведеного авторитетним аналітичним інтернет-ресурсом dou.ua [1], то можна впевнено сказати, що мова java, та технології на її основі, стабільно займають перше місце в рейтингу і ця тенденція є незмінною за останні шість років.

Такої широкої популярності серед розробників програмного забезпечення мова програмування java набула завдяки своїй кросплатформності (незалежності написаного коду від програмно-апаратного забезпечення, на якому цей код буде виконуватись), безперервному оновленні з врахуванням сучасних тенденцій в програмуванні, наявності «Загальної публічної ліцензії» (GNU) [2]. Сучасні java-технології дозволяють вирішувати переважну більшість задач програмістів, починаючи з розробки невеличких додатків для портативних пристроїв і закінчуючи великими корпоративними системами.

В наш час найбільшої популярності серед java-програмістів набув об'єктно-орієнтований підхід до розробки програмних систем. Цей підхід передбачає наступний спрощений сценарій розробки: виявляється функціонал майбутньої системи (сукупність прецедентів) та актори, які задіяні в його роботі; для кожного прецеденту виявляються об'єкти, які в процесі взаємодії забезпечують логіку виконання прецеденту; створюється спочатку структура системи в рамках кожного варіанта використання; потім розробляється структура всієї системи з врахуванням переваг, що надають архітектурні та дизайнерські шаблонні рішення; відбувається реалізація системи з використанням оптимальних технологій програмування. Але в цьому процесі центральною ланкою є об'єкт з його станами і поведінкою. Серед різних типів об'єктів, що беруть участь в реалізації прецедентів, можна виділити об'єкти, призначення яких полягає в інкапсуляції даних предметної області. Такі об'єкти носять назву об'єкти-сутності (entity) і капсульовані в них дані мають бути узгоджені з постійними сховищами даних (бази даних, файли, тощо). Вибір найбільш оптимального типу сховища та конкретного представника цього типу для java-додатка, стає не тривіальною задачею.

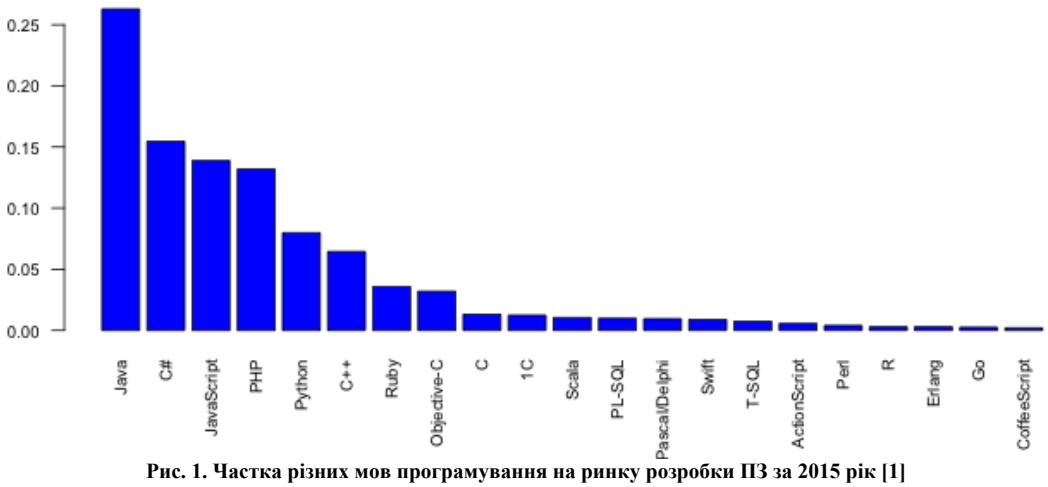


Рис. 1. Частка різних мов програмування на ринку розробки ПЗ за 2015 рік [1]

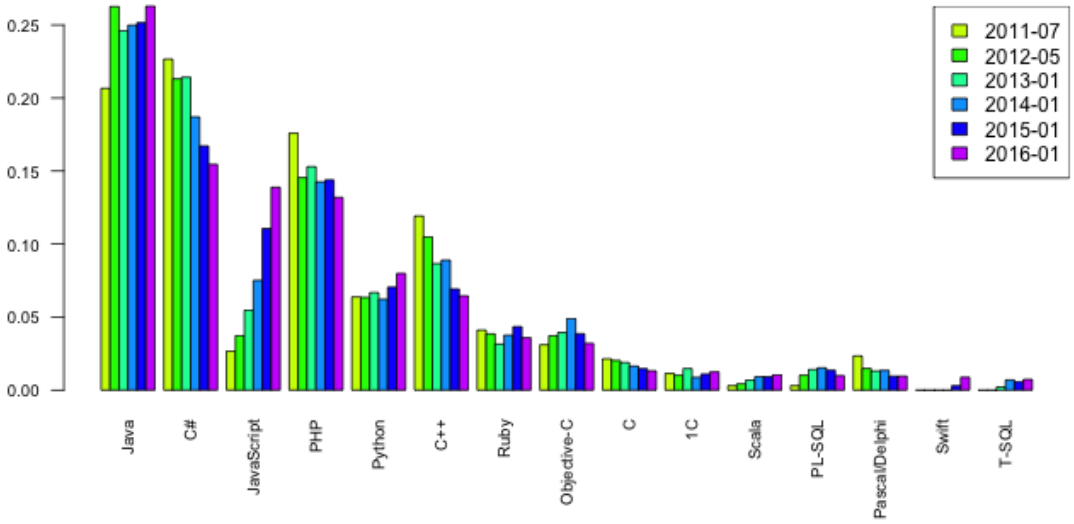


Рис. 2. Динаміка зміни частки різних мов програмування на ринку розробки ПЗ за 2011–2016 роки [1]

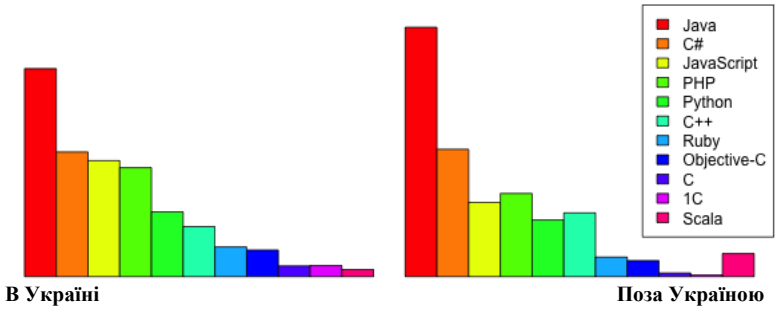


Рис. 3. Розповсюдженість різних мов програмування серед розробників ПЗ в Україні та поза її межами [1]

Метою роботи був аналіз різних типів сховищ даних та ефективність їх використання для моделювання різних видів предметних областей об’єктами-сутностями.

В переважній кількості випадків розроблювані комп’ютерні системи працюють з інформацією, яку забезпечують системи управління базами даних (СУБД). Усі існуючі бази даних можна розділити за їх моделями даних, які описують те, як дані будуть збережені, організовані та яким чином ми можемо ними маніпулювати. До основних моделей баз даних (БД) належать: плоска, ієрархічна, мережева, документо-орієнтована, реляційна, об’єктно-орієнтована, об’єктно-реляційна [3, 4].

Для характеристики вищезазначених моделей даних з точки зору надійності і передбачуваності системи транзакцій, можна використати акронім ACID, який описує: атомарність, узгодженість, ізольованість та довговічність. Згідно з цими принципами ми отримуємо надійну та контрольовану транзакційну систему. На рисунку 4 зображено, які моделі баз даних відповідають вимогам ACID повністю, а які тільки частково.

Рис. 4. Відповідність вимогам ACID моделей баз даних

Як бачимо, вимогам ACID повністю відповідають: реляційна, об’єктно-орієнтована та об’єктно-реляційна моделі бази даних. Інші моделі якщо й і відповідають ACID, то не повністю. Тому ті моделі, які не відповідають вимогам ACID не доречно використовувати для систем, яким потрібна надійна збереженість даних та їх цілісність. Коротко покажемо, що представляють собою моделі даних, які відповідають вимогам ACID [5].

Реляційна модель – це одна із найпопулярніших моделей на ринку баз даних. Головним елементом даної моделі є таблиця. Таблиця представляє собою окремий об’єкт, який має свої атрибути (в таблиці це поля). Кожна стрічка в таблиці це окремий запис. Кожна таблиця має свій первинний ключ, який виражається у вигляді окремого поля таблиці, і містить унікальні ідентифікатори записів. Ці ідентифікатори потрібні для розрізнення записів між собою та організації зв’язків. Зв’язки в реляційній моделі можуть бути трьох видів: “олин-до-одного”, “один-до-багатьох” та “багато-до-багатьох”. Зв'язок “один-до-одного” реалізується шляхом зв’язку двох первинних ключів двох таблиць. “Один-до-багатьох” реалізується шляхом додавання додаткового поля (вторинний ключ) до таблиці із сторони “багато” – це поле буде зв’язане із первинним ключем таблиці із сторони “одного”. Зв’язок “багато-до-багатьох” реалізується шляхом

додавання ще однієї таблиці де будуть зберігатись вторинні ключі для зв'язку із кожною таблицею. Можна відмітити такі сильні сторони реляційної моделі: має найбільш поширене використання на теперішній час; здійснює контроль над транзакціями; присутній багатокористувацький доступ до БД; наявність стандартів; ґрунтується на чітко сформованому математичному апараті; присутній контроль цілісності даних.

Об'єктно-орієнтована модель - це модель, в основу якої покладено принципи об'єктно-орієнтованого програмування. Згідно цієї моделі, дані представлені у вигляді класів та об'єктів, зв'язаних між собою зв'язками. Сукупність класів моделює предметну область. Об'єкти реалізуються класами, які є деяким шаблон, по якому будуються об'єкти. Кожен об'єкт характеризується набором характеристик. Кожна із характеристик містить якісь дані, що пасивно характеризують об'єкт. Для роботи з класом в класі міститься набір методів. Кожен метод є набором деяких операцій, які виконуються над об'єктом. Зв'язки між об'єктами забезпечуються завдяки методам та характеристикам, які мають класовий тип даних. Кожному об'єкту, при створенні, надається унікальний ідентифікатор (OID), який ніколи не змінюється підчас існування об'єкта.

Розглянемо, як виглядає процес розробки ПЗ при об'єктному підході, якщо використовувати реляційні та об'єктні моделі даних. Як було описано вище, реляційні БД побудовані на базі таблиць та трьох видів відношень між ними. Таким чином, щоб побудувати деяку структуру бази даних потрібно зібрати дані по предметній області і провести їх нормалізацію. В результаті цього ми отримаємо таку структуру даних, в якій інформація про окремий об'єкт може міститись в декількох таблицях, зв'язаних між собою певними відношеннями (рис. 5). Якщо ж використовувати об'єктно-орієнтований підхід до розробки, то дані організуються у вигляді окремих класів, а в результаті і об'єктів. А тепер уявімо, на скільки важко буде організувати перетворення даних в об'єкти і навпаки, при роботі із реляційною БД. І ще додати до цього витрачений процесорний час на перетворення. На відміну від реляційних БД, дані в об'єктно-орієнтованих БД зберігаються в об'єктах без перетворень, не витрачаючи зайвий раз процесорний час (рис. 6).

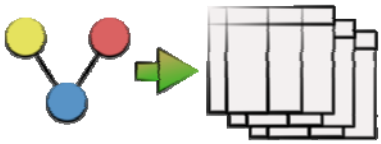


Рис. 5. Збереження даних в реляційних БД

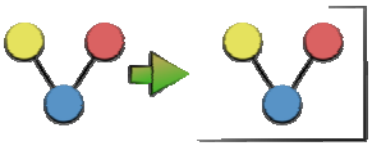


Рис. 6. Збереження даних в об'єктно-орієнтованих БД

На рисунках 7 та 8 показано процес розробки ПЗ з використанням реляційної та об'єктної бази даних відповідно. Як видно з рисунків, робота з об'єктно-орієнтованими БД зменшує час (або кількість етапів) розробки у двічі. Розробка самої БД займає на 40–80% менше часу ніж розробка реляційної БД.

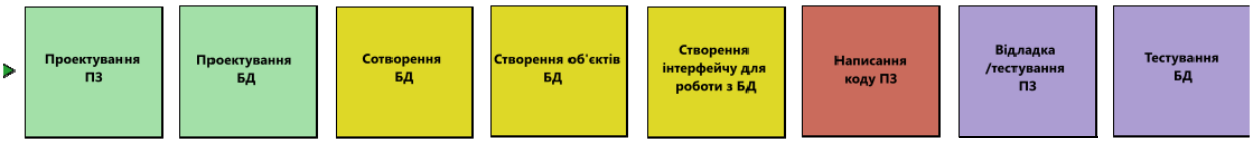


Рис. 7. Процес розробки програмного забезпечення із використанням реляційної БД

Рис. 8. Процес розробки програмного забезпечення з використанням об'єктно-орієнтованої БД

Крім того, об'єктно-орієнтована модель бази даних надає декілька цікавих особливостей, яких не може дати реляційна модель баз даних. До таких особливостей належать: інкапсуляція, наслідування та поліморфізм. В загальному, ці особливості надають можливість розрізняти дані у вигляді деяких сутностей, внутрішній механізм яких закритий від користувача. При розробці об'єктної моделі розробнику доступний механізм наслідування та перевизначення методів. В сумі все це пришвидшує розробку і полегшує модифікацію та експлуатацію об'єктно-орієнтованої бази даних. Таким чином, можна відмітити такі сильні сторони об'єктно-орієнтованої моделі: має найбільш поширене використання на теперішній час; повноцінна підтримка об'єктно-орієнтованого підходу; контроль цілісності даних зі сторони бази даних; інтеграція із об'єктно-орієнтованими мовами програмування без посередників; легке видалення даних; легка модифікація зв'язків між об'єктами; простота масштабування; велика швидкодія.

Об'єктно-реляційна модель представляє собою деяку гібридну модель із більш низькою продуктивністю роботи і об'єднує в собі реляційну базу даних та механізм перетворення даних в об'єкти. Саме механізм перетворення і відрізняє дану модель від реляційних баз даних. Механізм перетворення даних може знаходить як на стороні СУБД, так і на стороні клієнта. В першому випадку користувач буде отримувати дані у вигляді повноцінних об'єктів, які він легко може обробити, в другому випадку змушений

утворювати відображення об’єктів на таблиці сам з використанням більш повільної технології ORM (з англійської – об’єктно-реляційне відображення). Можна відмітити такі позитивні сторони об’єктно-реляційної моделі: більш тісна інтеграція з об’єктно-орієнтованими мовами програмування;, ніж у реляційних моделей; допомагає скоротити час при розробці; достатньо широка поширеність.

Існують деякі об’єктивні причини, що спонукають науковців та розробників ПЗ звертати все більше уваги в сторону використання об’єктних СУБД, незважаючи на таку широку розповсюдженість реляційних та об’єктно-реляційних моделей, а саме:

- обмеження реляційних та об’єктно-реляційних моделей;
- вимоги деяких видів сучасних додатків;
- популярність об’єктно-орієнтованої парадигми.

Спочатку розглянемо обмеження табличних моделей даних:

- погане представлення реальних об'єктів: реляційна модель не може представляти реальний світ в правильний шлях, бо має тільки одну семантику, яка базується на таблицях. Дуже важко іноді зрозуміти реальні зв’язки між об’єктами через «призму» таблиць;
- недостатньо повноцінна підтримка обмежень цілісності і виробничих обмежень (enterprise constraints), бо таблична модель підтримує тільки незначне число обмежень, в той час як виробничі обмеження визначаються галузевими стандартами;
- складність в обробці рекурсивних запитів: існує дуже погана підтримка для обробки рекурсивних запитів;
- при маніпулюванні даними через SQL відсутня обчислювальна повнота [7]. Щоб подолати цю ситуацію, необхідно вбудовувати SQL в конструкції високорівневих мов програмування, таких як Java;
- погана підтримка довготривалих транзакцій: в табличних СУБД транзакції «живуть» недовго і методи та механізми управління паралелізмом погані для довготривалих операцій;
- слабка підтримка еволюції структури: під еволюцією структури передбачається внесення змін до схеми бази даних в додаток під час виконання без переривання виконання;
- поганий навігаційний доступ: існує дуже заслабка підтримка навігаційного доступу в реляційних СУБД.

Наступним блоком розглянемо деякі сучасні види додатків, які не задовольняє таблична модель.

CAD-системи (системи автоматизованого проектування): у додатків такого виду в БД зберігаються дані про елементи будівель, машин, інтегральних мікросхем, а процес проектування табличної бази даних для них може бути дуже тривалим; процес проектування в цих типах додатків не є статичним, бо структура еволюціонує в часі, оновлення повинні бути розмножені; такі додатки вимагають контролю версій і управління конфігурацією; ці додатки вимагають складних (композитних) об'єктів при створенні конструкцій. Наприклад, компоненти літака можуть бути пов'язані з іншими компонентами; в цих додатках існує потреба в підтримці спільної розробки одного проекту.

CAM-системи (системи автоматизованого виробництва): дані таких додатків дуже схожі на дані в CAD-системах, але вимагають дискретного виготовлення: ці додатки повинні реагувати на події реального часу; алгоритми і вимоги замовника мають гнучко реагувати на різні ситуації.

CASE (Засоби автоматизації розробки програм): ці додатки управляють даними протягом різних фаз життєвого циклу розробки ПЗ; розробка може тривати екстремально довго і передбачає спільну роботу; є необхідність підтримувати залежності між компонентами.

Network Management Systems (Системи моніторингу мережі): ці системи використовуються для таких завдань, як управління шляхами мережі, проблемними ситуаціями і питаннями планування мережі.

Інші види додатків, такі як: Office Information Systems (Інформаційні системи автоматизації офісних задач), Multimedia Systems (Системи підтримки мультимедіа), Digital Publishing (Цифрове видавництво), GIS-системи (Geographic information Systems або Геоінформаційна система).

І, на останок, популяризація об’єктно-орієнтованої парадигми. Вона в кращий спосіб моделює реальні життєві ситуації навколишнього світу завдяки таким аспектам як: абстракція, інкапсуляція, наслідування, поліморфізм, композицію. Так, абстракція передбачає конструювання моделі об’єкта реального світу в такий спосіб, що виділяються і програмуються тільки ті властивості і поведінка оригіналу, які потрібні саме для виконання задач в даній предметній області. Інкапсуляція вимагає конструювати об’єкт у вигляді «капсули», яка приховує від інших об’єктів свій внутрішній вміст для забезпечення його цілісності. Механізм наслідування дозволяє утворювати програмні об’єкти з автоматично унаслідуваними від своїх «предків» наборами властивостей, поведінки та типів. Поліморфізм представляє собою механізм динамічного зв’язування, завдяки якому забезпечується «слабкий» зв’язок між програмними об’єктами через те, що вони взаємодіють один з одним через посилання більш абстрактного типу, ніж сам об’єкт, що приймає участь у цьому зв’язку. Композиція дозволяє створювати програмні об’єкти, які складаються з інших об’єктів без обмежень в рівні вкладеності (наприклад об’єкт автомобіля складається з об’єктів двигуна, колес, керма, тощо. Двигун, в свою чергу, складається із інших об’єктів, що імітують вузли та деталі двигуна).

Завдяки тому, що об’єктні СУБД є все більш затребувані на ринку розробки ПЗ, варто зупинитись на їх сучасній архітектурі. Існують наступні різновиди архітектури: «клієнт-серверна» (Client-server), та вбудована (Embedded).

Клієнт-серверна СУБД має окреме програмне забезпечення для роботи із БД і розміщується на одному сервері разом з нею. Запити до бази даних обробляються централізовано. Перевагами клієнт-серверних СУБД є зручність централізованого управління, висока надійність, безпека та доступність. В наш час архітектури об'єктно-орієнтованих клієнт-серверних СУБД поділяються на три підвиди:

- Object Server. В цьому випадку забезпечується середовище для розподіленої обробки між клієнтом і сервером. Як правило, сервер відповідає за функції управління об'єктно-орієнтованою БД, а за транзакції та інтерфейс з мовою програмування відповідає клієнтська частина (рис. 9).

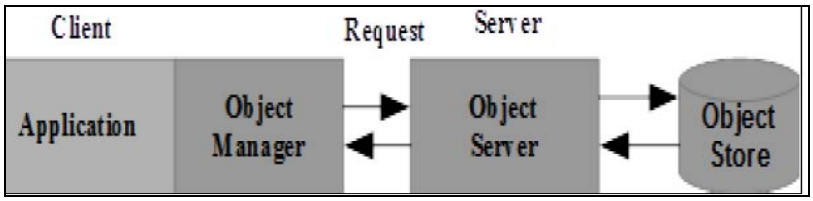


Рис. 9. Архітектура Object Server клієнт-серверної об'єктно-орієнтованої СУБД

- Page Server. У цій моделі клієнт-серверної архітектури клієнт відповідальний за роботу БД більшість часу. Вторинне управління зберіганням і реагуванням на запити здійснюється сервером. Сторінка може містити безліч комплексних об'єктів або звичайних об'єктів (рис. 10).

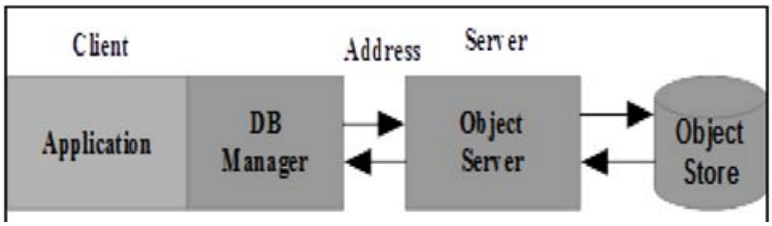


Рис. 10. Архітектура Page Server клієнт-серверної об'єктно-орієнтованої СУБД

- Database Server. При такому підході, клієнт просто передає запит на сервер, отримує результати і передає їх в додаток. Переважна частина обробки здійснюється на сервері (рис. 11).

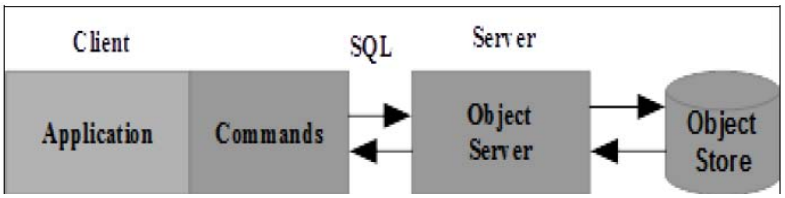


Рис. 11. Архітектура Database Server клієнт-серверної об'єктно-орієнтованої СУБД

Вбудована СУБД може використовуватись як одна із складових частин програмного продукту, який з нею працює. Може реалізовуватись у вигляді деякої бібліотеки, яку можна підключити до програмного продукту. Перевагами вбудованої СУБД є простота, швидкодія, відсутність потреби в адміністраторі БД.

При проведенні аналізу ринку об'єктних СУБД нас будуть цікавити ті представники цього типу, які підтримують зберігання java-об'єктів. Наведемо короткий список найпопулярніших представників у порядку спадання рейтингу [9].

Об'єктно-орієнтована СУБД Dv4o (або Db4object). Розробляється корпорацію Versant. Вона є вбудованою СУБД, але також може використовуватись як клієнт-серверна СУБД. Робота з даною базою даних є максимально простою. До складу вашого програмного продукту має увійти бібліотека, яка буде реалізовувати усі механізми роботи із файлом бази даних. Основні можливості: динамічний розвиток схеми; зберігання будь-яких об'єктів однією стрічкою коду; підтримка кешування об'єктів; компактність; наявність режиму «тільки для читання»; підтримка запитів на LINQ, NQ, QbE, SODA; підтримка паралельного доступу; підтримка відміни транзакції.

Вбудована об'єктно-орієнтована СУБД Perst від компанії McObject. Має такий перелік основних можливостей: компактність; наявність експорту та імпорту даних в формат XML; шифрування бази даних; швидке відновлення без log-файлів; підтримка кешування; динамічний розвиток схеми; наявність механізму стискання бази даних; підтримка управління транзакціями через саме програмне забезпечення; присутність багатокористувацького доступу; підтримка LINQ, JSQL, SQL. Однією із цікавих особливостей даної СУБД є те, що ви може керувати механізмом управління транзакціями із вашого програмного продукту.

СУБД ObjectDB. Вона може бути використана в режимі клієнт-сервер і як вбудована. На відміну від інших об'єктних СУБД, ObjectDB не надає свій власний API і є кросплатформною. СУБД обробляє більшість змін класів прозоро для програміста, включаючи додавання і видалення постійних полів, зміну типів постійних полів і зміну ієрархії класів.

Versant (VOD – Versant object database) – це клієнт-серверна БУБД, що розроблена корпорацією Versant. Має такі основні можливості: безшовне розподілення даних по декількох базах даних; висока швидкість збору даних; корпоративний рівень відмовостійкості; динамічний розвиток схеми; загальні логічні ідентифікатори об'єктів (LOID); дворівнева архітектура кешування даних; підтримка LINQ. Для даного програмного продукту було спеціально розроблено мову для запитів VQL (Versant Query Language). Але крім цього, запити можуть бути створені і за допомогою технології LINQ. Дана об'єктна СУБД використовується в дуже великій кількості галузей, таких як: телекомунікації, фінанси, оборона, урядові структури, медицина та ін.

Objectivity/DB – комерційна клієнт-серверна об'єктно-орієнтована СУБД компанії Objectivity, Inc. Має такі основні можливості: розподілена архітектура; динамічний розвиток схеми; експорт даних в XML; підтримка 32- та 64-розрядних архітектур; підтримка LINQ, PQE, EJPQL; підтримка паралельних запитів. Особливістю даної СУБД є те, що вона може організовувати розподілену архітектуру. При чому, забезпечує єдине логічне представлення 65000 баз даних, що суттєво спрощує роботу із цією архітектурою. Кожна із баз даних може займати мільйони терабайт. Objectivity/DB використовується в великих наукових центрах як CERN для накопичення великої кількості даних по результатам досліджень з прискорення елементарних частинок. Також дана СУБД використовувалась в експерименті BaBar, де зберігалось більше пентабайта інформації.

Таким чином, в роботі було проведено аналіз вимог ринку розробки програмного забезпечення в сучасних технологіях програмування. Показано, що протягом вже майже десяти років технології програмування на java-платформі залишаються самими затребуваними. Привели доцільність використання об'єктного підходу при розробці сучасних програмних продуктів, досліджено різні моделі даних та типи систем управління базами даних, що використовуються на ринку ПЗ. Показано, що застосування об'єктно-орієнтованих СУБД дозволяє значно (до 80%) скоротити терміни проектування баз даних; проведено аналіз сучасного ринку об'єктних СУБД.

Література

1. Рейтинг языков программирования // Аналітичний IT-ресурс [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://dou.ua/lenta/articles/language-rating-jan-2016/

2. General Public License // Вікіпедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://uk.wikipedia.org/wiki/GNU_General_Public_License.

3. Case-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем // Аналітичний IT-ресурс [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://citforum.ru/database/case/index.shtml..

4. Системы управления базами данных // Аналітичний IT-ресурс [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://citforum.ru/database/dblearn/index.shtml.

5. Бурлаков А.А. Використання об'єктних систем управління базами даних при розробці програмного забезпечення / А.А. Бурлаков // Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції "Актуальні проблеми комп'ютерних технологій 2014". – Хмельницький, 2014. – С. 37–54.

6. Database System: A Practical Approach to Design, Implementation and Management, by T. Connoly and C. Begg., 5th Edition, 2010, 1400 p.

7. Bertino E., Negri M., Pelagatti G. and Sbattella L. "Object-Oriented Query Languages: The Notion and the Issues", IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 4, No. 3, 1992.

8. Top object databases // Аналітичний IT-ресурс [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.decidesoftware.com/top-object-databases/

9. Системы управления базами данных // Вікіпедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://ru.wikipedia.org/wiki.

Рецензія/Peer review : 5.4.2016 р. Надрукована/Printed : 6.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф., Марченко В.Л.

УДК 62-752-62-755: 621.634

А.А. БУРЛАКОВ, О.О. БАЛИШИН
Хмельницький національний університет

ВИБІР СУЧАСНИХ ВЕБ-ОРІЄНТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОГРАМУВАННЯ ПІД ЧАС РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА JAVA-ПЛАТФОРМІ

Розробники програмного забезпечення на мові Java потребують ефективних веб-орієнтованих технологій. Краще рішення цієї проблеми полягає у використанні веб-каркасів (фреймворків). У світі існує більше сотні Java веб-фреймворків і вибір оптимального рішення вже не є тривіальним завданням. У даній статті аналізується поточний рейтинг Java веб-каркасів в світі і в пострадянському просторі. Ми розглянули структурні і функціональні особливості найбільш популярних веб-фреймворків, їх переваги та недоліки.

Ключові слова: мова програмування java, веб-фреймворк, веб-каркас, архітектура програмного забезпечення, технології програмування, програмний модуль.

A.A. BURLAKOV, O.O. BALYSHYN
Khmelnytskyi National University

CHOICE OF MODERN WEB-BASED PROGRAMMING TECHNOLOGIES DURING SOFTWARE DEVELOPMENT ON JAVA-PLATFORM

The software developers need of effective java web-oriented programming technologies. The best solution to this problem is to use a web frameworks. In the world there are more than a hundred Java web frameworks and selection of the optimal solution is not trivial task. This article analyzes the current rating of java web frameworks in the world and in the post-Soviet space. We have considered structural and functional features of the most popular web frameworks and their advantages and disadvantages.

Keywords: programming language java, web framework, software architecture, programming techniques, software module, model-view-controller design pattern.

Мова програмування java останні шість років залишається найпопулярнішою мовою для створення ефективного та гнучкого програмного забезпечення (ПЗ) [1]. Ще з моменту появи на ринку розробки ПЗ, мова java містила розвинуті базові засоби для роботи в мережі. Але широке використання веб, зростання вимог замовників до функціональності та термінів розробки програмних продуктів призвело до того, що тільки базовими технологіями задовольнитись вже стало неможливо. Почали з'являтися технології, які дозволяють вирішувати певні задачі програмування, що найбільш часто зустрічаються в розробників ПЗ, в прозорий для них спосіб. Ці технології реалізовані на перевірених часом програмних рішеннях – шаблонах проектування і носять назву каркаси (фреймворки). В залежності від затребуваності області програмування, для вирішення її стандартних задач на ринку можуть існувати одиниці, десятки і навіть сотні каркасів. Таким чином, вибір фреймворка вже не вважається тривіальною задачею і потребує ґрунтовного аналізу існуючих рішень. Для полегшення веб-розробки набули популярності каркаси веб-додатків (Web application framework, WAF) – це фреймворки, призначені для створення динамічних веб-сайтів, мережевих додатків або сервісів. Вони спрощують розробку і позбавляють програміста від необхідності написання рутинного коду. Значна їх кількість має вбудовані засоби, що спрощують доступ до баз даних, розробку інтерфейсу, і також зменшують дублювання коду. Саме вибору каркасу веб-додатків і присвячена дана робота.

Спочатку необхідно відмітити, що більша частина каркасів веб-додатків реалізовують шаблон проектування Model-View-Controller (MVC). Шаблон MVC (рис. 1), описує простий спосіб побудови структури програми, метою якого є відділення візуального відображення для користувача (view) від даних системи (model) і механізму керування процесом спілкування цих категорій (controller). В результаті, додаток легше масштабується, тестується та супроводжується.

Всі веб-фреймворки можна поділити за рівнями абстракції на три типи:

- основані на запитах: в цьому випадку фреймворк безпосередньо обробляє вхідні запити та зберігає стани за рахунок серверних сесій. Прикладом є такі Java веб-фреймворки, як Spring MVC, Struts, Grails;
- основані на компонентах: в цьому випадку фреймворк абстрагує обробку запитів всередині стандартних компонентів і самостійно слідкує за станами, наприклад: JavaServer Faces;
- Rich Internet Application-фреймворки (RIA): слугують для розробки повноцінних java-додатків, які виконуються в браузері, наприклад JavaFX.

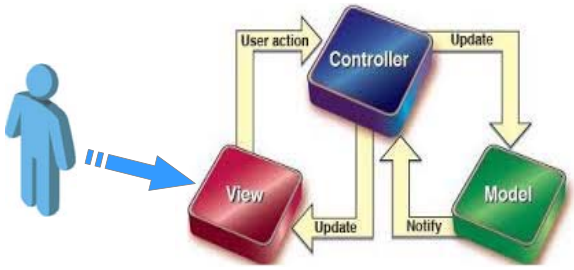


Рис. 1. Схематичне зображення принципу роботи архітектурного шаблона проектування MVC

На даний час є досить велика кількість (більше сотні) різних Java веб-фреймворків і це велике розмаїття на любий смак лишає багатьох розробників необхідності знати їх архітектурну реалізацію. Здається, що фреймворк - це якась велика та складна реалізація, яку нереально відтворити. Насправді, як вже згадувалося вище, це просто набір стандартних патернів (шаблонів). Коли ви вивчаєте фреймворки, Вам потрібно не просто вивчати суто фреймворки, а разом з принципами його реалізації, принципами його роботи та шаблонами проектування, що в ньому використовуються. Який же веб-фреймворк на Java варто вибрати, щоб зробити процес розробки простішим та заощадити час? Є багато можливих варіантів, що надають свої переваги, і це заставляє задуматися над рішенням вибору. Посилаючись на різні закордонні

джерела, зокрема на авторитетну компанію-розробника ПЗ ZeroTurnaroun [2], що веде статистичні дослідження, які стосується Java-розробки, під назвою "Developer Productivity Report", можна отримати рейтинг популярності Java веб-фреймворків серед спільноти Java-розробників за кордоном (рис. 2).

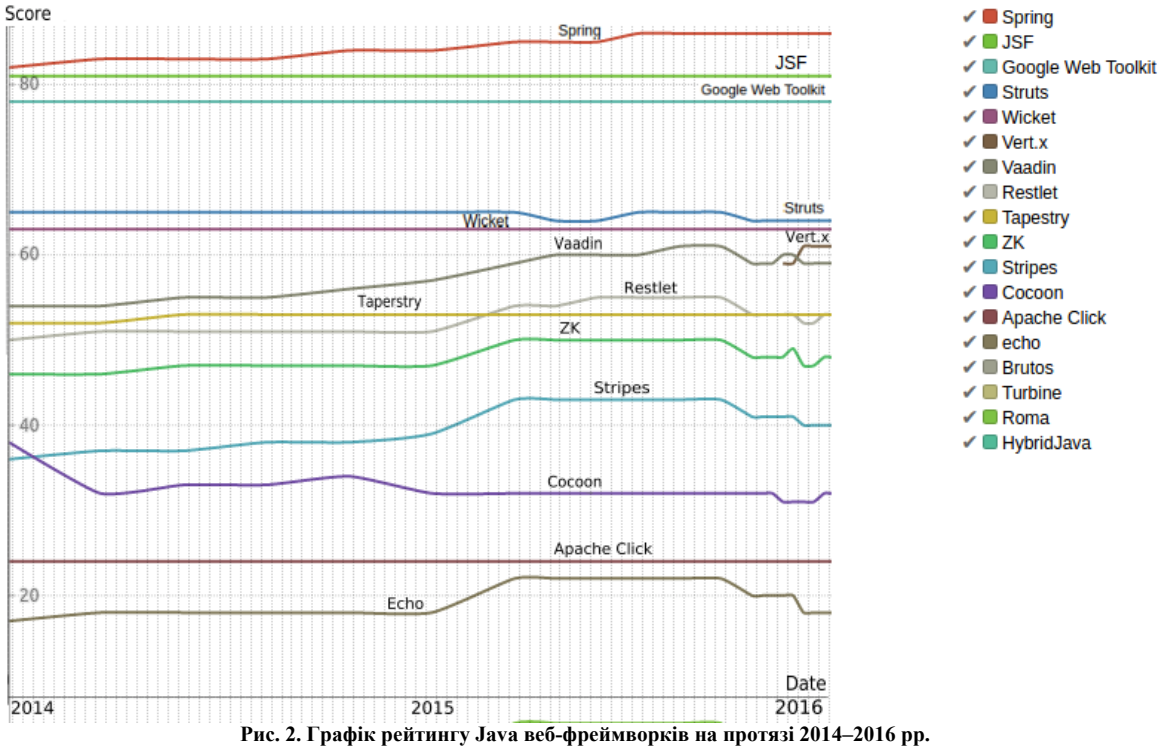


Рис. 2. Графік рейтингу Java веб-фреймворків на протязі 2014–2016 рр.

В якості критеріїв оцінювання при побудові рейтингу затребуваності веб-фреймворків на java слугували наступні: швидке прототипування додатків; складність архітектури; простота використання; повнота документації і спільноти розробників; структура екосистеми фреймворка; масштабованість; технічне обслуговування (в тому числі оновлення версій); зовнішній вигляд (UX).

Отже, результати даного рейтингу є наступними: Spring MVC (30%), JavaServer Faces (20%), Apache Struts (17%), GoogleWebToolkit (10%), Play Framework (8%), SparkFramework (7%), Grails (4%), Vaadin (4%).

Для аналізу вподобань веб-каркасів на java на ринку СНД розробниками ПЗ, нами було проаналізовано значну кількість IT-блогів та форумів [3–13]. Серед веб-орієнтованих проектів, що розробляються на Java на даний момент, найбільш популярним є фреймворк Spring MVC. Його популярність обумовлена доступністю значної кількості модулів, що надає повний каркас Spring Framework, гнучкістю, легкістю інтеграції з іншими технологіями, наприклад із Google Web Toolkit (GWT) і Java Server Faces (JSF). Така популярність обумовлена також тим, що вся екосистема Spring Framework стала в свій час альтернативним спрощенням платформи Java2EE і спричинила різкий перехід до даного фреймворку та його популярність серед Java розробників. Серед фундаментальних фреймворків, які користуються попитом серед Java розробників на ринку СНД є каркас Apache Struts, хоча його частка невелика порівняно із Spring. Також слід зазначити, що для розробки масштабних бізнес рішень активно використовується GWT, але із інтеграцією із Spring. GWT найчастіше використовується у зв'язці із Spring MVC для розробки UI при розробці корпоративних систем. Також є популярною стандартна специфікація Java EE (Java Enterprise Edition), представлена стеком технологій: EJB, ServletAPI, JSP, JSF. Наведемо коротке портфоліо найбільш популярних веб-фреймворків.

Spring MVC. Spring MVC – найпопулярніший фреймворк для веб-проектів на java на даний момент. Він володіє розвиненою екосистемою, тобто сам Spring MVC є лише одним із численних підмодулів каркасу Spring Framework і якщо бракує якоїсь додаткової функціональності при розробці веб-орієнтованих додатків, Ви легко зможете знайти підмодуль, який забезпечить необхідну підтримку. Spring Framework є просто величезним фреймворком завдяки тому, що розробники цього фреймворка охопили практично всі аспекти програмування промислових Java-додатків. Відповідно, і складових частин у Spring Framework чимало: IoC (Inversion of Control) контейнер, AOP-фреймворк, Data Access фреймворк, Transaction management, MVC-фреймворк, Remote Access фреймворк, Batch processing, Фреймворк аутентифікації і авторизації, Remote Management, Messaging-фреймворк, Testing-фреймворк. Величезна спільнота розробників завжди буде готова прийти на допомогу, якщо у Вас виникнуть питання. За допомогою Spring MVC можна без особливих зусиль розробляти великі і масштабовані веб-додатки. Проте, є у нього і кілька мінусів: даний фреймворк досить складний для вивчення, тому, незважаючи на хорошу документацію, початківці, швидше за все, зазнають труднощів в його освоєнні. Крім того, Spring MVC не надає зручних інструментів для створення користувальницького інтерфейсу (GUI). Spring – це, можна сказати, архітектурний фреймворк, тому що він придуманий не стільки для виконання якоїсь прикладної задачі (як, скажімо, Struts, який потрібен, щоб писати web-додатки), а для забезпечення кращої масштабованості, архітектури проекту, можливості більш простого тестування і більш простої інтеграції з іншими фреймворками. Завдяки цьому писати великі програми стає

простіше – розробники просто уникають ряду проблем, пов'язаних зі створенням промислових додатків, замість того, щоб їх вирішувати. За допомогою Spring MVC є можливість “без особливих зусиль” розробляти великі і масштабовані веб-проекти, адже він має досить велику офіційну документацію та найбільше ресурсів в пострадянському інформаційному просторі для вивчення, порівняно із іншими фреймворками. Для створення візуальних компонентів і реалізації певної логіки можна використовувати відомі всім веб-розробникам бібліотеки - наприклад JQuery, Twitter Bootstrap тощо. Spring не має власних технологій формування представлення, що робить його універсальним та гнучким. До недоліків можна віднести те, що доведеться витратити більше часу на верстку.

Java Server Faces (JSF). JSF представляє собою компонентно-орієнтований фреймворк, який є стандартом платформи Java EE і офіційно підтримується корпорацією Oracle. Компоненти представляють собою готові графічні елементи (кнопки, перемикачі, меню, списки, таблиці тощо), компонуючі які на динамічних веб-сторінках розробник формує рівень представлення в архітектурі MVC. Моделлю ж виступають звичайні java-класи, поля яких інкапсулюють інформацію предметної області (щоб фреймворк JSF розумів їх як елемент архітектури, можна або анотувати ці класи, або надати їх опис в конфігураційному xml-файлі). Саме каркас JSF виступає в якості **контролера** – з’єднує представлення з моделлю і його діяльність є абсолютно прозора для програміста. Фреймворк легкий у використанні та вивченні завдяки наявності відмінної документації (надає сама Oracle, але слід відмітити, що ця документація практично вся англомовна). Якщо стандартних візуальних компонентів недостатньо для реалізації дизайнерської ідеї, розробник може звернутись за додатковими до відомих провайдерів компонентів RichFaces, PrimeFaces, IceFaces. Розробнику доступна потужна екосистема Java EE, що забезпечує широкі можливості на всі випадки життя. Можна представити процес створення користувальницького інтерфейсу в JSF в якості аналогу розробки настольних додатків з використанням графічної бібліотеки swing. Недоліками каркасу, на нашу думку, є наступні: розробник жорстко прив’язаний до графічних компонентів JSF при побудові представлення, на відміну від Spring MVC, який співпрацює з любою технологією побудови представлення; обмежені можливості в використанні технології Ajax – зручно користуватись цим механізмом тільки в рамках, обумовлених фреймворком.

Spark Framework. Spark Framework є простим, легким та швидким веб-фреймворком для побудови мікросервісів. Намір Spark фреймворку, як описано на офіційному сайті – це не конкуренція з подібними веб-фреймворками інших мов програмування, а забезпечити чисту Java-альтернативу для розробників, які хочуть (або зобов'язані) швидко розробляти свої веб-додатки на Java. Spark побудований навколо філософії лямбда у Java 8, який робить типове застосування Spark набагато менш "багатослівним", ніж більшість додатків, написаних на інших веб-фреймворках Java. Даний фреймворк ідеальний для розробки REST-сервісів, хоча має можливості для розробки веб-додатків. Даний фреймворк має підтримку різних “Views and Templates”, на відміну JSF, який має свій власний шаблонізатор, власні View-елементи. Це такі шаблонізатори (Template Engine): Velocity, Freemarker, Mustache, Handlebars, Jade, Thymeleaf, Jetbrick, Pebble, Water. Це робить його універсальним, незалежним від певних технологій. Також найбільшою перевагою фреймворку, як засобу для побудови мікросервісів, є обробка HTTP запитів. Проте його гнучкість у використанні сторонніх компонентів для побудови представлення і для роботи з БД (оскільки стандартних засобів у Spark`у немає) може показатися недоліком, оскільки потрібно вивчати сторонні бібліотеки. Для розгортання проектів, Spark використовує вбудований Jetty веб-сервер, тому для цього достатньо лише встановленої JDK 8.

GoogleWebToolkit. GoogleWebToolkit представляє собою фреймворк для розробки RIA (Rich Internet Application) Ajax-додатків на основі Java-коду. За допомогою GWT веб-додаток розробляється на мові Java, і його код на стадії розробки містить визначення GUI-інтерфейсу, обробку його подій і роботу з даними. Потім Java-код GWT-додатку, компілюється в JavaScript-код Web-сторінки клієнта, а на стороні сервера залишається лише Java-код Web-сервісів, відповідаючих за роботу з даними. При цьому JavaScript-код веб-сторінки містить Ajax-клієнтів веб-сервісів. Таким чином, фреймворк GWT дозволяє написати клієнтську частину веб-додатка на мові Java, а потім скомпілювати її в оптимізований JavaScript-код, що коректно працює в більшості Web-браузерах, звільняючи розробника від завдань оптимізації та крос-браузерності додатка. Даний фреймворк є відмінним інструментом для побудови користувальницьких інтерфейсів, проте для реалізації серверної логіки для масштабних веб-проектів, зазвичай використовують Spring з інтегрованим у нього GWT.

Apache Struts. Apache Struts – веб-фреймворк з відкритим кодом для розробки Java EE веб-додатків. Він використовує і розширює Java Servlet API, надаючи архітектуру MVC (Модель-Вид-Контролер). Struts був створений для того, щоб чітко відділяти модель (бізнес-логіку) від представлення (логіки відображення, у нашому випадку це JSP, хоча підтримуються і XML/XSLT і Velocity), і контролера (сутності, яка займається передачею інформації від моделі до представлення). Інформація передається між моделлю і представленням у вигляді особливих об’єктів типу JavaBeans. Багата бібліотека тегів дозволяє виводити і записувати вміст цих бінів на презентаційному рівні без включення Java-коду. Недоліком даного фреймворку є те, що створений він вузькоспеціалізованим – лише для написання веб-додатків.

Vaadin. Vaadin — ще один фреймворк, що використовує Java, як єдину мову для розробки представлення і веб-логіки. Це є одна із найзначніших функцій в Vaadin. Фреймворк використовує модель подій і певні елементи користувальницького інтерфейсу – віджети, що робить його дуже близьким до моделі розробки настільних додатків на Java з використанням HTML і JavaScript. Vaadin побудований на основі Google Web Toolkit, а якщо бути точнішим, то розширює його, доповнюючи серверною частиною. Він використовує Google Web Toolkit для генерування за запитами користувальницьких сторінок. Так як Google Web Toolkit функціонує тільки на стороні клієнта, Vaadin додає додаткову валідацію даних на стороні

сервера: це вирішує проблеми безпеки, пов'язані з можливістю підміни даних або коду JavaScript. Відповідно, при зміні і пошкодженні даних, що надходять від браузера, сервер, визначивши це, не пропускає запити. Це є єдиною перевагою Vaadin над GWT.

Vert.x. Ще одним фреймворком, який буде закривати даний список, стане Vert.x. Хоча це не зовсім суто Java веб-фреймворк,Vert.x — поліглот, універсальний фреймворк. Це означає, що ви можете реалізувати компоненти, які потрібно виконати Vert.x (так званий "Verticles") на різних мовах. Vert.x може виконувати Java, JavaScript, Ruby, Python, Groovy, Scala і Clojure. Vert.x – це асинхронний, event-driven фреймворк, ціль якого перетинається з node.js. Тобто це універсальний фреймворк-поліглот для JVM. Vert.x називають себе «реактивним» інструментарієм. Реактивні додатки складаються з компонентів, які посилають повідомлення або події один до одного. Це зовсім інший внутрішній дизайн, ніж Java EE. Ця внутрішня конструкція підходить для розробки таких типів додатків, як чат чи інші, побудовані на веб-сокетах додатки і ігрові сервери. Реалізація паралельної обробки покладена на фреймворк, тому при розробці не потрібно піклуватися про це (не потрібно використовувати synchronized or volatile, та блокування). Також не потрібно ніяких xml-конфігурацій. Даний фреймворк розроблявся під впливом відносно нової серверної технології node.js і дуже сподобається тим, хто знайомий з node. Отже, у висновку можна сказати, що даний фреймворк із вбудованим Netty-сервером є високопродуктивним рішенням для розробки Daemon-серверів, чи інших проектів з використанням технології веб-сокетів та асинхронної багатопотокової архітектури.

Отже веб-фреймворк – це набір бібліотек (класів та інтерфейсів) для швидкої розробки веб-орієнтованих програмних систем, який звільняє програміста від рутинних задач і дозволяє зосередитись на програмуванні бізнес-логіки системи. Також перевагами фреймворків є те, що вони вже надають структуровану архітектуру програми, наслідуючи певні патерни проектування, та надають нам вже вбудовані класи для роботи з базою даних та багато іншого. Головна ціль фреймворку – забезпечити програміста зручним середовищем для розробки з великим та розширюваним функціоналом. На нашу думку, програміст, який вибирає веб-фреймворк для вивчення і використання, в першу чергу має звернути увагу на каркаси Spring MVC та JSF. Обидва рішення є найбіл**ьш популярними серед спільноти веб-програмістів** на java, мають розширену екосистему, потужну спільноту розробників, вичерпну документацію. Spring MVC є більш гнучким, тому що має орієнтованість на запити. Коли розробник чітко розуміє, які запити і куди відправляються з боку клієнта, то це приводить до більш раціонального проектування програми, до більш оптимізованого і швидкого коду. Імовірність неочевидних помилок, з якими доводиться стикатися в роботі з JSF, мінімальна. Підтримувати додаток на Spring MVC простіше, тому що все є більш прозорим. Але для дуже швидкої розробки веб-орієнтованого інтерфейсу певних категорій (корпоративних систем), JSF є ідеальним рішенням, бо має потужні бібліотеки графічних компонентів, продуманий та перевірений життєвий цикл каркасу.

Література

1. Бурлаков А.А. Організація гнучкого доступу до даних в додатках на java-платформі / А.А. Бурлаков // Вісник ХНУ. – 2016. – № 2. – С. 30–36.
2. The official website of the online resource [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://zeroturnaround.com/
3. Офіційна документація. Spring [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://spring.io/docs
4. Офіційна документація. Spark [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://sparktutorials.github.io/
5. Офіційна документація. Apache Struts [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://struts.apache.org/docs/guides.html
6. Офіційна документація. Google Web Toolkit [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.gwtproject.org/doc/latest/tutorial/index.html
7. Какой Java Web фреймворк выбрать? [Електронний ресурс] // Спільнота програмістів. DOU : портал. – Режим доступу : https://dou.ua/forums/topic/11227/
8. Выбор Java фреймворка для веб-разработки [Електронний ресурс] // Тостер — вопросы и ответы для IT-специалистов : портал. – Режим доступу : https://toster.ru/q/9571
9. Нужен веб-фреймворк для java [Електронний ресурс] // LINUX.ORG.RU: Русская информация об ОС Linux : портал. – Режим доступу : http://www.linux.org.ru/forum/web-development/9069828
10. Java. Фреймворки для веба [Електронний ресурс] // askdev.ru : социальный сайт вопросов и ответов для IT-специалистов. – Режим доступу : http://www.askdev.ru/java/4479/
11. Find your new favorite web framework [Електронний ресурс] // Web framework rankings | HotFrameworks : портал. – Режим доступу : http://hotframeworks.com/languages/java
12. Sparkjava is an amazing Java web framework. Do you really need it? [Електронний ресурс] // zeroturnaround.com : портал. – Режим доступу : http://zeroturnaround.com/rebellabs/sparkjava-is-an-amazing-java-web-framework-do-you-really-need-it/
13. Inside Vert.x. Comparison with Node.js. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.cubrid.org/blog/dev-platform/inside-vertx-comparison-with-nodejs/

Рецензія/Peer review : 5.4.2016 р. Надрукована/Printed : 6.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф., Марченко В.Л.

УДК 004.415

О.А. КРАВЧУК, В.М. ПІДГОРОДЕЦЬКА
Хмельницький національний університет

ПРАКТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПРОЕКТУ ACCELERATED MOBILE PAGES

В статті розглядається проект Accelerated Mobile Pages (AMP) від Google як новий інструмент щодо істотного збільшення швидкості завантаження сторінок мобільного Інтернету. Дана технологія допоможе веб-розробникам значно прискорити завантаження сайтів на мобільних пристроях. AMP було презентовано в минулому році, а вже в цьому більшість передових компаній запровадили його підтримку на своїх веб-ресурсах. Це вказує на те, що даний проект має велике майбутнє.

Ключові слова: прискорені мобільні сторінки, мобільний веб, розробка, нові технології, відкритий код, веб-мастер, юзабіліті.

O.A. KRAVCHUK, V.M. PIDGORODETSKA
Khmelnytsky National University

ANALYSIS AND PRACTICAL OVERVIEW ACCELERATED MOBILE PAGES PROJECT

In the article, Accelerated Mobile Pages (AMP) project by Google is reviewed as a new tool for a significant increase of mobile Internet page loading speed. This technology will help web developers to speed up web–site loading on mobile devices. AMP was presented last year and this year the majority of leading companies have introduced its usage on their web–resources. This proves that the project has a great future.

Keywords: accelerated mobile pages, mobile web, development, new web technology, open source, webmaster, usability.

Постановка проблеми. Нещодавно наявність адаптивного або мобільного сайту стало не трендом, а реальною необхідністю – трафік з пристроїв продовжує рости, а користувачі вже починають відмовлятися від великих комп'ютерів на користь смартфонів і планшетів [1]. Для створення таких сайтів зараз, в основному, використовуються три методи: адаптивна верстка, розробка окремої мобільної версії і RESS (вивід різних html та css на одному URL залежно від пристрою).

Здається, суперечки щодо технологій створення мобільних сайтів найближчим часом не вщухнуть. У цих питаннях більшість дотримується розробки адаптивного веб-дизайну, в той час як Якоб Нільсен, відомий консультант з юзабіліті, виступає за створення окремих мобільних сайтів.

Третій варіант, який вже стає популярним – коли веб-сервер генерує відповідні HTML і CSS в залежності від пристрою за параметрами, які добувають з URL.

Незважаючи на вищенаведені методи оптимізації веб-сайтів під мобільні пристрої завжди залишається складова, яка не залежить від розробників [2]. Повільний Інтернет не завжди виправдовує очікування тих, хто хоче отримати потрібну відповідь якомога швидше. Дослідження показують, що люди уникають використовувати сайти, якщо на їх завантаження йде більше трьох секунд [3]. У такій ситуації програють не тільки самі користувачі, а й видавці. Вони створюють контент і хочуть, щоб читачі оцінили його по достоїнству, але через повільну швидкість завантаження це не завжди можливо.

Аналіз досліджень. В жовтні минулого року Google презентував новий проект по створенню відкритого вихідного коду Accelerated Mobile Pages (AMP), який дозволяє зробити мобільний Інтернет настільки швидким, наскільки це можливо.

Accelerated Mobile Pages являє собою набір стандартів, яким можуть слідувати онлайн-видання для того, щоб забезпечити швидке завантаження сторінок і статей на мобільних пристроях. В основі технології – новий стандарт AMP HTML, який дозволяє створювати полегшені версії веб-сторінок і скорочувати час їх завантаження, крім того, AMP-файли можуть кешуватися в «хмарі».

Ви довго розробляли адаптивний дизайн для свого сайту, багато часу приділили mobile-friendly, і ось, тепер нова технологія для сторінок з прискореним завантаженням. Багато хто не розуміє, навіщо тепер інвестувати свої кошти і час в дану новизну, якщо сайт вже відмінно відображається і коректно працює абсолютно на всіх пристроях.

Адаптивний сайт може ідеально відображатися на всіх пристроях, але, його швидкодія може залишати бажати кращого. З AMP ця проблема вирішувана, тому що такі сторінки будуть завантажені за частку секунди. Тобто, основною мотивацією для впровадження цієї технології на сайт є миттєва швидкодія.

Формулювання цілей статті. Мета дослідження – огляд та аналіз проекту Accelerated Mobile Pages з відкритим вихідним кодом, головною метою якого є значне прискорення швидкості завантаження веб-сторінок на мобільних пристроях.

Виклад основного матеріалу дослідження. З початку старту проекту AMP, його спробували сотні видавців, десятки технологічних компаній і агентств, які спеціалізуються на наданні швидкого доступу до контенту. Їх мета – поліпшити мобільну мережу для всіх і кожного. Веб-сторінки на базі AMP будуть з'являтися окремо серед результатів пошуку в мобільному браузері. Тепер, якщо ви шукаєте новини або інші статті в Google з мобільного пристрою, то веб-сторінки, створені з використанням AMP, будуть з'являтися в розділі «Головні новини». Будь-який сайт, використовуючи дану технологію буде відкриватися за лічені секунди. Вам не доведеться чекати, поки завантажиться сторінка, крім того, статті, знайдені по

пошуковому запиту, можна буде легко перегортати.

AMP ідеально підходить для перегляду сайтів на мобільних пристроях: створені з його допомогою веб-сторінки завантажуються в середньому в чотири рази швидше. При цьому використовується в десять разів менше даних, ніж при відкритті аналогічних сторінок з іншим вихідним кодом. Крім того, на прес-конференції в Сан-Франциско, яка відбулася 9 грудня минулого року, представники Google натякнули, що AMP-сторінки можуть отримати перевагу в ранжируванні і мітку «Fast» в пошуковій видачі. Проте, обидва ці пункту поки носять імовірнісний характер.

Представники компанії також обговорювали питання швидкості завантаження мобільної сторінки як існуючого фактора ранжування Google. Оскільки сторінки в AMP-форматі завантажуються швидше, то сайти з AMP-версіями сторінок можуть отримати перевагу в ранжируванні Google. Співробітники інтернет-компанії не заявили про це прямо, але неодноразово акцентували увагу на важливості швидкості завантаження сторінки. А AMP, ймовірно, найбільш доступний спосіб поліпшити цей показник.

За інформацією Google, більше 30 видавців з усього світу вже взяли участь у використанні формату AMP HTML. Серед перших партнерів – такі компанії, як Twitter, Pinterest, WordPress.com, Chartbeat, Parse.ly і LinkedIn. У найближчі місяці Google розраховує налагодити співпрацю й з іншими учасниками, щоб розширити функціонал і додаткові можливості в деяких ключових областях.

Для того, щоб веб-майстри та оптимізатори змогли переконатися в тому, що вони роблять все правильно, Google Search Console тепер буде доповідати їм про помилки, пов'язані з впровадженням AMP-технології на їх ресурси.

Звіт про помилки можна знайти в секції Search Appearance («Видимість в пошуку») в Google Search Console. Він створений для того, щоб допомогти seo-оптимізаторам і веб-майстрам виявляти помилки, пов'язані з запуском AMP-технології на всьому сайті. Цей крок є дуже корисним при просуванні сайту, тому що раніше перевірити сторінку в новому форматі можна було тільки окремо від усього ресурсу, за допомогою спеціального інструменту для тестування.

Звіт про помилки в AMP дуже схожий на звіт Search Console, пов'язаний з недоліками на мобільних сайтах, а також на інструмент тестування файлу robots.txt. Він показує аналіз всього сайту та виділяє особливі помилки на ньому, надаючи інформацію про посилання, за якими вони були знайдені.

Суть AMP-технології полягає в тому, що користувач отримує доступ до інноваційної відкритої платформи для передачі контенту, яка може миттєво завантажувати веб-сторінки після кліка по ним на сторінках з результатами пошуку Google.

Запустити AMP на сайті досить просто, для цього досить встановити спеціальний плагін в своїй системі управління контентом. Одними з перших нову технологію почали підтримувати на WordPress, які випустили свій офіційний плагін практично відразу після запуску AMP.

Розглянемо докладніше, що являє собою AMP з програмної точки зору.

Google вже склав список вимог, на які варто спиратися при розробці «прискорених сторінок»:

- перш за все, сторінки веб-ресурсу повинні відповідати вимогам Accelerated Mobile Pages;
- далі необхідно впровадити спеціальні атрибути rel = "amphtml" на звичайну сторінку, а на швидкій сторінці AMP – rel = "canonical".

Завдяки грамотній організації структурованих даних на таких сторінках вони зможуть відображатися в топах пошукової видачі.

Суть даної технології полягає в наступному: для оптимізації та прискорення завантаження тематичних сторінок (статей, новин, оглядів, фото / відео-репортажів і т.д.) Google пропонує використовувати їх розробку – бібліотеку AMP. При цьому, на сторінку накладається ряд обмежень. Наприклад, не можна використовувати інші js-скріпти, крім самої AMP та її розширень. Необхідно використовувати особливі елементи AMP замість звичних (наприклад тег amp-img замість img). Не можна навіть вставляти свої слайдери для фотографій, для цього є спеціальний компонент.

Окремо хочеться виділити новий тег для реклами «amp-ad», який дозволяє вставити рекламний блок на сторінку, використовуючи одну з підтримуваних рекламних мереж: A9, AdReactor, AdSense, AdTech, Doubleclick. Зрозуміло, що таким чином Google отримує додатковий контроль над рекламою на сайтах, підтримуючи ті або інші мережі.

Всі перераховані вище обмеження перевіряються спеціальним валідатором, включеним в AMP. Додавши до адреси сторінки «# development = 1» можна отримати в консолі статус сторінки – пройшла вона валідацію, або щось пішло не так.

Наведемо список елементів, які пропонуються до використання:

«amp-ad» – контейнер для відображення реклами;

«amp-img» – заміна тега img;

«amp-pixel» – невидимий піксель – лічильник відвідувань;

«amp-video» – заміна HTML5–тегу video;

«amp-anim» – анімоване зображення (GIF);

«amp-audio» – заміна HTML5–тегу audio;

«amp-carousel» – звичайна карусель – відображення превью картинок, розташованих по горизонталі;

«amp-fit–text» – автоматичне зменшення/збільшення розміру шрифту тексту для того, щоб він розмістився в обмежену область;

«amp-iframe» – заміна iframe;
«amp-image-lightbox» – лайтбокс – повнорозмірний перегляд великого зображення;
«amp-instagram» – показує пост в інстаграмі;
«amp-lightbox» – ще один лайтбокс;
«amp-twitter» – показує твіт;
«amp-youtube» – показує відео з Ютуб.

Для порівняння швидкості завантаження сторінки побудованої на AMP з сторінкою побудованою з використанням вже існуючих технологій проведемо декілька тестів.

Візьмемо дві прості, але ресурсномісткі сторінки. Перша AMP-валідна, друга – звичайний HTML5, без AMP.

При відкритті сторінок в браузері мобільного телефону, різниця дійсно відчутна. AMP-сторінка завантажується помітно швидше і симпатичніше, на зображеннях навіть є свої індикатори завантаження (точніше сказати, звичайні placeholder). Звичайна сторінка завантажується повільно, і не так гарно. Проте, на ній працює анімаційна картинка з розширенням .giv в кінці документа, чого на жаль немає в AMP-сторінці.

Для перевірки швидкодії будемо використовувати інструмент від Google – pagespeed insights.

Тестуємо звичайну HTML5-сторінку:
1) швидкість на мобільних пристроях – 91/100;
2) зручність перегляду на мобільних пристроях – 100/100;
3) швидкість на персональних комп'ютерах – 100/100.

Тестуємо AMP-сторінку:
1) швидкість на мобільних пристроях – 99/100;
2) зручність перегляду на мобільних пристроях – 100/100;
3) швидкість на персональних комп'ютерах – 99/100.

Як бачимо, швидкодія трохи краще на мобільних, трохи гірше на персональних комп'ютерах. В принципі, якщо враховувати особливості вимірювання показників pagespeed insights, то виходить приблизно однаково, але різниця в завантаженні на мобільних пристроях цілком відчутна й в ручному тесті.

Спробуємо тестування з використанням емуляції в google chrome. Завантажуємо звичайну сторінку – майже 17 секунд, а AMP-сторінку – 8.82 секунди. Різниця аж в два рази, але треба враховувати, що на AMP-сторінка завантажується в міру пересування між об'єктами. Наприклад, анімаційна картинка завантажилася тільки після переміщення до кінця документа.

Висновки. У підсумку, слід відмітити, що Accelerated Mobile Pages є дійсно новим інструментом, який дозволяє істотно збільшити швидкість завантаження сторінки. Проте, збільшення швидкодії пов'язано з накладенням досить серйозних обмежень на функціональність сторінки. Тому, можна зробити висновок, що AMP – досить вузькоспеціалізована розробка, яка безумовно знайде свою область використання. Враховуючи, що проект перебуває в стадії технічного становлення, багато компонентів ще сирі та працюють з перебоями, але вже сьогодні можна оцінити ефект від застосування даної бібліотеки.

Література

1. Шинкарук О.М. Використання старт-карт для ідентифікації користувачів інформаційних систем / О.М. Шинкарук, О.М. Яшина // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький : ХНУ, 2013. – № 1. – С. 114–116.

2. Пелещишин А.М. Позиціонування сайтів у глобальному інформаційному середовищі / А.М. Пелещишин . – Львів : Вид-во Національного університету "Львівська політехніка", 2007.– 258 с.

3. Пасічник В.В. Глобальні інформаційні системи та технології (моделі ефективного аналізу, опрацювання та захисту даних) / Пасічник В.В., Жежнич П.І., Кравець Р.Б., Пелещишин А.М. Тарасов Д.М. – Львів : Вид-во Національного університету "Львівська політехніка", 2006.– 350 с.

4. Биктимиров М.Р. Избранные главы компьютерной безопасности / М.Р. Биктимиров, А.Ю. Щербаков. – Казань : Изд-во Казанского математического общества, 2004. – 372 с.

5. Биктимиров М.Р. Модели управления доступом в распределенных компьютерных системах : дис. … канд. техн. наук : 05.13.18 / Биктимиров М.Р. – Казань, 2008. – 137 с.

Рецензія/Peer review : 22.4.2016 р. Надрукована/Printed : 6.6.2016 р.
Рецензент: док. техн. наук, проф., Марченко В.Л.

УДК 004.738.1

С.М. ЗАХАРЧЕНКО, Т.І. ТРОЯНОВСЬКА, О.В. БОЙКО, В.С. РИБАЧЕНКО
Вінницький національний технічний університет

ЗАСТОСУВАННЯ ОДНОСТОРІНКОВИХ ВЕБ-ОРІЄНТОВАНИХ ІНТЕРФЕЙСІВ В СОЦІАЛЬНО ЗНАЧУЩИХ ПРОЕКТАХ

Робота присвячена аналізу та обґрунтуванню застосування односторінкових веб-орієнтованих інтерфейсів для соціально значущих проектів та служб, завданням яких є покращити рівень обслуговування громадян та пришвидшити реагування на суспільні проблеми. Пропонується застосування односторінкових веб-додатків для побудови взаємодії між громадянами і муніципальними службами. Застосовано дельфійський метод до побудови ефективного інтерфейсу подібних додатків та його реалізація.

Ключові слова: соціальні служби, веб-портали, веб-інтерфейс, дельфійський метод, односторінковий інтерфейс, веб-орієнтований моніторинг.

S.M. ZAKHARCHENKO, T.I. TROIANOVSKA, O.V. BOIKO, V.S. RYBACHENKO
Vinnytsia National Technical University

APPLICATION OF SINGLE-PAGE WEB-BASED INTERFACES IN SOCIAL PROJECTS

This article discussed social significant projects and services, provided to increase level of public maintenance and to speed up reacting to social problems, and demonstrates building of communication link between citizens and such services with web-oriented applications. Also, a living example of social web service is provided and an approach to its interface efficient construction.

Key words: social services, web-portals, web-based interface, the Delphi method, a single-page interface web-based monitoring.

Вступ

Бурхливий розвиток мобільних технологій в останнє десятиріччя справив значний вплив на структуру і природу мережі Інтернет. Почали виникати сервіси, спрямовані не на науково-технічну діяльність, а на соціальну. Виникли сайти і служби, які покликані забезпечувати комунікацію між людьми, організацію їх в спільноти, а також координацію їх спільних дій.

Наступним етапом в цьому процесі було виникнення поняття «електронної демократії», яка передбачала залучення широких верств громадян до управління державою як на макрорівні (участь в розробці та обговоренні законопроектів, тощо), так і на рівні вирішення місцевих проблем (координація територіальних громад і суспільних організацій для їх вирішення – наприклад, незаконних забудов, або ремонту інфраструктури).

Актуальність та мета статті

На сьогодні в державі накопичилась велика кількість соціальних проблем, перш за все інфраструктурних, таких як стан будинків чи доріг, як розглядається в даному прикладі. Проблеми великі, і мають загальнодержавний характер, причому дуже складно оцінити, які об'єкти потребують нагальної уваги, а які – ні. Вирішенням цих проблем, як правило, повинна займатись місцева влада, але на практиці цим займаються численні волонтерські організації, або ж окремі громадські активісти. Для налагодження ефективної роботи, а також встановлення контактів із владними структурами їм необхідний зручний і доступний інструмент комунікації, який містив би необхідну для роботи інформацію, надавав майданчик для обговорення та оцінки актуальності конкретно взятих випадків.

Метою статті є аналіз існуючої системи веб-орієнтованої комунікації між громадськими активістами та її вдосконалення для вирішення спеціальних задач засобами односторінкових веб-орієнтованих інтерфейсів.

Постановка задачі

1. Проаналізувати існуючі архітектурні рішення для веб-орієнтованих спеціалізованих порталів;
2. Обґрунтувати вибір односторінкової архітектури для створення порталу веб-комунікації між громадськими активістами;
3. Оцінка розгортання середовища та застосування фреймворків;
4. Розробити практичну реалізацію порталу веб-комунікації на основі односторінкової архітектури.

1. Аналіз архітектурних рішень для веб-орієнтованих спеціалізованих порталів

Одним із напрямків розвитку низового рівня електронної демократії є запропоноване Мауріціо Болоніньї поєднання соціальних груп за інтересами, із професійними експертними панелями та державними службами [1]. Його пропозиція представляла собою модифікацію «дельфійського метода» [2], розробленого в 1960-і роки для корпорації RAND, і призначеного для створення якомога точніших експертних оцінок.

Базовим принципом цього методу є уявлення, що велика кількість незалежних експертів, кожен із яких мінімально пов'язаний із іншими (краще, якщо взагалі не пов'язаний), краще оцінює ситуацію, ніж структурований колектив дослідників. Подібний підхід дозволяє виключити із роботи більшість суб'єктивних факторів командної роботи, як-то, політичні погляди, особисте несприйняття між різними працівниками, мовний бар'єр, тощо, а отже, утворена таким чином експертна панель буде репрезентувати максимально можливу кількість точок зору і дасть реальну картину ситуації, як і максимальну кількість варіантів рішень.

Організаційно «дельфійський метод» передбачав дворівневу структуру:

- **Група дослідників-експертів**. Кожен із них досліджує проблему самостійно, і надає свій аналіз і оцінку окремо, в письмовій формі;
- **Організаційна група**. Вона переглядає всі аналітичні записки, і зводить їх в єдиний звіт.

Діяльність «дельфійських груп» відбувається по ітеративному принципу. Спочатку збирається звіт по базовим питанням, з якого виокремлюються найменш висвітлені теми, які потім також аналізуються окремими експертами – і в результаті звіт коригується. Процес відбувається ітеративно, до досягнення узгодженості між усіма експертами, або буде підтверджено, що консенсусу досягти неможливо.

Подібна схема роботи дозволяє досягти максимального охоплення визначеної теми і продукує більш зважені висновки, ніж спеціально підібрані експертні групи.

Однак, через складну модель комунікації ця модель так і не набула широкого розповсюдження. Другого дихання вона набула тільки після появи електронних засобів зв'язку у реальному часі, таких як електронна пошта, що дозволяло інтенсифікувати обмін інформацією і перевести діяльність «дельфійських груп» на якісно новий рівень.

Яскравими прикладами організаційних структур на базі дельфійського методу є архітектури, запропоновані Біллом Гейтсом [3], Томом де Марко [4], а також Фредеріком Бруксом [5]. В свою чергу, вони реалізуються різними способами для різних задач – від корпоративного до соціального рівня.

В даній статті ефективне застосування дельфійського методу показано на прикладі соціального проекту, покликаного створити систему експертного моніторингу стану доріг, а також удосконалено організаційний процес – шляхом переходу від веб-інтерфейсів, орієнтованих на дискусію (тематичні групи в соціальних мережах, форуми тощо), які тяжіють до абстрактних обговорень проблематики взагалі, до проблемоцентричної архітектури, де процес моніторингу концентрується навколо конкретно існуючих випадків і таким чином має більшу практичність та ефективність.

2. Обґрунтування вибору односторінкової архітектури для створення порталу веб-комунікації між громадськими активістами

Основою комунікації, як було вказано вище, в дельфійському методі є механізм, який дозволяє експертам спілкуватись в реальному часі. Одним із таких механізмів є сайт, побудований по принципу «однієї сторінки», тобто, всі необхідні дані для введення, категоризації та аналізу даних сконцентровані на одній веб-сторінці, яка динамічно змінюється залежно від конкретного виду роботи. Такий інтерфейс також дозволяє перейти від моделі обговорення проблематики, коли комунікація будується навколо самого процесу, до проблемно-орієнтованої моделі, коли обговорення будується навколо конкретно взятого практичної проблеми, яка одночасно є і стартовою точкою обговорення, і предметом оцінювання актуальності. Таким чином, оцінка проблеми буде більш реалістичною, адже виставляється не лише на основі загального опису, а й на основі розгорнутого обговорення.

Односторінкові (single-page) інтерфейси будуються, як правило, за допомогою спеціальних клієнт-серверних оболонок (фреймворків), які працюють за принципом, показаним на рис. 1.

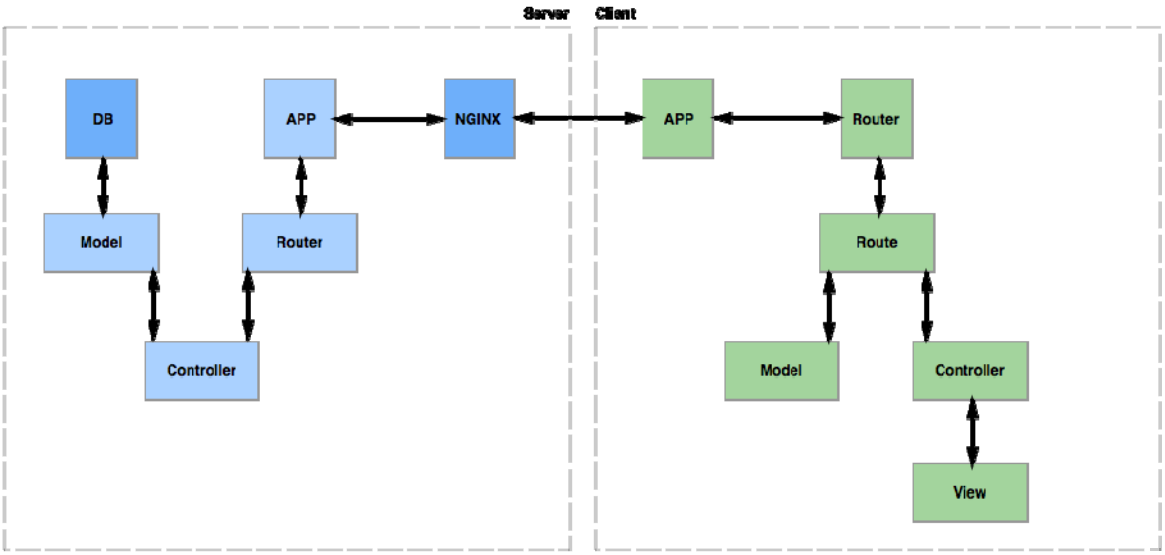


Рис. 1. Діаграма функціонування односторінкового інтерфейсу

На сьогодні існують наступні оболонки, які дозволяють будувати такі інтерфейси (табл. 1).

Виходячи із наведеної таблиці, для реалізації односторінкового інтерфейсу найбільше придатна EmberJS. Однак ця оболонка забезпечує користувацький інтерфейс, а для роботи безпосередньо із даними і перетворення «сирих» запитів на веб-запити необхідна серверна частина, яка слугуватиме передаточною ланкою між базою даних та веб-інтерфейсом.

Для цього на сервері необхідно розгорнути оболонку із неблокуючим (для забезпечення одночасного доступу багатьох користувачів), орієнтованим на події (для мінімізації мережевого трафіку) та

асинхронною моделлю запитів (для забезпечення роботи в реальному часі). На сьогодні існує низка таких оболонок (табл. 2).

Таблиця 1

Існуючі оболонки для односторінкового інтерфейсу

Назва	Архітектури	Короткий опис
AngularJS	Повністю клієнтська	Розрахована на потужну робочу станцію, всі шаблони компілюються безпосередньо на ній, дані зберігаються на сервері, але повністю перевантажуються клієнту
EmberJS	MVC, із розділенням на серверну і клієнтську	Розрахована на широкий діапазон пристроїв, дані зберігаються на сервері, шаблони компілюються на сервері, на клієнтській робочій станції тільки візуалізація
MeteorJS	Повністю серверна	Розрахована на розподілені системи, із потужним кластером і термінальними клієнтами, на робочій станції тільки відображення, вимагає широкого каналу для передачі даних

Таблиця 2

Оболонки для клієнтських робочих станцій

Назва	Архітектура	Короткий опис
Sling	Rhino	Базується на Java і найчастіше застосовується як додатковий пакет до розгорнутого JSP чи сервлетного движка.
Jaxer	SpiderMonkey	Базується на технології Apache, однак на сьогодні вже не оновлюється.
IO.js	V8	Найновіша платформа, створена на базі Node.js, яка швидко розвивається, але не є повноцінною.
Node.js	V8	Базується на движку V8 від GoogleChrome, на сьогодні є найбільш комплексним серверним движком для JavaScript.

Очевидно, що для обраної задачі найкраще підходить остання оболонка –Node.js. Відповідно, база даних також повинна підтримувати стандарт V8, тому обрано MongoDB. Додатковою перевагою цього вибору є її кросплатформеність, що дозволяє розгорнути систему на Linux, а отже, значно знизити витрати на розробку та розгортання проекту.

Таким чином, обрана для вирішення поставленої задачі архітектура виглядає наступним чином:

- Операційна система: LinuxUbuntu;
- Основна база даних: MongoDB;
- Серверний движок: Node.js;
- Клієнтський движок: EmberJS;
- Стильове оформлення: CSS (за допомогою препроцесора Less);
- Верстка сторінок: HTML (за допомогою шаблонів Handlebars з пакету EmberJS).

3. Розгортання середовища та застосування фреймворків

Оцінимо трудомісткість розгортання середовища та необхідного інструментарію для створення односторінкового інтерфейсу.

Основною проблемою на цьому етапі є конфігурація nginx. Оскільки обраним операційним середовищем є Linux Ubuntu, він уже присутній в базовій установці, і його можна встановити за допомогою простої команди apt-getinstallnginx. Оскільки на клієнтській частині використовується фреймворк EmberJS, в якості менеджера задач (TaskRunner) використовується Ember-cli. Ember-cli має також свої налаштування, які знаходяться в файлі .ember-cli. При збірці клієнтської частини Ember-cli використовує Broccoli, налаштування якого містяться в скрипті Brocfile.js.

Серверна частина програмного додатку моніторингу якості доріг створена за допомогою JavaScript на базі платформи NodeJS. В якості фреймворку був вибраний restify – фреймворк для створення API додатків, який був побудований з найпопулярнішого фреймворку для NodeJS – ExpressJS. ExpressJS потужний фреймворк, але використовуючи сучасні рішення – серверна частина повинна бути створена виключно у вигляді API рішення. Тобто, вона повинна віддавати та приймати дані JSON, проводити маніпуляції з базою даних та відповідати клієнтській частині. Зазвичай, це роблять всі серверні програмні додатки, але крім цього, вони ще створюють шаблон, заповнюють його даними, кешують і віддають клієнтській частині у вигляді HTML. Це створює велике навантаження на сервер, тому в даному програмному продукті за шаблони буде відповідати клієнт, адже сервер один – а клієнтів багато, відповідно, необхідно, по можливості,передати всю допустиму роботу на клієнтську частину.

Запустити серверну частину можна за допомогою команди nodecore/server. Далі при запиті будуть послідовно виконуватись методи, які були додані в стек методів за допомогою server.use, а потім методи контролеру по заданому шляху.

Контролери перевіряють вхідні дані запиту на наявність всіх необхідних полів і викликають необхідні методи з моделі. Модель безпосередньо робить запити в базу даних. Для роботи з базою даних MongoDB вибраний модуль для NodeJS під назвою mongoose. Він потребує створення моделі по схемі

документу і має стандартні методи пошуку, додавання, видалення, оновлення документу в базі даних. Модуль responser відповідає за створення JSON об'єкту моделі з даними із бази даних та викликає шаблон відповіді певного типу (для відповіді на запит отримання груп – шаблон груп).

Файл із налаштуваннями серверного програмного додатку, який знаходиться в директорії config, є типом JSON, і містить в собі дані авторизації для підключення до бази даних, налаштування серверного програмного забезпечення – такі як порт, хост і так далі. Трудомісткість встановлення середовища, таким чином, не відрізняється принципово від встановлення будь-якого програмного засобу.

Після завершення встановлення, необхідний створити файл налаштувань. Nginx налаштовується на проксування запитів, і є першою ланкою зі сторони серверу, який приймає та відповідає на запити. Якщо запит правильно сформований, він передає його серверному програмному додатку, який власне і реалізуватиме веб-інтерфейс.

На наступному етапі інформація передається в маршрутизатор (роутер, router). Він перевіряє існування шляху по отриманому запиту (в загальній формі – URI – UniformResourceIdentifier), і якщо немає – генерує помилку з кодом 404 (не знайдено). Якщо шлях знайдено, викликає метод відповідного контролеру, який в свою чергу, додатково робить перевірку даних і викликає відповідний метод моделі (наприклад, на вибірку даних). Після виконання методу, дані із бази даних повертаються в контролер який, за умови, що помилок не виникло, повертає результат виконання назад в nginx, і далі передаються клієнту.

Зі сторони клієнтської частини включається EmberJS, який приймає дані, і вносить зміни на відкриту веб-сторінку в режимі реального часу. Це рамочний алгоритм функціонування.

Всередині серверної частини процес відбувається шляхом послідовного виконання методів, які відповідають етапам процесу обробки даних: beforeModel; model; afterModel; setupController.

Шлях, який вказаний в запиті до сервера, представляє собою ідентифікатор задачі, яку необхідно виконати. Саме в методі model шлях трансформується в задачу, і формується зв'язок цієї задачі з відповідною моделлю. Цей метод повинен повернути в якості результату відповідь запиту до моделі. В свою чергу, модель створює запит до серверу з відповідним типом запиту та його URL і створює власне задачу, яка і представляє собою «конверт», в який буде поміщений результат. Якщо задача вирішена, але в процесі роботи виникла помилка, то задача буде відхилена і згенеровано статус Rejected, а якщо дані отримані,задача маркується як Resolved (вирішено).

Наступним етапом є метод setupController. Він у якості аргументу приймає контролер, який необхідний для роботи з моделлю, що була отримана на базі вибраних даних. Якщо методу setupController не було знайдено для даної задачі, викликається більш загальний контролер, вищий за ієрархією, задачею якого є підключення моделі в даний контролер.

Далі підключається шаблон візуалізації даних, який заповнюється даними з контролеру.

Графічно цей процес показано на рисунку 2.

Таким чином, при виконанні дій користувача, наприклад, натискання кнопки «Відправити на перевірку», створюється повідомлення. Повідомлення обробляється за наступною схемою:

- Знайти, чи зареєстрований вид дії (action) в контролері з назвою повідомлення;
- Якщо такого немає, знайти відповідний шлях (URI);
- Якщо такого немає, знайти його в батьківському URI. Наприклад, при url в /items/create – для ідентифікатора /create батьківським буде ідентифікатор /items;
- Якщо такого немає, батьківському URI вищого рівня, до кореневого каталогу;
- Якщо не знайдено – створити повідомлення про помилку.

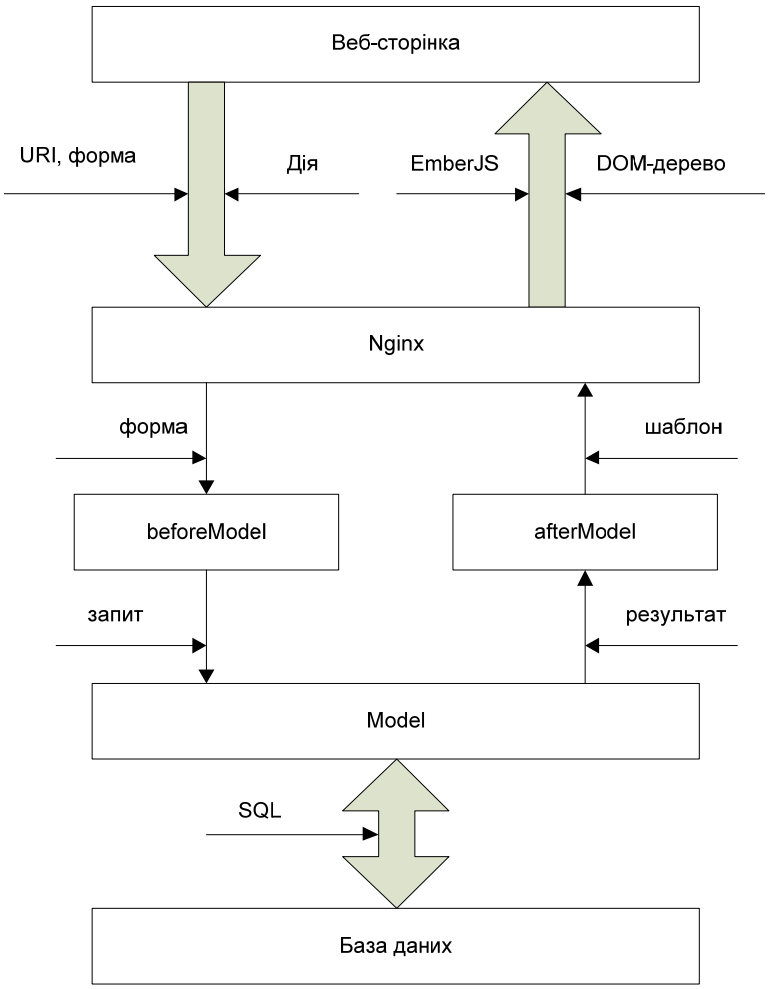


Рис. 2. Архітектура одно сторінкового інтерфейсу

Розглянемо цю схему на прикладі завантаження користувачем головної сторінки. При переході на веб-сайт продукту, перш за все, проходить завантаження програми, ініціалізаторів, маршрутизатора, а саме – URI routes/application.js з його контролером controllers/application.js та шаблоном templates/application.hbs і стилем styles/app.less. Перехоплення натискання клавіш клавіатури відбувається в процесі формування URI за допомогою робочих скорочень (shortcuts), які дозволяють швидко персоналізувати систему.

Авторизацію користувача проводить модуль ember-simple-auth. Він діє за допомогою домішок, тобто до тих URI які мають відображатись тільки для авторизованих користувачів додаються домішки (службові дані) модуля simple-auth. Також домішки додаються до URI Application для отримання методу logout (деавторизації), а також до URI, який відповідає за авторизацію користувача.

Відповідно, якщо користувач потрапляє на головну сторінку веб-сайту, спрацьовує URI (шлях) під назвою ApplicationIndex. В свою чергу, це простий шлях який перенаправляє користувача на URI group.atpage з параметром group_slug (назва групи) all – зарезервована назва групи, яка відображає всі дефекти доріг без фільтрування по групі. Перенаправлення здійснюється за допомогою методу transitionTo, який викликається в методі beforeModel.

Тепер, відповідно, відбувається перехід до URI GroupAtpage, який в свою чергу в методі model отримує дані про дефекти за фільтром який вказаний в url. Якщо користувач знаходиться на URL виду/all, то завантажуються всі дефекти без фільтру, а при url виду /group – завантажуються ті дефекти, які знаходяться в групі group. Крім того, після назви групи в URLl може бути також цифра, яка означає номер сторінки. Дефекти завантажуються з API серверної частини посторінково, по 10 дефектів на одну сторінку.

Таким чином, в рамках запропонованої нами моделі веб-сервіс представляє собою набір URI, кожен із яких повинен мати відповідну дію (задачу), яка, на основі переданих їй користувацьких даних, формує запит до моделі на сервері, і відображає повідомлення про успішне додавання нових даних (або про помилку) і оновлює сторінку, відкриту користувачем. Оновлення сторінки чи перехід на інші не вимагається, що значно зменшує витрати часу, а також збільшує ергономічність інтерфейсу за рахунок виключення зайвих дій по переходу на інші сторінки.

4. Реалізація порталу веб-комунікації на основі односторінкової архітектури

Перед реалізацією поставленої задачі, було проаналізовані існуючі проекти, та виявлено їх недоліки(табл. 3).

Таблиця 3

Існуючі проекти моніторингу стану доріг

Назва	Перелік недоліків
УкрЯма	- Відсутня функція пошуку - Інтерактивна карта містить інтерфейсні помилки
Контроль ремонту доріг	- Відсутнє фіксування пошкодженості дороги - Інтерактивна карта не фокусується
РосЯма	- Жорстка система аутентифікації - Слабка система захисту даних

Відповідно, було сформульовано критерії та функціональні можливості, яким повинна задовольняти розроблена система моніторингу якості доріг:

Додавання нової дорожньої проблеми, що включає в себе: а) фото дорожньої проблеми; б) місце дорожньої проблеми із координатам довготи і широти; в) група, до якої відноситься дорожня проблема. Це може бути як проблема, наприклад, автомобільної дороги або пішохідної.

- Короткий опис дорожньої проблеми;
- Відображення списку останніх доданих дорожніх проблем, кожна з якої має свій статус виконання – щойно додана, перевірена, опрацьовується, виконана або невиконана. Крім того, інформація повинна розбиватись на сторінки задля збереження трафіку користувача та зменшення навантаження на сервер;
- Фільтр списку дорожніх проблем по групам;
- Можливість роботи з програмним забезпеченням моніторингу якості доріг з мобільних пристроїв (смартфонів та планшетів) в повному обсязі функціоналу – переглядати, фільтрувати та додавати нові дорожні проблеми.

Відповідно будувалась реалізація різних підсистем сайту. Коротко опишемо їх і продемонструємо їх роботу.

Клієнтська частина програмного забезпечення моніторингу якості доріг складається з користувацької та адміністративної частин. Вони однакові, їх різниця складає в тому, що при доступі до адміністративної частини у користувача попросять дані авторизації (логін та пароль). Не надавши правильних даних авторизації користувачу буде заборонено доступ до адміністративних функцій.

Головна сторінка клієнтської частини програмного додатку зображена на рисунку 3. При відвідуванні веб-сайту з планшетних комп'ютерів та смартфонів, бокове меню зникає. Користувач може викликати його за допомогою спеціальної кнопки, розташованої в заголовку клієнтського додатку.

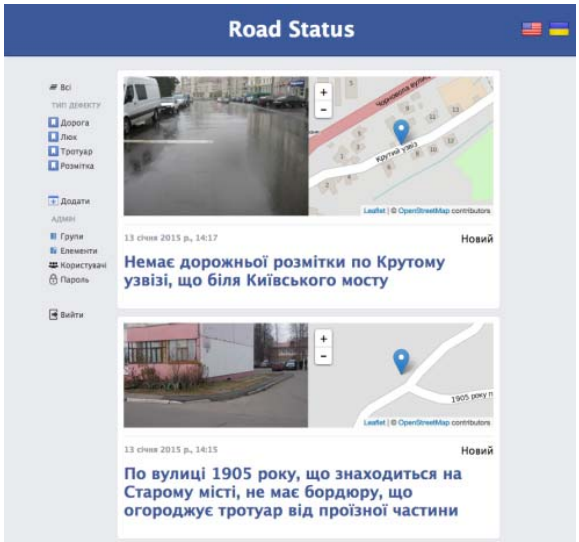


Рис. 3. Клієнтська частина програмного додатку

Дизайн клієнтської частини розроблено таким чином, щоб він адаптувався до пристрою користувача.

Додаток можна поділити на частини:

1) Заголовок клієнтського додатку.

2) Бокове меню клієнтського додатку.

3) Список дефектів, кожен з яких складається з типу дефекту, розташування, дати створення та короткого опису.

Вікно додавання дефекту зображене на рис. 4.

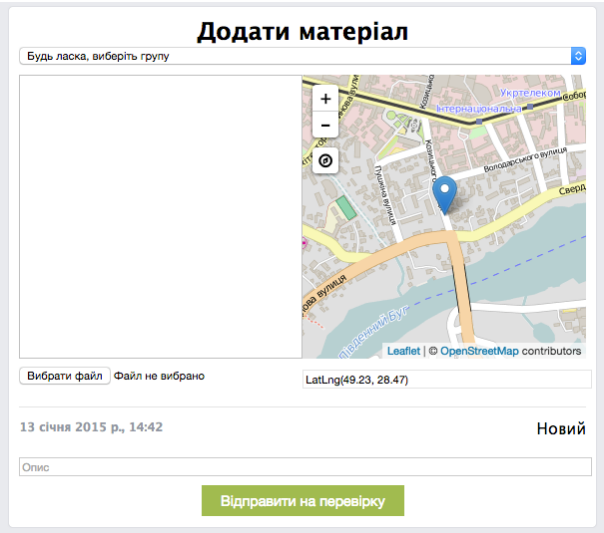


Рис. 4. Вікно додавання дефекту

Адміністративна частина створена в рамках клієнтської частини програмного додатку моніторингу якості доріг, і для доступу в неї потрібно пройти авторизацію (рис. 5).

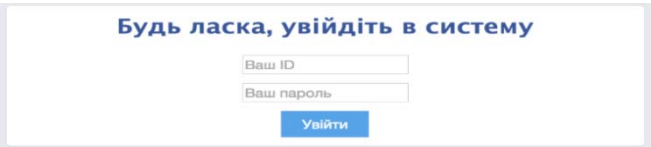


Рис. 5. Авторизація на сайті

Після успішної проходження авторизації в меню зліва з'являються додаткові пункти адміністрування програмного продукту – групи, елементи (дефекти), користувачі та зміна паролю (рис. 6).

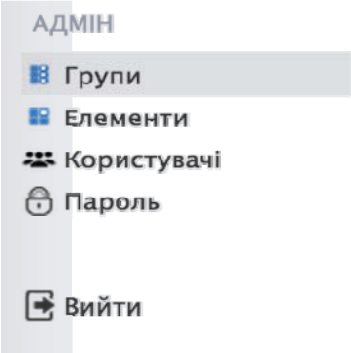


Рис. 6. Додаткові пункти адміністрування програмного продукту

Принцип роботи кожного пункту такий же як і в користувальницькій частині – є шляхи, контролери, компоненти, шаблони. Різниця лише в тому, що навігація до кожного з пунктів адміністративної частини потребує коректної авторизації адміністратору.

В розділі «Групи» редагуються типи дефектів та можуть бути додані нові типи дефектів.

В розділі «Елементи» знаходяться всі додані користувачами дефекти. Для зручності, спочатку потрібно вибрати групу дефектів, після чого будуть виведені всі додані до цієї групи дефекти, які можна редагувати.

Меню «Користувачі» дозволяє отримати список всіх користувачів, які додавали дефекти. Користувача можна підтвердити, заблокувати або видалити разом з усіма дефектами, що він додав.

Розділ «Пароль» адміністратор програмного продукту дозволяє змінити пароль для доступу до адміністративної частини.

В цілому, архітектура одно-сторінкового інтерфейсу забезпечує базове вирішення поставленої задачі, що дасть можливість побудувати повноцінну реалізацію дельфійського методу для контролю якості доріг.

Висновки

У даній роботі виконаний аналіз та проведено обґрунтування до застосування односторінкових веб-орієнтованих інтерфейсів для соціально значущих проектів та служб з метою оперативного реагування на соціальні проблеми громад. Створено прототип системи комунікації такої групи в реальному часі на базі профільного веб-сайту, організованого по принципу «односторінкового інтерфейсу» із застосуванням технологічних рішень на базі серверного та клієнтського JavaScriptcEngine.

В рамках проведеної роботи було проведено аналіз існуючих архітектурних рішень для веб-орієнтованих спеціалізованих порталів та обрано за основу дельфійський метод. В процесі розробки було удосконалено звичайну архітектуру комунікації і зведено її до односторінкового інтерфейсу. Це дозволяє значно спростити роботу із веб-сервісом, а отже, дозволяє залучення більш широкої експертної групи. Подібне спрощення також дозволяє мобілізувати веб-сервіси, адже за рахунок спрощеної односторінкової архітектури вона легко може бути перенесена на мобільні пристрої – модифікації підлягає тільки основна сторінка та шаблони.

Подібна система, як було виявлено, достатньо проста і дешева в реалізації, а відтак може бути застосована і для більш масштабних проектів.

Література

1. The Millennium Project. Futures Research Methodology : Amer Council for the United Nations / Jerome C. Glenn, Theodore J. Gordon. – New York, 2009. – 700 p.

2. Ковалев В.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия / В.В. Ковалев, О.Н. Волкова. – М. : ТК Велби, Изд-во Проспект, 2007. – 424 с.

3. Гейтс Б. Бизнес со скоростью мысли / Гейтс Б. – М. : Эксмо-Пресс, 2003. – 262 с.

4. DeMarco T. Peopleware: Productive Projects and Teams (3rd Edition) / Tom DeMarco, Timothy Lister. – NY : Addison-Wesley Professional, 2013. – 248 p.

5. Brooks F. Mythical Man-Month (2 edition) / Brooks F. – NY : Addison-Wesley Professional, 1995. – 322 p.

Рецензія/Peer review : 21.5.2016 р. Надрукована/Printed : 6.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., Лужецький В.А.

УДК 621.9.06:531.314.2

Є.О. БАГАНОВ, С.А. РУСАНОВ, С.М. ПІВЕНЬ
Херсонський національний технічний університет

ВИКОРИСТАННЯ ВАРІАЦІЙНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ КІНЕМАТИЧНОГО АНАЛІЗУ МЕХАНІЗМІВ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Розглянуті питання, пов'язані з використанням варіаційного підходу для кінематичного аналізу механізмів паралельної структури в системах автоматизованого моделювання. Наведено результати співставлення розрахункових даних, отриманих в системах комп'ютерної математики.

Ключові слова: варіаційного підхід, кінематичний аналіз, механізми паралельної структури, системи автоматизованого моделювання.

YE.A. BAGANOV, S.A. RUSANOV, S.M. PIVEN
Kherson National Technical University

VARIATIONAL APPROACH FOR KINEMATIC ANALYSIS OF MECHANISMS WITH PARALLEL STRUCTURE IN COMPUTER-AIDED SIMULATION

The problems associated with using of variation approach for kinematic analysis of mechanisms with parallel structure in computer-aided simulation is considered. The results of comparison of calculated data obtained by computer mathematics systems are shown.

Keywords: variation approach, kinematic analysis, mechanisms of parallel structure, computer-aided simulation.

Вступ. Сучасні вимоги машинобудування до технологічного обладнання формують жорстку систему критеріїв, що забезпечують необхідні показники точності, продуктивності, функціональності і економічності. Це стосується й обладнання, що формує окрему галузь серед виконавчих механізмів, а саме обладнання з механізмами паралельної структури (МПС) – маніпуляторів, випробувальних стендів, верстатів та ін. Концепція каркасних компоновок дозволяє створювати нові верстати з паралельною кінематикою з потрібним ступенем вільності виконавчої ланки для виконання багатофункціональних задач. Існуючі системи керування таким обладнанням містять в собі постпроцесори, які розроблені під існуючи моделі обладнання, а будь-який новий або модернізований верстат вимагає нового математичного опису [1]. Постпроцесорне керування рухом платформи верстату з МПС передбачає контроль за функціональними рухами обробного інструменту в просторі і в часі, що обумовлює необхідність прогнозувати рух усіх ланок, вузлів та шарнірів. Ця задача потребує розрахунків та оптимізації траєкторії руху ланок в узагальнених координатах і робочого органу – у глобальній системі координат [2]. Також при створенні нової компоновки верстату виникає необхідність адаптувати програму керування згідно кінематичної структури і одночасно виконувати аналіз жорсткісних та динамічних характеристик технологічної системи. Компоновка як перший і найвідповідальніший етап проектування верстату безпосередньо залежить від даних критеріїв та напряму впливає на затребуваність і конкурентоспроможність верстатного обладнання. Тому необхідно проводити наскрізний аналіз компоновок як складних просторових стрижнево-полігональних систем з кінематичними, жорсткісними та динамічними розрахунками верстатів на стадії вибору компоновки [3]. Кінематичний аналіз в цьому переліку є одною з базових та найвідповідальніших стадій розробки обладнання з МПС, за результатами якого відбувається як порівняння компоновок, так і формування стратегій обробки та формування керуючої програми для існуючого обладнання.

Дана робота виконується згідно плану науково дослідних робіт за рахунок коштів державного бюджету НДР 0115U003062 за темою: «Створення нової техніки і технологій машинобудування з робочими процесами взаємодії твердих, плинних і сипких тіл та середовищ».

Постановка завдання. Кінематичний аналіз руху з урахуванням можливостей адекватного моделювання прямої та зворотної задачі є вихідним пунктом при наскрізному аналізі компоновок з МПС та формуванні сценарію обробки для вже наявного обладнання. Класичне визначення рухомості кінематичних ланок і механізмів зазвичай виконують по формулам академіка П.Л. Чебишова, проф. А.П. Малишева, але це не завжди забезпечує вірний результат, у зв'язку з тим, що не враховуються сили, які діють на ланки, наявність пасивних в'язів, загальні обмеження накладені на рух ланок, наявність ланок, які змінюють довжину та інші фактори.

Також є можливість розгляду властивостей механізму паралельної структури по рівняннях рівноваги сил і пар сил шляхом обчислення рангу матриці коефіцієнтів системи рівнянь рівноваги сил і пар сил. Також рухливість оцінюється по рівняннях замкнутості векторів лінійних і кутових швидкостей руху ланок механізму скласти геометричну картину відповідності можливих розташувань множин осей обертальних кінематичних пар [4]. Один з варіантів проведення аналізу рухливостей є ітераційне моделювання зі зворотнім зв'язком між блоком кінематики та блоком пружного відклику. Такий метод, з одного боку, є досить ефективним, особливо у зв'язку з тим, що в модулі відклику силові параметри шарнірів (які залежать від їх рухливості) можна досить легко контролювати. Наприклад, рівняння зв'язків для замороженого шарніру має вигляд

$$\vec{u}_i = \vec{u}_j, \vec{\varphi}_i = \vec{\varphi}_j,$$

де $\vec{u}$ – вектор деформації ланки, $\vec{\varphi}$ – вектор кутової деформації ланки i, j – номера ланок, що зв'язуються шарніром. Для сферичного шарніру зв'язки наступні

$$\vec{u}_i = \vec{u}_j, \vec{\varphi}_i = 0, \forall i, j \in \text{Joint},$$

де *Joint* – множина ланок, що з'єднуються шарніром.

Але ж з іншого боку, такий ітераційний метод є досить ресурсномістким, що пов'язано з необхідністю врахування зворотного зв'язку між блоками кінематики та пружного відклику. Тому метою даної роботи є розробка уніфікованого підходу до формального опису голономних ідеальних в'язів, які створюються геометричними обмеженнями, що накладаються ланками та шарнірами в МПС, для спрощення автоматичної генерації системи рівнянь, які описують динаміку просторового механізму, та перевірка коректності його застосування на простих тестових системах.

Виклад основного матеріалу. Для опису траєкторії руху системи, особливістю якої є наявність жорстких голономних в'язів, запропоновано наступний підхід.

Нехай жорстка в'язь описує можливу траєкторію руху зв'язаної точки за допомогою рівняння

$$f(x, y, z, t) = 0 \ . \tag{1}$$

Прикладами такої функції можуть бути:

- сферичний шарнір з довжиною плеча R і центром шарніра в точці (x_0, y_0, z_0), яка загалом, може бути рухомою

$$f(x, y, z, t) = (x - x_0(t))^2 + (y - y_0(t))^2 + (z - z_0(t))^2 - R^2 = 0 \ ;$$

- циліндричний шарнір з довжиною плеча R, центром шарніра в точці (x_0, y_0, z_0) і віссю, напрямок якої визначається вектором $\vec{l} = (l_x, l_y, l_z)$, причому як положення центра шарніра, так і напрямок осі можуть бути функціями часу

$$\begin{cases} f_1(x,y,z,t) = \left(x - x_0(t)\right)^2 + \left(y - y_0(t)\right)^2 + \left(z - z_0(t)\right)^2 - R^2 = 0; \\ f_2(x,y,z,t) = \vec{l} \cdot \vec{r} = l_x(t) \cdot \left(x - x_0(t)\right) + l_y(t) \cdot \left(y - y_0(t)\right) + l_z(t) \cdot \left(z - z_0(t)\right) = 0; \end{cases}$$

де $\vec{r}$ – радіус-вектор точки відносно центру шарніра.

З точки зору силового опису жорстких в'язів, відхилення за нормаллю до дозволеної для руху поверхні або кривої викликає появу нескінченних за модулем сил, що діють проти відхилення. Внаслідок цього силовий опис має дві проблеми: нескінченний модуль сил важко стикується з розрахунковими алгоритмами, а зміна напрямку сили уздовж дозволеної в'язями поверхні (кривої) ускладнює математичний опис задачі.

Розгляд тільки геометричних умов, без силового опису, не дає змоги враховувати інерційні властивості системи.

Для спрощення задачі пропонується описувати сили реакції в'язей вводячи, за аналогією з віртуальними голономними в'язями [6] віртуальний потенціал (ВП) [7], який має мінімум у дозволених в'язями точках простору, а при відхиленні від них стрімко зростає (в ідеалі – стрибкоподібно), що забезпечує нульове значення сили у дозволених точках і появу нескінченної сили при намаганнях здійснити рух за нормаллю до дозволеної поверхні (кривої).

Таким вимогам до ВП задовольняє функція

$$V(x, y, z, t) = \frac{1}{\delta\left(f(x, y, z, t)\right)}$$

або, при описі в'язів, що діють у системі декількома обмежуючими функціями

$$V(x, y, z, t) = \frac{1}{\delta\left(f_1(x, y, z, t)\right)} + \frac{1}{\delta\left(f_2(x, y, z, t)\right)} + \frac{1}{\delta\left(f_3(x, y, z, t)\right)} + \ldots ,$$

де дельта-функція визначається співвідношенням

$$\delta(x) = \begin{cases} \infty, \ x = 0; \\ 0, \ x \neq 0 \end{cases} \tag{2}$$

Тоді, замінюючи силовий опис системи енергетичним, подальший аналіз можна проводити в рамках лагранжевої механіки. Функція Лагранжа буде визначатися [5]

$$L = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{M} m_i \left(\dot{x}_i^2 + \dot{y}_i^2 + \dot{z}_i^2\right) - V(x, y, z, t) \cdot \tag{3}$$

Перший доданок у формулі (3) визначає кінетичну енергію M точок, інерційні властивості яких необхідно врахувати, з N точок, траєкторії яких підлягають визначенню.

Система диференційних рівнянь, що описує рух системи, отримується підстановкою функції Лагранжа у рівняння Ейлера, складені по всім незалежним координатам N точок (диференційні рівняння Лагранжа) [5]

$$\begin{cases} \dfrac{d}{dt}\dfrac{\partial L}{\partial \dot{x}_j} - \dfrac{\partial L}{\partial x_j} = 0, \\ \dfrac{d}{dt}\dfrac{\partial L}{\partial \dot{y}_j} - \dfrac{\partial L}{\partial y_j} = 0, \qquad j = 1,\ldots, N \\ \dfrac{d}{dt}\dfrac{\partial L}{\partial \dot{z}_j} - \dfrac{\partial L}{\partial z_j} = 0. \end{cases} \tag{4}$$

Система (4) доповнюється початковими умовами координат і швидкостей M точок, інерційні властивості яких враховуються.

Для реалізації чисельної процедури розрахунку використовувати опис дельта-функції у вигляді (2) незручно навіть у системах комп'ютерної математики на кшталт Maple або Mathematica, так як жодне неспівпадіння початкових умов з умовами, що накладаються в'язями, приводить до відмови розрахункової схеми. Програми, які не можуть працювати з аналітичною математикою (мають обмеження на ділення на нуль, відсутнє аналітичне поняття нескінченності) не дозволяють задати дельта-функцію у вигляді (2).

Для чисельного застосування зручніше застосувати одну з наступних апроксимацій дельта-функції:

поліноміальну

$$\delta(x) = \lim_{\alpha\to\infty} \frac{\alpha}{\pi(1+\alpha^2 x^2)}; \tag{5}$$

або експоненціальну

$$\delta(x) = \lim_{\alpha\to\infty} \frac{\alpha}{\sqrt{\pi}} \exp(-\alpha^2 x^2) \tag{6}$$

де керуючи значенням параметра α можна досягнути необхідного ступеня наближення. На рис. 1 і рис.2 наведені графіки апроксимацій (5) і (6) відповідно при різних значеннях параметра α.

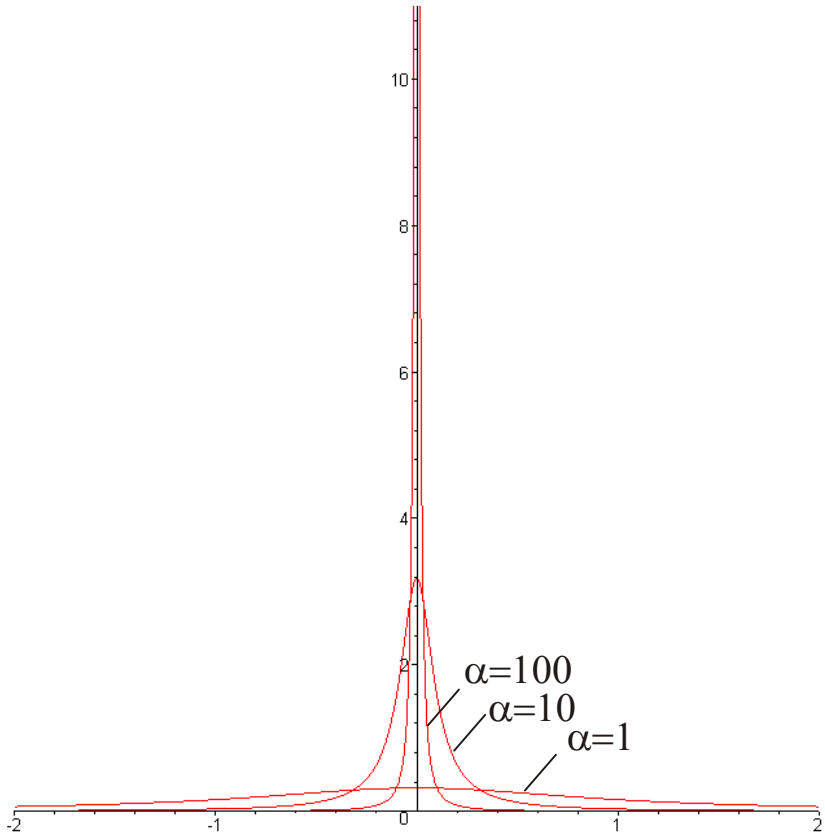


Рис. 1. Поліноміальна апроксимація дельта-функції при різних α

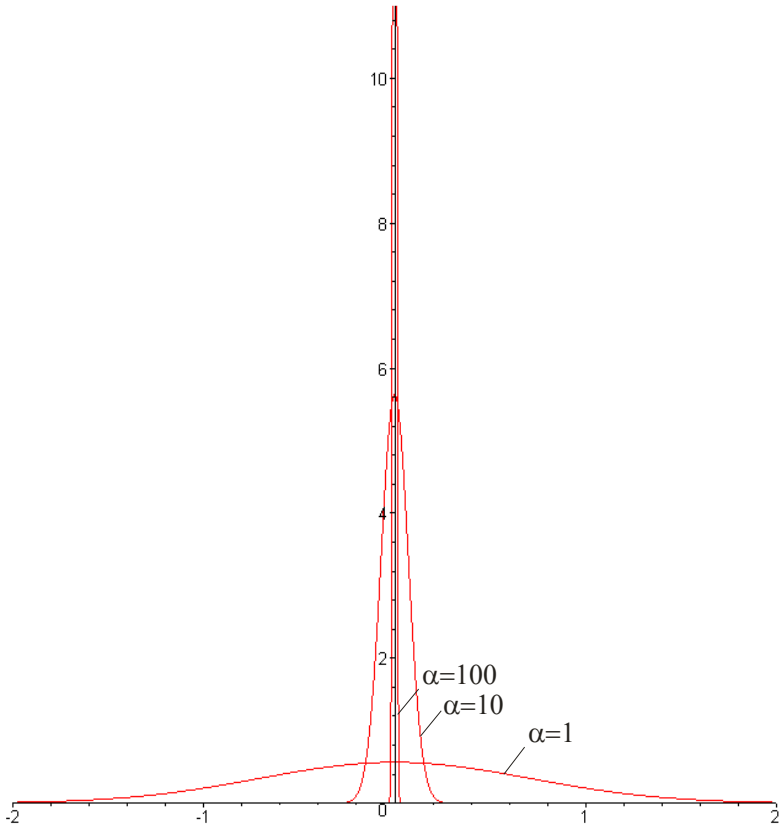


Рис. 2. Експоненціальна апроксимація дельта-функції при різних α

Для перевірки коректності запропонованого підходу була обрана наступна система: невагомий циліндричний шарнір, з рухомим центром в точці з координатами $(x_0(t), y_0(t), z_0(t))$ зі штоком довжиною R=1, на кінці якого розташоване точкове масивне тіло з координатами (x, y, z). Вісь шарніра, що задана вектором $\vec{l} = (l_x(t), l_y(t), l_z(t))$ може довільно рухатися (рис. 3). Розглядається тривимірна задача $(x_0(t), y_0(t), z_0(t))$

Функція Лагранжа має вигляд

$$L = \frac{1}{2}m\left(\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2\right) - \left(\begin{array}{l} \dfrac{1}{\delta\left((x - x_0(t))^2 + (y - y_0(t))^2 + (z - z_0(t))^2 - R^2\right)} + \\ + \dfrac{1}{\delta\left(l_x(t)\cdot(x - x_0(t)) + l_y(t)\cdot(y - y_0(t)) + l_z(t)\cdot(z - z_0(t))\right)} \end{array}\right), \quad (7)$$

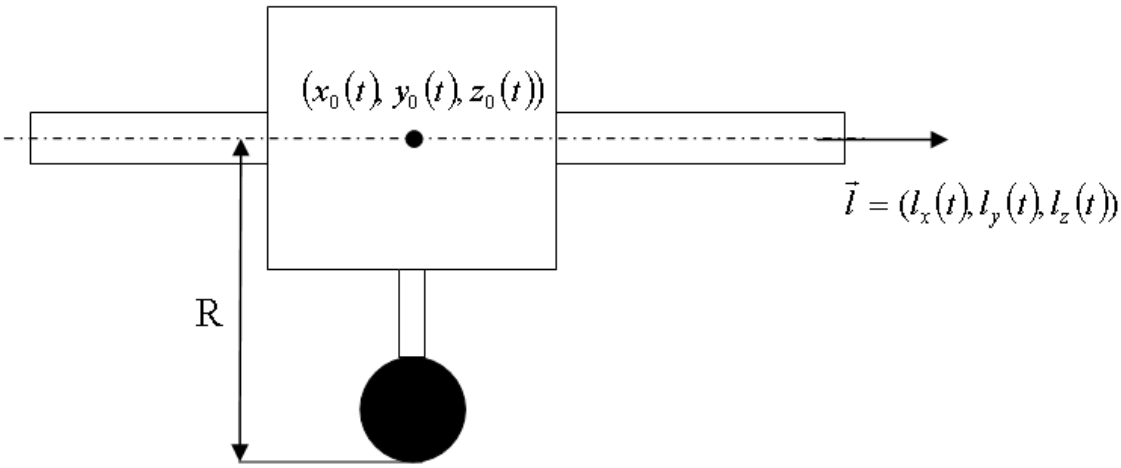


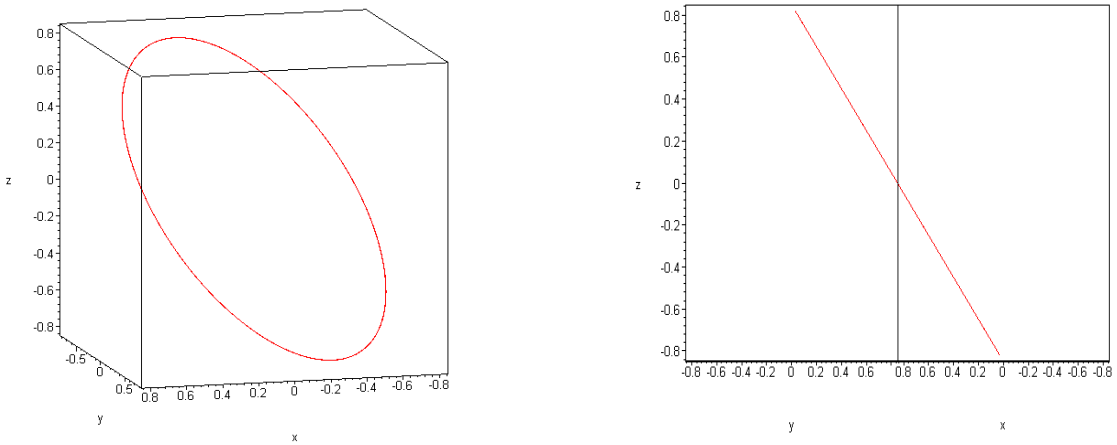
Рис. 3. Тестова система

Рівняння (4) мають вигляд

$$\begin{cases} \dfrac{d}{dt}\dfrac{\partial L}{\partial \dot{x}} - \dfrac{\partial L}{\partial x} = 0, \\ \dfrac{d}{dt}\dfrac{\partial L}{\partial \dot{y}} - \dfrac{\partial L}{\partial y} = 0, \\ \dfrac{d}{dt}\dfrac{\partial L}{\partial \dot{z}} - \dfrac{\partial L}{\partial z} = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Апроксимація дельта-функції застосовувалася за формулою (5) при α=100.

Тест 1. Вісь шарніра нерухома, тіло має початкову швидкість, перпендикулярну до штоку та осі шарніра. У даному випадку траєкторією має бути коло. Результати розрахунку наведені на рис. 4 (а, б)



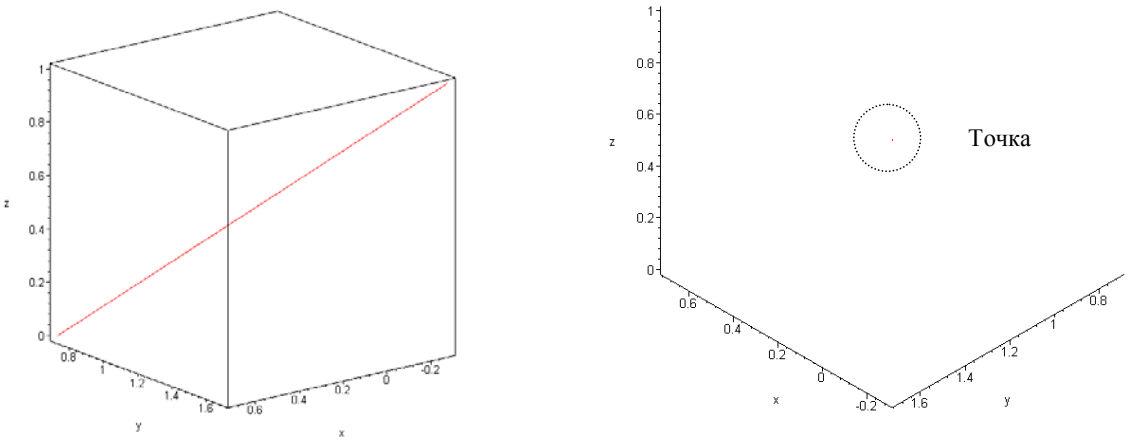
а) б)

Рис. 4. Результати розрахунку для тестової системи 1

Як видно з рис. 4, траєкторією є коло, усі точки знаходяться в одній площині.

Тест. 2. Початкова швидкість тіла нульова, шарнір рухається за напрямком власної осі. У даному випадку траєкторією має бути пряма.

Результати розрахунку наведені на рис. 5 (а, б)



а) б)

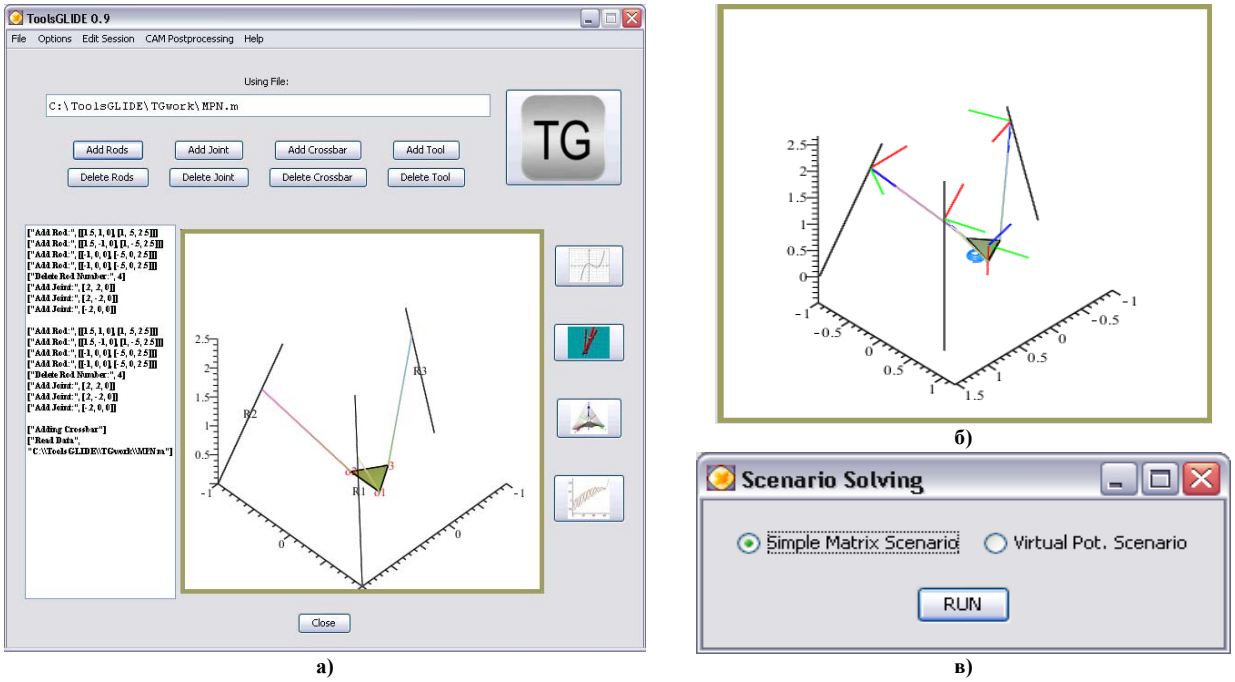
Рис. 5. Результати розрахунку для тестової системи 2

Як видно з рис. 5, траєкторією є пряма, яка проектується в точку. Додаткові тести, що детально характеризують модель, будуть надані окремою публікацією.

В якості прикладу застосування запропонованої методики вкажемо авторський комплекс програм автоматизованого моделювання, що дозволяють вирішувати кінематичні задачі для верстатів з МПС (пряма та зворотня задачі), проводити розрахунки жорсткісних та динамічних характеристик верстату з врахування різних типів шарнірів та загального завдання сил та моментів різання, проводити динамічний аналіз обладнання з отриманням частотних характеристик ще на стадії проектування та дослідження варіантів компоновки.

Пакет спеціалізованих програмних продуктів представлено низкою систем «Tools GLIDE», «Tools Response» та «Tools App» [8]. В системі «Tools GLIDE» (рис. 6) проводиться кінематичний аналіз за декількома моделями врахування в'язів у системі. За даними імпортованого файлу траєкторій та орієнтацій інструменту (може бути використано файл CL-data отриманий засобами сторонніх CAM систем) проводиться пошук розв'язку зворотної кінематичної задачі з наступним експортом постпроцесорних даних, та даних для інших типів аналізу, анімації робочого процесу.

Проводиться застосування кінематичних моделей за запропонованим в даній статті методом віртуального потенціалу, що дозволяють звузити простір можливих рішень та врахувати кінематику різних типів шарнірів.



а) б) в)

Рис. 6. Інтерфейс головного вікна системи «Tools GLIDE» (а), візуалізація анімованої стратегії обробки системи «Tools GLIDE» (б) та вибір моделей пошуку в просторі рішень (в)

Висновки

Застосування запропонованого віртуального потенціалу дозволяє переносити рівняння в'язів безпосередньо у функцію Лагранжа у вигляді відокремлених уніфікованих доданків, що робить підхід перспективним для автоматичного генерування системи рівнянь, які описують динаміку просторового механізму. Вищевказаний варіант моделі пошуку рішень дозволяє звузити простір пошуку та врахувати кінематику шарнірів різних типів у зовнішніх постпроцесорах.

Проведення тестових розрахунків з використанням віртуального потенціалу показали відповідність отриманих результатів очікуваним, алгоритмічність побудови розрахункової системи рівнянь, легкість синтезу рівнянь при з'єднанні різних типів в'язів, що обумовлює можливість застосування моделі в системах автоматизованого моделювання на кшталт «Tools GLIDE».

Література

1. Кузнєцов Ю.М. Компоновки верстатів з механізмами паралельної структури : монографія / Ю.М. Кузнєцов, Д.О. Дмитрієв, Г.Ю. Діневич ; під ред. Ю.М. Кузнєцова. – Херсон : ПП Вишемирський В.С., 2009. – 456 с.

2. Dmytriev D. Method one-parametric families for analytical description of the end-effector curved motion of the machine-tools with the mechanisms of the parallel structure / D. Dmytriev, S. Piven, P. Keba // Technological Complexes. – 2015. – № 1/2 (12). – P. 12–18.

3. Dmytriev D. New layout and kinematic drill-milling machines with parallel structure mechanisms / D. Dmytriev // Technological Complexes. – 2015. – № 1/1 (11). – P. 25–29.

4. Иосилевич Г.Б. Прикладная механика / Г.Б. Иосилевич, П.А. Лебедев, В.С. Стреляев. – М. : Машиностроение, 1985. – 351 с.

5. Гаральд Іро. Класична механіка / Гаральд Іро. – Львів : ЛНУ ім. І. Франка, 1999. – 464 с.

6. Maggiore M. Virtual Holonomic Constraints for Euler–Lagrange Systems / M. Maggiore, L. Consolini // IEEE Transactions on Automatic Control. – 2013. – № 58(4). – P. 1001–1008.

7. Баганов Є.О. Застосування віртуального потенціалу для моделювання просторових механізмів із в'язями / Є.О. Баганов, Ю.М. Бардачов, С.А. Русанов // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2016. – № 1 (56). – С. 146–152.

8. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір "Комп'ютерна програма «Tools App» № 57913 від 29.12.2014 / Державна служба інтелектуальної власності / Русанов С.А., Дмитрієв Д.О., Подольський М.І., Кузнєцов Ю.М.

Рецензія/Peer review : 20.4.2016 р. Надрукована/Printed : 6.6.2016 р.
Рецензент: д. т. н., проф. Клевцов К.М.

УДК 519.87:519.24:004.94

В.І. КУНЧЕНКО-ХАРЧЕНКО, А.С. ГАВРИШ
Черкаський державний технологічний університет

МОДЕЛІ І МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ СТОХАСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ІНТЕГРОВАНІЙ СИСТЕМІ

Для підвищення точності побудови прогнозів процесів в інтегрованих системах проведено моделювання інтерполяції із застосуванням двох альтернативних математичних апаратів. Встановлено, що збільшення ступеню поліному під час застосування методу Кунченка Ю.П. дає зменшення норми похибки до 3,5 разу (десятого ступеню поліному порівняно з дев'ятим) та теоретично дає можливість в разі збільшення ступеню поліному породжувальної функції знизити норму похибок. А статистична оцінка середньоквадратичної похибки стає меншою, ніж при бікубічній інтерполяції, за умови точного отримання апроксимуючої функції.

Ключові слова: метод Ю.П. Кунченка, інтерполяція, бікубічна інтерполяція, інтегрована система, породжувальна функція, поліном.

V.I. KUNCHENKO-KHARCHENKO, A.S. GAVRISH
Cherkassy State Technological University

THE MODELS AND METHODS OF FORECASTING THE STOCHASTIC PROCESSES IN THE INTEGRATED SYSTEM

For the increasing accuracy of building the forecasting of the processes in the integrated systems was acted the modelling of interpolation with the applying of two alternated mathematical instruments. Was determinated that the increasing of the degree of the polynomial in the case of Kunchenko's Ju.P. method applying gives decreasing of error rate up to 3,5 times (10th degree of polynomial comparatively with the 9th ones). Theoretically it will give the possibility to increase the error rate in case of increasing the degree of genitive polynomial's function. And the static rate of mean-square error become less then in bi-cubical interpolation (if the approximated function was given exactly)

Key words: method Ju.P. Kunchenko, interpolation, bi-cubical interpolation, integrated system, genitive function, polynomial.

Вступ. Дослідження динаміки розвитку інтегрованих систем і виявлення основної тенденції їх розвитку в минулому, дають основу для визначення їх майбутніх розмірів. Велику роль в плануванні відіграє екстраполяція, яка дає можливість прогнозувати різні явища. Прогнозування в свою чергу є важливим етапом планової роботи.

Зв'язок між інтерполяцією і екстраполяцією очевидний. Так, якщо інтерполяція дає змогу приблизно відобразити ті закономірності, які склалися протягом певного періоду часу (часового ряду), то екстраполяція – це спосіб продовження кількісних характеристик сукупностей за межі якогось терміну. Виявлення функціональних залежностей значень часового ряду дає змогу надалі провести ефективну екстраполяцію (прогнозування).

Аналіз джерел за тематикою. Численні дослідженні, пов'язані з різними моделями прогнозів проводилися різними науковцями, зокрема Ю.П. Зайченко, О.С.Войтенко, Nafas Aghaie agh Ghamish Ovi, [1], Гасанов А.С. [2], Rob J. Hindman в своїй монографії [3], що узагальнює основні методи прогнозування, інтерполяцій та екстраполяцій та проводить порівняння інструментальних засобів прогнозування, та багато інших вітчизняних та закордонних дослідників та науковців. Цікавим підходом щодо виявлення тенденції розвитку інтегрованих систем може виявитися застосування математичного апарату, запропонованого професором Кунченком Ю.П., в роботах [4, 5].

За допомогою способу екстраполяції, на базі запропонованого ним математичного апарату, можуть бути зроблені висновки, одержані внаслідок вивчення однієї частини сукупності та поширені на його іншу аналогічну частину. Дані ідеї розвинені в публікаціях [6, 7].

Актуальність полягає в необхідності підвищення точності побудови аналітичних прогнозів часових рядів для інформаційних процесів, що протікають в інтегрованих системах.

Постановка задачі. В результаті аналізу отриманих з ресурсу Google Analytics даних відвідування web - ресурсу, виникла задача візуалізації графіку функції на 2-вимірній карті та відновлення проміжних показників (інтерполяція) з можливістю подальшої екстраполяції даних (прогнозування). Значення аргументів по вісі X та функції по вісі Y відомі з означеного ресурсу і являють собою статистичну вибірку (часовий ряд). Шкала абсцис – лінійна. Таким чином, маємо задачу, вхідні дані для якої наведені в таблиці 1.

Колонка «місяць» - це аргумент, колонки «унікальні відвідувачі», «кількість візитів сумарна», «різниця» - це значення функції.

Розв'язок задачі полягає у відновленні проміжних значень функції (3 функції) на всьому відрізку її аргументів за декількома методами, в тому числі за методом Кунченка, описаним в працях [4, 5].

Окремо сформулюємо аналітичний вираз (функціональну залежність) для функції відновлених точок. Для цього використаємо апарат комп'ютерних обчислювальних методів MathCAD, MatLab.

Загальна задача інтерполяції. В загальному вигляді постановка задачі інтерполяції виглядає таким чином: нехай функція $f(x)$ задана таблицею своїх значень x_i, y_i на інтервалі $[a,b]$:

$$y_i = f(x_i), i = 0,1,...,n, a \le x_i \le b. \quad (1)$$

Таблиця 1

Вхідні дані для функції інтерполяції

Місяць	Унікальні відвідувачі	Кількість візитів сумарна	Різниця
Січень 2010	49260	64900	15640
Лютий 2010	102609	150857	48248
Березень 2010	120732	181087	60355
Квітень 2010	148756	226615	77859
Травень 2010	175433	264182	88749
Червень 2010	202611	309055	106444
Липень 2010	196101	291979	95878
Серпень 2010	146925	215512	68587
Вересень 2010	110517	161719	51202
Жовтень 2010	110487	161767	51280
Листопад 2010	134764	198883	64119
Грудень 2010	133989	195775	61786

Загальна задача інтерполяції полягає в знаходженні функції $F(x)$, що приймає в точках x_i ті самі значення y_i. Умова інтерполяції виглядає, як $F(x_i) = y_i$.

При цьому передбачається, що серед значень x_i однакових немає. Точки x_i є вузлами інтерполяції.

Якщо $F(x)$ є шуканою тільки на відрізку $[a,b]$, то це є задачею інтерполяції, а якщо за межами початкового відрізку, то це задача екстраполяції.

Виклад основного матеріалу. В зв'язку з тим, що основною вимогою для інтерполяційної функції є отримання мінімальної кількості артефактів інтерполяції, вибір здійснювався з поміж таких інтерполяційних методів [8], як: 1) локальна глобальна інтерполяція; 2) кусочно-лінійна інтерполяція; 3) кусочно-квадратична інтерполяція; 4) багаточлен Лагранжа; 5) бікубічна інтерполяція.

Бікубічна інтерполяція, яка часто використовується в різних галузях прикладних перетворень, має деякі переваги перед іншими інтерполяційними методами.

Алгоритм отримання бікубічної інтерполяції давно відомий. Кубічна сплайн-інтерполяція дозволяє провести криву через набір точок таким чином, що перші і другі похідні кривої безперервні в кожній точці. Ця крива утворюється шляхом створення ряду кубічних поліномів, що проходять через набори з трьох суміжних точок. Кубічні поліноми потім стикуються один з одним, щоб утворити одну криву. Приклад подібного поліному наведений нижче: $ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$, при $a \neq 0$.

Бікубічна інтерполяція значно випереджає інші види інтепорполяцій за глибиною перетворень. Так, наприклад, така інтерполяція розглядає масив з 4x4 навколишніх пікселів (всього 16), як такі, що знаходяться на різних відстанях від деякого невідомого пікселя, тому, оскільки вони знаходяться на різних відстанях, то найближчі пікселі зображення при інтерполяційному розрахунку отримують більшу вагу.

Внаслідок бікубічної інтерполяції зазвичай отримують більш різкі зображення, ніж з використанням, наприклад, білінійної. Такий вид інтерполяції зарекомендував себе, як оптимальний по співвідношенню часу обробки і якості на виході [9, 10]. В зв'язку з цим вона стала стандартною для багатьох програм обробки зображень (Adobe Phoshop, GIMP), драйвером принтерів і вбудованою інтерполяцією камер [11, 12].

При реалізації інтерполяцій в програмних засобах комп'ютерних чисельних методів використовують сплайн-функції. MathCAD поставляється з трьома сплайн - функціями: 1) $cspline(vx, vy)$; 2) $pspline(vx, vy)$; 3) $lspline(vx, vy)$.

Дані функції повертають вектор коефіцієнтів других похідних, які далі позначимо, як vs. Аргументи vx, vy повинні бути дійсними векторами однакової довжини. Значення вектора vx повинні бути розташовані і порядку зростання. Дані три функції відрізняються граничними умовами.

Функція *cspline* генерує криву сплайна, яка може бути кубічним поліномом в граничних точках. Вектор *vs* обчислюється на основі векторів даних vx та vy в одній з функцій pspline, lspline або cspline.

При обчисленні вектора бікубічної інтерполяції використаємо функцію $vs := cspline(vx, vy)$. Вектор vs містить другі похідні інтерполяційної кривої в розглянутих точках.

Результати чисельного моделювання даних, наведених в таблиці 1, отримуємо графік (рис. 1).

Для того, щоб знайти значення у проміжній точці діапазону аргументів (від 1 до 12), останнім аргументом слід вказати для якої точки (аргументу X) потрібно знайти значення функції інтерполювання, наприклад (значення аргументу дорівнює 2,2, а значення функції – 125400), тобто $\mathrm{int}erp(d2f_1, x, v1, 2.2) = 1.254 \times 10^5$.

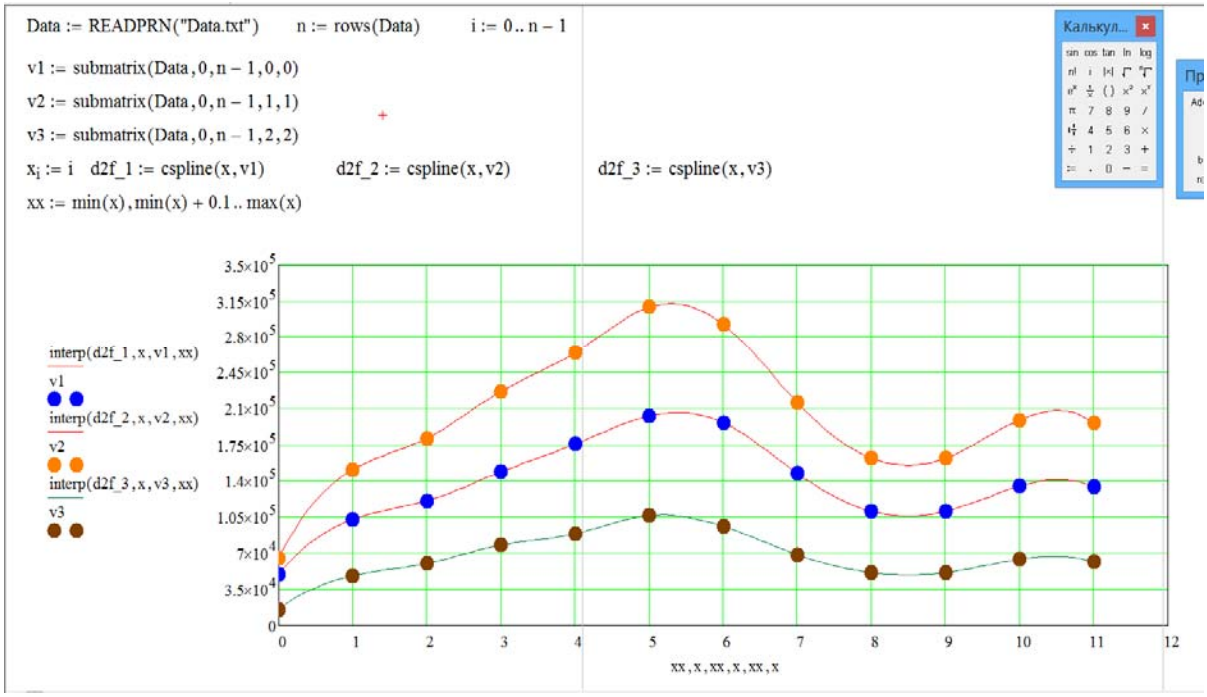


Рис. 1. Результати чисельного моделювання даних з ресурсу Google Analytics

Далі здійснимо порівняння біквадратичної інтерполяції та інтерполяції за методом професора Кунченка, скориставшись наявним математичним апаратом, описаним в [4, 5]. Задача формалізується таким чином, щоб її рішення було закодовано у вигляді локальних інформаційних потоків, що залежить від характеристики породжуючої функції простору Ku. В зв'язку з тим, що існують значення функцій та аргументів, множина генотипів початкової популяції інформаційних потоків відома. Дана множина оцінюються з використанням «функції пристосованості», в результаті чого з кожним генотипом асоціюється деяке визначене значення («пристосованість»), яке визначає факт сукупності характеристик, властивий інформаційній гіпотезі та факт успішності розв'язку поставленої задачі.

При виборі «функції пристосованості» (fitness function) важливо знати, щоб її рельєф був гладкий [4, 5]. Таким чином можливо визначити вираз для визначення поліномів наближення до основної функції за Кунченком. Породжувальна функція має вид $\varphi_1(x) = nx^S$, ступень полінома $s = \overline{1,9}$.

Поліноміальна апроксимація при степені поліному 9 порівняно зі сплайн-апроксимацією виглядає так (рис. 2). Рівняння апроксимуючої функції 9 ступеню, складене за методом, наведеним в [4, 5], показано на рис.3.

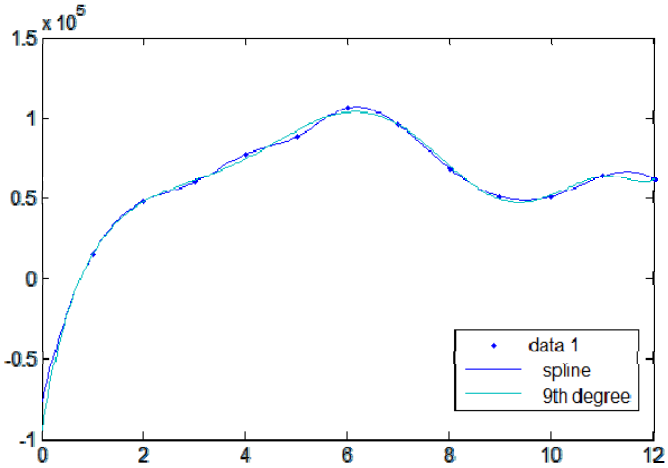


Рис. 2. Поліноміальна апроксимація при степені поліному 9 порівняно зі сплайн-апроксимацією

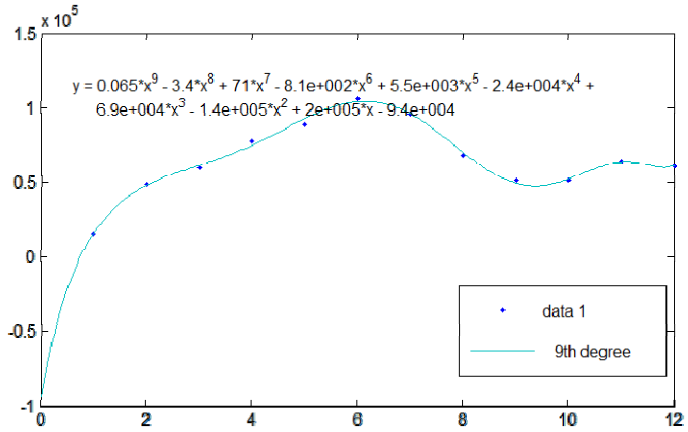


Рис. 3. Розв'язок апроксимуючої функції 9 ступеню

Порівняння норми похибки для розв'язків сплайнової інтерполяції (бікубічна) та поліномінальна за методом Кунченка для 9 ступеню поліному показано нижче (рис. 4).

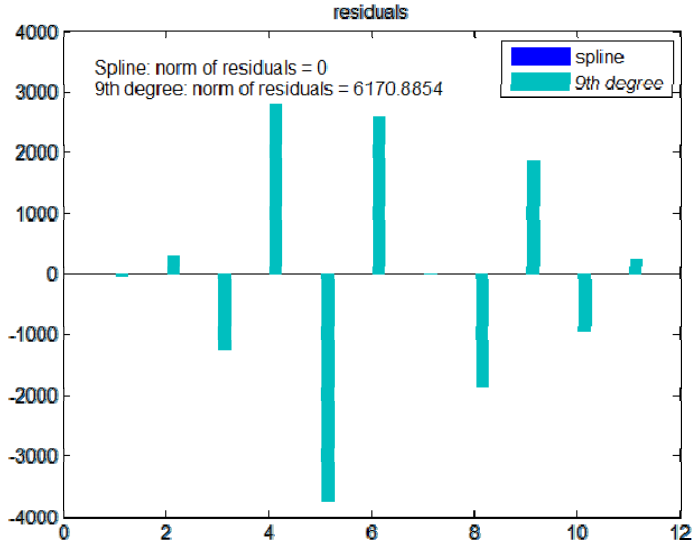


Рис. 4. Порівняння норми похибки для розв'язків сплайнової інтерполяції (бікубічна) та поліномінальна за методом Кунченка для 9 ступеню поліному

Поліноміальна апроксимація при степені поліному 10 порівняно зі сплайн-апроксимацією (рис. 5).

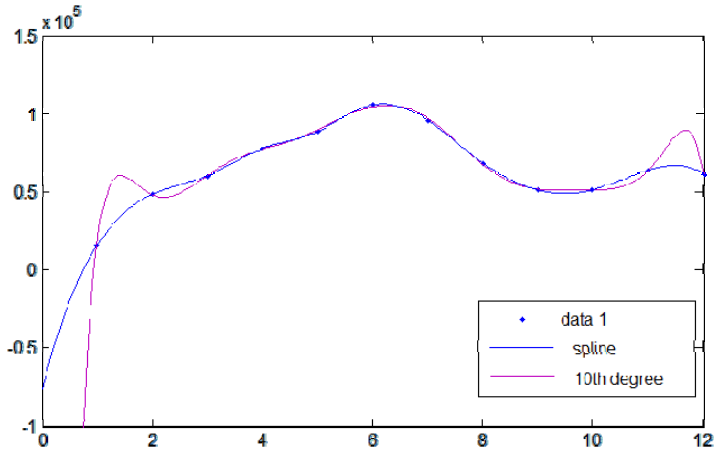


Рис. 5. Порівняння норми похибки для розв'язків сплайнової інтерполяції (бікубічна) та поліномінальної за методом Кунченка для 10 ступеню поліному

Рівняння апроксимуючої функції 10 ступеню має наступний вид (рис. 6).

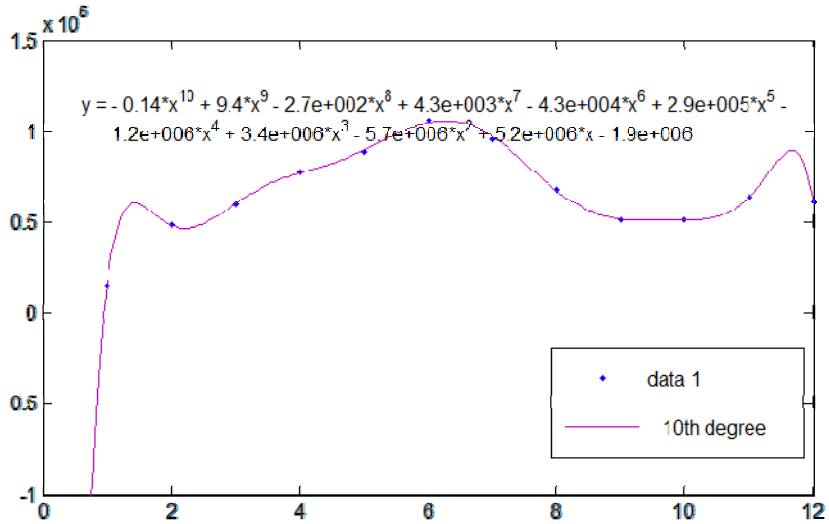


Рис. 6. Рівняння апроксимуючої функції 10 ступеню

Норма похибок при *s*=10 можна представити у вигляді графіку (рис. 7).

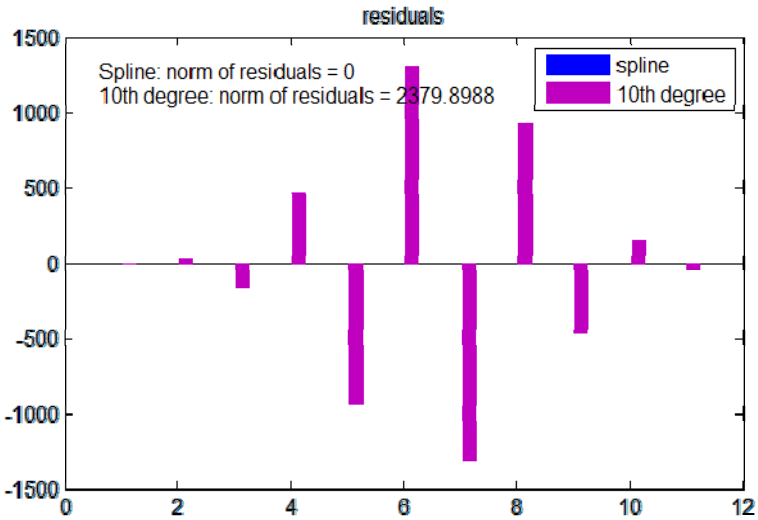


Рис. 7. Порівняння норми похибки для розв'язків сплайнової інтерполяції та поліноміальної за методом Кунченка для 10 ступеню поліному

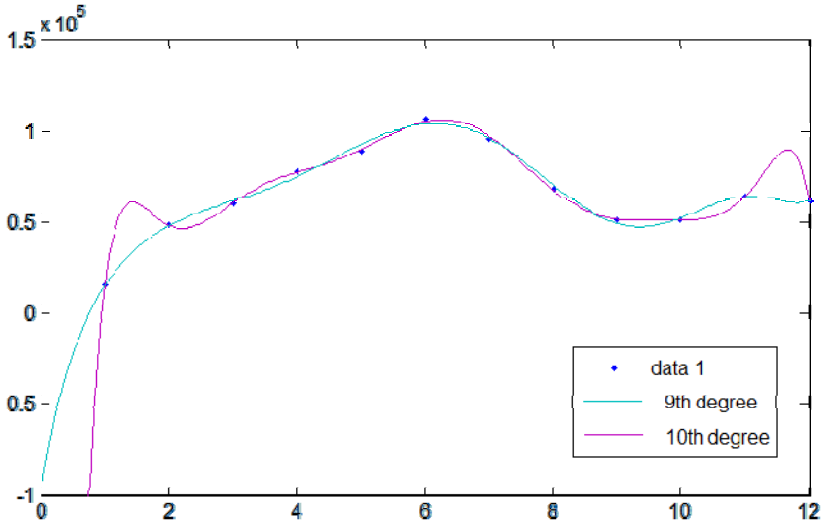


Рис. 8. Поліноміальна апроксимація при степенях поліному 9 та 10

Поліноміальна апроксимація при степенях поліному 9 та 10 представлена на рис. 8. Порівняння норм похибок при поліноміальній апроксимації поліномів 9 і 10 ступенів (рис. 9).

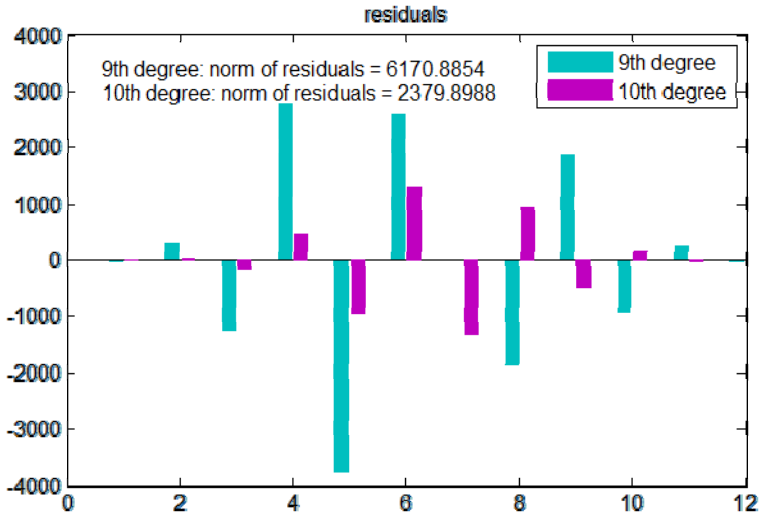


Рис. 9. Порівняння норм похибок при поліноміальній апроксимації поліномів 9 і 10 ступенів

З наведених вище результатів застосування двох альтернативних математичних апаратів інтерполяції та апроксимації можна зробити висновок про те, що збільшення ступеню поліному при застосуванні методу Кунченка дає зменшення норми похибки до 3,5 разу (9 та 10 ступінь).

Висновки. Сплайнова інтерполяція дає суттєвий виграш в часі, в той же час, інтерполяція за методом Кунченка теоретично дає можливість в разі збільшення ступеню поліному породжувальної функції значно знизити норму похибок. Цей показник вказує на статистичну оцінку середньоквадратичної похибки. При цьому вона стає меншою, ніж при бікубічній інтерполяції, але необхідно точно отримувати апроксимуючу функцію $y = g(x)$.

Література

1. Системні дослідження та інформаційні технології. “Аналіз фінансового стану й прогнозування ризику банкрутства банків” [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://journal.iasa.kpi.ua/article/view/51988/50551

2. Зайченко Ю.П. Порівняльний аналіз методів прогнозування макроекономічних показників України / Ю.П. Зайченко, А.С Гасанов // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2013. — № 1. — С. 67–78.

3. Forecasting: Principles and Practice [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://robjhyndman.com/uwafiles/fpp-notes.pdf

4. Кунченко Ю.П. Поліноми наближення у просторі з породжувальним елементом / Ю.П. Кунченко ; пер. з рос. – К. : Наукова думка, 2005. – 219 с. – [ISBN 966-00-0481-8].

5. Кунченко Ю.П. Стохастические полиномы / Ю.П. Кунченко. – К. : Наукова думка, 2006. – 275 с. – [ISBN 966-00-0452-4].

6. Кунченко Ю.П. Полиноминальные оценки параметров близких к гауссовским случайных величин. Часть 1. Стохастические полиномы, их свойства и применение для нахождения оценок параметров / Ю.П. Кунченко. – Черкассы : ЧИТИ, 2001. – 133 с. – [ISBN 966-7533-12-3]

7. Кунченко Ю.П. Полиномы приближения в пространстве с порождающим елементом / Ю.П. Кунченко Ю.П. – К. : Наук. думка, 2003. – 243 с.

8. О неисчерпаемости пиксела. Часть 2 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://itc.ua/articles/o_neischerpaemosti_piksela_chast_2_16633/ – 13.04.2016.

9. Интерполяция цифрового изображения [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.cambridgeincolour.com/ru/tutorials-ru/image-interpolation.htm. – 14.04.2016.

10. Невлюдов И.Ш. Обзор методов интерполяции геометрических контуров в составе автоматизированного проектирования сложных обрабатываемых профилей. Технология приборостроения / И.Ш. Невлюдов, С.С. Великодный // Механизация и автоматизация в приборостроении. – 2008. – № 1. – С. 1–9.

11. Уолш Дж.Л. Интерполяция и аппроксимация рациональными функциями в комплексной области / Дж. Л. Уолш. – М. : Изд-во Иностранной Литературы, 1961. — 508 с.

12. Способ интерполяции цифрового изображения [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.findpatent.ru/patent/236/2367019.html. – 15.04.2016.

Рецензія/Peer review : 2.5.2016 р. Надрукована/Printed :8.6.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Лега Ю.Г.

УДК 621.316

В.Р. ЛЮБЧИК, К.Л. ГОРЯЩЕНКО
Хмельницький національний університет

ФАЗОЧАСТОТНИЙ ПІДХІД ВИЗНАЧЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ТА ПОХИБКИ З НИМ ПОВ'ЯЗАНІ

Проведено дослідження основних методів вимірювання дальності об'єктів. Встановлено, що основними методами є часові, частотні та фазові методи вимірювання. Наведено аналіз принципів отримання вимірювальної інформації, розрахункових виразів, за якими знаходиться дальність, похибки вимірювання. Часові методи є найбільш наочними, мають прості розрахункові вирази та технічну реалізацію Але вони мають значну похибку вимірювання, яка визначається тривалістю зондувального сигналу. Частотні методи мають більшу точність, проте більш складну технічну реалізацію. Фазові методи мають високу точність, просту технічну реалізацію, хоча не дозволяють вимірювати дальності декількох об'єктів.

Ключові слова: часові методи, частотні методи, фазові методи, радіолокація.

V.R. LIUBCHYK, K.L. HORIASHCHENKO
Khmelnytsky National University, Ukraine

PHASE-FREQUENCY BASED METHOD OF DAMAGES DIAGNOSTIC AND HIS ERRORS

A study of the main methods of measuring the distance of objects in the radar. It was established that the main methods are time, frequency and phase measurement methods. The analysis of the principles of obtaining measurement data, calculated expressions which using for ranging, measurement error. Time methods is the most visual , have simple calculation expressions and technical implementation but they have considerable measurement error which is determined by the duration of probing signal. Frequency methods are more accurate. However, they has more complex technical implementation. Phase methods are highly accurate, simple technical implementation. However, they couldn't to measure the distance to a few objects.

Keywords: temporal methods, frequency methods, phase techniques, radar.

Вступ

В практиці вимірювання відстаней до об'єктів відомо багато різних підходів до побудови вимірювальних пристроїв та систем, а також методів їх функціонування. Усі вони використовують електромагнітне випромінювання або акустичні хвилі. В роботах різних авторів неодноразово вказувалось на актуальність та одночасне існування ряду нерозв'язаних проблем, що ставляться при створенні різноманітних вимірювальних систем для визначення їх пошкоджень.

Під час зондування різноманітними сигналами вони поширюються з кінцевою швидкістю. Відбиття відбуваються від кожної границі двох середовищ із різними хвильовими опорами. При цьому частина сигналу проходить через границю цих матеріалів. Також при проходженні через середовище хвиля набуває згасання відповідно до фізичних властивостей середовища, у якому вона поширюється. Усі відбиті сигнали будуть проходити у зворотному напрямку до приймального сенсору, набуваючи згасання, відбиття у зворотному напряму, заломлення. Даний процес поширення, поглинання, відбиття і заломлення хвилі відбувається доти, доки енергія сигналу не буде розсіяна у середовищі та енергія сигналу, відбитого від деякої границі середовищ, яка повернеться до приймача, не буде менше порогу чутливості приймача.

Основна частина

Для реалізації систем зондування використовуються різні зондувальні відео- та радіосигнали, зміну параметрів яких при зондуванні використовують для отримання вимірювальної інформації. Такими параметрами є часова затримка імпульсу, часова затримка зміни частоти, зміна амплітуди, зміна фазової характеристики і т. д.

Залежно від того, які вимірювальні сигнали застосовують і які параметри сигналів є інформативними, можна виділити різні основні методи радіолокаційного зондування, в тому числі і ті, які використовуються для зондування об'єктів. Такими методами є: імпульсні методи із визначенням часової затримки сигналу [1, 2, 3]; імпульсні методи із використанням надширокосмугових сигналів (НШС-сигналів) [4, 5]; імпульсні методи зі ступеневою зміною носійної частоти [6]; частотні методи із неперервною зміною частоти (ЛЧМ-сигнали) [7, 8]; частотні методи із дискретною зміною частоти (Step-by-step) [9]; фазові методи [7, 8]; методи із використанням складних сигналів [10].

Серед усіх методів радіолокаційного дослідження імпульсні методи із визначенням часової затримки є найбільш простими [7]. Принцип роботи, переваги та недоліки неодноразово описані в науковій літературі. Найголовнішим в методі є визначення відстані, враховуючи різну швидкість розповсюдження електромагнітних хвиль в різних середовищах v_x та час затримки сигналу відбитого від *i*-го об'єкту τ_i, дальність до об'єктів визначається із виразу:

$$D_i = \frac{v_x \tau_i}{2}. \quad (1)$$

Під час проходження прямокутних імпульсів колами передавача, середовищем, колами приймача, їх форма спотворюється і стає відмінною від прямокутної. Це пояснюється змінюю їх частотного спектру відповідно до частотних характеристик електронних кіл та середовища, а також частотною дисперсією

середовища. Внаслідок цього форма імпульсів з прямокутної перетворюється на форму близьку до гаусівського імпульсу. В такому разі важко визначити початок імпульсу та його тривалість. Отже, розрізнення імпульсів, що прийшли від різних об'єктів або границь шарів можливе, якщо можливе розрізнення мінімальної затримки по часу $\Delta t_{\min}$. Відомо. що для радіоімпульсів однакової амплітуди, розрізнення за дальністю визначається тривалістю радіоімпульсу $\tau_{0.5}$ на рівні 0.5 від максимальної амплітуди, тобто $\Delta t_{\min} = \tau_{0.5}$, звідки:

$$D_{\min} = \frac{v_{\text{x}} \tau_{0.5}}{2}. \tag{2}$$

Миттєва відносна похибка визначення дальності об'єктів в загальному може бути знайдена із виразу:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta v_x}{v_x} + \frac{\Delta t_R}{t_R}, \tag{3}$$

де Δt_R – абсолютна похибка знаходження часової затримки;

Δv_x – абсолютна похибка визначення швидкості розповсюдження електромагнітної хвилі у середовищі.

Припускаючи випадковий характер невідомих ΔR та Δt_R, а також їх незалежність, знаходять відносну точність визначення дальності [7]:

$$\frac{\sigma_R}{R} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{v_x}}{v_x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{t_R}}{t_R}\right)^2}. \tag{4}$$

Дисперсія $\sigma_{v_x}^2$ обумовлена точністю, з якою відома швидкість розповсюдження радіохвилі та її непостійність впродовж траси. Для вакууму швидкість розповсюдження електромагнітної хвилі $c = 299792458 \pm \sigma_c$ м/с, а $\sigma_c / c = 10^{-9}$. В атмосфері $\sigma_{\text{v}_{\text{атм}}} / \text{v}_{\text{атм}} = 10^{-4} \ldots 10^{-6}$.

Таким чином, навіть за відсутності методичної і апаратної похибок, визначення часової затримки ($\sigma_{t_R} = 0$), гранична точність вимірювання дальності залежить від того, наскільки точно на даний момент відомо v_x і можливості врахування σ_{v_x} [7].

При цифровому вимірюванні часової затримки імпульсного сигналу наявна похибка дискретизації $\Delta R = 0.5 v_x T_{\text{ліч}}$, яка залежить від періоду слідування лічильних імпульсів $T_{\text{ліч}}$. З іншого боку, відомо, що мінімально можлива дисперсія оцінки параметру σ_τ^2 при радіолокаційному вимірюванні, визначається властивостями кореляційної функції $K(\tau)$ і відношенням енергії сигналу E до спектральної щільності шуму N_0 [11]:

$$\sigma_\tau = \left[\left(\frac{2E}{N_0}\right)\left(-\frac{d^2 K(\tau)}{d\tau^2}\right)_{\tau=0}\right]^{-1}. \tag{5}$$

З даного виразу видно, що при збільшенні співвідношення сигнал/шум точність вимірювання часових інтервалів підвищується. Для реалізації даної вимоги потрібно підвищувати енергію зондувального сигналу, що в свою чергу призводить до необхідності збільшувати амплітуду імпульсу, що не завжди є можливим. При цьому, чим вище частота модулюючого сигналу, тим вище точність та розрізнювальна спроможність вимірювання дальності. Але з іншого боку, проникність сигналу в матеріалах на високих частотах нижче ніж на низьких. Застосування імпульсних радіосигналів викликає протиріччя між точністю вимірювання із забезпеченням розрізнювальної спроможності.

Для підвищення точності та роздільної здатності останні десятиліття застосовують надширокосмугові (НШС) зондувальні сигнали. Особливістю таких сигналів є значний частотний діапазон, який займає спектр частот таких сигналів. Як правило, спектр частот НШС сигналів займає смугу частот від декількох сотень мегагерц до декількох гігагерц. Такий широкий діапазон частот, присутніх в спектрі сигналу, дозволяє отримати інформацію про об'єкти у трьох частотних діапазонах. По-перше, коли довжини хвиль, зондувальних сигналів більше за розміри об'єктів (релеєвський діапазон частот). По-друге, коли довжини хвиль співрозмірні з розмірами об'єктів (резонансний діапазон частот). По-третє, коли довжини хвиль менші за розміри об'єктів (високочастотний діапазон частот) [4].

Одним із основних параметрів для опису НШС сигналів є поняття широкосмуговості:

$$\mu = \frac{\Delta f}{f_0} = 2\frac{f_{\text{в}} - f_{\text{н}}}{f_{\text{в}} + f_{\text{н}}}, \tag{6}$$

де $\Delta f = f_{\text{в}} - f_{\text{н}}$ – ширина спектру частот сигналу; $f_0 = f_{\text{в}} + f_{\text{н}}$ – центральна частота сигналу; $f_{\text{в}}$ – верхня частота; $f_{\text{н}}$ – нижня частота.

У НШС сигналів $\mu \approx 1$ [4]. Отже, виходячи із умови глибини проникненості зондувальних сигналів, значення центральної частоти обирають в межах від 10 до 500 МГц. Тоді смуга частот має значення від 20 до 1000 МГц. Зондувальні НШС сигнали, що застосовуються можуть бути одноперіодними, двоперіодними або аперіодичними (відеоімпульсними) [11]. З точки зору роздільної здатності, точності та частотного діапазону, найкращими є аперіодичні зондувальні НШС сигнали. Ще однією позитивною відмінністю даних сигналів є простота їх технічної реалізації у порівнянні з формуванням одно або двоперіодних сигналів.

Розглядаючи системи із використанням НШС сигналів, неважко помітити, що вони висувають особливі вимоги до випромінюючої та приймаючої апаратури. Вимагається розробка та виготовлення специфічних НВЧ пристроїв формування таких сигналів. Складною є також задача реєстрації та обробки таких сигналів. Принциповим є використання високошвидкісних обчислювальних пристроїв, які дозволили б проводити математичну обробку сигналів у часовій та спектральній областях [4, 5].

У НШС радарів внаслідок неузгодженості спектрів сигналу та частотних характеристик антен та інших причин, наявні додаткові енергетичні втрати, яких немає у вузькосмугових системах [12].

Тому використання НШС сигналів дозволяє значно підвищити точність та роздільну здатність. Проте для побудови таких радарів потрібно розв'язувати ряд складних наукових та технічних задач. А саме, вирішити питання випромінювання та прийому НШС сигналів при мінімальному спотворенні форми сигналу, математичної обробки сигналів відбитих від об'єктів та їх елементів, врахування різних частотних характеристик середовища та об'єктів. Для подолання більших енергетичних втрат, потрібно випромінювати сигнали більшої потужності ніж при використанні вузькосмугових радарів.

Але залежність рівня згасання від частоти та матеріалу середовища призводить до необхідності зниження центральної частоти НШС сигналу. В такому разі точність вимірювання глибин та роздільна здатність суттєво погіршуються, що вимагає пошуку інших методів знаходження глибин розташування об'єктів та їх характеристик.

Потенційна точність вимірювання параметру при використанні НШС сигналів практично визначається його середньою «носійною» частотою f_0 [13].

Роздільна здатність вимірювання, при застосуванні періодичних сигналів, визначається як число розрізнювальних інтервалів, які вкладаються в діапазон однозначного вимірювання [14]:

$$Q = \frac{T_{\text{п}}}{\Delta\tau} = B - 1, \tag{7}$$

де B – шпаруватість функції кореляції або власне сигналу. Оскільки відстані між спектральними лініями періодичного сигналу $F_{\text{п}} = 1/T_{\text{п}}$, то загальне число точок відліку спектру радіосигналу при довільній широкосмуговості $n_i = \frac{\Delta f}{F_{\text{п}}} + 1 = \frac{2T_{\text{п}}}{\Delta\tau} + 1 = 2Q + 1$, де для радіосигналу $\Delta f = \frac{2}{\Delta\tau}$.

Таким чином, інформативні властивості сигналу, що вкладаються у розрізнювальну спроможність, виражаються числом спектральних ліній в складі його спектру. Наприклад, для розрізнення двох цілей ($Q = 2$) за допомогою радіосигналу, необхідно мінімум п'ять спектральних ліній.

Частотні методи вимірювання дальності об'єктів ґрунтуються на використанні неперервного сигналу з частотною модуляцією за симетричним або несиметричним законом. При лінійному законі ЧМ через запізнення відбитого сигналу на час t_R, миттєва різниця частоти сигналів випроміненого f_1 і прийнятого f_2 дорівнює $F_{\text{б}} = f_1(t) - f_2(t) = \left(\partial f(t) / \partial t \right) t_R$. Тому як, що передавач і приймач мають обмежені діапазони частот, на практиці застосовують періодичні закони модуляції ЧМ [7, 12].

Основне рівняння частотного радіолокатора має вигляд [12]:

$$R = \frac{v_x \cdot F_{\text{б}}}{4\Delta f \cdot F_{\text{м}}}. \tag{8}$$

Частоту модуляції $F_{\text{м}}$ вибирають із умови однозначного відліку дальності в межах заданої дистанції цілі $R_{\max}$. При періодичних законах модуляції повинно виконуватись співвідношення:

$$F_{\text{м}} \le \frac{v_x}{4R_{\max}}. \tag{9}$$

Особливістю частотних радіолокаторів є дискретний характер залежності виміряної дальності $R_{\text{в}}$ від фактичної $R_{\text{ф}}$. Тому як спектр сигналу биттів складається з частотних компонент кратних частоті модуляції. Найменша частота биттів $F_{\text{б}\min} = F_{\text{м}}$, то мінімальна дальність, яку можна виміряти [12]:

$$R_{\min} = \frac{v_x}{4\Delta f}. \tag{10}$$

Зі зростанням R в спектрі сигналу биттів послідовно з'являються частоти $2F_{\text{м}}$, $3F_{\text{м}}$ і т. д., тому частота биттів змінюється на $F_{\text{м}}$, а дальність на $\Delta R = R_{\min}$. Отже, для підвищення точності вимірювання

дальності необхідно збільшувати девіацію частоти Δf .

За необхідності розрізнювати об'єкти та вимірювати дальності до багатьох об'єктів необхідно проводити вимірювання спектральних частот биттів присутніх в сумарному сигналі. В цьому випадку використовують спектроаналізатор. За наявності багатьох об'єктів на вході змішувача присутні сигнали биттів від усіх об'єктів і сигнали биттів на комбінаційних частотах [12]:

Точність вимірювання дальності частотним методом можна знайти за виразом [7]:

$$\sigma_R = \sqrt{F_б^2 \sigma_M^2 + M_F^2 \sigma_F^2} \ , \tag{11}$$

де $M_F = \dfrac{v_x}{4\Delta f \cdot F_M}$ – масштабний коефіцієнт. В частотних далекомірах значення M_F задають постійним шляхом стабілізації F_M та Δf . Тоді $\sigma_R = M_F \cdot \sigma_F$.

Враховуючи похибку вимірювання частоти, похибка вимірювання дальності:

$$\sigma_R = \frac{v_x}{8\pi\Delta f \cdot F_M \cdot t_{ск} \cdot \sqrt{q}} \ , \tag{12}$$

де $t_{ск} = \sqrt{\dfrac{\int\limits_{-\infty}^{\infty} t^2 |U(t)|^2 dt}{\int\limits_{-\infty}^{\infty} |U(t)|^2 dt}}$ – середньоквадратична тривалість сигналу; $q = \dfrac{E}{N_0}$ – співвідношення сигнал/шум.

Також на точність частотної далекометрії впливає дискретність відліку $\Delta R = R_{\min}$ [7].

Отже, частотний метод дозволяє вимірювати дальність до багатьох об'єктів, але при цьому для підвищення точності вимірювання необхідно значно розширювати частотний діапазон сигналу, тобто збільшувати девіацію частоти.

Проте, при визначенні характеристик об'єктів виникають складнощі, тому що амплітудні параметри сигналів відбитих від цих об'єктів не дозволяють з достатньою точністю визначати їх електрофізичні властивості. Зміна фазових характеристик зондувальних частото-модульованих сигналів несе більше інформації про електрофізичні властивості підповерхневих об'єктів.

Фазовий метод далекометрії дозволяє вимірювати дальність на носійній частоті ω_0 [7]. Зондувальним сигналом є неперервне гармонійне коливання, яке має вигляд:

$$s_1(t) = U_{m1} \cos\varphi_1 = U_{m1} \cos(\Omega_m t + \varphi_{01}), \tag{13}$$

де Ω_m – кутова частота сигналу масштабної частоти, в найпростішому випадку $\Omega_m = \omega_0$.

Відбитий сигнали має вигляд:

$$s_2(t) = U_{m2} \cos\varphi_2 = U_{m2} \cos\left(\Omega_m (t - t_R) + \varphi_{01} + \varphi_{an} + \varphi_{відб}\right), \tag{14}$$

де U_{m1} , U_{m2} – амплітуди сигналів; φ_1 , φ_2 – миттєві фази сигналів; φ_{01} – початкова фаза; φ_{an} – зсув фази в апаратурі радіодалекоміра; $\varphi_{відб}$ – зсув фази при відбитті сигналу від об'єкту.

За допомогою фазометра визначають різницю фаз φ_Δ опорного (зондувального) і відбитого сигналів (рис. 2):

$$R = \frac{c\left(\varphi_\Delta + \varphi_{an} + \varphi_{відб}\right)}{2\Omega_m} \ . \tag{15}$$

Фазовий зсув φ_{an} можна виключити шляхом калібрування, вимірюючи фазовий зсув прямого проходження сигналу через тракти передавача і приймача. Кут зміни фази при відбитті сигналу $\varphi_{відб}$ розглянуто детально в роботі [15]. Зазвичай приймають $\Omega_m < \omega_0$ і працюють в режимі модуляції сигналу радіочастоти. В такому разі, величиною $\varphi_{відб}$ можна знехтувати і рівняння вимірювання приймає вигляд [7]:

$$R = \frac{c}{2\Omega_m} \varphi_\Delta = M_\varphi \varphi_\Delta \ , \tag{16}$$

де $M_\varphi = \dfrac{c}{2\Omega_m} = \dfrac{\lambda}{4\pi}$ – масштабний коефіцієнт ($\lambda = \dfrac{c}{F_m}$).

При проведенні вимірювань дальності декількох об'єктів фазовим методом виникає явище накладання сигналів відбитих від кожного об'єкту. Внаслідок цього, отримуємо один сумарний сигнал $\overline{a}_\Sigma$, який представляє собою вектору суму сигналів $\overline{a}_i$ відбитих від кожного об'єкту:

$$\overline{a}_\Sigma = \overline{a}_1 + \overline{a}_2 + \ldots \overline{a}_n \ . \tag{17}$$

При цьому фазовий зсув сумарного сигналу можна знайти за виразом:

$$\varphi_{\Sigma} = arctg \frac{\sum_{i=1}^{n} U_{m2i} \sin \varphi_{2i}}{\sum_{i=1}^{n} U_{m2i} \cos \varphi_{2i}} . \quad (18)$$

Як видно з виразу (18) фазовий зсув сумарного сигналу залежить від багатьох параметрів. В загальному випадку їх $2N$ і їх кількість дорівнює сумі кількості амплітуд та фазових зсувів сигналів, відбитих від кожного об'єкту. Амплітуда сумарного сигналу знаходиться за виразом (рис. 3):

$$a_{\Sigma} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{n} U_{m2i} \sin \varphi_{2i}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^{n} U_{m2i} \cos \varphi_{2i}\right)^2} . \quad (19)$$

Отже, отриманий сумарний сигнал є результатом спільної дії усіх сигналів, відбитих від кожного об'єкту. За результатами вимірювання фазового зсуву та амплітуди сумарного сигналу не представляється можливим знайти фазові зсуви та амплітуди сигналів відбитих від кожного об'єкту. Таким чином, фазовий метод вимірювання дальності використовується лише для знаходження дальності до одного об'єкта і, відповідно, застосування його для розв'язку задач георозвідки є обмеженим.

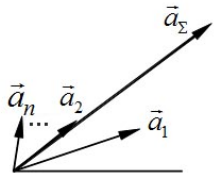


Рис. 1. Отримання сумарного сигналу при зондуванні багатьох об'єктів

Навіть під час вимірювання дальності до одного об'єкту можливе виникнення ще одного явища, а саме просочування на вхід приймача зондувального сигналу $U_{зс}$, який складається векторно із сигналом, відбитим від об'єкту U_{m2}. В результаті утворюється сумарний сигнал, фазовий зсув та амплітуду якого можна розрахувати за виразами (18) та (19) при $N = 2$. Просочування відбувається по бічних пелюстках діаграми спрямованості антени (ДСА). Тому як $U_{зс} >> U_{m2}$, то $\varphi_{\Sigma} \to \varphi_{зс}$, який не несе інформацію про дальність. Для зменшення впливу просочування сигналу, застосовують просторове рознесення передавальної та приймальної антен.

Ще однією особливістю фазової дальнометрії є можливість багатозначного відліку відстані, коли одному виміряному значенню φ_{Δ} відповідає декілька значень дальності R, які відрізняються, як слідує з (16) на $k\lambda_m/2$, де $k = 1,2,\ldots$. Причина багатозначності полягає в тому, що через циклічність фази вимірювач фази видає один і той же результат φ_{Δ} при $\varphi_{\Delta} + 2\pi k$. Для запобігання цьому явищу необхідне виконання умови однозначності відліку фази $\varphi_{\Delta} = \Omega_m t_{R\max} \le 2\pi$. Звідси – умова для вибору масштабної частоти [7]:

$$F_m \le \frac{c}{2R_{\max}} . \quad (20)$$

Точність вимірювання дальності фазовим методом має залежність:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta M_{\varphi}}{M_{\varphi}} + \frac{\Delta \varphi_{\Delta}}{\varphi_{\Delta}} , \quad (21)$$

враховуючи незалежність ΔM_{φ} і $\Delta \varphi_{\Delta}$:

$$\sigma_R = \sqrt{\varphi_{\Delta}^2 \sigma_M^2 + M_{\varphi}^2 \sigma_{\varphi}^2} , \quad (22)$$

де σ_M^2 і σ_{φ}^2 – дисперсії зміни масштабного коефіцієнту і зміни фази відповідно.

Складова σ_M усувається при постійності масштабного коефіцієнту, що досягається стабілізацією масштабної частоти, при якій $\Omega_m = const$ на інтервалі вимірювання t_R. Тоді $\sigma_R = M_{\varphi}\sigma_{\varphi}$, звідки випливає, що для підвищення точності радіодалекоміра необхідно зменшувати M_{φ}, тобто збільшувати масштабну частоту Ω_m.

Отже в фазовому радіодальноміри існують суперечливі вимоги до вибору масштабної частоти: збільшення Ω_m сприяє підвищенню точності, але призводить до неоднозначності вимірювання дальності. Для різних вимірювачів фазових зсувів величину σ_{φ} можна представити у вигляді:

$$\sigma_{\varphi} = \frac{K_{но}}{\sqrt{2q}} . \quad (23)$$

де $K_{но} > 1$ – коефіцієнт втрат при неоптимальній обробці, залежить від виду вимірювача фазових зсувів;

$q = P_c / P_ш$ – співвідношення сигнал/шум за потужністю на вході вимірювача фазового зсуву.

Якщо $K_{но} = 1$, то співвідношення $\left(P_c / P_ш\right) = 2\left(P_{свх} / P_{швх}\right) = 2q_{вх}$, і точність фазового радіодалекоміра характеризується похибкою:

$$\sigma_R = \frac{\lambda_m}{4\pi\sqrt{2q}}. \quad (24)$$

Вирішення протиріччя, яке виникає за необхідності розширення діапазону вимірювання дальності та підвищення точності вимірювання розв'язується шляхом застосування багатошкальних вимірювань. Застосування цього методу забезпечує високу точність, притаманну фазовим вимірюванням з малим періодом при діапазоні однотипного відліку, що визначається періодичністю грубої шкали.

Багатошкальні методи в основному застосовують в радіолокації, радіонавігації, геодезії. Багатошкальний метод полягає в тому, що з його допомогою додаткового вимірювання на грубішій шкалі, що відповідає нижчій частоті тестового сигналу $\omega_н$, визначають число цілих циклів зміни фазового зсуву n. Значення $\omega_н$ повинно забезпечувати однозначний результат вимірювання, тобто задовольняти умові $\varphi_н = \omega_н \tau_н < 2\pi$, де $\tau_н$ – час затримки сигналу з частотою $\omega_н$; $\varphi_н$ – фазовий зсув в межах сигналу з частотою $\omega_н$. Потім визначають результат вимірювання за виразом:

$$\tau_ф = \frac{\left(n + \varphi_в / 2\pi\right)}{f_в}. \quad (25)$$

де $\varphi_в$ – вимірюване значення фазового зсуву $0 \le \varphi_в \le 2\pi$ на заданій частоті $f_в$. Число n краще знайти з умови:

$$n = \left[\frac{\varphi_н \omega_в}{2\pi\omega_н}\right]^+, \quad (26)$$

де $[Y]^+$ – ціла частина числа Y.

Проте у випадках, коли вимірюване значення параметра лежить поблизу межі, що розділяє два сусідні інтервали однозначності, значень, що набувають $\tau_ф$ із-за кінцевості значень похибки $\Delta\varphi_в$ і $\Delta\varphi_н$ вимірювання величин $\varphi_в$ і $\varphi_н$, а також із-за кінцевої дисперсії вимірюваного параметра на різних шкалах можуть опинитися по різні сторони цієї межі. В результаті невірного визначення межі фазового циклу отримуються різні значення часового зсуву:

$\delta_ф = \tau_ф + \Delta\tau$ – оцінка вимірюваного значення $\tau_ф$ за точною шкалою при правильному визначенні числа n;

$\delta_ф = \tau_ф + \Delta\tau + \delta(n)$ – оцінка вимірюваного значення $\tau_ф$ при невірному визначенні n;

$\delta_в = \varphi_в + \Delta\varphi_{ив} - \left[\frac{\varphi_в + \Delta\varphi_{ив}}{2\pi}\right]^+ + 2\pi$, отримане значення фазового зсуву $0 \le \varphi \le 2\pi$ за точною шкалою;

$\Delta\varphi_{ив}$, $\Delta\varphi_{ин}$ – дійсні значення похибки вимірювання значень фазового зсуву відповідно $\varphi_в$, $\varphi_н$;

$\delta(n)$ – значення похибки за рахунок появи неоднозначності;

$\Delta\tau_н$ – похибка вимірювання за грубою шкалою.

При визначенні τ згідно з виразом (26) отримують результат вимірювання $\tau_ф$ у вигляді:

$$\delta_ф = \left(\left[\frac{\delta_н \omega_в}{2\pi\omega_н}\right] + \frac{\delta_в}{2\pi}\right)\frac{1}{f_в},$$

який має похибку, близьку до $T = \frac{1}{f_в}$.

Фазові методи мають високу точність, просту технічну реалізацію. Але не дозволяють вимірювати дальності декількох об'єктів. Тому подолання встановленого протиріччя між високою точністю та відсутністю роздільної здатності фазових методів дозволить підвищити точність дальнометрії разом із застосуванням сигналів в обмеженому частотному діапазоні.

Фазочастотний принцип як основа підвищення достовірності результатів вимірювання фазового методу

Принцип фазочастотного підходу полягає в інтерпретації результатів фазових вимірювань на різних частотах як результат зміни кутів зсувів фаз відбиттів при зміні частоти вхідного сигналу. Причому, оскільки відстані будуть різні, то і кути зсувів фаз є також різними і є функціями від відстані, швидкості розповсюдження та частоти сигналу. В роботі [17] більш детально показано так званий процес "обертання векторів відбиттів" як функції приросту кута зсуву фази до приросту частоти сигналу, що зондує лінію.

Тобто визначається так звана "частота обертання" вектору відбиття, що в загальному визначається як :

$$\Omega_i = 2l_i / \upsilon, \tag{27}$$

де l_i – відстань до об'єкту; υ – швидкість розповсюдження сигналу в середовищі.

Вираз (27) і є основоположним в поясненні фазочастотного принципу. Розглянемо застосування Отже, кут зсуву фази визначається як:

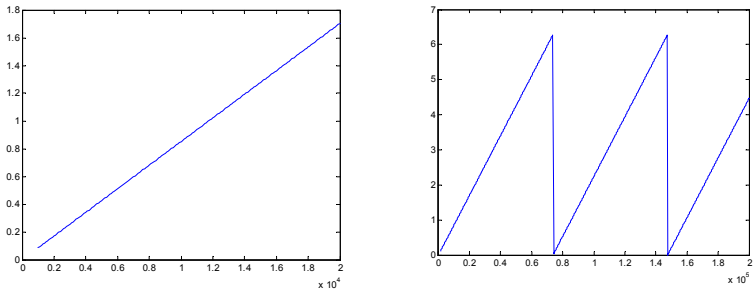
$$\varphi = 2\pi \cdot \frac{2l}{\lambda_c}, \text{ або як } \varphi = 2\pi \cdot 2l \cdot \frac{f_c}{\upsilon_{шв}}. \tag{28}$$

Причому з врахуванням переходу через 2π, отримаємо:

$$\varphi = \left(2l\frac{f_c}{\upsilon_{шв}}\right) \bmod 2\pi.$$

Так, наприклад, для лінії в який пошкодження є на відстані 2000 м, за умов обриву (коефіцієнт відбиття $\Gamma = 1$) під час зондування сигналом від 1 кГц до 20 кГц зсув фази буде визначать лінійно (рис. 2, а) та вже в діапазоні 1 кГц до 200 кГц

```
а)
Fs = 1000:100:20000;
Lo = 2000;
Us = 2.95e8;
faza = mod(2*pi*2*Lo*Fs/Us,
2*pi);
plot(Fs, faza);
б)
Fs = 1000:100:200000;
Lo = 2000;
Us = 2.95e8;
faza    =    mod(2*pi*2*Lo*Fs/Us,
2*pi);
plot(Fs, faza);
```



а) б)

Рис. 2. Моделювання зміни кута зсуву фази для відстані в 2000 м для а) 1-20 кГц, б) 1-200 кГц

Слід зауважити, що зростання відстані до пошкодження призводить до зростання швидкості проросту. Причому згідно виразу (28), таке зростання має прямопропорційне відношення. Збільшимо відстань до пошкодження до 4000 м. Відповідно на рис. 3 показано динаміку змін кута зсуву фази.

```
Fs = 1000:100:200000;
Lo = 4000;
Us = 2.95e8;
faza = mod(2*pi*2*Lo*Fs/Us,
2*pi);
plot(Fs, faza);
```

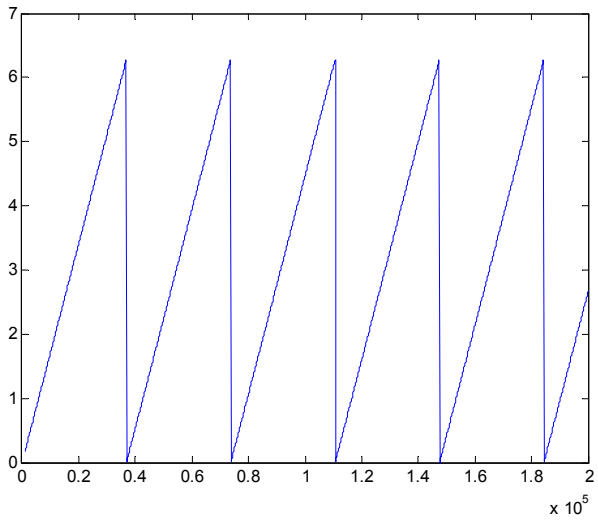


Рис. 3. Моделювання зміни кута зсуву фази для відстані в 4000 м

Проведене моделювання на рис. 2 та рис. 3 відноситься для випадку швидкості розповсюдження в $2{,}95 \times 10^8$ м/с. Для середовищ з металів характерне зменшення швидкості розповсюдження до 2 та більше раз – так званий коефіцієнт укорочення. Причому при зменшенні частоти тестового сигналу також зменшується швидкість розповсюдження. Відомо, що на частотах понад 20 кГц швидкість розповсюдження наближається до постійного значення, а тому для дослідження потрібно обмежити частоту зондування знизу. На рис. 4 показано такий випадок (20-200 кГц, швидкість розповсюдження – $1{,}4 \times 10^8$ м/с).

```
Fs = 20000:100:200000;
Lo = 4000;
Us = 1.4e8;
faza = mod(2*pi*2*Lo*Fs/Us,
2*pi);
plot(Fs, faza);
```

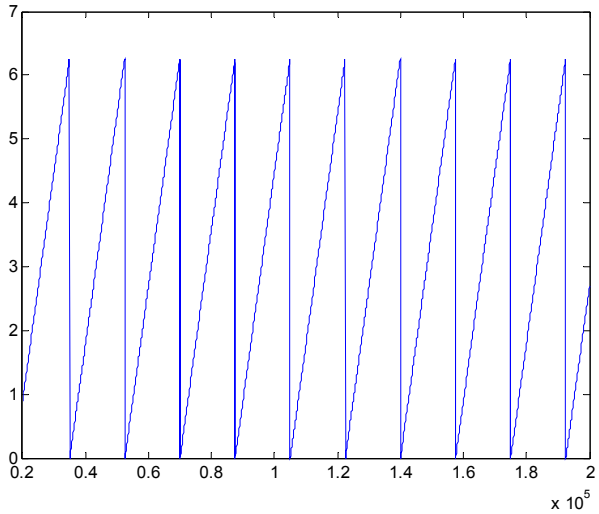


Рис. 4. Моделювання зміни кута зсуву фази для відстані в 4000 м та швидкість розповсюдження – 1,4x10^8 м/с

Щодо випадку наявності двох пошкоджень, то швидкість зміни кута зсуву фази для кожного буде визначатись виразом (28) (без врахування амплітуди відбиття для спрощення моделювання).

```
Fs = 2e4:100:2e5;
Lo = 4000;
Lo1 = 6500;
Us = 1.4e8;
faza = mod(2*pi*2*Lo*Fs/Us,
2*pi);
faza1 = mod(2*pi*2*Lo1*Fs/Us,
2*pi);
plot(Fs, faza, Fs, faza1);
```

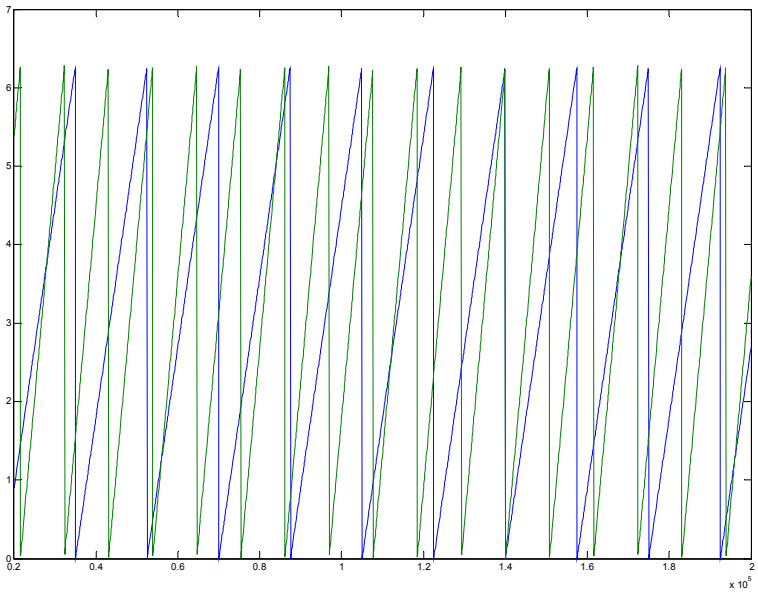


Рис. 5. Моделювання випадку наявності двох пошкоджень

Якщо розглянути рис. 2-рис.5 , то можна зробити наступні висновки:

1) Кількість фазових переходів через 2π залежить від відстані до пошкодження та від частот зондуючого сигналу.

2) Зменшення швидкості розповсюдження збільшує кількість фазових переходів через 2π.

Ці висновки можна сформулювати наступним виразом, що визначає похибку виконання вимірювання кута зсуву фази $\Delta\varphi$:

$$\Delta\varphi_c = 2\pi \cdot \frac{2l}{\Delta\lambda_c} = 2\pi \cdot 2l \cdot \frac{\Delta f_c}{\Delta\upsilon_{шв}} \pm \Delta\varphi_{вим} \tag{29}$$

де $\Delta\upsilon_{шв}$ – похибка визначення швидкості розповсюдження хвилі в середовищі;

Δf_c або $\Delta\lambda_c$ – похибка встановлення частоти (довжини хвилі) на виході генератора тестового сигналу;

$\pm\Delta\varphi_{вим}$ – похибка вимірювального інструменту (фазометра).

А повністю кут зсуву фази буде:

$$\varphi = 2\pi \cdot \frac{2l}{\lambda_c} \pm \left(2\pi \cdot 2l \cdot \frac{f_c \pm \Delta f_c}{\upsilon_{шв} \pm \Delta\upsilon_{шв}} \right) \pm \Delta\varphi_{вим} . \tag{30}$$

Виконаємо аналіз виразу (30).

По-перше, визначення кута зсуву фази буде визначатись тим, наскільки точно визначена швидкість

розповсюдження хвилі в середовищі $\Delta\upsilon_{шв}$. Як відомо, із зростанням частоти сигналу, швидкість розповсюдження стає майже незмінною. Проте для малих частот зміна швидкості розповсюдження є сильно змінною величиною. Слід врахувати, що зміна швидкості також присутня в місті пошкодження. В залежності від характеру пошкодження швидкість може як зростати так і зменшуватись.

Але швидкість розповсюдження $\upsilon_{шв}$ може бути встановлена для дослідного середовища експериментальним шляхом з достатньо високою точністю в робочому діапазоні частот. Визначення швидкості розповсюдження $\upsilon_{шв}$ в місці пошкодження ускладнене в процесі діагностування, а тому вираз (3) можна спростити до виду:

$$\varphi = 2\pi \cdot \frac{2l}{\lambda_c} \pm \left(2\pi \cdot 2l \cdot \frac{f_c \pm \Delta f_c}{\upsilon_{шв}} \right) \pm \Delta\varphi_{вим} . \quad (31)$$

По-друге, похибка вимірювального пристрою $\Delta\varphi_{вим}$ може бути зменшене за рахунок застосування високоточних вимірювальних пристроїв. Так застосування вимірювачів на основі методів багатократної коінциденції імпульсів дозволяє нівелювати значення похибки $\Delta\varphi_{вим}$ в цілому. Це досягається за рахунок виконання вимірювань за тривалий час на кожній частоті зондування. Тому за великої кількості циклів вимірювання з високою ступеню достовірності вираз (30) можна записати як:

$$\varphi = 2\pi \cdot \frac{2l}{\lambda_c} \pm \left(2\pi \cdot 2l \cdot \frac{f_c \pm \Delta f_c}{\upsilon_{шв}} \right).$$

Таким чином найбільший вплив на результат вимірювання буде від нестабільності частоти сигналу Δf_c в процесі вимірювання. Питання щодо забезпечення опорного сигналу представлено в [16].

Особливо цікавим для аналізу виразу (28) є визначання кількості переходів через 2π. Отже, зміна кута зсуву фази із зміною частоти буде:

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 ,$$

або

$$\Delta\varphi = 2\pi \cdot 2l \cdot \left[\frac{f_{c2}}{\upsilon_{шв}} - \frac{f_{c1}}{\upsilon_{шв}} \right]. \quad (32)$$

Прирівняємо вираз (5) до 2π, прийнявши, що може бути n_Ω циклів переходу через 2π, отримаємо:

$$2\pi \cdot n_\Omega = 2\pi \cdot 2l \cdot \frac{f_{c2} - f_{c1}}{\upsilon_{шв}} ,$$

що дає

$$n_\Omega = 2l \cdot \frac{f_{c2} - f_{c1}}{\upsilon_{шв}} . \quad (33)$$

Таким чином, вираз (6) дозволяє оцінити кількість переходів через 2π в діапазоні частот $f_1 ... f_2$. Обернений вираз – визначення необхідного діапазону частот для діагностування:

$$f_{c2} - f_{c1} = \frac{n_\Omega \cdot \upsilon_{шв}}{2l} . \quad (34)$$

Висновки

В результаті аналізу різноманітних методів визначення відстаней встановлено, що лише фазові методи дозволяють отримати точний результат. Фазові методи мають високу точність, просту технічну реалізацію. Але не дозволяють вимірювати дальності декількох об‘єктів. Тому подолання встановленого протиріччя між високою точністю та відсутністю роздільної здатності фазових методів дозволить підвищити точність дальнометрії разом із застосуванням сигналів в обмеженому частотному діапазоні.

Що стосується виразу (34), то це дає наступні випадки:

1) при $n \to \infty$, тоді потрібний частотний діапазон $\left[f_{c2} - f_{c1} \right] \to \infty$. Відповідно, якщо в тестове середовище направити широкосмуговий сигнал постійний в часі, у відповідь можна отримати сигнал, що буде складатися також з ряду сигналів в широкому діапазоні частот.

2) при $l \to \infty$, потрібний частотний діапазон $\left[f_{c2} - f_{c1} \right] \to 0$. А тому для аналізу об’єктів на великій відстані достатньо малого діапазону зміни частоти. Тобто метод діагностування на основі фазочастотного підходу дозволяє аналізувати об’єкти на великій відстані із застосуванням низьких частот, що є актуальним для аналізу низькочастотних ліній зв’язку.

Література

1. Подповерхностная радиолокация / [М.И. Филькенштейн, В.И. Карпухин, В.А. Кутев, В.Н. Метелкин]. – М. : Радио и связь, 1994. – 216 с.

2. Вопросы подповерхностной радиолокации : коллективная монография / под ред. А.Ю. Гринева. –

М. : Радиотехника, 2005. – 416 с.

3. Радиолокационные и радионавигационные системы : [учеб. пособие для радиотехн. спец. вузов] / П.А. Бакулев, А.А. Сосновский. – М. : Радио и связь, 1994. – 296 с.

4. Панько С.П. Сверхширокополосная радиолокация / С.П. Панько // Зарубежная радиоэлектроника. – 1991. – № 1. – С. 106–114.

5. Taylor J.D. Ultrawideband radar: application and design; ed. by J.D. Taylor. Boca Raton; London; New York: CRC Press Taylor & Francis Group, 2012. 520 p.

6. Weedon W.H., Chew W.C., Mayes P.E. A Step-frequency radar imaging system for microwave nondestructive evaluation. Progress In Electromagnetics Research, 2000, pp. 121–146.

7. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации : учеб. пособие для вузов / Сосулин Ю.Г. – М. : Радио и связь, 1992. – 304 с.

8. Теоретические основы радиолокации / под ред. Ширмана Я.Д. – М. : Сов. радио, 1970. – 560 с.

9. Weedon W.H. A step-frequency radar imaging system for microwave nondestructive evaluation. Progress In Electromagnetics Research, PIER 28, 2000, pp. 121–146.

10. Безответных В.В. Оценка эффективной скорости распространения низкочастотных фазоманипулированных сигналов на протяженных трассах при сложных гидролого-акустических условиях и переменном рельефе дна / В.В. Безответных, А.В. Буренин, Е.А. Войтенко, Ю.Н. Моргунов // Подводные исследования и роботехника. – 2008. – 2(6). – С. 59–63.

11. Костылев А.А. Обработка сигналов при экспериментальном исследовании рассеяния коротких радиоимпульсов на проводящей сфере / А.А. Костылев // Радиотехника. – 1984. – № 8. – С. 64–66.

12. Теоретические основы радиолокации / под ред. Ширмана Я.Д. – М. : Сов. радио, 1970. – 560 с.

13. Бартен Д. Справочник по радиолокационным измерениям / Д. Бартен, Г. Вард ; под ред. М.М. Вейсберна ; [пер. с англ.]. – М. : Советское радио, 1976. – 392 с.

14. Immoreev I. Ultrawideband (UWB) Radar Observation: Signal Generation, Radiation and Processing. European Conference on Synthetic Aperture Radar, Konigswinter, Germany, 26–28 March, 1996, pp. 193–196.

15. Горященко К.Л. Принципи фазочастотного підходу до діагностики стану провідникових ліній / К.Л. Горященко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. – №1. – С. 85-88

16. Горященко К.Л., Полікаровських О.І. Вплив нерівномірності спектру сигналу опорного генератора при спектральному аналізі сигналів в фазовій дальнометрії / К.Л. Горященко, О.І. Полікаровських // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – №2. – С. 243-249

17. Горященко К.Л. Обертання часових складових сумарного сигналу в фазовій дальнометрії / К.Л. Горященко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2007. – № 1. – С. 144-147.

Рецензія/Peer review : 4.5.2016 р. Надрукована/Printed : 2.6.2016 р.
Рецензент: прорецензовано редколегією

УДК 621.316

М.І. СТАДНІК
Вінницький національний аграрний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОДНОРІДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Оптимізація функціональної структури системи автоматизації передбачає вибір виду структури (гнучка на основі базового модуля і ряду додаткових модулів; гнучка зі спеціалізованими модулями; жорстка) і принцип її побудови з урахуванням конкретної структури об'єктів управління на основі аналізу і встановлення відповідності між функціональними вимогами та об'єктами. Оптимізація кожної із структур виконується за рахунок об'єднання сусідніх модулів, що реалізують функціональні вимоги сусідніх груп об'єктів при умові що функціонально-інтегральна вартість об'єднаної структури менше функціонально-інтегральної вартості вихідної структури. Після вибору оптимального варіанта кожної зі структур визначається оптимальна методом порівняння їх функціонально-інтегральної вартості. Сукупність оптимальних структур функціональних модулів відповідних ієрархічних рівнів і являє собою структуру технічних засобів автоматизації, які реалізують повний склад функціональних вимог множин об'єктів управління.

Ключові слова: структури ГС, ГД, ЖС, критерій оптимізації, проектування, вибір оптимальної структури.

M. STADNIK
Vinnytsia National Agrarian University

OPTIMIZATION OF FUNCTIONAL STRUCTURE OF THE AUTOMATION SYSTEM OF HOMOGENEOUS OBJECTS

Optimization of functional structure of the automation system involves the choice of the type of structure (flexible base module and a number of additional me-dull; flexible with specialized modules; hard) and the principle of its construction with the specific structure of control objects on the basis of the analysis and the correspondence between functional requirements and objects. Optimization of each of the structures is performed by combining adjacent modules that implement functional requirements of adjacent groups of objects, provided that the function integrated value of the combined structure is less functional-integral value of the original structure. After choosing the best option each structure is determined to be the optimal method of comparison of functionalism-flax-integral value. The set of optimum structures of functional modules corresponding to the hierarchical levels and is a technical structure for different automation tools that implement the full composition of the functional requirements of a set of control objects.

Keywords: patterns HS, DG, GS, criterion of optimization, design, selection of optimal structure.

Вступ

Аналіз показує, що для будь-якої сукупності однорідних об'єктів існує три види функціональних структур, які забезпечують вирішення задачі автоматизації [1].

1. Жорстка структура (ЖС), яка характеризується одним функціональним модулем на кожний ієрархічний рівень системи управління, який забезпечує покриття повного складу функціональних вимог (ПСФ) з боку об'єктів будь-якої з груп.

2. Гнучка структура на базі спеціалізованих функціональних модулів (ГС). При такій структурі кожній з груп узагальненого об'єкта автоматизації (ООА) ієрархічних рівнів відповідає спеціалізований функціональний модуль, що покриває тільки ПСФ відповідної групи ООА.

3. Гнучка структура на основі базового та ряду додаткових функціональних модулів (ГД). Структура ГД включає базовий функціональний модуль, що реалізує вимоги, загальні для всіх об'єктів груп даного ієрархічного рівня і ряд додаткових модулів, що покривають разом з базовим ПСФ окремих груп ООА.

Проектування оптимальної структури системи автоматизації (ССА) передбачає знаходження раціонального принципу побудови структури: використання керуючих комплексів з жорсткою централізованою структурою або розробка гнучкої структури комплексу автоматизації, який шляхом додавання або виключення підсистем можна було б використовувати як у зведеному, так і в спрощеному варіанті для конкретного складу об'єктів автоматизації.

Матеріал і результати дослідження.

Для пошуку оптимального складу структури ССА проаналізуємо значення його приведеної вартості $S_{кпс}$ (як критерію ефективності вибору) для зазначених способів побудови структури (ГД, ГС та ЖС) з урахуванням можливості отримання структур з різною кількістю модулів за рахунок їх об'єднання. Останнє в процесі розробки будь-якої структури призводить, з одного боку, до зменшення ймовірних витрат на розробку і обслуговування модулів, а з іншого – до появи функціональної надлишковості та пов'язаними з нею витратами. Об'єднання модулів слід виконувати, з використовуванням умови доцільності об'єднання.
1. Розглянемо можливість оптимізації структури ГД за рахунок об'єднання сусідніх модулів, що реалізують додаткові функціональні вимоги.

Функціонально-інтегральна вартість (ФІС) такої структури (рис. 1):

$$S_{ф(гд)} = \sum_{1}^{m} S_{фi} = A\left[T_1 \cdot n_m^{\ 1-k} + \sum_{2}^{m} T_i^{\partial}(n_m - n_{i-1})^{1-k}\right] \quad (1)$$

де T – кількість функціональних вимог, що пред'являються з боку об'єктів n; m – кількість груп об'єктів у ООА.

Вихідна структура характеризується тим, що підмножини модулів μ різного функціонального призначення, з яких вона складається, не перетинаються; безліч всіх модулів, що покривають повний обсяг, можна представити:

$$\mu_{0(гд)} = \mu_1 Г \mu_2^{\partial} U ... U \mu_m^{\partial} \quad (2)$$

Формула для визначення загальної кількості модулів:

$$\mu_{0(гд)} = (m - p)n_m - \sum_{1}^{m-1} n_i \quad (3)$$

де p – кількість пар модулів що об'єднуються, у вихідній структурі p=0.

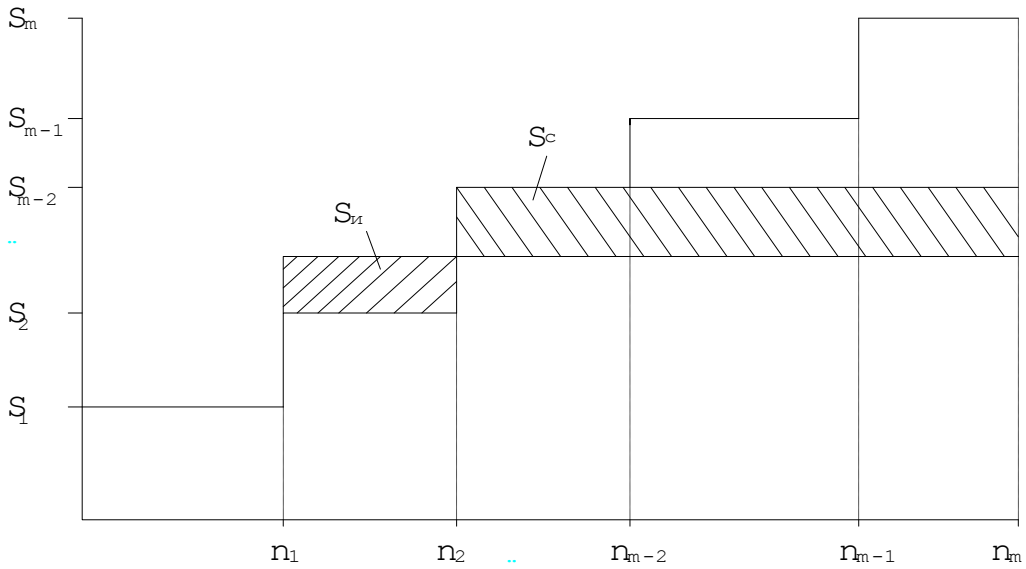


Рис. 1. Функціонально-інтегральна вартість КТЗ АОО

Умовою об'єднання сусідніх модулів є надання їм однакового функціонального складу, тобто об'єднання передбачає розгляд їх як пересічних множин. Після об'єднання:

$$\mu_2^{\partial} U \mu_3^{\partial} = \mu_2^{\partial} \quad (4)$$

Тобто об'єднана структура має зменшену кількість функціональних модулів у порівнянні з вихідною, в даному випадку на величину μ_3^{∂}. Запишемо вирази для ФІС вихідної структури $S_{ф}^{\ u}{}_{(гд)}$ $S_{ф}^{\ O}{}_{(гд)}$ Тобто об'єднана структура має зменшену кількість функціональних модулів у порівнянні з вихідною, в даному випадку на величину $S_{ф}^{\ O}{}_{(гд)}$ для модулів $(\mu_2^{\partial} U \mu_3^{\partial})$:

$$S_{ф}^{\ u}{}_{(гд)} = T_2^{\ \partial} \cdot A(n_m - n_1)^{1-k} + T_3^{\partial} \cdot A(n_m - n_2)^{1-k} \quad (5)$$

$$S_{ф}^{\ O}{}_{(гд)} = (T_2^{\ \partial} + T_3^{\ \partial}) \cdot A(n_m - n_1)^{1-k} \quad (6)$$

З виразу випливає, що після об'єднання на ділянці $(n_2 - n_1)$ (див. рис. 1) з'являються витрати на функціональну надмірність S_u, а на ділянці $(n_m - n_2)$ буде зменшення ФІС Sc за рахунок скорочення Сф.

Об'єднання модулів доцільно за умови:

$$S_{ф}^{\ o}{}_{(гд)} \le S_{ф}^{\ u}{}_{(гд)} \quad (7)$$

тобто в тому разі, якщо витрати на надмірність виявляться менше скорочення ФІС: $S_u \le S_c$.

Умова об'єднання модулів по фактору ФІС:

$$(\frac{n_m - n_1}{n_m - n_2}) \le (\frac{n_m - n_1}{n_m - n_2})^k \quad (8)$$

При $k \ge 1$ ця нерівність справедлива в області всіх допустимих значень змінної n, а при $0<k<1$ вона не має рішень, тобто в першому випадку об'єднання 2-х модулів доцільно по фактору ФІС, а в другому – ні. Розмірковучи таким же чином, можна отримати вирази для умов об'єднання 3-х і більше додаткових модулів, оскільки модулі об'єднані в свою чергу можуть також покроково об'єднуватися з сусідніми.

Отже, для гнучкої структури на основі базової та додаткових модулів: при $k \ge 1$ об'єднання модулів доцільно, оскільки воно призводить до зменшення ФІС (по відношенню до вихідної структурі) і зменшення витрат на обслуговування ФІС (незалежно від показника степеня k, оскільки зменшується кількість модулів, що перебувають в експлуатації); при $0<k<1$ витрати на ФІС збільшуються і питання про доцільність об'єднання має вирішуватися у взаємозв'язку $S_ф$ и $S_о$, тобто повинні розглядатися повні витрати $S_{ктс}$.

Для об'єднання двох модулів $(\mu_2^{\partial} U \mu_3^{\partial})$

Для вихідної структури:

$$S_{ктс}^{\ u} = T_2^{\partial} \cdot A(n_m - n_1)^{1-k} + T_3^{\partial} \cdot A(n_m - n_2)^{1-k} + B(n_m - n_1) + B(n_m - n_2) \quad (9)$$

Для об'єднаної структури:

$$S_{ктс}^{\ o} = (T_2^{\partial} + T_3^{\partial}) \cdot A(n_m - n_1)^{1-k} + B(n_m - n_1) \quad (10)$$

Об'єднання модулів доцільно при:

$$S_{ктс}^{\ u} \ge S_{ктс}^{\ o} \quad (11)$$

В результаті перетворень отримаємо:

$$B(n_m - n_2) \ge A \cdot T_3^{\partial} \cdot \left[(n_m - n_1)^{1-k} - (n_m - n_2)^{1-k}\right] \quad (12)$$

Останній вираз є критерієм об'єднання двох модулів за повними витратами: об'єднання доцільно, якщо витрати на обслуговування скорочуваних модулів більше витрат на інтегральну надмірність, отриману в результаті об'єднання.

Умови об'єднання додаткових модулів:

1) розгляду підлягають усі комбінації по 2, 3, ..., m сусідніх додаткових модулів;

2) вартість реалізації однієї функції $C_ф$ об'єднаного модуля визначається, виходячи з найбільшого числа об'єктів серед груп, що об'єднуються;

3) склад вимог об'єднаного модуля дорівнює сумі додаткових вимог об'єднуються модулів.

ССА, як будь-яка складна система, може бути вичерпно охарактеризована тільки повним набором всіх своїх параметрів. Однак при рішенні задачі оптимізації необхідна оцінка системи однією величиною – цільовою функцією, яка повинна кількісно характеризувати, наскільки ефективна система, і бути функцією її параметрів [2].

$$S_{ктс(\min)} = f\{T, n, m, d\} \quad (13)$$

де T, n, m – змінні, які визначаються на стадії функціонального аналізу; d – кількість функціональних модулів - змінна, яку слід знайти, користуючись критерієм об'єднання модулів; у разі попарного об'єднання $d=m-p$.

Алгоритм пошуку оптимальної кількості модулів полягає в почерговому об'єднання по 2,3,...,m сусідніх модулів і перебору всіх можливих варіантів об'єднань з метою виявлення доцільних (згідно з критерієм), тобто таких, при яких нова структура забезпечує скорочення витрат по відношенню до вихідної.

Розглянемо умови об'єднання модулів у структурі на базі спеціалізованих модулів (ГС), що складається з 2-х модулів $(\mu_1 U \mu_2)$. Для вихідної структури:

$$\mu_{o\ (гс)} = \mu_1 U \mu_2 U ... U \mu_m \quad (14)$$

$$S_{ф\,(гс)} = \sum_1^m A \cdot T_i (n_1 - n_{i-1})^{1-k} \quad (15)$$

Для 2-х модулів:

$$S_{ф}^{\ u}{}_{(гс)} = T_1 \cdot A \cdot n_1^{1-k} + T_2 \cdot A(n_2 - n_1)^{1-k} \quad (16)$$

Повні витрати:

$$S_{ктс}^{\ u} = S_{ф}^{\ u}{}_{(гс)} + B \cdot n_2 \quad (17)$$

Після об'єднання:

$$S_{ф}^{\ o}{}_{(гс)} = T_2 \cdot A \cdot n_2^{1-k} \quad (18)$$

$$S_{ктс}{}^{o} = S_{ф}{}^{o}{}_{(гс)} + B \cdot n_2 \quad (19)$$

Умова доцільності об'єднання за повними витратами збігається з умовою об'єднання по фактору ФІС (кількість функціональних модулів при об'єднанні не змінюється, а значить, не змінюються витрати So). Після перетворень отримаємо, що при 0<*k*<1 умови об'єднання модулів по фактору ФІС, а значить, і за повними витратами, не виконуються в області допустимих значень *n*, тобто об'єднання модулів в ГС-структурі взагалі недоцільно; а при *k*≥1 – доцільно і пошуки оптимальної структури приведуть до жорсткої структури.

З порівняння розглянутих гнучких структур випливає, що ФІС ГД-структури при будь-яких значеннях змінної n більше, ніж ФІС структури, побудованої на базовому і додаткових модулях, тобто за цим показником структура ГД краще структури ГС: $S_{ф\,(гс)} > S_{ф\,(гд)}$. Для остаточного рішення порівняємо повні витрати.

$$S_{ктс\,(гд)} = S_{ф\,(гд)} + B(m \cdot n_m - \sum_{1}^{m-1} n_i) \quad (20)$$

$$S_{ктс\,(гс)} = S_{ф\,(гс)} + B \cdot n_m \quad (21)$$

Тобто при будь-яких допустимих *n*: $n_m < (m \cdot n_m - \sum_{1}^{m-1} n_i)$, то завжди справедливо умова $S_{o\,(гс)} < S_{o\,(гд)}$, тобто витрати на експлуатацію у варіанті спеціалізованих модулів будуть менше, що визначається, як було показано вище, кількістю модулів, що знаходяться в експлуатації.

Розглянемо жорстку структуру. Порівняємо структури Ж і ГС.

$$S_{ф\,(ж)} = A(T_1 + T_2{}^{\partial} + ... + T_m{}^{\partial}) n_m{}^{1-k} \quad (22)$$

В результаті перетворень при порівнянні виразів $S_{ф\,(гс)}$ і $S_{ф\,(ж)}$ отримаємо, що при *k*≥1 ФІС структури ГС завжди більше ФІС жорсткої структури. При 0<*k*<1 необхідно виконати аналіз повних витрат $S_{ктс}$ для автоматизації конкретного ООА; однак, враховуючи, що ці структури містять однакову кількість модулів, доцільно застосовувати в такому випадку жорстку структуру.

Аналіз виразів $S_{ф\,(гд)}$ і $S_{ф\,(ж)}$ показує, що при 0<*k*<1 нерівність $S_{ф\,(гд)} > S_{ф\,(ж)}$ не має рішень, а при *k*≥1 воно справедливо завжди, тобто Ж-структура переважніше структури ГД, тим більше, що Ж-структура містить менше модулів в експлуатації.

Необхідно зазначити, що умова об'єднання структури Ж (*k*≥1) співпадає з умовою об'єднання додаткових модулів у структурі ГД, що цілком логічно.

Висновки

1. Синтез оптимальної функціональної структури ССА передбачає вибір виду структури (гнучка на основі базового модуля і ряду додаткових модулів; гнучка зі спеціалізованими модулями; жорстка) і принцип її побудови з урахуванням конкретної структури об'єктів управління на основі аналізу і встановлення відповідності між функціональними вимогами та об'єктами. Кожна з описаних вище функціональних структур може бути покладена в основу побудови ССА.

2. Якщо оптимальною структурою є гнучка, то необхідний вибір базового модуля і оптимальної кількості додаткових модулів з урахуванням функціональної орієнтації модулів і види ієрархічних взаємозв'язків між ними, а також того, що, з одного боку, структура повинна характеризуватися мінімальною надмірністю, з іншого - вона повинна бути універсальною, тобто модулі, що становлять функціональну структуру, повинні застосовуватися в максимально можливому числі груп.

3. Оптимізації підлягають функціональні модулі всіх ієрархічних рівнів. Сукупність оптимальних структур функціональних модулів відповідних ієрархічних рівнів і являє собою структуру технічних засобів автоматизації, які реалізують повний склад функціональних вимог безлічі об'єктів управління.

Література

1. Стаднік М.І. Функціональні структури систем автоматизації однорідних об'єктів / М.І. Стаднік // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2016. – № 2. – С. 84–89.

2. Реклейтис Г. Оптимизация в технике / Реклейтис Г., Рейвиндран А. – М. : Мир, 1986.

3. Методы и алгоритмы решения задач оптимизации / [Бейко И.В. и др.]. – К. : Вища школа, 1983. – 512 с.

4. Стадник Н.И. Справочник по автоматизации шахтного конвейерного транспорта / Стадник Н.И. – К. : Техника, 1992. – 437 с.

Рецензія/Peer review : 14.5.2016 р. Надрукована/Printed : 6.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., Матвійчук В.А.

УДК 004.94

Н.Д. МИХАЙЛІВ
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

МЕТОДИЧНІ ТА МАТЕМАТИЧНІ АСПЕКТИ ПРОЕКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ТРЕНАЖЕРНИХ КОМПЛЕКСІВ СКЛАДНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Проведений порівняльний аналіз існуючих методів, алгоритмів та моделей розробки сучасних комп'ютерних тренажерних комплексів складних технологічних об'єктів на основі інформаційного пошуку щодо існуючих на сьогодні тенденцій розвитку, вдосконалення та успішного впровадження на виробництві систем подібного класу. Наведена функціонально-структурна модель синтезу уніфікованих модулів для комп'ютерних тренажерних комплексів. Проведено аналізу способу інтеграції деяких адаптивних алгоритмів в структуру навчальних модулів комп'ютерних тренажерних комплексів, аналіз можливостей використання інформаційних моделей для створення платформи адаптивних тренажерів у вигляді логіко-ймовірнісних моделей причинно-наслідкових зв'язків відмов складних технологічних об'єктів.

Ключові слова: комп'ютерний тренажерний комплекс, імітаційне моделювання, людина-оператор, системний аналіз, уніфіковані моделі.

N.D. MYKHAILIV
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

METHODICAL AND MATHEMATICAL ASPECTS DESIGNING OF COMPUTER TRAINING COMPLEXES OF COMPLEX TECHNOLOGICAL OBJECTS

The comparative analysis of existing methods, algorithms and models of development of modern computer training complexes complex technological objects of existing nowadays trends development, improvement and successful implementation in the production, system of this class. Presented functional and structural model of the synthesis of standardized modules for computer training complexes. Analyzed models of computer training complexes in different periods of development of information technologies. Considered the model of training facility using adaptive learning algorithms for operator. Analysis capabilities integration some algorithms adaptability to the structure of training modules of computer training complex. Analysis of the possibilities of using information models to create adaptive platform simulators in a logical and probabilistic models of causation failures of complex technological objects. Presented results of work on the information model of the class in the form of finished exercises and training systems for operator profile.

Keywords: computer training complex, simulation, operator, systems analysis, unified model.

Вступ

На сучасному етапі розвитку технологічного суспільства комп'ютерні тренажерні комплекси (КТК) складних технологічних об'єктів (СТО) повинні являти собою уніфіковані багатокомпонентні системи складної структури. Окрім того, КТК вказаного рівня слід будувати на платформі універсальних модулів та компонентів, що надають можливість максимального скорочення майнових, інтелектуальних і часових витрат на розробку засобів навчання, тренажу та атестації обслуговуючого персоналу промислових об'єктів різноманітного призначення.

Необхідність розробки і впровадження КТК СТО виникла наприкінці 80-х років XX століття у зв'язку із бурхливим розвитком та вдосконаленням автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП). Складність алгоритмів та апаратно-програмних засобів (АПЗ) у структурі замкнутих контурів управління хіміко-технологічними процесами, підсистем управління такими не безпечними ділянками промисловості як ядерна енергетика, транспортування нафти та газу, управління досконалими літальними апаратами вимагала від науково-дослідного сектору розвинутих країн світу створення нового покоління АПЗ підтримки навчання персоналу СТО диспетчерсько-операторного профілю.

Слід зазначити, що перші кроки у розробці КТК СТО були спрямовані у напрямку розробки вузькоспеціалізованих систем на основі прямого моделювання та програмування технологічних процесів при комбінуванні отриманих моделей з наявними АПЗ у структурі АСУ ТП. Зрозуміло, що такий підхід не виправдав себе внаслідок стрімкого трансформування та вдосконалення засобів автоматизації та комп'ютерної техніки, розвитку інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ).

Внаслідок недосконалої стратегії вибору моделей, алгоритмів та АПЗ розробки КТК СТО більшість з них залишилась у минулому, так як вони не змогли бути пристосовані до незупинних об'єктивних змін існуючих АСУ ТП.

Постановка завдання

Метою дослідження є формування методичних підходів створення функціонально-структурної моделі проектування та практичної реалізації атестаційного модуля адаптивного рівня в структурі КТК СТО на основі положень кібернетики, системного аналізу та інформаційного пошуку щодо сучасного стану використання моделей взаємодії КТК СТО та ЛО при розробці систем подібного класу.

Розроблена функціонально-структурна модель повинна стати платформою для швидкої адаптації уніфікованого модуля атестації ЛО для КТК СТО стратегічно важливих галузей промисловості.

Функціонально-структурна модель модуля атестації в структурі КТК СТО

Починаючи із XXI століття з розвитком методів імітаційного моделювання на основі швидкісних

комп'ютерних станцій, спеціалізованих середовищ об'єктно-орієнтованого програмування та Web-орієнтованого підходу в управлінні СТО до розробників КТК прийшло розуміння необхідності невідкладного та безкомпромісного переходу до використання уніфікованих методів та засобів проектування та практичної реалізації систем подібного класу. Це логічний і зрозумілий крок, так як сам КТК СТО являє собою складну систему, підсистеми якої повинні відповідати за окремі замкнуті цикли підготовки персоналу, такі як навчання, визначення поточного психологічного та функціонального стану людини-оператора (ЛО), оперативне тренування та атестація.

На наш погляд, при розробці КТК СТО слід спиратися на положення таких фундаментальних наук як системний аналіз та кібернетика.

Системний аналіз, як предметна область розробки узагальнених підходів дослідження та синтезу складних систем, в тому числі систем автоматичного управління (САУ), передбачає, що опис динамічних процесів в таких системах повинен бути заснований на методі декомпозиції, який є невід'ємною частиною системного дослідження, та передує процедурам аналізу та синтезу систем управління СТО, а відповідно і КТК [1]. Системне дослідження проводиться у тому випадку, коли виникають практичні проблеми при експлуатації системи з включенням СТО, які призводять до значного відхилення якісних показників роботи системи від ідеальних, з точки зору ефективності її функціонування та надійності.

КТК практично є моделлю СТО та основою його декомпозиції з метою подолання практичної проблеми негативного впливу людського фактору на виникнення не штатних та аварійних ситуацій на виробництві. Глибина декомпозиції СТО для створення КТК повинна відповідати структурній декомпозиції внаслідок того, що при створенні КТК СТО ми переходимо до нового типу системи, яку прийнято називати складним людино-машинним комплексом (СЛМК).

Модуль атестації ЛО у структурі КТК СТО є найбільш складним функціональним елементом, тому що від його ефективності та точної діагностики якісних властивостей ЛО безпосередньо залежить надійність безвідмовної роботи АСУ ТП СТО. Такий модуль повинен проектуватися на основі сучасних адаптивних алгоритмів та основ побудови систем самоадаптації.

Зрозуміло, що на основі синтезованого модуля атестації простіше побудувати модуль оперативного контролю функціонального стану ЛО. Практично в якості даного модуля можуть виступати окремі інструментальні складові атестаційного модуля.

На сьогоднішній день, відомі різні підходи до створення уніфікованих багатокомпонентних моделей підсистем СТО у структурі КТК. Публічно признаним фактом даний етап розробки КТК визнається найбільш складним та неоднозначним в процесі його реалізації. Серед найбільш перспективних методів створення вказаних моделей необхідно зазначити доменний підхід, використання інформаційних моделей на основі графо-аналітичних представлень дерев подій у СТО та дерев дій ЛО і спеціалістів екстремальних професій, стохастичні методи та побудову часових статистичних моделей опису процесів, що супроводжують експлуатацію СТО.

В свою чергу, доведеним фактом є те, що використання досконалих КТК СТО в структурі АСУ ТП значним чином підвищує рівень їх безпечної експлуатації та ефективності відпрацювання диспетчерами та операторами підприємств підвищеної техногенної небезпеки не штатних та аварійних ситуацій [3].

На рис. 1 представлена функціонально-структурна модель, яка є першим етапом створення КТК СТО на основі положень системного аналізу. Зрозумілим стає взаємозв'язок між окремими функціональними частинами тренажерного комплексу з метою синтезу, апробації, дослідної експлуатації та впровадження у структурі КТК СТО модуля атестації ЛО. При розробці функціонально-структурної схеми враховані всі основні задачі системного аналізу – декомпозиція, аналіз і синтез.

При детальному розгляді функціонально-структурної схеми (рис. 1) зрозуміло, що при даному представленні спеціаліст операторного профілю (ЛО) в структурі СЛМК, з точки зору системного аналізу, є підсистемою.

З іншої точки зору, ЛО сама по собі є складною латентною системою, для якої СТО та його модель в структурі КТК є зовнішніми факторами впливу. Значний вплив на стан ЛО оказує оточуюче середовище, до якого йому необхідно швидко та професійно адаптуватися в умовах невизначеної зміни параметрів, оперативної інформації щодо штатних, не штатних та аварійних ситуацій.

В свою чергу розробка модуля атестації в структурі КТК СТО пов'язана із такими важливими та трудомісткими задачами, як вивчення посадових інструкцій ЛО, детальний аналіз алгоритмів його діяльності при відпрацюванні штатних, не штатних та аварійних ситуацій, вивчення статистичних даних щодо можливих помилок спеціалістів, які обслуговують визначені СТО. Подібні задачі повинні вирішуватися експертами у даній професійній діяльності та спеціалістами – технологами.

Після виділення ЛО у якості підсистеми КТК СТО наступає найбільш складний етап синтезу модуля атестації у структурі КТК на основі обраних моделей взаємодії ЛО із тренажерним комплексом. Саме на цьому етапі може бути застосований уніфікований підхід проектування атестаційного модуля у структурі КТК СТО, так як, не дивлячись на різноманітність СТО, процеси, що пов'язані із адаптацією ЛО до випадкових заздалегідь не визначених подій при обслуговуванні складних АСУ ТП, мають спільні риси та однакову природу походження, розвитку та кінцевого завершення.

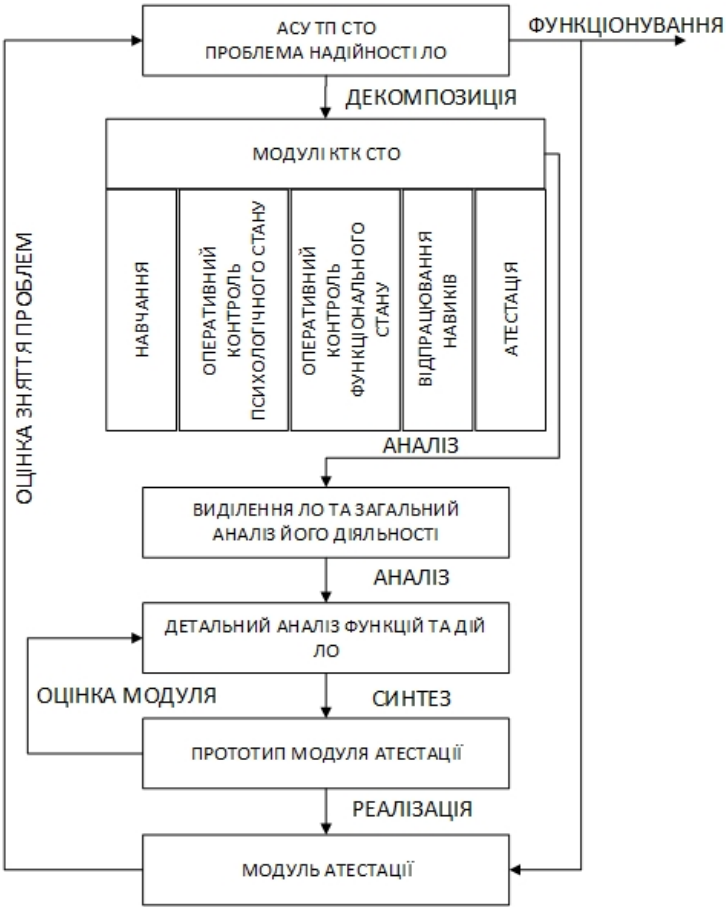


Рис. 1. Функціонально-структурна модель синтезу модуля атестації ЛО у структурі КТК СТО

Наведена функціонально-структурна модель синтезу уніфікованого модуля атестації у структурі КТК СТО має замкнуту структуру, яка передбачає оцінку впливу атестаційних заходів ЛО СТО на зняття проблеми негативного впливу його помилок на загальну надійність, безвідмовність роботи та безпеку експлуатації АСУ ТП у цілому.

Аналіз та класифікація моделей взаємодії КТК СТО з ЛО в процесі проходження навчання та атестації

Аналіз наукових джерел доводить той факт, що кількість КТК СТО, у структурі яких використовують адаптивні моделі проходження оперативного контролю, тренажу та атестації спеціалістів операторного та екстремального профілю, є в рази меншою у порівнянні з традиційними системами тренажу, в яких реалізовані жорсткі алгоритми діагностики професійної придатності та поточного функціонального стану ЛО. Під адаптивністю системи навчання ЛО, відповідно до класичних положень кібернетики, слід розуміти накопичення системою досвіду в результаті багаторазових впливів на неї і коригування її реакцій на ці впливи. Джерелами навчальних і коригувальних впливів можуть бути керуюча система (або спостерігач), зовнішнє середовище в цілому (в цьому випадку відбувається адаптація системи до неї), але можуть бути й елементи самої системи, тоді вона називається самонавчальною.

Зрозуміло, що практична реалізація адаптивних сценаріїв навчання та атестації ЛО вимагає розробки складних імітаційних моделей взаємодії ЛО, АПЗ та навколишнього середовища у структурі СЛМК з відповідною обробкою отриманих результатів з врахуванням сучасних вимог щодо використання сучасних ІКТ на основі розподілених WEB-орієнтованих систем.

Успішна розробка будь-якої імітаційної моделі зазвичай починається з простого прототипу, який поступово ускладнюється до тих пір, поки не будуть задоволені вимоги кінцевої мети практичного використання даної моделі.

ЛО є тим компонентом системи, з яким найкраще знайомі фахівці у галузі інженерної психології і який повинен описуватися за допомогою методів аналізу професійних завдань з ретельним описом подій в системі та реакцій на них з боку ЛО. Однак, у процесі моделювання складних замкнутих систем взаємодії СТО та ЛО простого абстрактного опису поведінки людини, що виконує деяку послідовність дій в процесі професійної діяльності, зазвичай недостатньо. Імітаційна модель, яка покладена в основу КТК СТО повинна стати абстрактним поданням цілісної системи з вибірковим включенням до неї лише окремих аспектів поведінки ЛО, функціонування обладнання та впливу навколишнього середовища.

Не дивлячись на розвиток та вдосконалення АСУ ТП та сучасних КТК СТО спеціаліст операторного профілю залишається найбільш небезпечною ланкою, яка негативно впливає на виникнення, розвиток та успіх подолання не штатних та аварійних ситуацій під час експлуатації СТО [2]. Тому, особливу

увагу слід приділяти адекватному моделюванню взаємодії ЛО з іншими компонентами системи під час реалізації модулів атестації і тренажу у структурі КТК СТО.

Перші моделі КТК СТО створювались більш на інтуїтивному рівні та не вкладались в загальну класифікаційну схему. Проте, можна стверджувати, що фізичні, математичні та імітаційні моделі різноманітних СТО адаптовані до нових потреб сучасних КТК. Більшість фізичних моделей СТО у структурі КТК [3] було побудовано для подальшого використання у військовій промисловості. В той час найбільший розвиток отримали фізичні моделі тренажерів пов'язаних із апаратним моделюванням роботи літальних апаратів. Вже тоді тренажер Лінка мав одну характерну рису, яка зробила його модель домінуючою та надалі була активно розвинута іншими науковцями. А саме, мова йдеться про уніфікованість – універсальність використання його моделі. Тобто була розроблена уніфікована модель літального апарату, за допомогою якої можна було створювати тренажери для різного роду літальних апаратів.

У період після закінчення другої світової війни і аж до періоду активного розвитку комп'ютерної техніки та ІКТ, тривав другий етап розвитку моделей тренажерних комплексів. Під час цього етапу, за основу для створення нових моделей бралися не військові задачі, а підготовка кваліфікованих спеціалістів для СТО. Основним напрямком розвитку моделей був пріоритет на моделюванні самих СТО а також оцінка дій людини-оператора (ЛО) за допомогою класичних методів статистичного аналізу надійності та безвідмовності його професійної діяльності [4]. Враховуючи той факт, що при моделюванні СТО ставилася задача точного відтворення моделі реального об'єкту, стало можливим проводити навчання ЛО, без втручання в роботу реального СТО. Цей етап розвитку моделей тренажерних комплексів був основною для подальшої оцінки дій ЛО в структурі КТК.

Коли почався період бурхливого розвитку ІКТ, моделі побудови КТК СТО почали свою трансформацію у складні розподілені WEB-орієнтовані системи з перенесенням старих, але актуальних фізичних моделей СТО на комп'ютерну платформ [5]. Саме вік інформаційних технологій став переломним для фізичних моделей СТО, розробка яких потребувала значних ресурсів, як матеріальних так і людських. Стала можливим розробка імітаційних моделей СТО настільки адекватних реальним АСУ ТП, що більшість наступних розробок у області моделей КТК були направлені на збільшення інформаційних можливостей, а саме різного роду аналізу отриманих даних при взаємодії ЛО і КТК, що призвело до ідеї створення КТК СТО інтелектуального рівня на основі адаптації тренажерних комплексів до поточного рівня знань, біологічних, психофізіологічних потреб кожного суб'єкту навчання.

В роботі [6] вказане на те, що адаптивний тренажер – це тренажер, що забезпечує автоматичну оптимізацію управління процесом підготовки людини-оператора з урахуванням швидкості і якості виконання ним навчальних завдань. Автори зауважують, що якщо зосередитися на проблемі адаптації КТК СТО до потреб ЛО, як навчальної системи, то можна виділити два типи адаптивності – адаптивність структури тренажера як технічного пристрою (режимну або конструктивну адаптивність) і дидактичну адаптивність. У першому випадку технічні пристрої КТК СТО адаптуються під зовнішні сигнали, змінюючи режими функціонування або математичну модель тренажера, а в другому, мається на увазі автоматична зміну навчально-методичного забезпечення тренажера в залежності від попереднього досвіду навчання, рівня навченості або етапу навчання.

Сучасні КТК СТО адаптивного це програмно-технічні засоби професійної підготовки персоналу, що забезпечує автоматичну оптимізацію управління процесом навчання при зміні властивостей імітаційної моделі СТО і рівня навченості ЛО, при цьому адаптивними властивостями можуть володіти не тільки КТК СТО в цілому, а й їх окремі вузли, підсистеми та модулі.

Що стосується дидактичної адаптивності, то на сьогодні КТК СТО є спеціалізованими віртуальними навчальними середовищами, які активно використовують технології дистанційного та мобільного навчання. В роботі [7] розглянута методика адаптивного контролю знань у структурі функціональних тренажерів на основі індивідуальних ситуаційних завдань із льотної експлуатації бортових засобів. При цьому керування процесом тренажу виконується автоматизованою системою, як в автоматичному режимі, так і в діалозі з інструктором.

Адаптивність КТК розглядається при підготовці ЛО наземних транспортних засобів [8]. При створенні адаптивної та ігрових КТК транспортного засобу недостатньо визначити тільки кінцеву поведінку людини, але також необхідно передбачити набір методів вирішення завдань. В результаті адекватна модель ЛО транспортних засобів повинна мати такі компоненти:

- модель поведінки, (відбір стимулів і відповідей, і правила, що визначають правильну відповідь);
- правила адаптації;
- алгоритмічний або обчислювальний компонент, який описує завдання різних типів, а також загальні або часткові рішення цих задач.

Останнім часом, із розвитком кібернетики, систем штучного інтелекту та експертних систем, заснованих на знаннях, розробка КТК СТО отримала новітню платформу для переходу у клас інтелектуальних систем само адаптації та само розвитку. В роботі [9] розглянуті питання розробки математичного забезпечення КТК на базі технології експертних систем. Авторам представляється доцільним побудова так званих гібридних систем, які поряд з неформальними знаннями фахівців містять знання, отримані в результаті математичного моделювання взаємодії КТК СТО та ЛО. Такий підхід до вирішення завдань навчання ЛО різних виробництв стає можливим завдяки розвитку нових ІКТ, і, в першу чергу,

завдяки створенню промислових систем, заснованих на знаннях.

У нашому випадку, був проведений аналіз можливостей використання інформаційних моделей для створення платформи адаптивних КТК СТО у вигляді логіко-ймовірнісних моделей причинно-наслідкових зв'язків відмов СТО з відмовами її елементів і іншими подіями (впливами), такими як дії ЛО при відпрацюванні штатних, не штатних та аварійних ситуацій. При практичному використанні фундаментального керівництва з проблем впливу людського фактору на надійність експлуатації СТО, написаному авторами з США, Канади та ФРН, в якому розглянуті загальна характеристика професії інженера, основні етапи проектування та розробки автоматизованих систем навчання інженерного рівня, методи оцінки їх надійності та ефективності нами розроблений прототип модуля атестації та тренажу ЛО у структурі КТК СТО змінного інженера газо-перекачувальної станції. На рис. 2 та рис. 3 наведені приклади реалізації дерева подій при імітаційному моделюванні роботи та дерева дій змінного інженера ГПА Ц1 16с при відпрацюванні не штатної ситуації, пов'язаної з явищем помпажу.

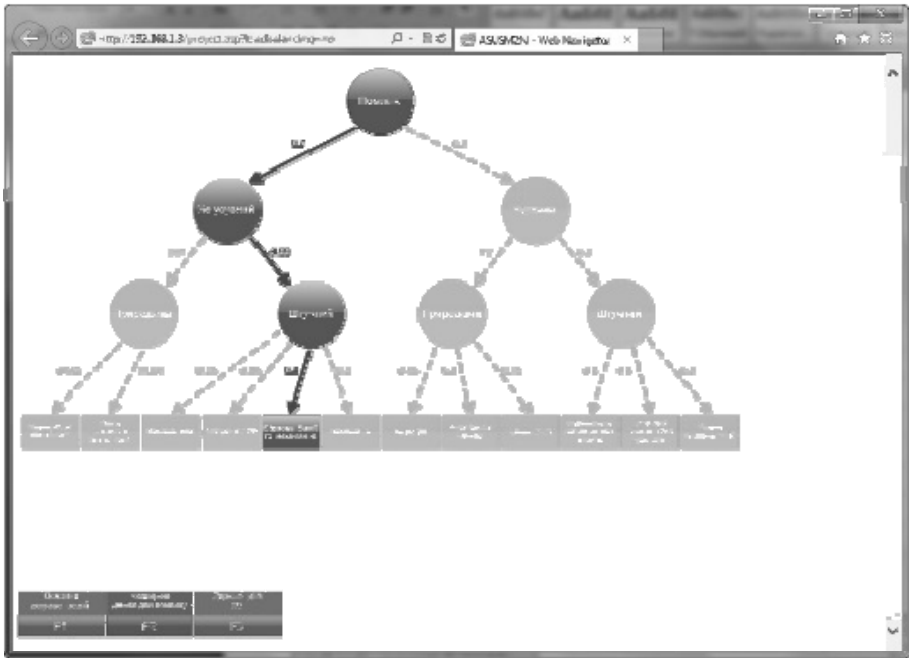


Рис. 2. Реалізація дерева подій у структурі КТК газоперекачувальної станції

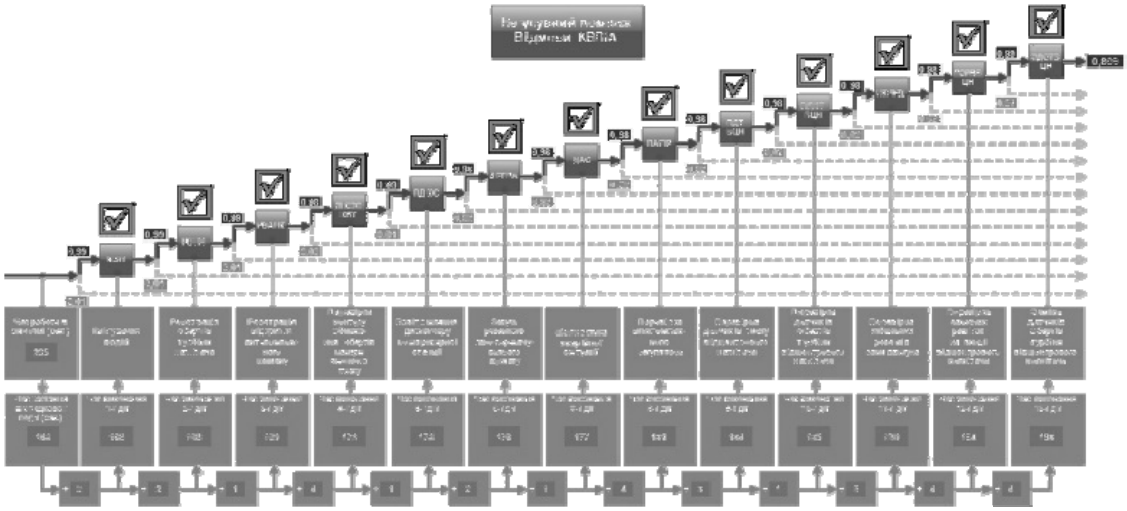


Рис. 3. Реалізація логіко-ймовірнісної моделі ЛО у структурі КТК оператора газоперекачувальної станції

Результати даних досліджень викладені у роботах [10, 11]. Дані результати слід рахувати базовою платформою для подальших досліджень у напрямку розвитку даного прототипу на основі моделей само адаптації та самоорганізації КТК СТО до функціонального стану та рівня знань ЛО.

Доцільним, при реалізації поставленого завдання є використання таких інструментів як нечітка логіка на основі класичної логіки і теорії множин, теорії систем штучного і експертних систем. При цьому КТК СТО повинен використовувати досягнення в області дистанційного та мобільного навчання, особливо в області адаптивної діагностики рівня професійних компетенцій ЛО.

Висновки

Метою даної статті є висвітлення результатів проведення порівняльного аналізу існуючих методів, алгоритмів та моделей розробки сучасних КТК СТО на основі інформаційного пошуку щодо існуючих на сьогодні тенденцій розвитку, вдосконалення та успішного впровадження на виробництві систем подібного класу.

При розробці КТК СТО особливу цінність і важливість представляють інструментальні засоби на основі модульних бібліотек та компонент, що описують подібні енергетичні і інформаційні процеси, які протікають в окремих підсистемах СТО. При об'єднанні отриманих моделей динамічних підсистем СТО у логічні структури можна отримати КТК, який максимально адекватно відображає штатні, не штатні та аварійні ситуації функціонування СТО. Такий КТК є необхідною та невід'ємною частиною загальної системи підготовки, перепідготовки, оперативного контролю компетенцій та переатестації спеціалістів операторного профілю.

Проведений аналіз дозволяє обрати оптимальний шлях створення уніфікованих багатокомпонентних систем розробки КТК СТО інтелектуального рівня для багатьох стратегічних, особливо техногенно небезпечних, галузей промисловості України. Це є науково важливим завданням у складних політичних та економічних умовах розвитку незалежної Української держави.

Література

1. Гайдес М.А. Общая теория систем / Гайдес М.А. – Винница : Глобус-пресс, 2005. – 201 с.

2. Трофімов Ю.Л. Інженерна психологія : підручник / Трофімов Ю.Л. – К. : Либідь, 2002. – 264 с.

3. Холдинг Д. Человеческий фактор. Моделирование деяльности, профессиональное обучение и отбор операторов / Холдинг Д., Голдстейн И., Эбертс Р. – М. : Мир, 1991. – 302 с.

4. Polzella D.J. Air crew training devices: Utility and utilization of advanced instructional features / Polzella D.J. – Air Force Human Resources Laboratory Report, 1993. – 226 p.

5. Puig J.A. Motion in flight simulation: An annotated bibliography / Puig J.A., Harris W.T., and Ricard G.L. – U.S. Naval Training Equipment Center, 1998. – 298 p.

6. Сергеев С.Ф. Адаптивность в тренажерах / С.Ф. Сергеев // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. – Санкт-Петербург, 2011. – № 6 (76). – 118 с.

7. Синєглазов В.М. Методика адаптивного контролю на функціональних тренажерах / В.М. Синєглазов // Вісник національного авіаційного університету. – К. : Національний авіаційний університет, 2008 – № 1. – 12 с.

8. Принципы построения адаптивных обучающих тренажеров для подготовки операторов транспортных средств : материалы VIII международной научно-практической конференции, 10–13 марта 2015 – Екатеринбург, 2015. – С. 49–53.

9. Тимофеев В.А. Структура математического обеспечения компьютерного тренажера для обучения оператора на базе технологии экспертных систем / В.А. Тимофеев, В.В. Тулупов // Системи обробки інформації. – Харків : Харківський університет повітряних сил імені Івана Кожедуба, 2002. – № 3(19). – 94 с.

10. Розробка комп'ютерних тренажерних комплексів навчання персоналу : збірник праць дев'ятої міжнародної конференції "Нові інформаційні технології в освіті для всіх: моделі та інфраструктури", 26 листопада 2014 р. / Мін-во освіти і науки України, Національна академія наук України – К. : IRTC, 2014. – С. 94–100.

11. Розробка підсистеми атестаційного контролю змінних інженерів газоперекачувальних агрегатів в структурі комп'ютерного тренажерного комплексу : збірник праць всеукраїнського науково-практичного семінару "Сучасні інформаційні технології в дистанційній освіті" 25-26 червня 2013 р. / Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – Івано-Франківськ : "ІФНТУНГ", 2013. – С. 65–67.

Рецензія/Peer review : 14.5.2016 р. Надрукована/Printed : 6.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Горбійчук М.І.

УДК 621

І.В. ГУЛА, В. П. НЕЗДОРОВІН
Хмельницький національний університет
А.В. КЛЕПІКОВСЬКИЙ, Є.Г. МАХРОВА
Буковинський державний медичний університет

ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ УНІВЕРСАЛЬНОГО ПРОТОКОЛУ РОЗУМНОГО ДОМУ

Розумний дім є складним апаратно-програмним комплексом. Впровадження системи розумного дому вимагає розробки єдиного протоколу взаємодії між його частинами. Реалізація протоколу вимагає розуміння апаратного забезпечення. Існують різні варіанти протоколів, що забезпечують як швидкість так і зручність масштабування системи, частина з них є комерційними та закритими системами.

Ключові слова: протокол, автоматизація.

I.V. GULA, V. P. NEZDOROVIN
Khmelnitskiy national university, Ukraine
A.V. KLEPIKOVSKIY, Y. G. MAKHROVA
Bukovinian state medical university, Ukraine

PROBLES OF DEVELOMPENT OF UNIVERSAL PROTOCOL FOR SMART HOME EQUIPMENT

"Smart Home" is a complex system, which consist of software and hardware parts. This system requires implementing universal protocol to communicate with his parts. "Smart Home" protocol implementation based on existing hardware, required speeds and topology. For now several types of protocol exists. The problem is closed software for several types of protocols.

Keywords: protocol, topology, implementation.

Вступ. Розумний будинок (англ. Smart house) - житловий будинок сучасного типу, організований для проживання людей за допомогою автоматизації і високотехнологічних пристроїв. Іншими словами – це будь-яка система автоматизації / автоматики (або комплекс систем автоматизації / автоматики), яка хоч якось, хоч на найменшу частку, але полегшує Ваш побут.

По цій темі працюють такі гіганти, як Siemens, General Electric і ін. Багато компаній працює над розробкою технологій і пристроїв для розумного будинку. Приєдналися, здавалося б, не зовсім профільні компанії, такі як Microsoft, Google, Apple, Samsung.

Зокрема компанія Samsung запустила сервіс Samsung Smart Home. Завдяки сервісу Samsung Smart Home користувач може управляти всією технікою в будинку за допомогою однієї програми, інтегрованої платформи і сервера, об'єднуючи в домашню мережу

Проте єдиного стандарту комунікацій між елементами системи немає, так само як немає інструкції, тому теоретично побудувати свій розумний будинок може кожен і саме так, як йому заманеться.

Основна частина. Оскільки поки, що не має єдиного протоколу для Smart Home більшість розробників розроблять свої протоколи під конкретні задачі. В таблиці 1 показано їх властивості [1, 2, 3, 4].

Ще однією важливою умовою для єдиної платформи «розумного будинку» є наявність технології. Базова платформа повинна бути не просто описом стандарту, а готовим рішенням. Повинні бути технологічні рішення, що дозволяють звичайному інженеру створювати систему «розумний будинок». Для цього необхідні програмний інструментарій та апаратні засоби підтримки протоколу. Потрібні стандартні чіпи, потрібні стандартні програми настройки цих чіпів, доступні кожному. При цьому умова доступності - ключове.

Один з простих протоколів "1- wire" одночасно з вказаними в таблиці 1 показниками, також містить ряд прихованих мінусів. Так, тільки імпульс скидання триває 750 мс згідно стандарту. Тобто говорити за миттєву реакцію системи на вплив неможливо. А такою подією може бути загоряння, підтоплення або коротке замикання в системі.

Ще однією проблемою є ліцензія на цей протокол. Торговою маркою 1-Wire® Dallas володіє, і були випадки, коли у відповідь на появу на інтернет-репозитаріях кодів емуляції slave–пристроїв для контролерів Dallas відправляла DMCA Takedown, і репозиторій видаляли.

В системі "розумного дому" у випадку відсутності можливості ініціювання обміну slave–пристроєм потрібна достатня швидкість мережі та мінімальний час на опитування системи.

Протокол ModbusRTU на базі RS-485 дозволив підвищити швидкість опитування до 9600-115200 біт/с та навіть вище. При цьому, протокол ModbusRTU є доступним в реалізації навіть для 8-бітних контролерів, що робить можливість швидкої розробки та впровадження системи для її реалізації. Так у роботі [4] показано зручність налаштування керуючого контролера, що підтримується системою CodeSys для підключення потрібних пристроїв та їх швидкості.

Відомий протокол зв'язку X10 для управління побутовими електроприладами з центрального пульта налічує майже чотири десятиліття. Він був розроблений ще в 1975 році компанією «Піко Електроніка» і швидко набув статусу стандарту «де-факто». Сталося це завдяки дотепному інженерному рішенню: використовувати електричну проводку будинку для передачі керуючих сигналів.

Таблиця 1

Параметри фізичних реалізацій протоколів розумного будинку

Реалізація	Переваги	Недоліки
1- wire		неможлива ініціалізація передачі slave-пристроєм дуже повільна (~ 1000 мс на передачу пакету даних) використовується окрема 2-провідна лінія
RS-485 + ModbusRTU	легкість реалізації мастшабування будь-яка топологія стійка до завад простота реалізації багатоканальності	неможлива ініціалізація передачі slave-пристроєм швидкість 9600-115200 біт/с використовується окрема 2-провідна лінія
LonWorks (ANSI / EIA709.1-B)	робота аналогічна RS-485 + ModbusRTU	застосовується власний процесор "Neuron chip" розробка закрита
Ethernet	можливість ініціації події slave-пристроєм можливість розширення мережі за допомогою бездротового зв'язку швидкість 10-1000 МБіт/с	Потрібні додаткові пристрої (хаби) для розвітвлення мережі використовується окрема 4/8-провідна лінія
X10	використовується силова лінія живлення силові трансформатори блокують розповсюдження сигналу	швидкість 50 біт/с лише 16 пристроїв сучасні імпульсні БЖ спотворюють сигнали X10 в мережі
EIB/KNX	робота аналогічна RS-485 + ModbusRTU можливість роботи через силову лінію та радіоканали	швидкість 9600 біт/с (окрема лінія), 1200 біт/с (силова лінія)
Wi-Fi	можливість ініціації події slave-пристроєм швидкість 30-300 МБіт/с	створення електромагнітних завад для інших пристроїв чутливість до зовнішніх джерел радіосигналів

Передавач, визначивши момент нульового переходу, з запізненням не більше 200 мікросекунд видає керуючий сигнал тривалістю 1 мс у вигляді пакету 120 імпульсів і амплітудою до 5В. Приймачі сигналів на цей час "відкривають" часове вікно і "слухають" мережу. При появі сигналу в дозволений час він обробляється. У початковій версії можна було управляти 256 приймачами.

Особливістю протоколу X10 є послідовна передача двійкових кодів команд. За один перехід через нульове значення передається тільки один біт інформації. Тому це дуже повільний протокол: передача стандартної команди на включення або виключення пристрою займає близько секунди. З подібним незручністю для керування лампами освітлення чи системами обігріву ще можна миритися. Проте неможливо говорити за передачу потокового відео або навіть за передачу звуку.

Встановлення модулів X10 в електрощитах цей недолік може серйозно обмежити час життя стандарту-довгожителя. Протокол X10 має вкрай низьку завадостійкість пристроїв. З часу винаходу протоколу світ разюче змінився. Якщо в сімдесяті роки основним побутовим джерелом перешкод були газорозрядні лампи і фени з колекторним двигуном, то сьогодні цей перелік значно розширився.

Практично в кожному будинку або квартирі є телевізори і комп'ютери з імпульсним блоком живлення. Імпульсне живлення використовують сучасні економічні лампи. Навіть звичайне зарядний пристрій містить нелінійний обмежувач струму – конденсатор. Така велика кількість нелінійних навантажень "забруднює" електричні мережі.

У цих умовах передача інформації по електричних мережах можлива тільки при витончену систему кодування перешкодостійкими алгоритмами. А в протоколі X10 використовується в командах тільки один контрольний біт і амплітудна модуляція. Тому більшість користувачів пристроїв, що працюють у стандарті X10, скаржаться на збої у виконанні команд.

Для боротьби із зовнішніми перешкодами і не санкціонованим доступом до системи, встановлюють фільтри, наприклад модуль FM10, що входить до складу лінійки блоків X10. Але з ростом числа джерел перешкод всередині будинку, таких модулів може знадобитися кілька. Все це ускладнює і перевантажує систему допоміжними блоками.

Взагалі, аналізуючи велику кількість пристроїв, сумісних з X10, виникає крамольне запитання: «Чи не простіше відмовитися від стандарту, має стільки недоліків і перейти на побудову системи, заснованої на сучасному протоколі?».

Протокол LON (Local Operating Network) був створений компанією Echelon в 1993 р для систем автоматизації будівель і інженерних об'єктів. Спочатку це був фірмовий протокол, однак в 1996 р. став загальнодоступними. У 2003 році комітет LonMark Interoperability Association був перетворений в асоціацію LonMark International, яка взяла на себе функції контролю над дотриманням стандартів. У цю асоціацію на

добровільних засадах зараз входять більше 400 членів.

Даний протокол підтримує обмін за принципом "кожен з кожним" за допомогою витої пари, електричних мереж, радіоканалу, інфрачервоного каналу і через мережі IP. Протокол подійно орієнтований – пристрої передають інформаційний пакет тільки в тому випадку, коли їх стан змінилося. Кожен пристрій може передавати інформацію кожному і приймати її від кожного, при цьому пакет може проходити через кілька різних середовищ передачі. Для захисту інформації, що передана через відкриті середовища (радіо або Інтернет), є спеціальні засоби у вигляді аутентифікації повідомлення.

Фізичним носієм протоколу є мікропроцесор Neuron Chip, в даний час випускається фірмами Toshiba і Cypress. Це мікросхема, яка містить в собі всі засоби обміну, і додатковий процесор, який може програмувати сам користувач. Досить Neuron Chip вставити в будь-який пристрій, і воно набуде дві властивості – здатність виконувати програму ("інтелект") і здатність до обміну інформацією з будь-якими іншими пристроями в мережі. Для програмування даного чипу і для написання мережевої програми в цілому є кілька інструментів від різних фірм. Самі відомі - це програми Lon Maker від Echelon і NLFacility від Newron системи. Чіпи Нейрон вбудовують в своє обладнання дуже багато виробників. Для створення і конфігурації "розумного будинку" інсталятору досить мати програму Lon Maker, і він зможе з'єднати пристрої між собою і створити програму роботи як кожного пристрою, так і всієї мережі в цілому.

На даний момент технологія LonWorks визнана провідною технологією "розумного будинку". На її основі створено безліч цікавих проектів. Це офісний комплекс Couer в Парижі, будівля АТ РЖД в Москві і вежа "Федерація" в Москва-Сіті. В Італії реалізований проект комплексного моніторингу котеджів в селищах з передачею інформації по лінії електропередач. В експресі Альтмарка Acela шина LON застосовується для моніторингу стану вагонів складу. І, звичайно ж, протокол LON знаходить найширше застосування в житлових будинках, офісах, квартирах і котеджах.

Відкритими, загальновизнаними, повноцінними технологіями третього покоління на даний момент є дві технології - європейська технологія KNX / EIB і американська технологія LonWorks. «Європейської» і «американської» вони є виключно за місцем створення, але застосовуються виробниками обладнання по всьому світу.

При переході до «розумному будинку» третього покоління асортимент, пропонований однієї, нехай навіть дуже великою фірмою, вже є недостатнім. Виникла необхідність у відкритому стандартизованому протоколі обміну даними, який був би легко доступним для будь-якого виробника, який побажав включити свою продукцію в «розумний дім». Виробник контролерів, газових котлів, кондиціонерів, пральних машин - все повинні мати однаковий вільний доступ до протоколу.

Розробка системи на базі Wi-Fi мереж є сучасною реалізацією із застосуванням найбільш передових апаратних та програмних засобів. Слід відзначити, що система на базі Wi-Fi мережі є радіовипромінюючою, а отже можуть виникати проблеми з електромагнітною сумісністю з іншими пристроями.

Висновок. На сьогодення існує декілька конкуруючих протоколів та технологій їх імплементацій. Як було показано в таблиці 1, протоколи в своїй реалізації дублюють один одного за параметрами середовища розповсюдження, але відрізняються за можливостями. Актуальною проблемою є те, що як тільки відкритий протокол вийде в світ і стане належати багатьом фірмам, з'явиться спокуса внести в нього власні зміни та вести неконкурентну гру користуючись неприступністю цих змін для інших. Для боротьби з цим потрібно добровільні асоціації виробників, які контролюватимуть дотримання правил гри, будуть оцінювати пропозиції щодо поліпшення і публікувати їх. Тільки за цієї умови можна буде забезпечити повну сумісність «кожного з кожним», що і є основною ознакою «розумного будинку» третього покоління

Література

1. LON-Technologie : verteilte Systeme in der Anwendung / Dietmar Dietrich … (Hrsg.).- Heidelberg : Huthig, 1997, ISBN 3-7785-2581-6

2. Дитрих Д. «EIB — Система автоматизации зданий» / Д. Дитрих, В. Кастнер, Т. Саутер, О. Низамутдинов. – пер. с нем. под ред. О. Б. Низамутдинова, М. В. Гордеева, ПермГТУ, г. Пермь, 2001 год. – 378 стр

3. Пасеков В. Платформа KNX: топология и телеграммы / В. Пасеков // Автоматизация зданий: информационный бюллетень. – 2012. – №1(52) февраль. – С.40.

4. Горященко К.Л. Реалізація протоколу Modbus в середовищі Codesys 2.3 / К.Л. Горященко, В.П. Нездоровін, Є.Г. Махрова // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – №5. – С. 208-212

5. Горященко К.Л. Розробка автоматизованих систем керування в середовищі CodeSys / К.Л. Горященко, Є.Г. Махрова // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – №3. – С. 171-174.

Рецензія/Peer review : 2.5.2016 р. Надрукована/Printed :8.6.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф.. Троцишин І.В.

УДК 519.688 : 621.3.088.3

О.В. ОСАДЧУК, А.Ю. САВИЦЬКИЙ, О.С. ЗВЯГІН
Вінницький національний технічний університет

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ГЕНЕРАТОРНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Розглянуто можливість застосування і запропоновано математичний апарат, що може бути застосований для обробки сигналів автогенераторних перетворювачів фізичних величин, що працюють за методом частотної модуляції, при цьому девіація частоти залежить від інтенсивності дії вимірювального параметру. Показано, що для забезпечення нівелювання дії адитивної похибки у каналі передавання сигналу високостабільного генератора достатньо застосування апроксимуючого полінома другого порядку.

Ключові слова: генераторний перетворювач, адитивна похибка, шум, визначений інтеграл, точність вимірювання.

O.V. OSADCHUK, A.YU. SAVYTSKYI, O.S. ZVIAHIN
Vinnytsia National Technical University

METHODS OF INTEGRAL SIGNAL PROCESSING GENERATING PHYSICAL QUANTITY CONVERTERS

The application of the proposed mathematical tools, that can be used for signal processing self-generating transducers of physical quantities, is considered. Its operating mechanism is based on frequency modulation, when the frequency deviation depends on the intensity of exposure measurement parameter. It is shown that the action for levelling additive errors in the channel the signal generator is highly stable enough to use approximating second order polynomial.

Keywords: self-oscillator transducer, additive error, noise, definite integral, measurement accuracy.

Розвиток інформаційно-вимірювальної техніки тісно пов'язаний із застосуванням сучасної елементної бази та методів обробки інформації на основі сучасних методів обробки даних.

В роботі [1] показано переваги частотних методів вимірювання кількісних ознак фізичних величин, що можуть бути перетворені в електричні, серед яких можна виділити високу точність та чутливість вимірювання, високу завадостійкість передавання (частотно-модульованого) ЧМ сигналу до амплітудних шумів. Якщо розглянути еквівалентну схему реалізації даного метода вимірювання (рис. 1), видно, що його практична реалізація пов’язана з врахуванням зміни частоти автогенератора джерела сигналу як «в малому», так і в «великому» періоді за теорією стійкості Ляпунова. Іншим місцем виникнення похибки може стати відрізок між частотним детектором та індикаторним пристроєм.

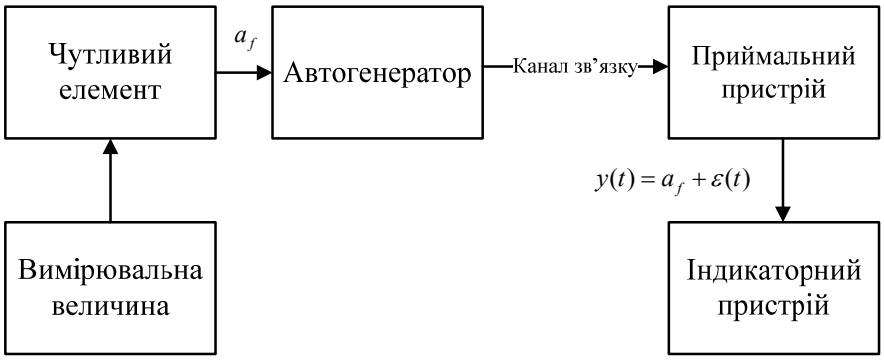


Рис. 1. Структурна схема реалізації частотного метода вимірювання

В режимі довгострокової нестабільності частоти автогенератора, миттєву частоту на його виході, так і на приймальній частині вимірювального каналу, не можна вважати випадковою величиною, і за умови сталості параметрів оточуючого середовища, дана зміна частоти може бути представлена аналітично з точністю, достатньою для практичного застосування.

В режимі короткострокової нестабільності миттєва частота сигналу генератора є величиною випадковою, оскільки ансамбль параметрів, що впливають на частоту автогенератора також можна вважати випадковою величиною: температура навколишнього середовища і переходів транзисторів, напруги живлення, напруженості електромагнітного поля, тощо. Іншим важливим параметром, що впливає на частоту сигналу є власне динамічні характеристики досліджуваного об’єкта. Тому сконцентруємо увагу на підвищення точності вимірювання з врахуванням зміни частоти генератора, що виникає внаслідок короткострокових змін напруги живлення, температури, електромагнітної обстановки, а також дії адитивної похибки в тракті продетектованого сигналу.

Нехай за умови сталості вимірювального параметру об’єкта сигнал частотного детектора $a_f(t)$ є квазістаціонарною величиною a_f, а сумарна по всім каскадам помилка відображення частоти є «білим

шумом», що описується функцією $\varepsilon(t)$. Тоді в кожен момент часу сигнал, що є сигналом частоти та шуму, що є функцією частотної нестабільності можна описати $y(t) = a_f + \varepsilon(t)$. Для реалізації приймача вимірювальної системи (рис. 1) застосуємо ефект накопичення за рахунок застосування інтегральної обробки сигналу, що буде спостерігатись протягом деякого часу досліджень T_D. При цьому на виході інтегратора формується сигнал:

$$Y(t) = \int_0^{T_D} y(t)dt = \int_0^{T_D} [a_f + \varepsilon(t)]dt = a_f T_C + \int_0^{T_D} \varepsilon(t)dt .$$

При цьому співвідношення сигнал/завада буде визначати похибку від дії адитивної завади після перетворення частота/амплітуда на проміжку частотний детектор-індикаторний пристрій:

$$n = \frac{P_{a_f}}{P_n} = \frac{\left(a_f \cdot T_D\right)^2}{\mathrm{D}\left[\int_0^{T_D} \xi(\mathrm{t})\mathrm{dt}\right]},$$

де P_{a_f} і P_n – потужності сигналу і завади відповідно.

За умови, що вимірювальна система відповідає теоремі Котельникова, можна навести наступні властивості даної системи:

- методика розрахунку є справедливою для систем, в яких інформаційний сигнал є квазіпостійним, або періодичним (в т.ч. імпульсним);
- інформаційний сигнал, як і сигнал завади можна представити у вигляді суми відліків з відповідною частотою дискретизації;
- дисперсія суми випадкових величин (відліків завади) також буде випадковою величиною.

На основі наведених вище тверджень можна записати наступні вирази:

$$\int_0^{T_D} \varepsilon(t)dt \cong \sum_{i-1}^{k} \varepsilon(t_i)\tau_0 ,$$

де $k = T_D / \tau_0$; τ_0 – є періодом автокореляційної функції завади.

Дисперсія завади на виході інтегратора визначається за виразом:

$$D\left[\int_0^{T_D} \varepsilon(t)dt\right] \cong D\left[\sum_{i=1}^{k} \varepsilon(t_i)\tau_0\right] \approx \tau_0^2 \cdot D\left[\sum_{i=1}^{k} \varepsilon(t_i)\right] = \varepsilon_0 \cdot n \cdot D(\varepsilon) = T_D \cdot \tau_0 \cdot D(\varepsilon) .$$

Зменшення впливу завади визначається з співвідношення сигнал/завада на вході та виході інтегратора:

$$\frac{P_{a_f.вих}}{P_{n..вих}} \cong \frac{(a_f \cdot T_D)^2}{T_D \cdot \tau_0 \cdot D(\varepsilon)} = \frac{T_D \cdot a_f^{\ 2}}{\tau_0 \cdot D(\varepsilon)} = \frac{T_D}{\tau_0} \cdot \frac{P_{a_f.вх}}{P_{n..вх}} .$$

Як видно з останнього виразу, виграш у відношенні сигнал/завада збільшується із збільшенням часу інтегрування (спостереження) та частоти автокореляційної функції завади.

При цьому, для виконання системою теореми Котельникова, виникає проблема забезпечення швидкодії інтегратора з одночасним забезпеченням необхідної точності вимірювання. В роботі [2] зазначалась можливість застосування криволінійної апроксимації таблично заданої функції відрізком дуги (рис. 2), що по суті є криволінійним уточненням відомого метода трапецій. При цьому, на відміну від формули Сімпсона, усувається необхідність заміни відрізку шуканої прямої двома параболами з точками перетину в середині даного відрізка, оскільки дана точка може бути знайдена з певною ймовірністю.

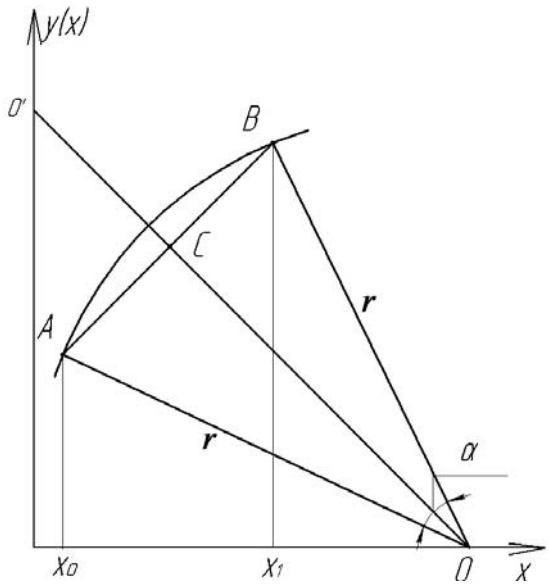


Рис. 2. Графічна інтерпретація застосування

Математичний апарат запропонованої методики інтегрування наведено нижче:

$$r_n = \sqrt{\left(\frac{(t_n^2 - t_{n-1}^2) + \left(y^2(t_n) - y^2(t_{n-1})\right) - 2ht_{n-1}}{2h}\right)^2 + y^2(t_{n-1})} .$$

$$\sin\alpha_n = \sqrt{1-\left[1-\left(\frac{(t_n-t_{n-1})^2+(a_{f.n}-a_{f.n-1})^2}{2r_n^2}\right)\right]^2};$$

$$\alpha_n = \left|\arcsin(\sin\alpha_n)\right|;\ S_{segm.n} = \frac{r_n^2}{2}\left(\pi\frac{\alpha_n}{180^0}-\sin\alpha_n\right).$$

Площа, обмежена графіками функцій $t=t_0$, $t=t_n$, $y(t)$ замінюється інтегральною сумою:

$$\int_{t_0}^{t_n} y(t)dt = \sum_{i=1}^{m} S_{trap.i} + \sum_{i=1}^{m} S_{segm.i};$$

$$\sum_{i=1}^{m} S_{trap.i} = h\left(\frac{y(t_0)+y(t_n)}{2}+y(t_1)+y(t_2)+\ldots\right);$$

$$\sum_{i=1}^{m} S_{segm.i} = \sum_{i=1}^{m}\frac{r_i^2}{2}(\pi\frac{\alpha_i}{180^0}-\sin\alpha_i).$$

Проведемо дослідження похибки інтегрування за допомогою запропонованої методики. Точність чисельного інтегрування залежить від степеня інтегрувального полінома. Так, при заміні вихідної функції $y(t)$ відрізком прямої лінії (метод дотичних, метод трапецій) [2] похибка інтегрування визначається залишковим членом [3]: $R(t)=\frac{(t_n-t_{n-1})^3}{12}y''(\varsigma)$, де $\varsigma\in[x_{n-1};x_n]$ точка середини відрізка відліку.

При цьому загальна похибка вимірювання буде сумою похибок для кожного відліку:

$$R(t)_\Sigma = \sum_{i=1}^{n}\frac{(t_i-t_{i-1})^3}{12}y''(\varsigma_{i-1}).$$

Застосування чисельного інтегрування поліномами більш високого порядку дозволяє зменшити похибку інтегрування. При цьому залишковий член інтегральної рівності буде складати:

$$R(t)=\left(\frac{t_n-t_{n-1}}{2}\right)^5\frac{y^{(IV)}(\varsigma)}{90}.$$

Аналогічно для цього випадку сумарна похибка чисельного інтегрування буде визначатися за виразом:

$$R(t)_\Sigma = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{t_i-t_{i-1}}{2}\right)^5\frac{y^{(IV)}(\varsigma_{i-1})}{90}.$$

Нехай в режимі «малого» часу деякий вимірювальний параметр залишається сталим, або повільно змінюється, при цьому частота задавального генератора вимірювальної установки є високо стабільною, описується функцією a_f, а також присутній «білий шум» $\varepsilon(t)$, в результаті дії якого детектувальна частина вимірювальної системи реєструє дані, що описуються функцією *y(t)*, що відрізняється від a_f. При цьому спостереження ведеться на проміжку часу [0;1].

Спочатку знайдемо аналітично інтеграл даної функції: $\int_0^1 y(t)=\int_0^1\frac{dt}{1+t^2}=\frac{\pi}{4}=0{,}78539816$.

Для застосування чисельних методів інтегрування даної функції, запишемо таблицю даних.

Таблиця 1

Таблична форма функції $y(t)=\frac{1}{1+t^2}$ на відрізку [0;1]

t	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
a_f	-0,0012	-0,00079	-0,00037	0,000039	0,000452	0,000865	0,001278	0,001691	0,002104	0,002517	0,00293
$\varepsilon(t)$	-0,01342	0,0562	-0,00126	0,1208	0,00423	-0,10987	-0,0123	0,2026	0,0234	-0,0098	-0,1056
y(t)	0,98658	1,046299	0,960282	1,038233	0,866296	0,69013	0,722998	0,873740	0,633156	0,542688	0,3944

При цьому, оскільки інтервал кореляції «білого шуму» дорівнює 0, то автокореляційна функція дорівнює дисперсії. В нашому випадку $R(0)=\sigma^2(\varepsilon(t))=0{,}008083143$. Тому, у випадку звичайного детектування похибка вимірювання, що виникає внаслідок дії адитивної завади радіотракту, дорівнює подвійній дисперсії «білого шуму» і в нашому випадку дорівнює $\varepsilon_f=0{,}016166287$.

Зменшити дану похибку можна за рахунок використання інтегрального приймання. Оскільки функція задана своїми дискретними значеннями, то розрахунок її визначеного інтеграла можна провести за одним з відомих чисельних методів.

Застосуємо метод прямолінійної апроксимації таблично заданої функції і використаємо формулу трапецій для заданого інтеграла. Отримаємо наступний результат:

$$\int_0^1 y(t)=\int_0^1 \frac{dt}{1+t^2}=\frac{\pi}{4}=0{,}784981497.$$

За допомогою викладеної методики уточнення метода трапецій на основі криволінійної апроксимації отримаємо наступний результат розрахунку:

$$\int_0^1 y(t)=\int_0^1 \frac{dt}{1+t^2}=\frac{\pi}{4}=0{,}785502089859107.$$

Розглянемо похибку розрахунку визначеного інтеграла на проміжку часу [0;1], для цього оцінимо залишковий член кожної з розглянутих формул.

Функція $y(t)=\frac{1}{1+t^2}$ є похідною функції $z=arctgt$. Знайдемо похідні даної функції через похідні оберненої функції. Отримаємо: $t=tgz$, $z'=\frac{1}{t'}=\cos^2 z$, $z''=-2\cos z\sin z\cdot z'=-2\cos^3 z\sin z$.

Запишемо дані похідні в дещо іншому виді: $z'=\cos z\sin\left(z+\frac{\pi}{2}\right)$, $z''=\cos^2 z\sin 2\left(z+\frac{\pi}{2}\right)$.

Використавши метод математичної індукції, отримаємо наступне твердження:

$$z^{(n)}=(n-1)!\cos^n z\sin^n\left(z+\frac{\pi}{2}\right).$$

Тому залишковий член формули трапеції буде мати вигляд:

$$|R(t)|\le\frac{2}{12\cdot 100}=\frac{1}{600}\approx 0{,}00166.$$

Для формули Сімпсона і для уточненого метода трапецій залишковий член інтегральної суми буде визначатись за виразом:

$$|R(t)|\le\frac{4!}{2^5\cdot 90\cdot 5^4}=\frac{24}{180\cdot 10^4}\approx 0{,}0000133.$$

При цьому порівнюючи залишковий член інтегрального ряду, бачимо, що застосування чисельного інтегрування за запропонованою методикою, як і за методом Сімпсона, дає можливість отримання інструментальної похибки вимірювання порядка 10^{-4}. Це дає змогу застосовувати дані методи для реалізації мікропроцесорних засобів вимірювання і контролю параметрів фізичних величин.

Висновки

Застосування частотного метода перетворення для вимірювання різних фізичних величин має перевагу відносно параметричного завдяки більшій захищеності каналу передавання ЧМ сигналу відносно АМ. Однак, на ділянках АМ на продетектований сигнал діють флуктуаційні завади у вигляді «білого шуму». При цьому, якщо результати вимірювання є дискретною функцією, застосування інтегральної обробки сигналу за відомими формулами чисельного інтегрування дозволяє знизити рівень шумів на порядок (при застосуванні формули трапеції), або навіть на два порядки при застосування запропонованої методики інтегрування на основі криволінійної апроксимації вихідного сигналу.

Література

1. Осадчук В.С. Реактивні властивості транзисторів і транзисторних схем / Осадчук В.С., Осадчук О.В. – Вінниця : «Універсум-Вінниця», 1999. – 275 с. – ISBN 966-7199-67-3.

2. Осадчук О.В. Обробка вимірювального сигналу сенсора за допомогою параболічної інтерполяції / О.В. Осадчук, А.Ю. Савицький, О.С. Звягін // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 2. – С. 153–158.

3. Березин И.С. Методы вычислений / Березин И.С., Жидков Н.П. – М. : Государственное издательство физико математической литературы, 1962. – 464 с.

Рецензія/Peer review : 12.5.2016 р. Надрукована/Printed : 6.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., професор, Злепко С.М.

УДК 004.9:61

М.В. БАЧИНСЬКИЙ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
О.С. КОВАЛЕНКО
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій і систем НАН і МОН України, м. Київ
С.В. ТИМЧИК
Вінницький національний технічний університет
Н.В. ТИТОВА
Національний транспортний університет

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ ЗАСОБІВ І СИСТЕМ ДЛЯ НИЗЬКОІНТЕНСИВНОЇ СВІТЛОВОЇ ТЕРАПІЇ

Стаття присвячена розробленню концепції побудови засобів і систем для низькоінтенсивної світлової терапії як окремого підкласу медичних інформаційних систем. Визначено низку задач, що зумовили необхідність докорінної зміни існуючої парадигми проектування біомедичних, інформаційних управляючих систем для низькоінтенсивної світлової терапії. Сформульовано вимоги до системи такого класу в частині: збору і передачі інформації, її обробки і зберігання та підтримки прийняття рішень і здійснення управління такою системою, що дозволило визначити основні принципи створення таких систем. Процес створення засобів і систем для низькоінтенсивної світлової терапії має класичну структуру і представлений у вигляді шести послідовних етапів. Для кількісного оцінювання нового підкласу медичних інформаційних систем пропонується використовувати комплексний, статистичний критерій ефективності І.В. Кузьміна, модифікований С.М. Злепко та С.В. Тимчиком.

Ключові слова: концепція, низькоінтенсивна терапія, вимоги, принципи, біооб'єкт, оператор, екстремальні види діяльності, етапи створення, критерії оцінювання, світлове випромінювання.

M.V. BACHYNS'KYY
Ternopil Ivan Puluj National Technical University
O.S. KOVALENKO
International Research and Training Center for Information Technologies and Systems
of the National Academy of Sciences (NAS) of Ukraine and Ministry of Education and Science (MES) of Ukraine, Kyiv
S.V. TYMCHYK
Vinnytsia National Technical University
N.V. TITOVA
National Transport University

CONCEPTUAL BASES OF TOOLS AND SYSTEMS FOR LOW INTENSIVE LIGHT THERAPY

The article is devoted to the development of the concept of building tools and systems for low intensive light therapy as a separate subclass of medical information systems. A number of problems that have necessitated a radical change in the existing biomedical paradigm design, information management systems for low-light therapy. The requirements of the class system in terms of: collecting and transmitting information processing and storage, and support decision-making and implementation of this management system, allowing to define the basic principles of such systems. The process of creating tools and systems for low intensive light therapy has a classical structure and represented as six consecutive stages. For quantitative evaluation of a new subclass of medical information systems proposed to use complex statistical performance criterion I.V. Kuzmin, a modified SM Zlepko and S.V Tymchyk.

Keywords: concept, low intensive care requirements, principles, biological objects, operator, extreme activities, the stages of creation, evaluation criteria, thermal radiation.

Вступ

Процеси взаємодії оптичного випромінювання з живими біооб'єктами достатньо складні і до цієї пори так і не отримали необхідного теоретичного обґрунтування, що в свою чергу, стало одним із найбільш потужних гальмівних моментів в створенні методів та апаратури для неінвазивного світлового впливу і стимуляції організму людини на різних довжинах хвиль, за змінних значень когерентності, монохроматичності і поляризації, різних інтенсивностей.

Основний текст статті

Незважаючи на існуючу, достатньо велику кількість засобів і приладів для фототерапії, в більшості із них практично не враховані фізичні і біологічні властивості біооб'єкта, як середовища розповсюдження випромінювання (діелектрична проникність, механізми поведінки в тканинах, глибина проникнення, рівень поглинання і ступінь розсіювання тощо), власна біоелектрична активність органів і тканин тощо.

Поряд із цими проблемами існує ряд задач прикладного характеру, але таких, що потребують свого вирішення.

1. Практично повна відсутність в існуючій апаратурі елементів, що забезпечують індивідуалізацію параметрів впливів, режимів їх застосування і контролю реакції організму людини (наприклад із використанням біологічного зворотного зв'язку – БЗЗ).
2. Недостатня системна проробка питань, пов'язаних із розробкою і виробництвом апаратно-програмних комплексів і систем.
3. Низька ефективність наукових досліджень та їх впровадження в практичну охорону здоров'я.
4. Інтеграція приладів і засобів нижнього рівня ієрархії до більш високого, що забезпечує

неперервність технологічного процесу, як біотехнічного.

Перераховані проблеми свідчать про необхідність докорінної зміни існуючої парадигми проектування біомедичної апаратури для низькоінтенсивної світлової стимуляції людини, і перш за все, такої, що працює в умовах підвищеної емоційної напруженості. Закордонний досвід провідних виробників медичної апаратури, власні, і наших колег наукові здобутки, дозволять здійснити якісний прорив в галузі створення діагностичних, інформаційно-управляючих систем і засобів для низькоінтенсивної світлової стимуляції біооб'єктів. Наша впевненість базується на концептуальних основах побудови засобів і систем для низькоінтенсивної світлової терапії, які направлені на підвищення резистентності організму оператора екстремальних видів діяльності, розширення діапазону його адаптації і стійкості до дії негативних зовнішніх і внутрішніх факторів при одночасному покращенні його функціонального стану (ФС), підвищенні працеспроможності і здатності прийняття адекватних рішень в умовах дефіциту часу шляхом розроблення теоретичних методів та апаратно-програмних засобів для низькоінтенсивної світлової стимуляції операторів екстремальних видів діяльності.

Досягнення мети забезпечується вирішенням комплексу задач, сформульованих на основі базових принципів системного підходу і таких, що використовуються при проектуванні сучасних інформаційних систем і технологій, таких як: цінність, ієрархічність побудови, структуризація, першого керівника та інші.

Цілісність, яка дозволяє розглянути одночасно систему як єдине ціле, і в той же час, як підсистему для вищих рівнів.

Ієрархічність побудови, тобто наявність множини (як мінімум двох) елементів, що знаходяться на основі підпорядкування елементів нижчого рівня – елементам вищого.

Структуризація, яка забезпечує аналіз елементів системи та їх взаємозв'язку в рамках конкретної структури.

Першого керівника – визначає ступінь участі першого керівника в процесі створення системи, зумовленого розумінням проблем предметної області та його здатністю виробити на основі аналізу альтернатив ефективну стратегію її побудови.

Оцінки досягнення мети – визначення основної ознаки проектуємої системи або засобу, за якого один варіант побудови забезпечить кращий, у порівнянні з іншими, результат з найменшими витратами енергії, людських ресурсів тощо.

Відкритість – передбачає можливість взаємодії системи або засобу з аналогічними, представленими іншими розробниками.

Адаптивність – передбачає в проектованій системі засобів (а в засобі – елементів) налагодження на специфіку конкретної предметної області в межах функціональних можливостей системи або засобу, напряму їх розвитку і визначення задач, що забезпечують досягнення мети.

Модульність (апаратна і програмна) – обґрунтовує вимоги до структурної організації системи або засобу, основою якої є базові апаратні і програмні модулі; визначає правила та послідовності утворення із них більш складних, прагматично зумовлених конструкцій алгоритмів і програм.

Комфортність – визначає лінгвістичні властивості проектованої системи або засобу, враховуючи при написанні програм стереотипів мислення і поведінки лікарів та забезпечуючи тим самим, зручну і комфортну взаємодію системи і користувачів.

Функціональна сумісність – характеризує здатність систем і засобів встановлювати взаємні комунікації, обмінюватися даними, ефективно і послідовно, використовуючи інформацію, що отримана в процесі обміну.

При формулюванні переліку функцій системи, будемо виходити із того, що фактично, вона представляє собою інтелектуальну адаптивну систему управління (моніторингу і корекції) ФС операторів екстремальних видів діяльності, яка в свою чергу відповідає ряду вимог [1]:

1. В частині збору і передачі інформації: моніторинг стану оператора повинен здійснюватися неперервно в режимі реального часу, а його корекція (стимуляція) може здійснюватися дискретно, через часові проміжки, що задаються самою системою або лікарем; вимірювальні перетворювачі біосигналів повинні бути виконані із застосуванням інтегральної функціональної електроніки, що забезпечить їх малі габарити і вагу та високу достовірність і надійність реєстрації сигналів; передача даних повинна здійснюватися по бездротових каналах зв'язку; дані повинні бути захищені від несанкціонованого доступу та електромагнітного випромінювання; для забезпечення сумісності системи повинні бути використані відкриті протоколи передачі даних.

2. В частині обробки і зберігання інформації: оцінка ФС оператора повинна здійснюватися на моделях, побудованих на нечітких множинах; базу даних повинні формувати дані, що поступають з блоку давачів і сенсорів, а базу знань – наповнювати знаннями і правилами експерти або обслуговуючий персонал; необхідно максимально зменшити негативний вплив психоемоційного фона оператора на достовірність обробки інформації; повинна бути сформована система критеріїв, яка дає повну уяву про інструментарій і механізми оцінювання за таким визначенням: критерій це ознака, основа, правило прийняття рішення з оцінювання чого-небудь на відповідність сформульованим вимогам.

3. В частині прийняття рішень і здійснення управління: управління повинно здійснюватися на основі сигналів біологічного зворотного зв'язку за замкненим типом; моніторинг і діагностування стану, а також формування управляючого впливу повинні виконуватися в режимі слідкуючого управління; повинно

бути досягнуто повну відповідність розробленої системи вимозі функціональної повноти.

Дана Концепція передбачає також розширення функціональних можливостей системи та засобів НІСС за окремими протоколами і стандартами, що забезпечить їх застосування для оцінки і прогнозування стану здоров'я населення: виявлення, оцінка і моніторинг ризиків виникнення захворювань; оперативне виявлення осіб, що складають групи ризику виникнення важких захворювань; планування і здійснення заходів по попередженню і зниженню розповсюдження захворювань, в т.ч. і при проведенні масових заходів.

Процес створення засобів і систем для низькоінтенсивної світлової терапії має класичну послідовність і за аналогією з [3] може бути представлений таким чином:

Перший етап – аналіз проблеми – включає в себе осмислення і сприйняття проблеми, на рішення якої направлена система, її структуризацію, взаємодію з іншими захворюваннями, оцінку об'ємів інформації, яка існує та ступінь її достатності, попередній вибір знань і даних для формування в подальшому відповідних БЗ і БД.

Другий етап в класичному представленні – це етап виявлення прихованих медичних знань, який передбачає пошук і виявлення певних закономірностей між наявними даними, виділення сталих зв'язків в них. Однак, на наш погляд, в такій інтерпретації і цільовій установці ми зіткнемося з надлишком інформації, яка буде знайдена і класифікована як «приховані знання», але в подальшому використовуватися не буде. Тому в проектованій системі та ППР другий етап визначений як моделювання захворювань, що передбачає побудову моделі передбачуваного захворювання і вже з її допомогою визначає: а) чи достатньо наявних медичних знань для переходу до третього етапу чи ні; б) якщо недостатньо, то формує перелік конкретних відсутніх знань; в) якщо достатньо, то переходить відразу до третього етапу, формулювання цілей і задач дослідження.

Третій етап – формулювання мети і задач – передбачає визначення головної мети – ідентифікувати ФС оператора в умовах його діяльності та сформулювати для цього перелік задач, вирішення яких і забезпечить досягнення необхідної мети.

Четвертий етап – визначення критеріїв, принципів і вимог, відповідно до яких можна класифікувати операторів на групи однорідності за фізичним розвитком, функціональним станом і фізичною працездатністю.

П'ятий етап – формування безлічі альтернатив – груп однорідності операторів за діагнозом, видом захворювання, рівнем фізичного розвитку, ступенем фізичної працездатності і т.ін.

Шостий етап – аналіз альтернатив має фактично два етапи: визначає приналежність операторів до тієї чи іншої групи однорідності, вибирає найкращу альтернативу (рішень) з числа згенерованих і здійснює перевірку на наявність в прийнятому рішенні хоча б однієї із проактивних функцій.

Для кількісного оцінювання ефективності засобів і систем для низькоінтенсивної світлової терапії рекомендується використовувати модифікований Злепко С.М. і Тимчиком С.В. комплексний статистичний критерій ефективності Кузьмина І.В. [2]:

$$E_{\bar{t}}(t_n - t_3) = \frac{H_1(t_n, t_3) + H_2(t_n, t_3) - H_3(t_n, t_3)}{H(t_n, t_3)},$$

де $H(t_n, t_3)$ – ентропія інформаційної системи від початку до закінчення процесу контролю та управління; $H_3(t_n, t_3)$ – залишкова ентропія ІС; $H_2(t_n, t_3)$ – ентропія ІС, яка зумовлена пацієнтом; $H_1(t_n, t_3)$ – ентропія, що зумовлена лікарем; 0±1 діапазон значень критерію.

Висновки

Розроблена концепція побудови засобів і систем низькоінтенсивної світлової терапії визначає мету, принципи, структурно-функціональну організацію, основні етапи створення теоретичних основ для низькоінтенсивної світлової стимуляції операторів екстремальних видів діяльності, їх інформаційний і програмний зміст, які у сукупності із ресурсною підтримкою забезпечать їх створення і супроводження, а також – отримання соціально-економічного ефекту.

Література

1. Жернаков С. В. Система медицинского мониторинга и коррекции функціонального состояния организма человека / С. В. Жернаков, М. А. Шулакова // Вестник УГАТУ. – 2011. – Т. 15, № 2 (42). – С. 196–203.

2. Кузьмин И. В. Основы теории информации и кодирования / И. В. Кузьмин, В. А. Кедрус. – К. : Вища школа, 1977. – 280 с.

3. Тимчик С. В. Підсистема підтримки прийняття рішень лікарем для визначення стану здоров'я людини / С. В. Тимчик // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 4. – С. 151–155. – ISSN 2219-9365.

Рецензія/Peer review : 10.5.2016 р. Надрукована/Printed : 6.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф.. Павлов С.В.

УДК: 378:[007.001.25:004.056]

С.Р. КРАСИЛЬНИКОВ
Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЇ ПРОГРАМИ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «КІБЕРБЕЗПЕКА» НА КОМПЕТЕНТНІСНІЙ ОСНОВІ

В статті проаналізована динаміка зміни переліку спеціальностей із захисту інформації, висвітлено підходи до розроблення освітньо-професійної програми підготовки фахівців спеціальності «Кібербезпека» на компетентнісній основі, охарактеризовано набір професійних компетентностей фахівця із захисту інформації, до яких віднесено соціально-особистісна, загальнонаукова, експериментальна, проектувальна, технологічна, організаційно-управлінська. Зміст кожної складової професійної компетентності розкрито через набір результатів навчання, які має досягти здобувач вищої освіти під час вивчення обов'язкових та вибіркових дисциплін. Доведено, що використання компетентнісного підходу при розробленні освітніх програм сприяє формуванню професійної компетентності майбутнього фахівця, підвищенню його конкурентоздатості на ринку праці.

Ключові слова: захист інформації, кібербезпека, компетентнісний підхід, освітньо-професійна програма.

S.R. KRASILNIKOV
Khmelnitsky National University

DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL AND PROFESSIONAL TRAINING PROGRAMME SPECIALTY "CYBERSECURITY" ON THE BASIS COMPETENCE

The article analyzed the dynamics of changes in the list of specialties in information security, highlights approaches to the development of education and vocational training program of the specialty "cyber security" on the basis of competence. Consider revising a set of professional competences specialist in information security which include social, personal, scientific, experimental, design, technological, organizational and managerial. The content of each component of professional competence solved through a set of learning outcomes achieved applicant has higher education during the compulsory and optional subjects. It is proved that the use of competency approach in developing educational programs promotes the professional competence of future specialist, increased its competition the labour market.

Keywords: data protection, cyber security, competence approach, educational and professional program.

Постановка задачі

У зв'язку з впровадженням Закону України «Про вищу освіту» [1] актуальним є розроблення освітніх програм (ОП) підготовки фахівців за спеціальностями нового Переліку-2015 [2]. Особливо складним виявляється завдання створення ОП, які об'єднують у собі декілька напрямів та спеціальностей попередніх переліків [3, 4]. До них можна віднести спеціальність 125 «Кібербезпека».

Ретроспективний аналіз переліків напрямів підготовки і спеціальностей у вітчизняній вищій освіті свідчить про те, що захист інформації як об'єкт підготовки фахівців з'явився у 90-і роки XX сторіччя. На думку фахівців, це пов'язується зі стрімким розвитком комп'ютерної техніки і розвитком мережевих інформаційних технологій, зокрема, із поширенням сервісів Internet.

Так, у Переліку-1994 [5] у напрямі 6.0924 «Телекомунікації» з'явилася спеціальність «Захист інформації у телекомунікаційних системах», а у напрямі 6.0915 «Комп'ютерна інженерія» – спеціальність «Захист інформації в комп'ютерних системах» для кваліфікаційних рівнів молодшого спеціаліста і спеціаліста. Наступний перелік напрямів та спеціальностей 1997 року [6] містив два напрями підготовки 1601 «Інформаційна безпека» та 1602 «Національна безпека», у яких зосереджувався набір спеціальностей щодо захисту інформації у військовій справі та спецзв'язку для освітньо-кваліфікаційних рівнів бакалавра, спеціаліста та магістра.

Перелік напрямів підготовки 2006 року зберіг підходи щодо підготовки фахівців із захисту інформації за двома галузями 1601 «Військові науки» і 1701 «Інформаційна безпека». При цьому галузь 1701 «Інформаційна безпека» містила три базових бакалаврата: 6.170101 «Безпека інформаційних і комунікаційних систем»; 6.170102 «Системи технічного захисту інформації»; 6.170103 «Управління інформаційною безпекою».

Щодо ОКР спеціаліста (магістра) спектр спеціальностей із захисту інформації містив такі назви: 7.17010101 (8.17010101) «Безпека інформаційних і комунікаційних систем», 7.17010102 (8.17010102) «Безпека державних інформаційних ресурсів», 7.17010201 (8.17010201) «Системи технічного захисту інформації, автоматизація її обробки», 7.17010301 (8.17010301) «Управління інформаційною безпекою», 7.17010302 (8.17010302) «Адміністративний менеджмент у сфері захисту інформації».

Згідно з чинними на той час галузевими стандартами вищої освіти кожна із зазначених спеціальностей мала свій узагальнений об'єкт діяльності, набір виробничих функцій, типових задач діяльності та компетенцій щодо вирішення цих задач, що зумовлювало різний зміст освітньо-професійної програми підготовки фахівців. З прийняттям нового переліку галузей знань і спеціальностей, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти, усі вище зазначені спеціальності інтегрувалися в одну під загальною назвою «Кібербезпека».

Виклад основного матеріалу роботи

За даними [7] підготовку фахівців з вищою освітою у галузі знань «Інформаційна безпека» на ОКР бакалавра здійснюють 28 вітчизняних ВНЗ, а у галузі 1601 «Військові науки» - 24 вищі навчальні заклади.

Відповідно до «Методичних рекомендацій щодо розроблення стандартів вищої освіти» [8], які базуються на компетентісному підході, до освітніх програм висуваються такі вимоги:

1) обсяг кредитів ЄКТС, необхідний для здобуття відповідного ступеня вищої освіти;

2) перелік компетентностей випускника;

3) нормативний зміст підготовки здобувачів вищої освіти, сформульований у термінах результатів навчання;

4) форми атестації здобувачів вищої освіти;

5) вимоги до наявності системи внутрішнього забезпечення якості вищої освіти;

6) вимоги до професійних стандартів (у разі їх наявності).

Структурно освітня програма складається з двох блоків інформації: обов'язкового та рекомендованого [9]. До обов'язкового блоку відносяться:

- титул програми;
- інформація про факультет (кафедру);
- цілі освітньої програми;
- складові професійної компетентності та результати навчання;
- матриця зв'язку між навчальними дисциплінами (модулями) та результатами навчання (компетентностями);
- перелік навчальних дисциплін (модулів) та їх анотації;
- форми організації та технології навчання;
- форми та методи оцінювання результатів навчання.

До рекомендованого блоку відносяться:

- вимоги до вступу та продовження навчання;
- підтримка студентів (система тьюторства, гранди тощо);
- соціально-економічне та інформаційно-технологічне забезпечення освітнього процесу;
- працевлаштування випускників та кар'єрні перспективи;
- механізм внутрішнього забезпечення якості вищої освіти;
- індикатори якості освітньої програми.

Освітня програма бакалавра «Кібербезпека» передбачає обсяг підготовки 240 кредитів ЄКТС, метою якої є формування особистості фахівця, здатного вирішувати типові та складні професійні завдання в галузі інформаційної безпеки. Фокус програми спрямований на галузях техніки та технологіях, що охоплюють сукупність проблем, пов'язаних з забезпеченням захисту об'єктів інформатизації в умовах існування загроз в інформаційній сфері. Особливість програми полягає у інтегрованій підготовці фахівців до вирішення завдань у сфері інформаційної безпеки, що передбачає розроблення, впровадження та експлуатацію комплексних (інформаційних, телекомунікаційних, технічних) систем захисту інформації на об'єктах інформаційної діяльності.

Складовими професійної компетентності виокремленні: соціально-особистісна (СО), загальнонаукова (ЗН), експериментальна (ЕК), проектувальна (ПР), технологічна (ТХ), організаційно-управлінська (ОУ). Зміст кожної складової розкривається через здатність та готовність реалізовувати різні функції у сфері захисту інформації. Так, технологічна складова трактується як здатність і готовність здійснювати встановлення, налаштування, експлуатацію та підтримку у робочому стані компонентів системи забезпечення компонентів інформаційної безпеки з урахуванням встановлених вимог.

Ключовим поняттям у компетентнісному підході є очікувані результати навчання (компетентності), якими має оволодіти здобувач відповідного ступеня вищої освіти. Згідно з [8] Програмними результатами навчання називають сукупність знань, умінь, навичок, інших компетентностей, набутих особою у процесі навчання за певною освітньо-професійною, освітньо-науковою програмою, які можна ідентифікувати, кількісно оцінити та виміряти.

Для складових професійної компетентності фахівців з кібербезпеки сформовано 26 результатів навчання (таблиця 1) .

Таблиця 1

Результати навчання бакалаврів спеціальності 125 «Кібербезпека»

№ п/п	Результати навчання
1	2
1	РН СО1 Усвідомлювати необхідність дотримання правил і обов'язків громадянина України, громадянського обов'язку та прояву патріотизму
2	РН СО2 Уміння враховувати основні економічні закони, екологічні принципи та застосовувати знання у професійній діяльності
F3	РН СО3 Уміння враховувати процеси соціально-політичної історії України, правові засади та етичні норми у виробничій або соціальній діяльності

Продовження табл. 1

1	2
F4	РН СО4 Уміння спілкування, включаючи усну та письмову комунікацію українською мовою та принаймні однією із поширених європейських мов
F5	РН СО5 Уміння взаємодіяти із іншими людьми та працювати у команді
F6	РН СО6 Усвідомлення необхідності дотримання здорового образу життя
F7	РН СО7 Уміння самостійно здобувати нові знання, підвищувати свою кваліфікацію та майстерність
F8	РН ЗН1 Уміння застосовувати набуті знання основних природничо-наукових законів, використовувати математичний апарат в професійній діяльності
F9	РН ЗН2 Уміння використовувати досягнення інформатики та обчислювальної техніки, переопрацьовувати великі обсяги інформації, проводити цілеспрямований пошук необхідної інформації в різних джерелах, у тому числі в глобальних комп'ютерних мережах
F10	РН ЗН3 Уміння узагальнювати та аналізувати інформацію, ставити мету та обирати шляхи її досягнення, володіти культурою мислення
F11	РН ЕК1 Уміння виявляти сутність проблеми, що виникає у сфері забезпечення інформаційної безпеки, та проводити її дослідження
F12	РН ЕК2 Уміння аналізувати види і форми інформації, що попадають під дію загроз; види, методи і шляхи реалізації загроз на основі аналізу структури та змісту інформаційних процесів підприємств, установ, організацій, цілей та завдань їх діяльності
F13	РН ЕК3 Уміння прогнозувати стан інформаційної безпеки підприємства, установи, організації і визначати вплив ефективності задіяних заходів і засобів технічного та програмного захисту інформації
F14	РН ЕК4 Уміння аналізувати інформацію, надану інформаційними системами, з метою виявлення типових ознак можливого несанкціонованого доступу
F15	РН ПР1 Уміння збирати та аналізувати вихідні дані для проектування систем захисту інформації, визначати вимоги, здійснювати порівняльний аналіз підсистем за показниками інформаційної безпеки
F16	РН ПР2 Уміння здійснювати проектні розрахунки елементів систем забезпечення інформаційної безпеки
F17	РН ПР3 Уміння розробляти технологічну та експлуатаційну документацію
F18	РН ПР4 Уміння здійснювати попереднє техніко-економічне обґрунтування проектних розрахунків
F19	РН ТХ1 Уміння встановлювати, налаштувати, експлуатувати і підтримувати в робочому стані компоненти системи забезпечення інформаційної безпеки з урахуванням встановлених вимог
F20	РН ТХ2 Володіння досвідом участі у проведенні атестації об'єктів, приміщень, технічних засобів, систем, програм і алгоритмів на предмет відповідності вимогам державних або корпоративних нормативних документів щодо захисту інформації
F21	РН ТХ3 Уміння здійснювати адміністрування підсистем інформаційної безпеки об'єкта, та підсистем передачі даних
F22	РН ОУ1 Уміння використовувати нормативно-правові документи у професійній діяльності
F23	РН ОУ2 Уміння формувати комплекс заходів з інформаційної безпеки з урахуванням його правової обґрунтованості, адміністративно-управлінської, технічної реалізованості та економічної доцільності
F24	РН ОУ3 Уміння організовувати і підтримувати виконання комплексу заходів з інформаційної безпеки, управляти процесом їх реалізації з урахуванням вирішуваних завдань і організаційної структури об'єкта захисту, зовнішніх впливів, ймовірних загроз і рівня розвитку технологій захисту інформації
F25	РН ОУ5 Володіти основними методами захисту виробничого персоналу і населення від можливих наслідків аварій, катастроф, стихійних лих
F26	РН ОУ6 Уміння генерувати організаційно-управлінські рішення комплексних завдань і готовність нести за них відповідальність

Для зручності ідентифікації кожному результату навчання (РН) присвоєний відповідний шифр. На основі аналізу результатів навчання запропонований перелік обов'язкових дисциплін (таблиця 2).

Таблиця 2

Перелік обов'язкових дисциплін освітньої програми бакалаврів спеціальності 125 «Кібербезпека»

Шифр	Назва дисципліни
1	2
О1	Вища математика
О2	Фізика
О3	Дискретна математика

Продовження табл. 2

1	2
О4	Технологія програмування захищених систем
О5	Теорія ймовірності та математична статистика
О6	Основи теорії кіл, сигнали та процеси в електроніці
О7	Мережеві операційні системи
О8	Програмування алгоритмів захисту інформації
О9	Електроніка і схемотехніка систем захисту
О10	Захист інформації в інформаційно-комунікаційних системах
О11	Програмно-апаратне забезпечення мобільних пристроїв
О12	Безпека Web-ресурсів
О13	Побудова захищених комп'ютерних систем
О14	Проектування мікропроцесорних та мікроконтролерних систем
О15	Проектно-технологічна практика
О16	Безпека життєдіяльності, охорона праці та цивільний захист
О17	Комплексні системи захисту інформації: проектування, впровадження, супровід
О18	Атестаційний іспит

Між результатами навчання та навчальними дисциплінами виявлені зв’язки у табличній формі (таблиця 3).

Таблиця 3

Матриця зв’язків між обов’язковими навчальними дисциплінами (модулями) та результатами навчання (компетентностями)

Результати навчання	Навчальні дисципліни (модулі)																	
	О1	О2	О3	О4	О5	О6	О7	О8	О9	О10	О11	О12	О13	О14	О15	О16	О17	О18
F1															+			
F2															+			
F3															+			
F4															+			
F5															+			
F6																+		
F7															+			
F8	+	+			+	+			+									
F9			+							+	+							
F10	+	+	+															+
F11							+	+				+	+					
F12					+		+	+			+	+	+					
F13						+	+	+				+	+					+
F14			+		+		+					+						+
F15				+	+		+	+	+		+			+				
F16				+		+	+		+				+	+				+
F17										+			+		+		+	
F18														+				+
F19				+		+			+	+	+	+	+					
F20				+						+					+			
F21							+			+		+	+					
F22															+		+	
F23															+		+	
F24															+		+	
F25															+	+		
F26															+		+	

Навчальні дисципліни покладені в основу створення навчального плану підготовки з цієї спеціальності.

Висновки

Отже, використання компетентнісного підходу для розробки освітньо-професійних програм підготовки фахівців різних спеціальностей, у тому числі з кібербезпеки, дозволяє спроектувати результати

навчання, досягнення яких сприяє формуванню професійної компетентності майбутнього фахівця, підвищує його конкурентоздатність на ринку праці, дозволяє задовольнити сучасні динамічні умови виробництва та особисті потреби здобувача вищої освіти.

Література

1. Україна. Закони. Про вищу освіту [Електронний ресурс] : закон України від 01.07.2014 р. № 1556-VII. – Режим доступу : http:// www.vnz.org.ua/zakonodavstvo/ 111-zakon-ukrayiny-pro-vyschu-osvitu. – (дата звернення: 14.04.2016).

2. Перелік галузей знань і спеціальностей, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти [Електронний ресурс] : постанова № 266 : [прийнято КМУ 29.04.2015 р.]. – Режим доступу : http://www.kmu.gov.ua/control/uk/cardnpd?docid=248149695. – (дата звернення: 14.04.2016).

3. Перелік напрямів, за якими здійснюється підготовка фахівців у вищих навчальних закладах за освітньо-кваліфікаційним рівнем бакалавра [Електронний ресурс] : постанова № 1719 : [прийнято КМУ 13.12.2006 р.]. – Режим доступу : http://www.kodeksy.com.ua›…КМУ…Постанова/1719…13.12.2006.htm. – (дата звернення: 14.04.2016).

4. Перелік спеціальностей, за якими здійснюється підготовка фахівців у вищих навчальних закладах за освітньо-кваліфікаційними рівнями спеціаліста і магістра [Електронний ресурс] : постанова № 787 : [прийнято КМУ 27.08.2010 р.]. – Режим доступу : http://www.kodeksy.com.ua›…КМУ…Постанова/787…п-27.08.2010.htm. – (дата звернення: 14.04.2016).

5. Перелік напрямів підготовки фахівців з вищою освітою за професійним спрямуванням, спеціальностей різних кваліфікаційних рівнів та робітничих професій [Електронний ресурс] : постанова № 325 : [прийнято КМУ 18.05.1994 р.]. – Режим доступу : http://www.search. ligazakon.ua/l_doc2.../KP940325.html. – (дата звернення: 14.04.2016).

6. Перелік напрямів та спеціальностей, за якими здійснюється підготовка фахівців у вищих навчальних закладах за відповідними освітньо-кваліфікаційними рівнями [Електронний ресурс] : постанова № 507 : [прийнято КМУ 24.05.1997 р.]. – Режим доступу : http://www.zakon.rada.gov.ua›laws/show/507-97-п. – (дата звернення: 14.04.2016).

7. Перелік вищих навчальних закладів України, що здійснюють підготовку фахівців з вищою освітою у галузі знань «Інформаційна безпека». Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.dstszi.gov.ua/dstszi/control/uk/publish/article?art_id=112909&cat_id=112887. – (дата звернення: 14.04.2016).

8. Методичні рекомендації щодо розроблення стандартів вищої освіти [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://mon.gov.ua/activity/education/reforma-osviti/naukovo-metodichna-rada-ministerstva/metodichni-rekomendacziyi.html. – (дата звернення: 14.04.2016).

9. Тимчасове положення про освітні програми підготовки фахівців різних ступенів вищої освіти у Хмельницькому національному університеті. – Хмельницький : ХНУ, 2016. – 32 с.

10. Освітньо-професійна програма підготовки бакалавра спеціальності 125 «Кібербезпека». – Хмельницький : ХНУ, 2016. – 46 с.

Рецензія/Peer review : 26.5.2016 р. Надрукована/Printed : 6.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф.. Мясіщев О.А.

УДК 621

І.В. ГУЛА, К.Л. ГОРЯЩЕНКО, В.В. МІШАН, Д.В. КУХАР
Хмельницький національний університет

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МІМО ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПРИСТРОЯМИ РОЗУМНОГО ДОМУ

Розумний дім є складним апаратно-програмним комплексом. Впровадження системи розумного дому вимагає розробки єдиного протоколу взаємодії між його частинами. Реалізація протоколу вимагає розуміння апаратного забезпечення. Існують різні варіанти протоколів, що забезпечують як швидкість так і зручність масштабування системи, частина з них є комерційними та закритими системами.

Ключові слова: протокол, автоматизація.

I.V. GULA, K.L. HORIASCHENKO, V.V. MISHAN, D.V. KUHAR
Khmelnitskiy national university, Ukraine

USAGE OF MIMO TECHNOLOGY FOR MANAGEMENT OF SMART HOME DEVICES

Smart home is a complex hardware and software systems. the introduction of smart home requires the development of a single protocol interaction between its parts. implementation of the protocol requires an understanding of the hardware. there are different versions of protocols that provide the speed and ease of scalability of the system, some of them are commercial and closed systems.

keywords: protocol automation.

Вступ. Під терміном «розумний дім» зазвичай розуміють інтеграцію наступних систем в єдину систему управління будівлею. Тобто це комплекс систем автоматизації / автоматики, який полегшує Ваш побут. По цій темі працюють такі гіганти, як Siemens, General Electric і ін. Багато компаній працює над розробкою технологій і пристроїв для розумного будинку. Приєдналися, здавалося б, не зовсім профільні компанії, такі як Microsoft, Google, Apple, Samsung.

Зокрема компанія Samsung запустила сервіс Samsung Smart Home. Завдяки сервісу Samsung Smart Home користувач може управляти всією технікою в будинку за допомогою однієї програми, інтегрованої платформи і сервера, об'єднуючи в домашню мережу

Проте єдиного стандарту комунікацій між елементами системи немає, так само як немає інструкції, тому теоретично побудувати свій розумний будинок може кожен і саме так, як йому заманеться.

Основна частина

Серед протоколів бездротової передачі даних, що використовуються в системах «розумний будинок», цікаво відзначити найбільш поширений на сьогоднішній день протокол Z-Wave, який з'явився в 2001 році і на сьогоднішній день підтримується обладнанням близько 250 виробників, і його ймовірний конкурент - протокол різьблення, який тільки повинен з'явитися в 2015 році. Обидва протоколу забезпечують побудову з пристроїв, що підключаються так званої сітки-мережі, в якій передача між пристроями можлива не тільки безпосередньо, але і через сусідні пристрої. Найсуттєвіше відміну протоколів полягає, мабуть, не в використовуваних частотах, потужності передачі або алгоритмі рішення задачі маршрутизації, а тому, що Z-Wave - це протокол, що поставляється на спеціально для нього розробленої мікросхемі (система-на-чіпі), в той час як ПРОТОКОЛ Тема буде працювати на існуючих сьогодні мікросхемах IEEE 802.4 (тих же, на яких побудовані пристрої стандарту ZigBee) і використовувати відкритий (6LoWPAN Протоколи, IPv6 / UDP). Тим самим, протокол Тема краще вкладається в парадигму інтернету речей і тому, на мій погляд, має хороші шанси на успіх.

Говорячи про майбутнє «розумному будинку», не можна не згадати компанію Nest – виробника системи управління кліматичним устаткуванням і, до речі, одного з головних розробників і лобістів протоколу різьблення. Її купила Google, заплативши більше 3 мільярдів доларів (для порівняння: за YouTube всього декількома роками раніше заплатили в два рази менше)! Що ж революційного зробила Nest? Найцікавіше в ній – це здатність помітно економити електроенергію, помічаючи звички мешканців будинку і догоджаючи їм. Така система буде автоматично підлаштовуватися під їх спосіб життя, роблячи життя людей набагато зручніше.

Оскільки поки що не має єдиного протоколу для Smart Home більшість розробників розроблять свої протоколи під конкретні задачі. В таблиці 1 показано їх властивості [1, 2, 3, 4].

Система МІМО та необхідність її застосування для систем "розумного дому"

У сучасних системах зв'язку, наприклад, в стільникових системах зв'язку, високошвидкісних локальних обчислювальних мережах і ін., існує необхідність підвищення пропускної спроможності. Пропускна спроможність може бути збільшена шляхом розширення смуги частот або підвищення випромінюваної потужності. Проте, застосовність цих методів обмежена із-за вимог біологічного захисту, обмеженої потужності джерела живлення (у мобільних пристроях) і електромагнітної сумісності. Тому якщо в системах зв'язку ці підходи не забезпечують необхідну швидкість передачі даних, то ефективним може опинитися застосування адаптивних антенних грат із слабо корельованими антенними елементами. Системи зв'язку з такими антенами отримали назву систем МІМО.[1]

Таблиця 1

Параметри фізичних реалізацій протоколів розумного будинку

Реалізація	Переваги	Недоліки
1- wire		неможлива ініціалізація передачі slave-пристроєм дуже повільна (~ 1000 мс на передачу пакету даних) використовується окрема 2-провідна лінія
RS-485 + ModbusRTU	легкість реалізації мастшабування будь-яка топологія стійка до завад простота реалізації багатоканальності	неможлива ініціалізація передачі slave-пристроєм швидкість 9600-115200 біт/с використовується окрема 2-провідна лінія
Ethernet	можливість ініціації події slave-пристроєм можливість розширення мережі за допомогою бездротового зв'язку швидкість 10-1000 МБіт/с	Потрібні додаткові пристрої (хаби) для розвітвлення мережі використовується окрема 4/8-провідна лінія
X10	використовується силова лінія живлення силові трансформатори блокують розповсюдження сигналу	швидкість 50 біт/с лише 16 пристроїв сучасні імпульсні БЖ спотворюють сигнали X10 в мережі
Wi-Fi	можливість ініціації події slave-пристроєм швидкість 30-300 МБіт/с	створення електромагнітних завад для інших пристроїв чутливість до зовнішніх джерел радіосигналів

Для систем "розумного дому" здається немає необхідності впровадження такого рішення як MIMO. Проте сучасність внесла корективи і в це твердження.

Перш за все, впровадження "розумного дому" пов’язано із процесом проектування та будівництва нових об’єктів промислового та господарського застосування. Дійсно, в процесі проектування існує набагато більше можливостей для прокладання локальної провідникової мережі, що поєднає контролюючі та виконавчі системи.

По–друге, впровадження "розумного дому" має місце вже для побудованих об’єктів. Якщо оцінювати як основу для розгортання "розумного дому" окремі будівлі (наприклад, складські або окремі офісні приміщення) де немає проблеми із взаємодією з іншими джерелами радіосигналу, а існує необхідність для швиткого розгортання системи, то застосування радіоканалів не є обмежиним.

Набагато більше проблем виникає при впровадженні "розумного дому" для щільно розміщених приміщень – квартир та офісів в багатоповерхових будівлях або рядом розміщених котеджних комплексів. Включення одночасто десятків радіопередавачів створюють проблеми один одному через постійні колізії в передачі інформаційних пакетів.

Канал MIMO

MIMO (англ. *Multiple Input Multiple Output*) метод просторового кодування сигналу, що дозволяє збільшити смугу пропускання каналу, в якому передача даних і прийом даних здійснюються системами з декількох антен. Передавальні і приймальні антени розносять так, щоб кореляція між сусідніми антенами була слабкою.

У загальному випадку в каналі спостерігаються міжсимвольна інтерференція і частотна селективність [2], але у багатьох випадках тривалість імпульсів в безпровідних системах зв'язку набагато більше затримок сигналів, що поступають на приймальну антену, що дає можливість нехтувати міжсимвольною інтерференцією в каналі. Частотну селективність також доводиться брати до уваги[2], наприклад, в системах зв'язку стандарту IEEE 802.11[3], де використовується технологія OFDM. Проте в деяких ситуаціях можна використовувати модель каналу без частотної селективності.

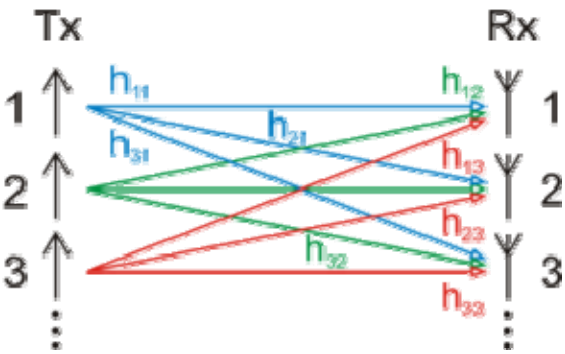


Рис. 1. Модель каналу MIMO

Розробка системи на базі Wi-Fi мереж є сучасною реалізацією із застосуванням найбільш передових апаратних та програмних засобів. Слід відзначити, що система на базі Wi-Fi мережі є радіовипромінюючою, а отже можуть виникати проблеми з електромагнітною сумісністю з іншими пристроями.

Також технологія MIMO знайшла практичне застосування в безпровідних локальних мережах стандарту IEEE 802.11n, а також в безпровідних мережах мобільного зв'язку WIMAX і LTE.

Математична модель MIMO-системи

Розглянемо MIMO-систему з N передавальними і M приймальними антенами (антенними

елементами). Властивості MIMO-канала, сполучаючого *m-й* передавальний елемент з *n-м* приймальним елементом, описуються комплексними канальними коефіцієнтами , створюючими канальну матрицю розміру *NXM*. Їх значення випадково змінюються з часом із-за наявності багатопроменевого розповсюдження сигналу. Якщо

$\vec{s}$ – вектор передаваних сигналів;

$\vec{z}$ – вектор власних шумів приймальних елементів антени;

$\vec{x}$ – вектор прийнятого повідомлення

то сигнал на приймальній стороні записується таким чином: $\vec{x} = H \cdot \vec{s} + \vec{z}$

Матриця *H* вважається нормованою.

Наявність зворотного зв'язку

MIMO-системы можна класифікувати по наявності або відсутності зворотного зв'язку [6]:

1. MIMO з "відкритою петлею" (open-loop). В даному випадку оцінки каналу на приймальному кінці використовуються для корекції спотворень, що вносяться каналом.

2. MIMO з "замкнутою петлею" (closed-loop). Тут, крім оцінки каналу, на прийомі і компенсації перешкод проводиться передача цих оцінок на передавальну сторону по т.з. зворотному (feedback) каналу. Грунтуючись на прийнятій інформації, передавач проводить перерозподіл потужностей в своїх передавальних трактах з тим, щоб збільшити потужність трактів, передавальних по каналах з високою інтенсивністю завмирань, а також внести корекцію по амплітуді і фазі при формуванні діаграми спрямованості антени.

Приклад впровадження технології MIMO

Застосування технології MIMO є необхідною для реалізації багатоканальної системи передачі інформації за умов наявності багатьох джерел радіосигналів. Які функції можуть бути реалізовані?

Управління пристроями (Device Control),

Спостереження за будинком (Home View) і користувацький smart сервіс (Smart Customer Service), - дозволять легко підключатися до пристроїв в будь-який час і в будь-якому місці.

З функцією Device Control користувачі можуть скористатися індивідуальними настройками своїх мобільних пристроїв або Smart TV для моніторингу та управління домашньою технікою. Ця функція дає можливість включати і вимикати кондиціонер або освітлення простим натисканням на значок програми Smart Home на екрані мобільного пристрою, об'єднаного з побутовою технікою в одну мережу, навіть коли користувач знаходиться в подорожі або закордоном.

Функція Home View дозволяє виводити на екран смартфона актуальне зображення зі всіх вбудованих в техніку камер в будинку. А Smart Customer Service надішле нагадування про необхідність перевірки техніки і допоможе звернутися за сервісним обслуговуванням.

Управління пристроями допоможе змінювати налаштування техніки незалежно від того, вдома користувач або за його межами. Можна включати і вимикати кондиціонер або освітлення простим натисканням на значок програми Smart Home на екрані мобільного пристрою, об'єднаного з побутовою технікою в одну мережу. Також передбачена і можливість голосового управління. Досить вимовити команду для мобільного пристрою-контролера, на якому запущено програму, наприклад, сказати «виходжу з дому» для Samsung GALAXY Gear, щоб вимкнути в будинку світло, або «на добраніч» для пульта ДУ, щоб телевізор відключився. Функція спостереження дозволяє виводити на екран смартфона актуальне зображення зі вбудованих в техніку камер в будинку. Smart сервіс надішле нагадування про необхідність перевірки техніки і допоможе звернутися за сервісним обслуговуванням.

Також Samsung розробляє, так званий Smart Home software protocol (SHP), щоб інтегрувати в свою платформу пристрою від інших виробників.

Системи управління і зв'язку

1) Управління з одного місця аудіо-, відеотехнікою, домашнім кінотеатром і ін.

2) Віддалене управління електроприладами, приводами механізмів і всіма системами автоматизації. Електронні побутові прилади в розумному будинку можуть бути об'єднані в домашню Universal Plug'n'Play – мережу з можливістю виходу в мережі загального користування.

3) Механізація будівлі (відкриття / закриття воріт, шлагбаумів, електропідігрів ступенів і інше).

До систем зв’язку відносяться телефонний зв'язок і локальна мережа будівлі.

Система опалення, вентиляції та кондиціонування

Система опалення, вентиляції та кондиціонування (Heating, Ventilation and Air Conditioning, HVAC) забезпечує регуляцію температури, вологості і надходження свіжого повітря. Крім цього, HVAC економить енергію за рахунок раціонального використання температури середовища.

Система освітлення

Система освітлення (Lighting control systems, LCS) контролює рівень освітленості в приміщенні, в тому числі для економії електроенергії за рахунок раціонального використання природного освітлення.

Система електроживлення будівлі

Системи електроживлення забезпечують безперебійне живлення, в тому числі за рахунок автоматичного перемикання на альтернативні джерела електроживлення.

Рис. 2. Samsung Smart Home

Система безпеки і моніторингу

У систему безпеки і моніторингу входять наступні підсистеми:

1) система відеоспостереження;

2) система контролю доступу в приміщення;

3) охоронно-пожежна сигналізація (в тому числі контроль витоків газу);

4) телеметрія – віддалене спостереження за системами;

5) система захисту від протікання – автоматичне блокування водопостачання при протіканні і затопленні приміщення. Складається з контролюючого пристрою, спеціальних кранів і датчиків, що детектують затоплення (Аквасторож, Neptun, Гідролок і інші);

6) GSM-моніторинг – віддалене інформування про інциденти в будинку (квартирі, офісі, об'єкті) і управління системами будинку через телефон. У деяких системах при цьому можна отримувати голосові інструкції по планованим управляючим впливам, а також голосові звіти за результатами виконання дій;

7) IP-моніторинг об'єкту;

8) імітація присутності.

Висновки

На що слід звернути увагу при проектуванні "розумного дому" ?

1. **Користувачі -** подумайте, як з введеною вами системою будуть обходитись користувачі, тобто мешканці Вашого будинку або члени Вашої родини. Чи зможуть цим користуватися не підковані в технічному плані люди (люди похилого віку, діти або дружина - не важливо хто саме).

2. **Технологія** - провідна або безпровідна. Якщо провідна, значить потрібно будувати плани прокладки всіх необхідних кабелів (і краще з великим запасом). Де руйнувати стіни, де розміщувати розетки і елементи автоматизації - все повинно бути на схемі. Якщо система бездротова, то продумайте де будуть стояти передавачі / приймачі, де будуть розміщені повторювачі сигналів.

3. **Виконавець** - хто буде все це робити? Ви самі або найнята фірма, яка спеціалізується по цій темі? Самостійно буде дешевше, але це буде потребувати від Вас глибокого занурення в це питання.

4. **Автономність -** продумуючи функціонал і можливості розумного будинку завжди розраховуйте на те, що в будинку не буде Інтернету. Ваш розумний будинок повинен працювати справно в режимі повної автономності / ізоляції.

5. **«Ядро» Вашої системи автоматизації.** Розумним будинком має керувати «ядро» - окремий і

самостійний пристрій. Ні в якому разі не поєднуйте управління мережевим трафіком і управлінням будинком в одному пристрої. Ваш будинок може залишитися повністю без мережі, але повинна працювати домашня автоматизація або навпаки, домашня автоматизація може не працювати, але це не повинно тягнути на собою відмову в роботі ЛВС (локальної мережі).

6. **Витрати** – можливо це потрібно було вставити десь ближче до початку, але якщо попередні пункти до кінця не опрацьовані, то до витрат справа може і не дійти.

На сьогодення існує декілька конкуруючих протоколів та технологій їх імплементацій. Як було показано в таблиці 1, протоколи в своїй реалізації дублюють один одного за параметрами середовища розповсюдження, але відрізняються за можливостями. Актуальною проблемою є те, що як тільки відкритий протокол вийде в світ і стане належати багатьом фірмам, з'явиться спокуса внести в нього власні зміни та вести неконкурентну гру користуючись неприступністю цих змін для інших. Для боротьби з цим потрібно добровільні асоціації виробників, які контролюватимуть дотримання правил гри, будуть оцінювати пропозиції щодо поліпшення і публікувати їх. Тільки за цієї умови можна буде забезпечити повну сумісність «кожного з кожним», що і є основною ознакою «розумного будинку» третього покоління

Література

1. Вишневский, В. М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации/В. М. Вишневский, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. — М.: Техносфера, 2005—592 с.

2. Слюсар, Вадим. SMART-антенны. Цифровые антенные решетки (ЦАР). MIMO–системы на базе ЦАР.. В книге «Широкополосные беспроводные сети передачи информации». / Вишневский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. – М.: Техносфера. – 2005. С. 498 – 569 (2005).

3. Бакулин М. Г., Варукина Л. А., Крейнделин В. Б. Технология MIMO: принципы и алгоритмы. — М.: Горячая линия - Телеком, 2014. — 242 с. — ISBN 978-5-9912-0457-6.

4. Слюсар В.И. Системы MIMO: принципы построения и обработка сигналов. //Электроника: наука, технология, бизнес. – 2005. - № 8. – С. 52 - 58.

5. LON-Technologie : verteilte Systeme in der Anwendung / Dietmar Dietrich … (Hrsg.).- Heidelberg : Huthig, 1997, ISBN 3-7785-2581-6

6. Дитрих Д. «EIB — Система автоматизации зданий» / Д. Дитрих, В. Кастнер, Т. Саутер, О. Низамутдинов. – пер. с нем. под ред. О. Б. Низамутдинова, М. В. Гордеева, ПермГТУ, г. Пермь, 2001 год. – 378 стр

7. Пасеков В. Платформа KNX: топология и телеграммы / В. Пасеков // Автоматизация зданий: информационный бюллетень. – 2012. – №1(52) февраль. – С.40.

8. Горященко К.Л. Реалізація протоколу Modbus в середовищі Codesys 2.3 / К.Л. Горященко, В.П. Нездоровін, Є.Г. Махрова // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – №5. – С. 208-212

9. Горященко К.Л. Розробка автоматизованих систем керування в середовищі CodeSys / К.Л. Горященко, Є.Г. Махрова // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – №3. – С. 171-174.

Рецензія/Peer review : 3.5.2016 р. Надрукована/Printed :8.6.2016 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Романюк В.В.

УДК 521.1:523.2:523.6:523.9:524.6:524.8:532.5.01:534.1:621.891

Ю.П. ЗАСПА
Хмельницький національний університет

КОНТАКТНЕ ДИНАМО ЯК ГЕНЕРАТОР КОГЕРЕНТНИХ КОСМІЧНИХ ФОРМ РУХУ ТА ДЖЕРЕЛО ПЛАНЕТАРНОЇ, СОНЯЧНОЇ, ГАЛАКТИЧНОЇ І МЕТАГАЛАКТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ. ЧАСТИНА III

Запропонована нова модель енергетичного балансу космічних систем з активними ядрами, згідно з якою головну роль у формуванні балансу відіграє електромагнітна енергія, запасена у металізованих водневих ядрах на етапі початкового гравітаційного колапсу. Вивільнення цієї енергії по механізму контактного динамо забезпечує активність такого роду космічних об'єктів в широкому діапазоні електромагнітного спектру. На основі аналізу відомих експериментальних результатів нейтринної астрономії Сонця та даних геліосейсмології показано, що більшу половину енергетичного балансу Сонця забезпечує саме електромагнітна енергія, яка вивільняється в ядрі при фазових переходах водню з металічного стану в діелектричний на етапах релаксації контактного тиску. При цьому 10–20% решти енергетичного потоку від термоядерних реакцій на Сонці слід віднести на рахунок CNO-циклу термоядерного синтезу, який активується механізмом контактного динамо у внутрішньому розриві сонячного ядра. Це радикально змінює існуючі уявлення про енергетичні механізми Сонця та вказує на суттєві невідповідності в стандартній сонячній моделі. Проведений критичний аналіз альтернативних теорій виникнення дефіциту сонячних нейтрино на основі моделі нейтринних осциляцій в речовині Сонця. Відмічено, що механізм контактного динамо є ключовим для пояснення наявних енергетичних "дисбалансів" на Землі та планетах-гігантах Сонячної системи.

Ключові слова: контактне динамо, космічна система, активне ядро, електромагнітна енергія, когерентність, дефіцит сонячних нейтрино, нейтринні осциляції, металічний водень, фазовий перехід, термоядерний синтез, CNO-цикл.

YU. P. ZASPA
Khmelnytsky National University

CONTACT DYNAMO AS A GENERATOR OF THE COHERENT SPACE FORMS OF MOTION AND A SOURCE OF THE PLANETARY, SOLAR, GALACTIC, AND METAGALACTIC ENERGY. PART III

The new model of the electromagnetic balance of space systems with active cores is suggested, according to which the main role in the formation of balance is played by the electromagnetic energy, stocked in hydrogen cores on the stage of the initial gravitational collapse. Release of such energy on the mechanism of contact dynamo provides the activity of a certain kind of the space objects of a wide range of the electromagnetic spectrum. Basing on the analyses of the results of distinguished experiments of neutrino Sun astronomy and helioseismology data it is distinguished that the greater amount of the Sun energetic balance is provided exactly by electromagnetic energy which is released in the core during the phase transitions of hydrogen from metal to dielectric state during the contact pressure relaxation stages. Herewith, 10–20 % of the rest of the energy flow from thermonuclear reactions on the Sun is the result of CNO-cycle of thermonuclear synthesis, which is activated by the mechanism of the contact dynamo in the internal solar core gap. That dramatically changes the existing conception of the solar energetic mechanisms and indicates a significant discrepancy in the standard solar model. A critical analysis of the alternative theories of solar neutrinos deficit occurrence based on the model of the neutrino oscillations in solar matters is conducted. It is noted, that the mechanism of the contact dynamo is the main explanation to the existing power "imbalances" on Earth and the giant planets of the Solar system.

Key words: contact dynamo, space system, active core, electromagnetic energy, coherence, deficit of solar neutrinos, neutrino oscillations, metallic hydrogen, phase transition, thermonuclear synthesis, CNO-cycle.

Вступ

Часткова зміна назви третьої частини даної роботи пов'язана з суттєвим зміщенням акцентів, що виникло в результаті подальшого аналізу механізмів космічного контактного динамо. Супутня генерація магнітного поля виявилась у цілому другорядною порівняно з енергетичною наповненістю та когерентністю космічних динамо-процесів. Саме ці фактори є предметом даного розгляду. Серед існуючих астрофізичних моделей слід виділити три основних енергетичних джерела космічних систем: гравітаційне стиснення, термоядерний синтез та акрецію на т.з. чорні діри [1–5]. Останнє джерело вже традиційно приписують до об'єктів галактичного масштабу з активними ядрами – квазарів, блазарів, лацертид та ін. [3–5].Основним енергетичним джерелом зоряної еволюції на сьогодні вважається термоядерний синтез. Наприклад, енергії одного гравітаційного стиснення Сонця (без термоядерних реакцій), за існуючими підрахунками, вистачило б лише на декілька десятків мільйонів років – при наявному енерговиділенні з поверхні Сонця [2]. Переходи водню з металічного стану в діелектричний на етапах релаксації контактного тиску, що супроводжуються рекордним питомим енерговиділенням, розглядались нами раніше лише як когерентний трансформатор гравітаційної енергії стиснення в кінетичну енергію відносного руху двох частин складених ядер космічних об'єктів [6, 7]. Однак, подальший аналіз виявив першочергову енергетичну роль контактного динамо в еволюційних процесах всіх космічних систем, що містять контактні розриви в своїх ядрах – зокрема, Землі, планет-гігантів Сонячної системи, Сонця, Галактики, об'єктів галактичного масштабу з активними ядрами та, врешті, Метагалактики. Енергетичний вплив геоконтактного динамо на клімат та сучасне глобальне

потепління на Землі попередньо розглядались у другій частині роботи [7]. В нижченаведеній третій частині основна увага приділяється енергетичному балансу Сонця в контексті відомої проблеми дефіциту сонячних нейтрино та питання адекватності сучасної стандартної сонячної моделі.

Помилка класиків

Існуюча схема розрахунку зоряної еволюції ґрунтується у т.ч. на рівнянні стану ідеального газу. Процитуємо класиків астрофізичного жанру (мовою оригіналу) [1]: “ У надрах звичайних зірок температура настільки велика, що газ майже повністю іонізований і являє собою високотемпературну плазму. В умовах сильної іонізації окремі частинки мають набагато менші розміри, ніж атоми і молекули в нейтральному газі, і взаємодія їх мала, тому відхилення від рівняння ідеального газу зневажливо малі…”.

Про те, що високотемпературна воднева плазма в умовах надвисоких тисків може бути металічною [6], класики не здогадались. Зате вони здогадались про скривлення простору і часу, Великий вибух, чорні діри та нейтронні зорі, а їхні сучасні титуловані послідовники – про чорну матерію та темну енергію, прискорене розширення Всесвіту, нейтринні осциляції та інші елементи т.з. “нової фізики”, щедро проплачені Нобелівським комітетом [8–11]. В контексті енергетичного балансу Сонця відзначимо саме нейтринні осциляції, які врешті ”зняли” проблему дефіциту сонячних нейтрино, що більше трьох десятиліть “дамокловим мечем” нависала над стандартною сонячною моделлю [12, 13]. Тобто моделлю, що зводить енергетичний баланс Сонця на основі термоядерних реакцій синтезу водню в гелій [2]. Нижче, виходячи з аналізу відомих даних щодо дефіциту сонячних нейтрино, буде обґрунтований невтішний для стандартної сонячної моделі – зокрема, а також для існуючої астрофізики – загалом, висновок про те, що основним джерелом живлення космічних об'єктів з активними ядрами (Сонця – у т.ч.) є електромагнітна енергія, запасена на початковому етапі гравітаційного колапсу в гратці металізованого водню в надрах ядер такого роду космічних об'єктів. Вивільнення цієї внутрішньої енергії по когерентному механізму контактного динамо пояснює цілий комплекс незрозумілих на сьогодні явищ – від сонячної активності до релятивістських джетів, барстерів та гамма-сплесків, радіо-, рентгенівських та гамма-пульсарів, перемінних зір (в т.ч. цефеїд) та ін. Нижче ми зосередимось, в основному, на Сонці – найголовнішій нашій зорі. Джети, барстери, сплески, пульсари, цефеїди та інші видимі прояви космічного контактного динамо будуть розглянуті в четвертій частині даної роботи.

Аналіз відомих результатів реєстрації сонячних нейтрино

Особиста багаторічна дружба і щира відданість науці двох корифеїв астрофізики – експериментатора Реймонда Девіса (R.Davis) і теоретика Джона Бакалла (J.Bahcall) півстоліття тому зіграли вирішальну роль на шляху до розуміння Сонця [14]. Стремління чесно і неупереджено перевірити теоретичні розрахунки стандартної сонячної моделі стимулювали постановку багатолітнього хлор-аргонного експерименту з детектування сонячних нейтрино, а невідповідність результатів експерименту щодо моделі породила проблему дефіциту сонячних нейтрино [2,14]. Вирішення цього протиріччя через модель нейтринних осциляцій було ”ефектним” [14] лише на поверхні. Р. Девіс у своїй Нобелівській лекції [14] (прочитаній у 2002 р. його сином) ні словом не згадав про антикореляцію потоків нейтрино з сонячною активністю, на якій активно настоював впродовж двох десятиліть [15]. Вочевидь, давалися взнаки тодішні ”успіхи” теорії нейтринних осциляцій, відзначені вже в наш час черговою Нобелівскою премією [11]. Між тим, в підсумковій статті [16] за результатами майже 30—літнього хлор-аргонного експерименту було чітко відзначено, що пряме порівняння даних останніх років роботи з результатами паралельного проекту Каміоканде свідчить про те, що суттєво більший дефіцит нейтрино у хлор-аргонному експерименті пояснюється додатковою (до високоенергетичних борних нейтрино) реєстрацією середньоенергетичних (~ 1 МеВ) берилієвих, pep- і CNO- нейтрино.

У вельми відомій критичній статі [15] щодо результатів хлор-аргонного експерименту її автор відзначає антикореляцію потоку нейтрино з сонячною активністю як другу проблему сонячних нейтрино – після першої – самого дефіциту. Однак, вирішувати цю проблему пропонується методом ”бритви Оккама” [15] – відсікаючи самі результати групи Р. Девіса як недостатньо достовірні результати ”піонерського експерименту”. Аргументація варта нашої уваги: ”… Типовий час дифузії фотона з ядра до поверхні становить 107 років. З цієї причини багато хто були здивовані ідеєю про те, що нейтрино з ядра Сонця можуть мати флуктуації з періодом близько 10 років. Це є фундаментальною проблемою і суперечить припущенню, що нейтринний потік може змінюватися з сонячний циклом... Більше того, існування циклу з періодом 10 років вимагає нетривіального пояснення…” [15]. Саме таким нетривіальним поясненням і є механізм космічного контактного динамо.

На рис. 1 наведені загальні результати хлор-аргонного експерименту, а також їх фрагмент з найглибшим мінімумом потоку нейтрино в період максимуму 21-го сонячного циклу: 0,4 ± 0,2 SNU (сонячних нейтринних одиниць). Відповідний мінімум потоку нейтрино у максимумі 22-го циклу склав 1,2 ± 0,6 SNU [15]. Для порівняння: нейтринні потоки у мінімумах 21-го та 22-го сонячних циклів складали відповідно 4,1 ± 0,9 SNU та 4,2 ± 0,7 SNU [15]. Розрахунки потоків нейтрино згідно тогочасних стандартних моделей Сонця для хлор-аргонного експерименту давали значення ≈ 7,6 SNU [14]. Середнє експериментальне значення потоку за весь ≈ 30-літній час роботи хлор-аргонного детектора склало 2,56 SNU [14] – третину від теоретичного. Така “середня по лікарні” третина потоку вельми вигідна

прихильникам теорії нейтринних осциляцій, в якій для борних нейтрино теоретична ймовірність виживання становить якраз третину [18, 19]. Ці прихильники вельми зухвало заявляють, що вищезгадана друга проблема сонячних нейтрино на сьогодні остаточно зникла [18]. Зауважимо у відповідь, що проблеми – насамперед у титулованої [11] теорії нейтринних осциляцій – тільки починаються. Якщо залишити "бритву Оккама" автору роботи [15] у власне користування і не відкидати результати піонерського експерименту з детектування сонячних нейтрино, що тривав майже три десятиліття в умовах найнижчого (з усіх існуючих) технічного фону, то слід врешті знайти адекватне пояснення мінімумам потоків сонячних нейтрино (в одну десяту від теоретичного), що тричі підряд спостерігались групою Р. Девіса в максимумах 20-го, 21-го і 22-го сонячних циклів (рис. 2). Перше неупереджене спостереження у 1967–1968 рр, що не дало результатів взагалі [14], нерідко закидають Р. Девісу невігласи від астрофізики [15, 18].

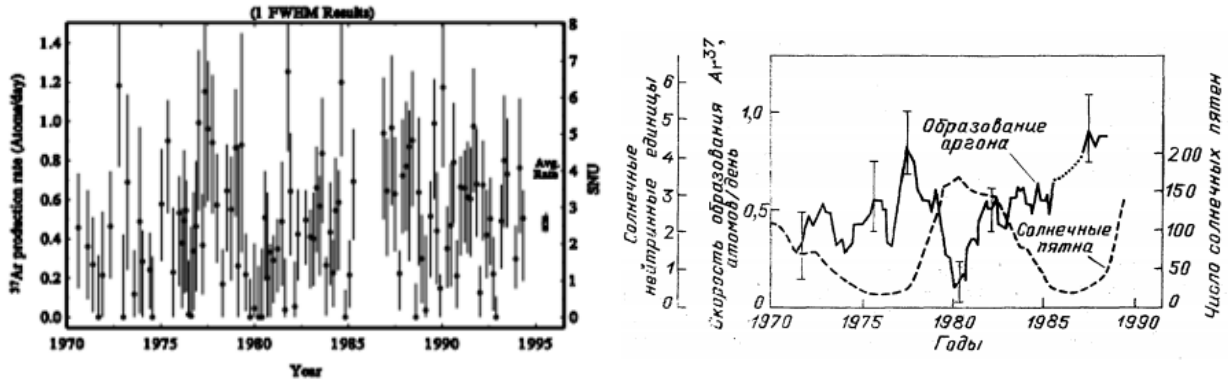


Рис. 1. Результати хлор-аргонного експерименту в загальному [16] (а) та в порівнянні з циклами сонячної активності [17] (б)

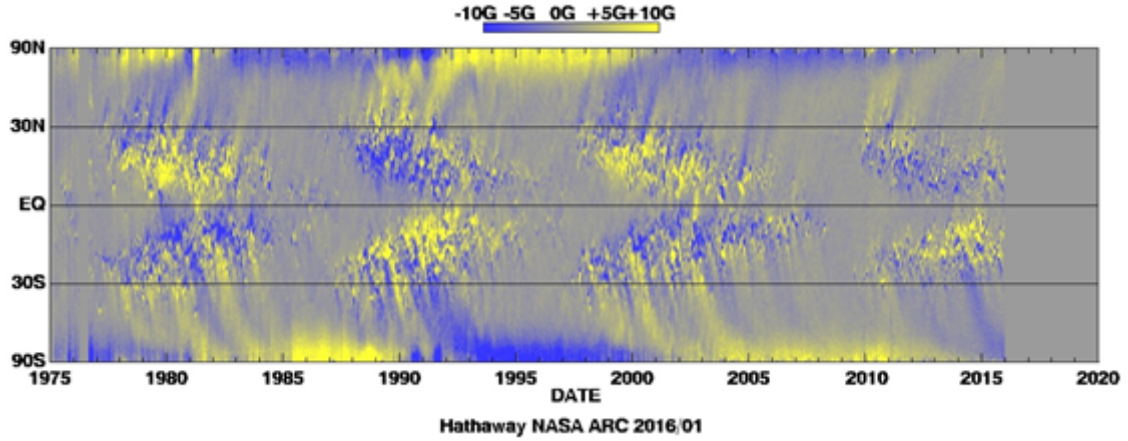


Рис. 2. Синоптична магнітограма радіальної компоненти поверхневого геліомагнітного поля [20]

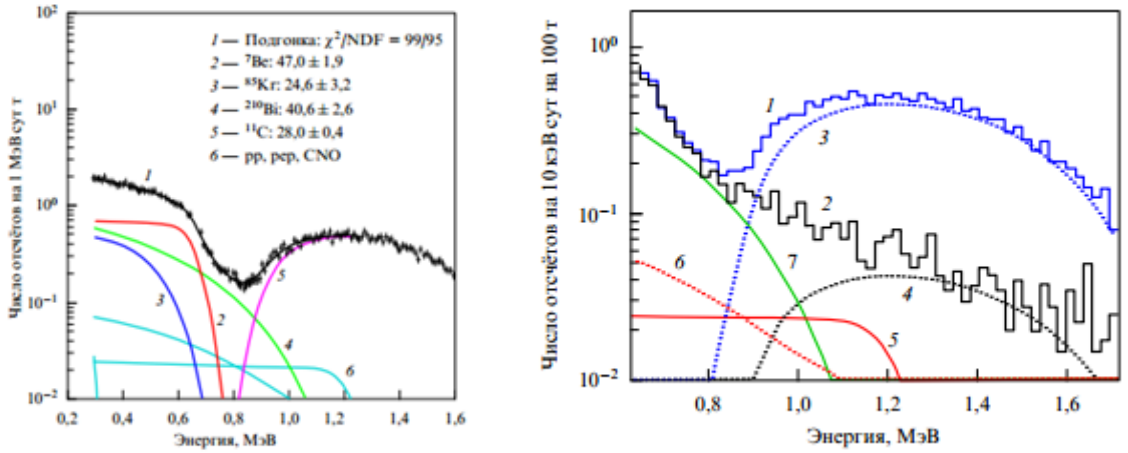


Рис. 3. Енергетичний спектр, виміряний Borexino за 741 добу [19, 21] (а), а також високоенергетична частина спектру до (1) та після (2) відбору потрійних просторово-часових співпадінь, що відповідають утворенню та розпаду [19, 22] (б). У випадку (б) показані внески у спектр до (крива 3) та після (крива 4) відбору, а також внески pep-(крива 5), CNO-нейтрино (крива 6) та (крива 7)

Як уже відмічалось, у самих авторів хлор-аргонного експерименту не було впевненості у тому, що реєструються саме високоенергетичні борні нейтрино [16] (у чому їх постійно переконували теоретики [14]).

Однак, альтернативним кандидатом в першу чергу були берилієві нейтрино з енергією 0,86 МеВ – з огляду на існуючі стандартні сонячні моделі. Для перевірки модельних розрахунків свого часу були поставлені спеціальні експерименти на детекторі Borexino [21, 22]. Графічні результати цих експериментів наведені на рис 3а (після віднімання явно домінуючого фонового сигналу з енергією ≈ 0,45 МеВ від α-розпаду ^{210}Po). На рис. 3б наведені аналогічні результати для оцінок pep- та CNO- нейтрино в стандартних моделях Сонця. Домінуючий фоновий максимум у високоенергетичній області спектрів від радіоактивного ^{11}C був зменшений в 11 раз (криві 3-4), однак, не подавлений повністю. Аналогічно до цього, залишились компоненти сигналу від фону ^{85}Kr та ^{210}Bi, що дозволило авторам експерименту, вільно маніпулюючи даними, підігнати результати під стандартну сонячну модель й отримати, зокрема, вельми низькі оцінки на потоки нейтрино від CNO-циклу на Сонці [19, 22].

Аналіз всіх вищенаведених експериментальних даних на основі механізмів геліоконтактного динамо приводить до кардинально іншої інтерпретації результатів колаборації Borexino та хлор-аргонного експерименту Р. Девіса. Основний вклад в сигнал хлор-аргонного детектора, на наше переконання, вносили саме нейтрино, що утворюються в результаті протікання вуглецево-азотно-кисневого (CNO)-циклу, активованого в зоні контактного ядерного розриву на відстані ≈ 0,1 R_S від центру Сонця (R_S – радіус Сонця) [6]. Цей розрив практично перерізає навпіл теоретичний максимум основного протон-протонного (p-p) циклу – рис. 4, 5. CNO-цикл, що вкрай чутливий до підвищення температури [18, 19], в результаті контактно-наведеного виділення енергії при переходах водню з металічного стану в діелектричний частково заміщує основний p-p-цикл – в першу чергу в мінімумах сонячної активності, коли домінує *m*-мода руху внутрішнього ядра [7] і контактна взаємодія ближча до рівноважної. Це пояснює антикореляцію результатів Р. Девіса з сонячною активністю та відкидає обмеження Borexino на CNO-цикл як значно занижені, адже вимірювання проводились у 2007–2010 рр. – в мінімумі 24-го циклу [22] – рис. 2. CNO – цикл, що інтерферує по енергії з берилієвими та pep-нейтрино протон-протонного циклу (рис. 5), попадає у енергетичне вікно реєстрації хлор-аргонного детектора й дає левову частку потоків нейтрино у цьому детекторі. Одночасно, контактно-наведений CNO-цикл термоядерного синтезу на Сонці впливав на результати вимірювань p-p-нейтрино галієвими детекторами, що тривалий час проводились колабораціями GALLEX-GNO та SAGE. На рис. 6 наведені відповідні результати для GALLEX-GNO. Тут також спостерігається (хоч і значно менш виражена) антикореляція потоку нейтрино з сонячним циклом. Помітний максимум сигналу виділяється в мінімумі 23-го циклу (1996 р.). Різниця середніх значень сигналу на спаді 22-го циклу – ближче до мінімуму 23-го циклу та сигналу на зростанні 23-го циклу до максимуму складає ≈ 20% [18, 19]. Отже, на відміну від явно занижених даних всіх відомих "стандартних" сонячних моделей, [12, 13], нейтрино від контактно-наведеного CNO-циклу реакцій на Сонці складають помітну долю (10–20%) від загального потоку сонячних нейтрино. Тут спеціально слід зауважити, що в максимумах циклів сонячної активності, коли домінує n-мода руху [7], контактна взаємодія має значно більш виражений локальний і неоднорідний характер (ніж у мінімумах циклів активності Сонця), що призводить до заниження середнього потоку нейтрино, направленого в певний виділений бік від Сонця – на Землю у т.ч. Одночасно, "нейтринні зайчики", схоплені детекторами в максимумах циклів сонячної активності, суттєво збільшують дисперсію сигналу. Один із таких "зайчиків", схоплений детектором GALLEX у 1991 р., очевидно, і відображений у відповідному "зашкальному" вимірі – рис. 6. Як буде показано в четвертій частині роботи, саме контактно-наведені потоки астофізичних нейтрино середніх, високих та ультрависоких енергій реєструються на Землі від різних Галактичних та Метагалактичних об'єктів з активними ядрами, у т.ч. – від спалахів нових та наднових зір, що виникають внаслідок катастрофічного вивільнення електромагнітної енергії металізованого водню.

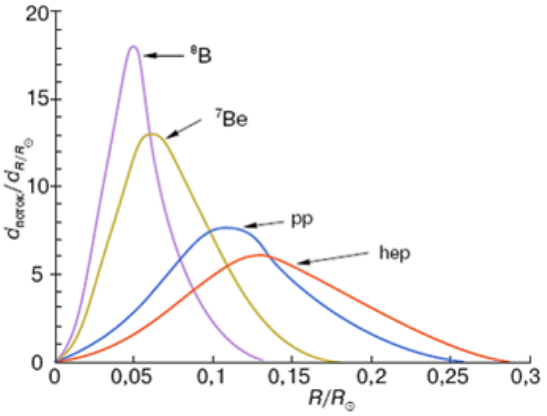


Рис. 4. Радіальний розподіл сонячних нейтрино різного типу в стандартній сонячній моделі. Криві нормовані на одиницю [23]

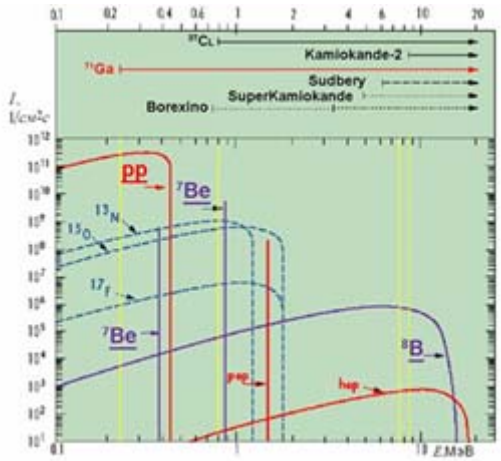


Рис. 5. Спектр сонячних нейтрино в стандартній моделі Сонця. Вказані енергетичні пороги реєстрації нейтрино різними методами [23]

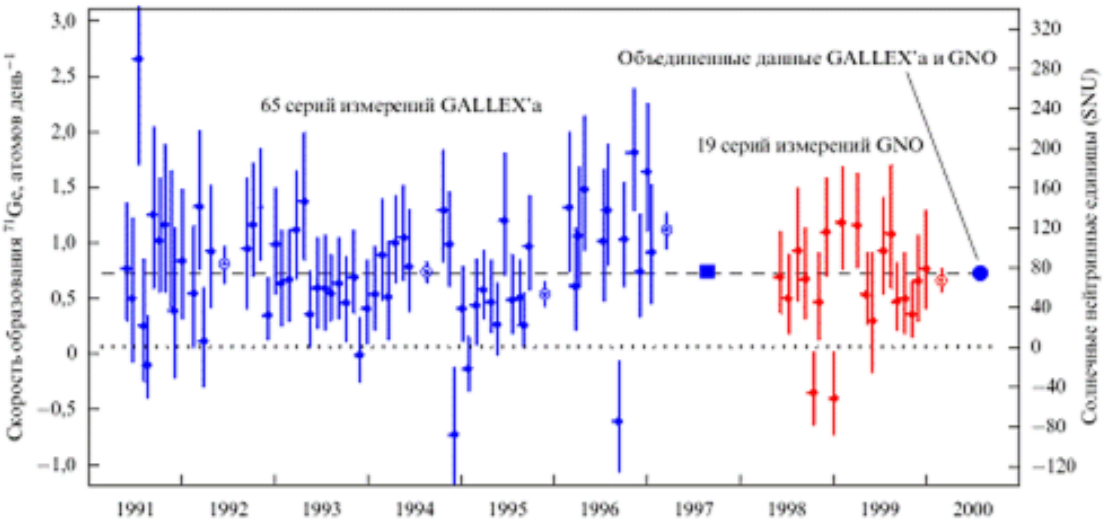


Рис. 6. Результати експериментів GALLEX-GNO [23]

Оцінка енергетичної ефективності геліоконтактного динамо

При питомому енерговиділенні ~ 10^2 МДж/кг [2, 6] та характерних періодах високочастотних коливань ~ 10^2 сек питома енергетична потужність сонячного контактного динамо складає ~ 10^6 Вт/кг. Для порівняння: середня (по Сонцю) питома потужність термоядерного енерговиділення в p-p-циклі становить ~ $2 \cdot 10^{-4}$ Вт/кг [18]. Отримане відношення потужностей у 9-10 порядків величини ясно показує електромагнітні за своєю природою можливості космічного контактного джерела енергії в порівнянні з термоядерним. До цих оцінок, отриманих на основі "земних" значень енергетичного ефекту при фазових перетвореннях водню, звісно, слід підходити з певною пересторогою. Однак, суттєва величина енергетичного запасу дозволяє ефективно замінити об'ємне (по ядру) енерговиділення в процесі термоядерних реакцій на локальне контактне динамо-енерговиділення. При цьому, як уже зазначалось, попутньо активується CNO-цикл термоядерних реакцій, явно занижений в стандартних моделях Сонця.

Повну величину контактного енергозаміщення термоядерного "живлення" Сонця легко оцінити по відомому дефіциту високоенергетичних борних нейтрино, що при існуючих порогах реєстрації (> 3 МеВ) не заміщуються в реакціях CNO-циклу – рис. 5. Реальний потік борних нейтрино в реакціях розсіяння на електронах складає 42–50% від очікуваного в рамках стандартних моделей Сонця [18, 19]. Отже, більша половина енергії Сонця генерується на сьогодні по механізму геліоконтактного динамо. З меншої половини, що припадає на долю термоядерних реакцій, ще 10–20% (як уже відзначалося) слід віддати реакціям CNO-циклу, активованим контактним динамо-процесом. Отже, відхилення від стандартної сонячної моделі в дійсності є вельми значними.

В чисто трибологічному аспекті неважко оцінити інтегральний "коефіцієнт тертя" μ сонячного динамо-процесу:

$$\mu \cdot \sigma S \upsilon = \frac{1}{2} \Delta E / \Delta t \qquad (1).$$

Тут σ − тиск в ядрі Сонця. S − площа контакту, υ − відносна швидкість контактного руху, $\Delta E / \Delta t$ − потужність енерговиділення на поверхні Сонця. При $\sigma \approx 4 \cdot 10^{16}$ Па [2], $S \sim 10^{15} - 10^{16}$ м^2 (десяті – соті долі площі поверхні сфери радіусом ~ 0,1 R_S), $\upsilon \sim 500$ м/с [6, 7], $\Delta E / \Delta t \sim 4 \cdot 10^{26}$ Вт [2], з (1) отримуємо оцінку:

$$\mu \sim 10^{-9} - 10^{-8} \qquad (2).$$

Такому геліоконтактному "коефіцієнту тертя" міг би позаздрити будь-який земний трибопроцес – за винятком, звісно, геоконтактного динамо [7]. Спеціально слід відмітити, що низьке значення μ, власне, і забезпечує можливість життя в околі Сонця, активність якого обмежується, в основному, контактною генерацією відносно енергетично "слабких" когерентних структур руху, що, досягаючи фотосфери, стають відомими сонячними плямами. Тим не менше, зміна топології цих структур руху, що "застрягають" на тихій периферії Спокійного Сонця (де їх ніхто не чекав), призводить, як відомо, до сонячних спалахів, ударних хвиль та гігантських вивержень плазми, що добре відчуваються на Землі. Підвищення μ бодай на порядок унеможливлювало б життя в Сонячній системі, призводячи, з поміж іншого, до більш вираженої перемінності Сонця. Подібна контактно-обумовлена перемінність вищезгаданих космічних об'єктів з активними ядрами ніяк не вкладається в існуючі астрофізичні та космологічні казочки про акрецію на чорні діри, засилля чорної матерії та темної енергії, Великий Вибух та скривлення простору-часу.

Теорія нейтринних осциляцій як "фальшива панацея" від дефіциту сонячних нейтрино

В результаті підтвердження дефіциту сонячних нейтрино всіма існуючими на кінець 20-го століття

детекторами [14] проблема загострилась настільки, що світове наукове співтовариство, здавалось, ладне було проковтнути будь-яку пігулку, яка б зняла цей фізичний головний біль. Такою ”пігулкою” виявився ефект Міхеєва-Смірнова-Вольфенштейна (МСВ-ефект) [17–19] нейтринних осциляцій у речовині Сонця, що розвивав давню ідею Бруно Понтекорво [18, 19, 23] про можливість нейтринних осциляцій у вакуумі – переходів між різними флейворами (ароматами) нейтрино. Авторів МСВ-моделі не турбувала очевидна внутрішня протирічивість ідеї, що полягала у суттєвій ролі дійсної частини коефіцієнта заломлення нейтрино в речовині при нікчемно малій ролі уявної частини цього коефіцієнта [17] – що прямо слідувало з малості перерізу захоплення нейтрино речовиною Сонця.

“Тріумфальна” перевірка ”справедливості” МСВ-моделі сонячного дефіциту нейтрино детектором SNO [24, 25], як відомо, відзначена торішньою Нобелівською премією [11]. На рис. 7 наведені графічні результати цієї перевірки, запозичені з роботи [25]. Як видно з графіків, вклад реакцій нейтральних струмів (NC) в загальний сигнал детектора в декілька разів менший за ефект заряджених струмів (CC). В результатах роботи [25] ситуація протилежна: вклад реакцій нейтральних струмів (всі нейтрино) в загальний потік сонячних нейтрино втричі перевищує вклад реакцій заряджених струмів (тільки електронні нейтрино). Така метаморфоза стала можливою за рахунок простої маніпуляції з модельно-залежними розрахунковими параметрами при різноманітних та вельми значних рівнях технічного фону [25]. В даному випадку було б доцільно на певний час позичити згадувану вже ”бритву Оккама” у автора роботи [15] для відсічення цих ”непіонерських” результатів .

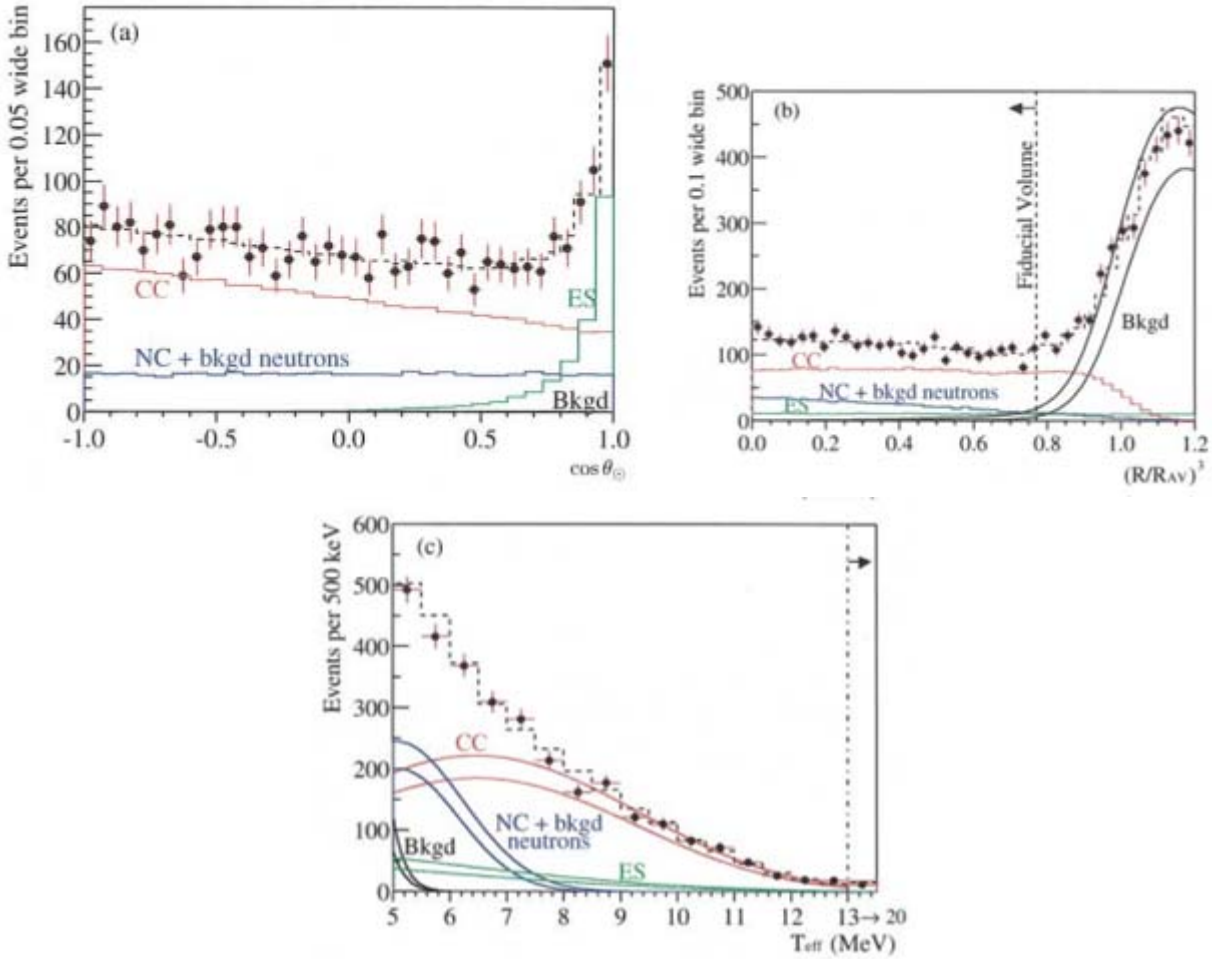


Рис. 7. Кутова (a), радіальна (b) та енергетична (c) залежності сигналу нейтринної реєстрації в детекторі SNO [25]

Порівняння моделі геліоконтактного динамо з даними геліосейсмології та вимірюваннями сонячного магнітного поля

На рис. 8 наведені результати роботи [26] з відновлення радіального профілю частоти обертання екваторіальної речовини Сонця. Основний результат (рис. 8a) автори роботи [26] характеризують вельми суперечливо: одночасно як ”ідеальну інверсію” та як ”артефакт”. Ми впевнені у першій інтерпретації [6]. Вона добре узгоджується як з моделлю геліоконтактного динамо, так і з іншими геліосейсмологічними даними, що свідчать про значно вищу швидкість обертання сонячного ядра щодо оболонки [2].

На рис. 9. показані результати спектрального аналізу [27] часових рядів нейтринної активності Сонця, зафіксованих детекторами Супер-Каміоканде та SNO. Для порівняння на рис. 10 наведений спектр геліомагнітного поля, зареєстрований в аналогічний проміжок часу [27]. На цих спектрах явно виділяються частоти ≈ 40 обернених років та ≈ 93 обернених роки, або ж відповідно ≈ 1,3 мкГц та ≈ 3 мкГц. Перша

величина добре узгоджується з частотою обертання внутрішнього сонячного ядра – рис. 8а. Друга – значно вища величина – з частотою асинхронної контактно-наведеної прецесії ядра. Такого роду процеси аналізувались нами раніше [7]. В даній інтерпретації кореляційних зв'язків між нейтринною та магнітною активністю Сонця не задіюється відома модель перевороту спіральності нейтрино в магнітному полі Сонця [18, 19], яка вимагає "аномального" магнітного моменту нейтрино.

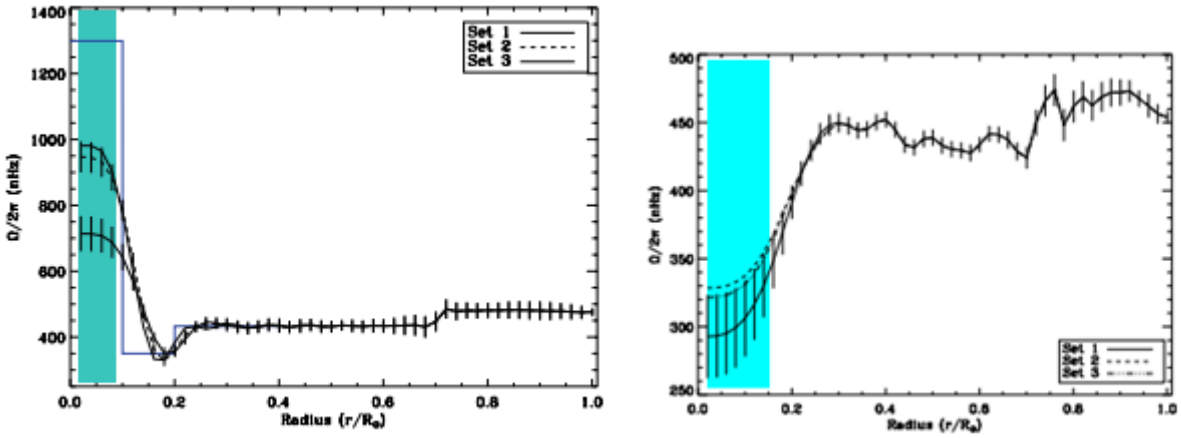


Рис. 8. Радіальні залежності екваторіальної частоти обертання речовини Сонця [26]

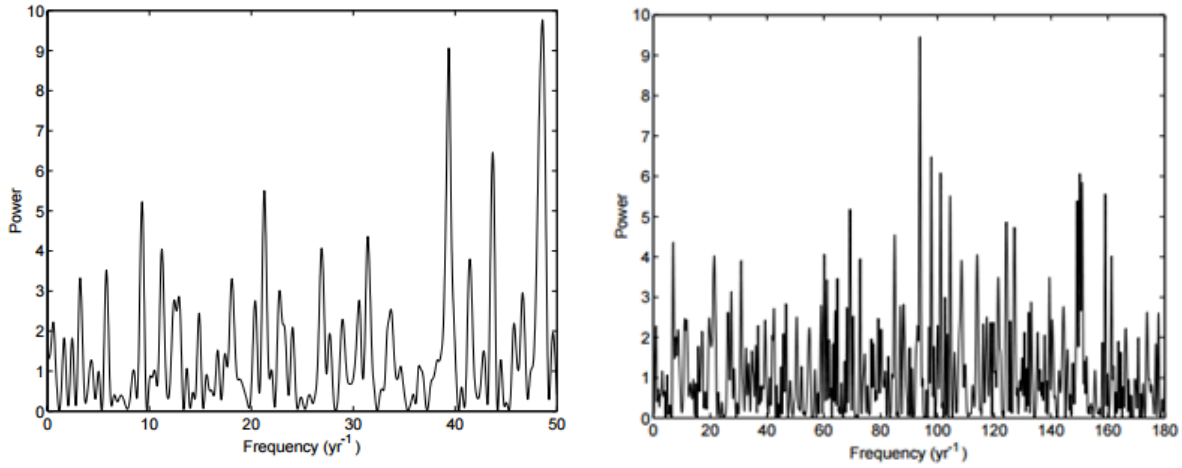


Рис. 9. Спектри часових рядів нейтринної реєстрації в детекторах Супер-Каміоканде (а) та SNO (б) [27]

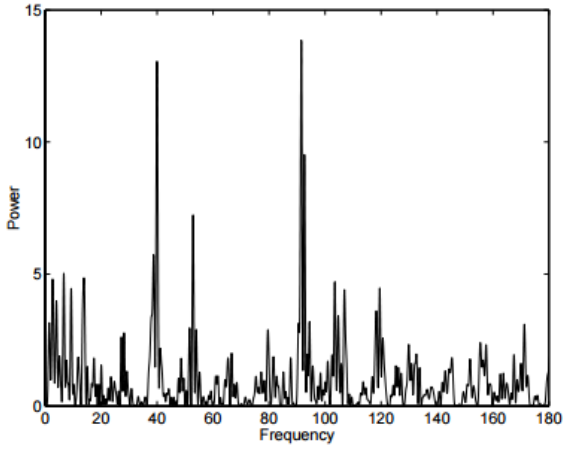


Рис. 10. Спектр часових рядів вимірювань геліомагнітного поля [27]

Відмітимо також, що запевнення авторів стандартної сонячної моделі у її відповідності даним геліосейсмології [12] стосуються усього Сонця – за винятком його геометрично малої, але фізично дуже важливої частини – ядра. Тут розходження сягають 70% величини [2].

Роль контактного динамо в планетарному енергетичному балансі

На Землі та планетах-гігантах Сонячної системи спостерігається виражений енергетичний

”дисбаланс”, що не має адекватного пояснення поза рамками контактного динамо [7]. Наприклад, Юпітер випромінює у космос втричі більше теплової енергії, ніж отримує звідти, що наводить декого на думку про його ”зоряну” природу [28]. “Дисбаланс ” тепла на Землі пояснюється на сьогодні чим завгодно [29], тільки не механізмом контактного динамо [7]. Згідно з (1), потужність контактно-наведеного тепла визначається як коефіцієнтом μ, так і відносною швидкістю руху в ядерному контакті. Для Землі ця швидкість дуже мала, що пояснює характерні особливості геомагнітного поля та клімату нашої планети [7]. Рекордні як для планет магнітні поля на Юпітері та Сатурні обумовлені добре налагодженою і вельми швидкісною (в порівнянні з Землею) контактною динамо-машиною, прихованою в ядрах цих планет. Ця ж машина, як уже відмічалось [7], підтримує розмаїту структуру кілець навколо планет-гігантів, а також генерує когерентні структури руху в атмосферах цих планет (Велика червона пляма на Юпітері та ін.).

Висновки

Контактне динамо є основним енергетичним джерелом космічних об’єктів з активними ядрами. Ефективність прямої конверсії електромагнітної внутрішньої енергії металізованого водню, запасеної на початковому етапі гравітаційного колапсу, в кінетичну енергію диференційного руху складених ядер є рекордно високою і використовується, передусім, для забезпечення когерентності всієї космічної системи. В умовах Сонця електромагнітна енергія, яка, тим не менше, частково втрачається (для когерентності) в процесі контактно-наведених фазових переходів водню, забезпечує більшу половину теплового балансу. При цьому 10–20% меншої половини балансу, що припадає на долю термоядерного синтезу, слід віднести на рахунок контактно-наведених термоядерних реакцій CNO-циклу. Це радикально змінює існуючі уявлення про енергетичні механізми Сонця та вказує на суттєві невідповідності в стандартній сонячній моделі.

Механізм контактного динамо пояснює наявні енергетичні ”дисбаланси” на Землі та планетах-гігантах Сонячної системи.

Література

1. Зельдович Я.Б. Релятивистская астрофизика. I / Я.Б. Зельдович, И.Д. Новиков // Успехи физических наук. – 1964. – Т. LXXXIV, вып. 3. – С. 377–417.
2. Физическая энциклопедия : в 5-и томах / под. ред. А.М. Прохорова. – М. : Большая росс. энц., 1999, 760 с.
3. Abramowicz M.A. Foundations of Black Hole Accretion Disk Theory / M.A. Abramowicz, P.C. Fragile // Living Rev. Relativity. – 2013. – V.16, № 1. – P. 1–88.
4. Долгов А.Д. Космология: от Померанчука до наших дней / А.Д. Долгов // Успехи физических наук. –2014. – Т. 184, № 2. – С. 211–221.
5. Докучаев В.И. Физическая лаборатория в центре Галактики / В.И. Докучаев, Ю.Н. Ерошенко // Успехи физических наук. – 2015. – Т. 185, № 8. – С. 829–843.
6. Заспа Ю.П. Контактне динамо як генератор когерентних космічних форм руху та джерело планетарного, сонячного і галактичного магнетизму. Частина 1 / Ю.П. Заспа // Вісник ХНУ. Технічні науки. –2015. – № 5 (229). – С. 106–118.
7. Заспа Ю.П. Контактне динамо як генератор когерентних космічних форм руху та джерело планетарного, сонячного, галактичного і метагалактичного магнетизму. Частина 2 / Ю.П. Заспа // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2016. – № 2.
8. Тэйлор Дж.Х. Двойные пульсары и релятивистская гравитация : Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 декабря 1993 г. / Дж.Х. Тэйлор // Успехи физических наук. – 1994. – Т. 164, № 7. – С. 757–764.
9. Перлмуттер С. Измерение ускорения космического расширения по сверхновым : Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 декабря 2011 г. / С. Перлмуттер // Успехи физических наук. – 2013. – Т. 183, № 10. – С. 1060–1077.
10. Смут Дж.Ф. Анизотропия реликтового излучения: открытие и научное значение : Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 декабря 2006 г. / Дж.Ф. Смут // Успехи физических наук. – 2007. – Т. 177, № 12. – С. 1294–1317.
11. Neutrino oscillations. Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2015 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://kva.se
12. Bahcall J.N. New solar opacities, abundances, helioseismology, and neutrino fluxes / J.N. Bahcall, A.M. Serenelli, S. Basu // Astrophys. J. – 2005. – V. 621, NL85, astro-ph / 0412440
13. Bahcall J.N. Solar Models: Current Epoch and Time Dependences, Neutrinos, and Helioseismological Properties / J.N. Bahcall, M.H. Pinsonneault, S. Basu // Astrophys. J. – 2001. – V. 555. – P. 990–1012.
14. Дэвис Р. Полвека с солнечным нейтрино : Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 декабря 2002 г. / Р. Дэвис // Успехи физических наук. – 2004. – Т. 174, № 4. – С. 408–417.
15. Моррисон Д.Р.О. Постепенное исчезновение трех проблем солнечных нейтрино / Д.Р.О. Моррисон // Успехи физических наук. – 1995. – Т. 165, № 5. – С. 579–590.
16. Cleveland B.T. et. al. Measurement of the solar electron neutrino flux with the Homestake chlorine detector / B.T. Cleveland // Astrophys. J. –1998. – V. 496. – P. 505–526.

17. Вольфейнштейн Л. Нейтринные осцилляции и солнечные нейтрино / Л. Вольфейнштейн, Ю.У. Бейер // Успехи физических наук. – 1990. – Т. 160, № 10. – С. 155–171.

18. Смирнов О.Ю. Неускорительная нейтринная физика / О.Ю. Смирнов // Письма в ЭЧАЯ. А. – 2012. – Т. 9, № 9–10. – С. 70–128.

19. Дербин А.В. Эксперименты с солнечными нейтрино / А.В. Дербин // Успехи физических наук. – 2014. – Т. 184, № 5. – С. 555–567.

20. Synoptic magnetogram of the radial component of the solar surface magnetic field [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://solarscience.msfc.nasa.gov/imges/magbfly.jpg

21. Arpesella C. et. al. First real time detection of ^{7}Be solar neutrinos by Borexino [Електронний ресурс]. – Режим доступу : arXiv:0708.2251v2[astro-ph]7Sep2007

22. Bellini G. et. al. First evidence of pep Solar neutrinos by direct detection in Borexino [Електронний ресурс]. – Режим доступу : ar Xiv:1110.3230v1[hep-ex] 14 Oct 2011

23. Орехов Д.И. Методическое пособие по физике нейтрино [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://neutrino-history.narod.ru/neutrino_main.htm

24. Ahmad Q.R. et. al. Measurement of the Rate of $\nu_e + d \to p + p + e^-$ Interactions Produced by ^{8}B Solar Neutrinos at the Sudbury Neutrino Observatory / Q.R. Ahmad // Ph. Rev. Lett. – 2001. – V. 87, № 7. – P. 071301.

25. Ahmad Q.R. et. al. Direct Evidence for Neutrino Flavor Transformation from Neutral-Current Interactions in the Sudbury Neutrino Observatory / Q.R. Ahmad // Phys. Rev. Lett. – 2002. – V. 89. – P. 011301.

26. Garcia R.A. et. al. Influence of Low-Degree High-Order p-Mode Splittings on the Solar Rotation Profile / R.A. Garcia // Solar Phys. – 2008. – V. 251. – P. 119–133.

27. Sturrock P.A. Comparative analysis of Super-Kamiokande and SNO solar-neutrino data and the photospheric magnetic field / P.A. Sturrock [Електронний ресурс]. – Режим доступу : arXiv.org>hep-ph>arXiv:hep-ph/0610065

28. Юпитер – планета или звезда? [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.elite-astronomy.narod.ru/jupiter.htm

29. Hansen J. et. al. Earth's energy imbalance and implications / J. Hansen //Atmos. Chem. Phys. –2011. – V. 11. – P. 13421–13449.

Рецензія/Peer review : 24.5.2016 р. Надрукована/Printed : 6.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Костогриз С.Г.

UDC 621

O. MADEJ, W. KRUSZELNICKA
University of Science and Technology, Bydgoszcz, Poland

COMPARISON OF EFFICIENCY VACUUM AND FLAT SOLAR COLLECTORS

The study characterized the construction and principle of operation of flat plate collectors and vacuum collectors. Describes the impact of design and operating conditions on the efficiency of solar collectors. Approximated the impact of various factors such as the temperature difference of the absorber and the surroundings and reflection solar radiation on the efficiency of the collectors. Presented a method for calculating the instantaneous efficiency by taking into account the optical efficiency, heat loss coefficient of linear, temperature difference between the absorber and the surroundings and solar radiation intensity. It described the issue of optical efficiency.

In order to compare the efficiency of flat collectors and vacuum collectors were carried out simulation studies for two installations and shows the results. The first of these is the solar system equipped with flat plate collectors and the other in the vacuum tube collectors with single glazing. Simulation studies conducted in computer application Kolektorek 2.0.

Based on the analysis of the construction of collectors, used insulation and conducted simulation studies, it was found that the more effective the insulation, the higher the efficiency of the collector. The greater the temperature difference, and ambient absorber, the lower is its efficiency and increased heat losses. The efficiency of the solar collector is variable over time and depends on various factors.

Key words: flat plate collectors, vacuum solar collectors, efficiency, absorber, Kolektorek 2.0

О. МАДЕЙ, В. КРУШЕЛЬНИЦЬКА
Университет науки и технологии, Быдгощ, Польша

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАКУУМНЫХ И ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Исследование охарактеризовал строительство и принцип работы плоских коллекторов пластины и вакуумных коллекторов. Описывает влияние конструктивных и эксплуатационных условий на эффективность солнечных коллекторов. Аппроксимировать влияние различных факторов, таких как разность температур абсорбера и окружающей средой и отражения солнечного излучения на эффективность коллекторов. Представлен метод расчета мгновенной эффективности с учетом оптической эффективности, коэффициент потери тепла линейных, разность температур между абсорбером и окружающей средой и интенсивности солнечной радиации. Он описал вопрос оптической эффективности.

Для того чтобы сравнить эффективность плоские коллекторы и вакуумные коллекторы были проведены исследования моделирования для двух установок и показывает результаты. Первым из них является солнечная система оснащена плоскими коллекторами, а другой в вакуумных трубчатых коллекторов с одинарным остеклением. Исследования моделирования проведены в компьютерное приложение Kolektorek 2.0.

На основе анализа конструкции коллекторов, используемых изоляции и проведенных исследований по моделированию, было установлено, что более эффективным изоляции, тем выше эффективность работы коллектора. Чем больше разница температур, и окружающего воздуха абсорбер, тем ниже его эффективность и повышенные потери тепла. Эффективность солнечного коллектора изменяется с течением времени и зависит от различных факторов.

Ключевые слова: плоские коллекторы пластины, вакуумные солнечные коллекторы, эффективность, абсорбера, Kolektorek 2,0

1. Introduction

Solar collectors are devices receiving heat from solar radiation and conveying them to the working fluid which then heats water in the tank. Due to the construction, solar collectors can be divided into flat and vacuum. Flat plate collectors and vacuum differ in terms of efficiency. The efficiency of solar collectors indicates what part of the solar radiation, falling on a given surface of active absorber, is changed to thermal power. The efficiency of the collectors is dependent on: the absorber, the heat insulation and the transparent cover, which differ flat plate collectors and vacuum. An important element of each collector is the absorber. Flat plate collectors are equipped with absorber made of flat aluminum or copper sheet coated with the coating selective or non-selective. Types of coatings are shown in Table 1. Absorber coating should have a maximum absorption coefficient α and the minimum emission factor ε [1, 2].

Table 1.

Coatings of absorber [6]

absorber coating	absorption coefficient (α)	emission factor (ε)
paint gray and black	0,87	0,87
lacquer „Solar "	0,90	0,25
black chrome	0,98	0,14
Aluminium covered by copper oxide	0,85	0,11
black copper	0,93	0,11
Tinox	0,95	0,05
Sunselect	0,95	0,05

Vacuum tube collectors have a different shape of the absorber than flat plate collectors. Depending on the

type of vacuum collector, the absorber may have different shapes. The absorber is disposed around the periphery of the inner tube in the case of collector with double pipes or in the form of a flat plate located inside the single pipe of heat pipe collectors. Another factor affecting the efficiency is insulation. In the flat collectors, the mineral wool or polyurethane is used as insulation. Insulation in the vacuum collectors is vacuum, which is provided between concentric tubes or in the case of single pipe, the vacuum insulation is in entire volume of pipe. The vacuum insulation is much better insulator than wool. On the efficiency also affects the glass cover, which should have a maximum transmittance of solar radiation [3, 4].

2. Efficiency of solar collectors

The efficiency of the solar collector changes with time and is dependent on many factors. One of them is the difference in temperature of the absorber and the environment.

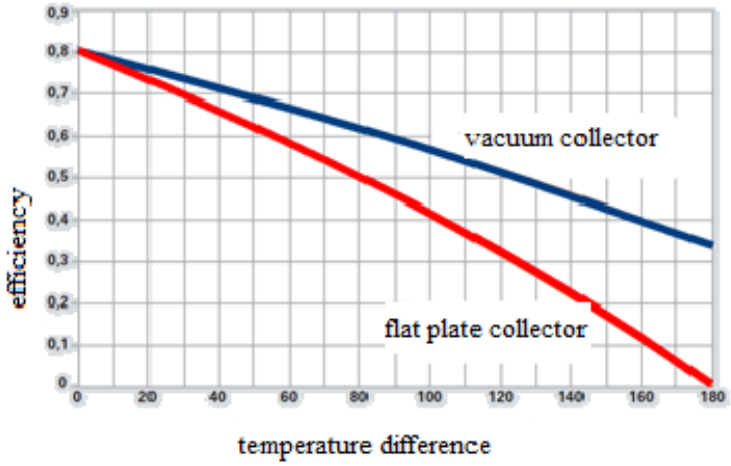


Fig. 1 – The dependence of the efficiency of a flat plate collector and single wall vacuum collector from the temperature difference of the absorber and the environment [8]

Figure 1 shows the dependence the efficiency of solar collectors on the temperature difference. The efficiency of the solar collector depend on many factors. One of the factors is the temperature of the collector, the higher the temperature, the greater the heat loss to the environment and reduced efficiency. The collector heats up and loses heat to the surroundings by convection, heat transfer and heat conduction processes. Heat losses are closely related to the temperature difference between absorber and environment. In addition to heat loss can be distinguished the optical losses, which reduce the efficiency of the collector. The optical losses are associated with the absorption and a reflectivity of solar radiation through the transparent cover of the solar collector. The graph also shows that the more effective the insulation, the higher is the efficiency. Vacuum is a better insulator than mineral wool, so a single wall vacuum collector achieves higher efficiency at the same temperature difference dT in comparision to the flat plate collector. Despite that vacuum is a very good insulator, efficiency in double glazing vacuum collectors may be lower than in the case of flat plate collectors. This is due to the double barrier of glass, which solar radiation has to overcome.

The efficiency of the solar collector is a quotient of the of heat energy obtained by the heating fluid by irradiation of the surface of the collector at a given time. The formula for the calculation of the efficiency of the solar collector is expressed as follows:

$$\eta = \frac{Q_u}{M_e \bullet S} \bullet 100\%$$

where η – efficiency of solar collector [%],

Q_u - stream of useful energy [W],

M_e - solar radiation power [W/m^2],

S – active absorption surface of solar collector [m^2].

After transformation, the following dependence is obtained:

$$\eta = \frac{m \bullet c_p \bullet (T_{wy} - T_{we})}{M_e \bullet S} \bullet 100\%$$

where η – efficiency of solar collector [%],

m – a mass flow of refrigerant in the collector [kg/s],

c_p - specific heat of solar fluid [J/kg • °C],

T_{wy} - temperature of heating medium at the outlet of the collector [°C]

T_{we} - temperature of heating medium at the outlet of the heat exchanger [°C]

M_e - solar radiation power [W/m^2],

S – active absorption surface of solar collector $[m^2]$.

The highest value of efficiency, which can be achieved by solar collector, is optical efficiency. The optical efficiency is determined in the absence of heat loss to the surroundings and indicates which part of the solar radiation reaches to the absorber and can be used to produce heat. Optical efficiency depends on design features and materials used for the construction of the collector.

Is applied the concept of the daily average efficiency and average efficiency over the entire operating cycle, which is an average value of the instantaneous efficiency at a given time. Instantaneous efficiency η (figure 2) is calculated with the following formula:

$$\eta = \eta_0 - \frac{a_1 \bullet \Delta T}{E_g} - \frac{a_2 \bullet \Delta T^2}{E_g}$$

where $\eta_0 -$ optical efficiency,

a_1, $a_2 -$ coefficients of heat loss,

ΔT – the temperature difference between the absorber and the environment,

$E_g -$ solar irradiance.

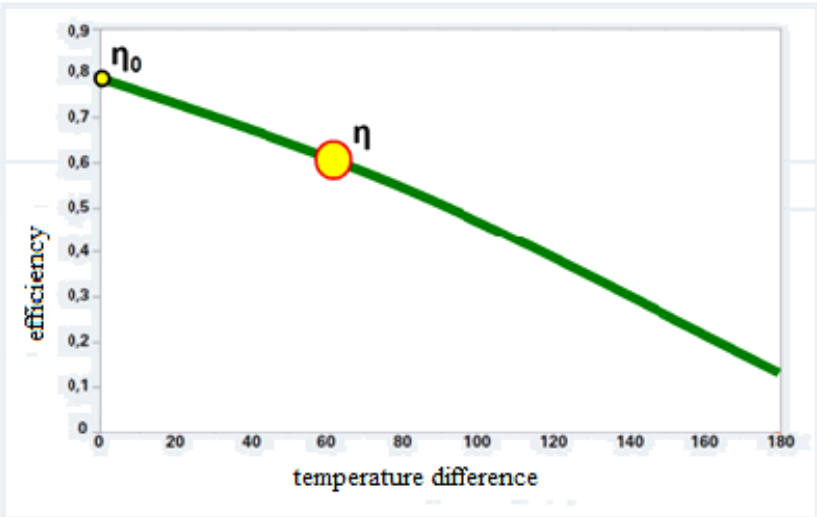


Fig. 2 – The instantaneous efficiency of the solar collector [8]

With the increase in the coefficient of heat loss a1 the slope of the efficiency curve is increasing. Then, when the temperature of the absorber is higher than the ambient temperature, the collector will obtain lower efficiency. The higher the coefficient of heat loss a2, the efficiency curve is more convex. The collector has high efficiency when operating at lower temperatures the absorber.

Vacuum tube collectors with a single pipe are characterized by high optical efficiency, allowing achieve high efficiency in a wider range of work than flat plate collectors. Collectors with double-walled pipes have a lower optical efficiency and despite the vacuum as an insulator, only in a limited range of work achieves higher efficiency than flat-plate collector [7].

3. Comparison of the efficiency of flat and vacuum collectors on the example

3.1. Methodology

Collectors efficiency were compared based on the results of simulation studies. Simulation studies were carried out in a computer application Kolektorek 2.0. Algorithm of the program is composed of five areas, which are marked in figure 3:

- Selection of devices and locations (marked in red),
- Selection of the type of installation (marked in green),
- Project assumptions (marked in gray),
- Information about selected devices and locations (marked in yellow),
- The most important results (marked in blue).

The program after entering the design assumptions, choosing the devices and locations generates a report, which contains information about monthly and yearly energy yield from m2 of solar collector, period of investment

payback, the average annual savings, annual pollution reduction, installation costs and monthly average efficiencies of collectors and entire installation. Were conducted two simulations. The first relates to the installation of solar flat plate collectors and the second relates to installation of solar heat pipe vacuum collectors. From both reports get graphs of the efficiency in each month to compare the efficiency of the collectors.

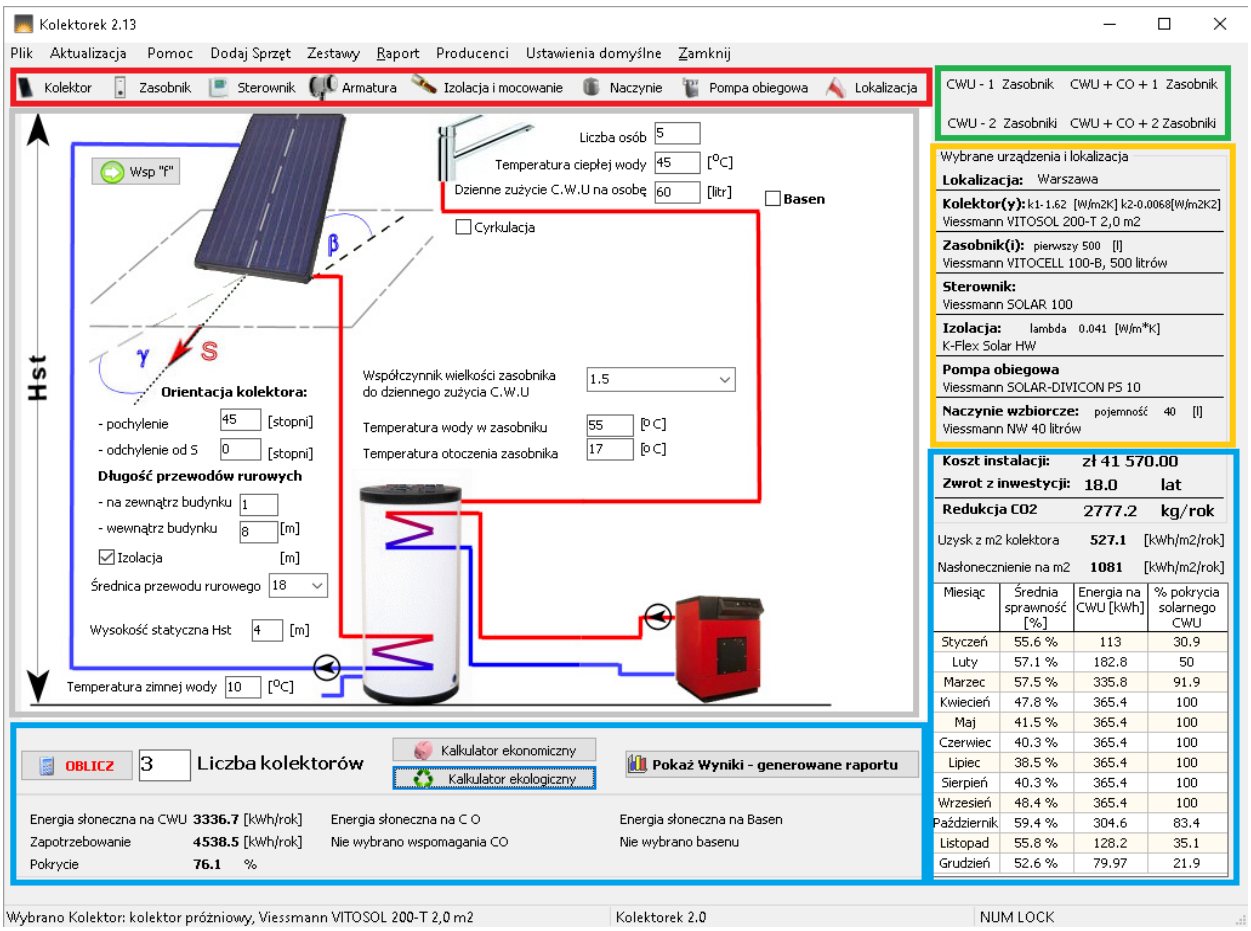


Fig. 3 – The program window Kolektorek 2.0 [own study - Kolektorek 2.0]

3.2. Results of simulation studies

The simulation tests compared three solar collectors flat and three solar collectors Vacuum heat pipe. Effective surface of flat solar collectors was 6.99 m^2 whereas solar collectors type of heat pipe 6.33 m^2. The data on the selected solar collectors is shown in table 2 and 3.

Table 2.

The data collector Viessmann VITOSOL 200-F [own study program Kolektorek 2.0]

manufacturer or distributor	Viessmann Sp. z o.o.
type	Flat plate collectors
manufacturer - model	Viessmann VITOSOL 200-F 2,3m2
coefficients linear	2.565 [W/m2*K1]
coefficients quadratic	0.02 [W/m2*K2]
optical efficiency	84.4 [%]
the intensity of unit	92 [litr/h]
unit pressure	200 [mbar]
capacity absorber	1.83 [litr]
effective surface	2.33 [m2]
net price	2 975.00 zł

Table 3.

The data collector Viessmann VITOSOL 200-T [own study program Kolektorek 2.0]

manufacturer or distributor	Viessmann Sp. z o.o.
type	Vacuum solar collectors
manufacturer - model	Viessmann VITOSOL 200-T 2,0 m2
coefficients linear	1.62 [W/m2*K1]
coefficients quadratic	0.0068 [W/m2*K2]
optical efficiency	82 [%]
the intensity of unit	180 [litr/h]
unit pressure	5 [mbar]
capacity absorber	4.2 [litr]
effective surface	2.11 [m2]
net price	6 923.00 zł

Figure 4 and 5 present graphs of the efficiency of solar collectors obtained from simulations. Calculations show that the annual average efficiency of flat solar collectors is 44.5%. It is anticipated that the highest efficiency they achieve in October and it will amount to 48.7%. In the case of vacuum collectorsannual average efficiency is 58.8%. Calculations suggest that the highest efficiency is 61.4% and occurs in October.

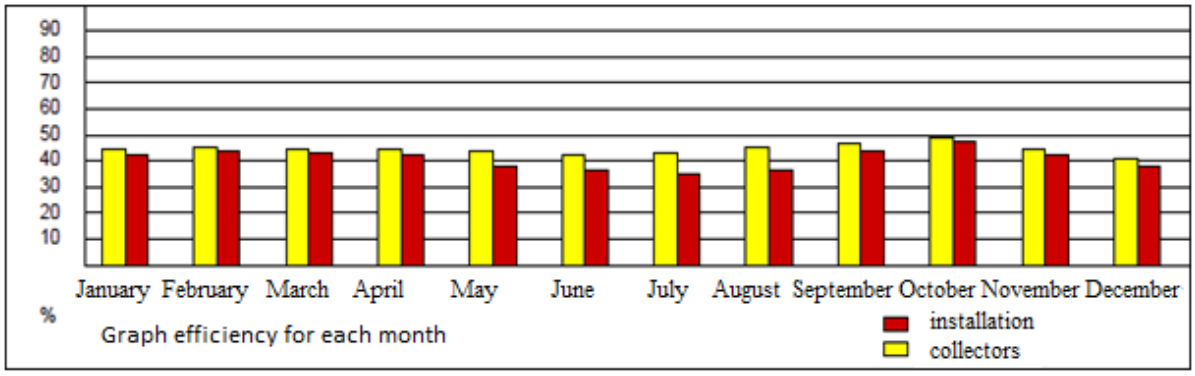


Fig. 4 – Graph efficiency for each month for the flat-plate collectors installation [own research - Kolektorek 2.0]

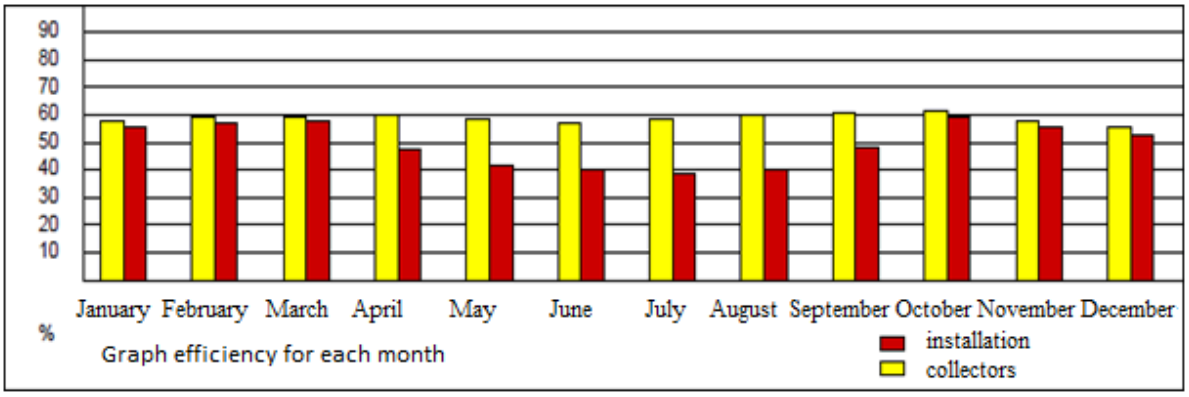


Fig. 5 – Graph efficiency for each month for the vacuum tube collectors installation [own research - Kolektorek 2.0]

In table 4 were collected the results of simulation studies. The annual average efficiency and maximum monthly average efficiency are much higher for vacuum collectors. Calculations show that the minimal average monthly efficiency for both types of collectors is at a similar level. Although the optical efficiency of vacuum tube collectors is lower, they have higher efficiency than flat plate collectors.

Table 4.

Comparison of the efficiency of solar collectors on the basis of the results of simulation studies

Comparison of the efficiency of the collector		
	Flat plate collectors	Vacuum solar collectors (heat pipe)
Average annual efficiency	44,5%	58,8%
Maximum monthly average efficiency	48,7%	61,4%
Minimum monthly average efficiency	40,8%	40,3%
Optical efficiency	84,4%	82,0%

Summary and conclusions

On the basis of analysis conducted in the work, literature studies and own research, can be found that vacuum tube collectors with a single tube are reaching higher efficiency than flat plate collectors. The efficiency of the collector is variable over time and depends on various factors. The more the temperature of collectors increases, the greater are the heat loss and the lower is the efficiency. On the basis of the characteristics of efficiency can be read the typical workspaces of collector. Simulation studies have enabled to analyze the efficiency of collectors throughout the year.

References

1. Gałusza M., Paruch J., Guła A., 2008. Odnawialne i niekonwencjonalne źródła energii : poradnik. Wydawnictwo TARBONUS. Kraków-Tarnobrzeg.
2. Lewandowski W. M., 2006. Proekologiczne odnawialne źródła energii. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa.
3. Nowicki M., 2012. Nadchodzi era słońca. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
4. Smolec W., 2000. Fototermiczna konwersja energii słonecznej. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
5. Tytko R., 2013. Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej. Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce. Kraków.
6. Wolańczyk F., 2011. Jak wykorzystać darowaną energię. Wydawnictwo i Handel Książkami "KaBe". Krosno.
7. Wiśniewski G., Gołębiewski S., Gryciuk M., 2001. Kolektory słoneczne poradnik wykorzystania energii słonecznej. Centralny Ośrodek Informacji Budownictwa. Warszawa.
8. http://www.oze.utp.edu.pl/zseminarium/3.3%20Instalacje%20solarne%20-%20Projektowanie.pdf [dostęp 12.03.2016r.]

Рецензія/Peer review : 10.5.2016 р. Надрукована/Printed : 8.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф.. Параска Г.Б.

UDC 621

W. KRUSZELNICKA, O. MADEJ
University of Science and Technology, Bydgoszcz, Poland

ANALYSIS THE SIZE AND SHAPE OF BIOMASS PARTICLES AFTER GRINDING WITH USING DIGITAL IMAGE PROCESSING

Grinding is one of the most common procedures of processing materials in order to obtain the desired particle size for further processing. It is important, therefore, to obtain a product of sufficient quality and fineness. The evaluation of the effects of the grinding process and obtained geometric parameters of the product can be performed with using sieve analysis and granulometric analysis of particles of the starting material and the final product.

The aim of the study is performing the analysis particle size and shape, using a digital image processing, of cereals grains as corn, millet, rice and sorghum crushed into the multi-roller mill in order to evaluate the quality of the grinding process. The paper presents the assumptions of the analysis of grain size and description of the equipment used during the test. The results of the study are presented in the form of tables and graphs curves of particle size distribution and also microscopic images. The whole discussion was completed summary and conclusions.

Key words: sieve analysis, particles size and shape, digital image processing, biomass particles after grinding

В.КРУШЕЛЬНИЦЬКА, О.МАДЕЙ
Университет науки и технологии, Быдгощ, Польша

АНАЛИЗ РАЗМЕРА И ФОРМЫ ЧАСТИЦ БИОМАССЫ ПОСЛЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Измельчение является одним из наиболее распространенных процедур обработки материалов с целью получения желаемого размера частиц для дальнейшей обработки. Важно, поэтому, чтобы получить продукт, достаточно высокого качества и тонкости помола. Оценка воздействия процесса шлифования и полученных геометрических параметров изделия могут быть выполнены с помощью ситового анализа и гранулометрического анализа частиц исходного материала и конечного продукта.

Цель исследования заключается в проведении анализа размера частиц и формы, с помощью цифровой обработки изображений, злаковых растений зерна как кукуруза, просо, рис и сорго измельченный в многоступенчатую валковой мельнице с целью оценки качества процесса шлифования. В статье представлены допущения анализа размера зерен и описания оборудования, используемого во время испытания. Результаты исследования представлены в виде таблиц и графиков кривых распределения частиц по размерам, а также микроскопических изображений. Вся дискуссия была завершена резюме и выводы.

Ключевые слова: Сито анализ, размер и форма частиц, цифровая обработка изображений, частицы биомассы после измельчения

1. Introduction

Biomass for the purpose of nutritional and energy is subjected to grinding for easier storage and transport (for energy purposes) or for better assimilation of nutrients contained in its structure (nutritional purposes). Some plant species, such as, cereals may be used in the food and energy industry. Depending on the needs, grains are grinded for particles of all sizes. Maintaining appropriate parameters shredding has a huge impact on a product with a suitable quality and fineness. The evaluation of the grinding process in terms of ensuring obtain a fraction of particulate having a desired size can be performed by performing sieve analysis and granulometric analysis of the final grinding product . Figure 1 shows a diagram of application the granulometry in the production process [2,3,4].

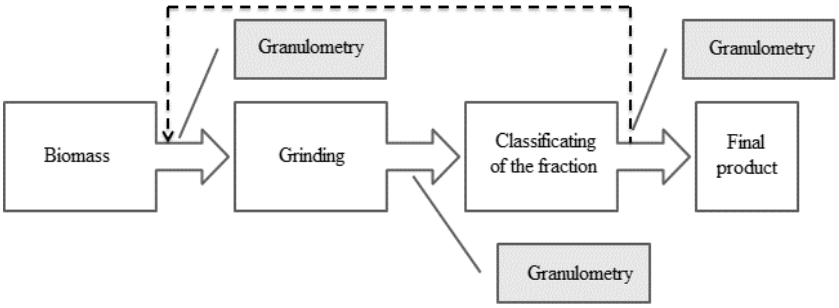


Fig. 1 – Application of the granulometric analysis in the production process [own elaboration]

Bearing in mind the need to perform analysis of the geometric parameters of particles after crushing, the aim of this work is to perform the analysis of particle size and shape, using digital image processing cereal grains: corn, millet, rice and sorghum crushed into multi-roller mill for assessing the quality of the grinding process.

2. The granulometric analysis

Commonly used traditional methods of sieve analysis are best suited to evaluate the relatively homogeneous materials . For materials of complicated uniformity of shape and particle size analysis results may be less reliable because of the occurrence of adverse events [4]:

- agglomeration and sticking of individual particles into larger groups

- adhesion of dust fraction into a fraction of the grains warp of larger diameter.

2.1.Shape analysis

In the analysis of the shape of the particles are mainly used two methods: the descriptive method and mathematical approach. Descriptive method is a method, which is not accurate and the results depend on the subjective assessment of the observer, which means that the same the particles may be classified differently by different researchers. Figure 2 shows the typical names and shapes of the particles in the descriptive method. Another view of the shape of the grains description rearranges Figure 3 [7].

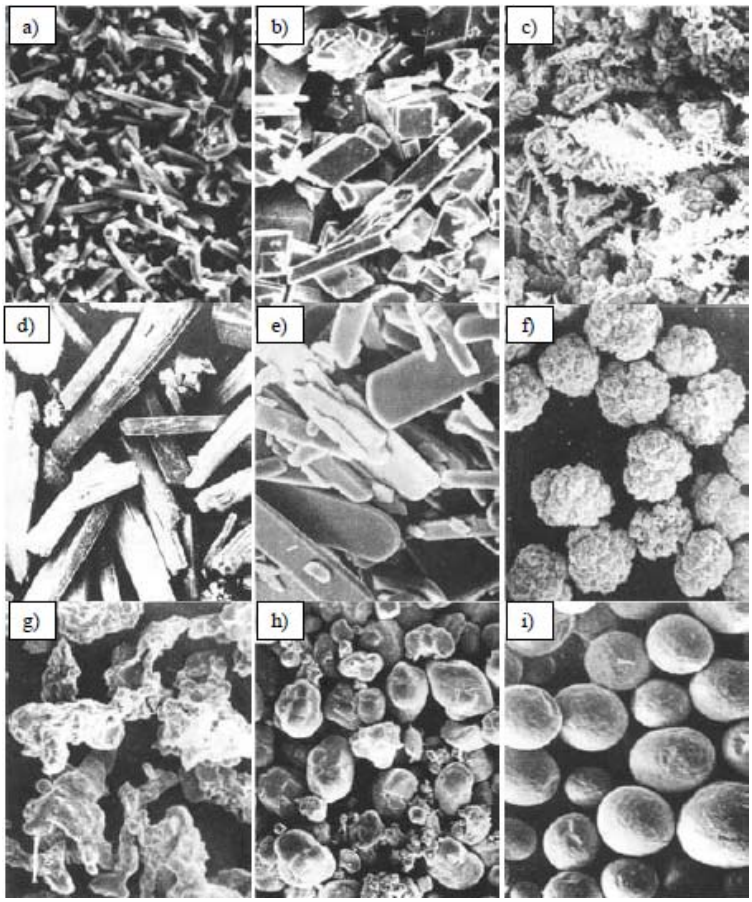


Fig. 2 – The shape of particles: a- needle shaped, b- polyhedral, c- dendritic, d- fibrous, e- patch, f- granular, g- irregular, h- globular, i- spherical [6]

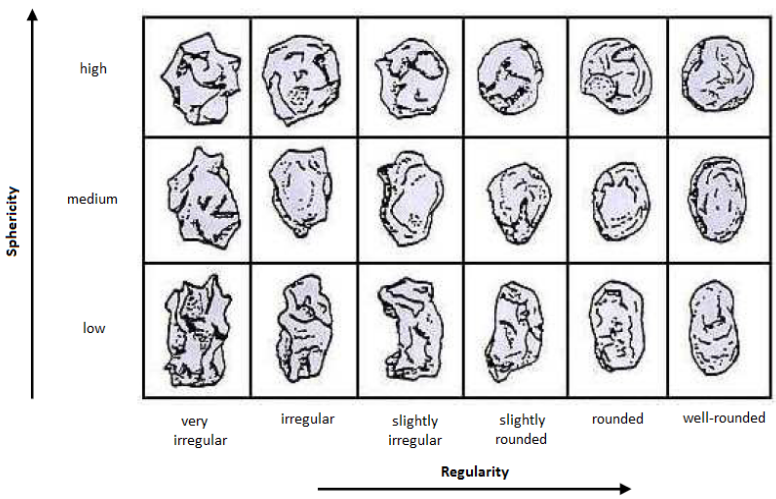


Fig. 3 – Different shapes of particles [8]

Better for shape analysis is mathematical method. Housner suggested the method based on the analysis of the contours of the particles, which is based on the appointment of three parameters [7]:

- rate of elongation,

$$x = \frac{a}{b} \tag{1}$$

where a- length, b- width; if $x=1$, than contour of the particles is a square.

- weight indicator,

$$y = \frac{A}{a \cdot b} \tag{2}$$

where A - the surface area of the particles section; if $y=1$, than contour occupies the entire surface of the rectangle.

- surface indicator.

$$z = \frac{C^2}{12{,}6A} \tag{3}$$

where C - contour circuit; if $z=1$, the examined particle is a sphere.

2.2. Size analysis

Study of the particle size can be performed in many ways and for each of them can get a slightly differing results. Grains, in fact, are characterized by three dimensions: length, width and height. For ease of comparison of the grain size usually introduces in one characteristic dimension - equivalent diameter, which allows observing the changes of technological processes [5,7,9].

Substantially particles of irregular shape equates to the spherical shape, which is most easily described by a single dimension [7]. In terms of the classical, grain diameters can be determined by one of the following formulas [9]:

$$d_1 = b \tag{4}$$

$$d_2 = \frac{a+b}{2} \tag{5}$$

$$d_3 = \frac{a+b+c}{3} \tag{6}$$

$$d_4 = \sqrt{ab} \tag{7}$$

$$d_5 = \sqrt[3]{abc} \tag{8}$$

where a,b,c - dimension of particles;
d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 - average particle size.

The most common in use is equotion (4), because is using in sieve analysis [9].

3. Material and methods

3.1. Tested material

The study involved a samples of four types of cereals: corn, sorghum white, millet and rice. Figure 4 shows a tested grain of cereals.

Sorghum is a plant of the family Poaceae. It occurs in warm climates of the Old World, creating one of the most important cereal crops in these regions. Grain sorghum is mainly used for the production of groats and flour.

Millet is the oldest cultivated plant. Millet grain was ground in order to obtain millet. Rice and corn are considered to be plants with largest acreage globally. The corn is ground for animal feed and for food industry (corn flour). Shredded rice is used to make products such as rice noodles.

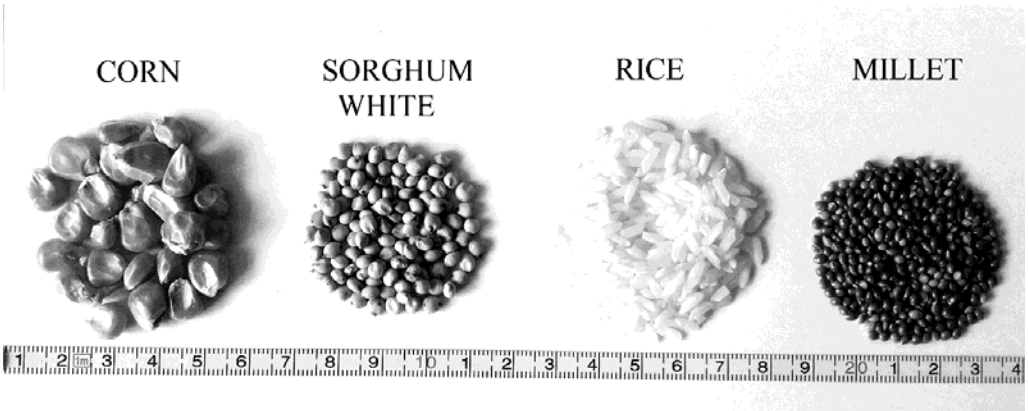


Fig. 4 – Photo of examined cereal grains [phot. W. Kruszelnicka]

3.2. Research equipment

Samples of grain were subjected to grinding at the six-roller mill located in the Research Laboratory of Shredding at the Faculty of Mechanical Engineering UTP in Bydgoszcz.

Six-roller mill, is designed mainly for grinding grain into flour. It is equipped with six rollers with a

diameter of 100 mm each. Efficiency of milling is 30 kg / h, and the engine power of 1.5 kW. Varying degrees of granularity is achieved by adjusting the slots and extendable working chambers. Control of the mill is via PC and dedicated software or manually from the control panel in the mill. Fig. 5 shows a view of the shredder and the screenshot of control software and recording parameters of the shredder [1].

Working unit consists of two rollers, which by performing a rotational movement towards each other, causing seizure of the material in the gap between the working surfaces. On the surfaces of the rollers are grooves of different widths. On the material located between the counter-rotating rollers act mainly forces causing squashing the material.

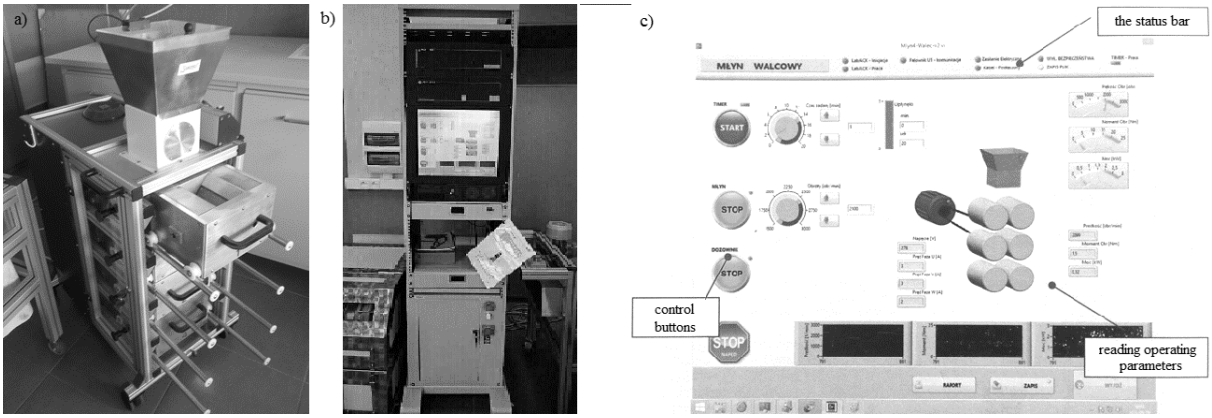


Fig. 5 – Six-roller mill: a – milling unit; b – control panel; c - screenshot of control software and recording parameters of the shredder [phot. W. Kruszelnicka]

The test material was conducted to analize the particle size and shape using a digital image processing. For this purpose, the device CAMSIZER brand Retsch located in the Research Laboratory of Shredding (WIM, UTP), was used.

CAMSIZER is a compact laboratory instrument that allows the simultaneous measurement of particle size and shape of the granules (Fig. 6-a). The unique patented two cameras continuously measures particles in the range of from 30 microns to 30 mm. The fact that all particles are scanned and the machine is equipped with a newly developed algorithms, measuring results are 100% compatible to those of sieve analysis. The device provides a simultaneous analysis of the size, shape, number and density of the particles. The measurement time is very short (2-3 min.), It is characterized by high accuracy and repeatability. It is self-cleaning, wear-free, maintenance-free. Measurements include 60 images from more than 780 000 measuring points (which corresponds to more than 45 million measurement points per second). Compliance with ISO 13322-2: 2006 [1].

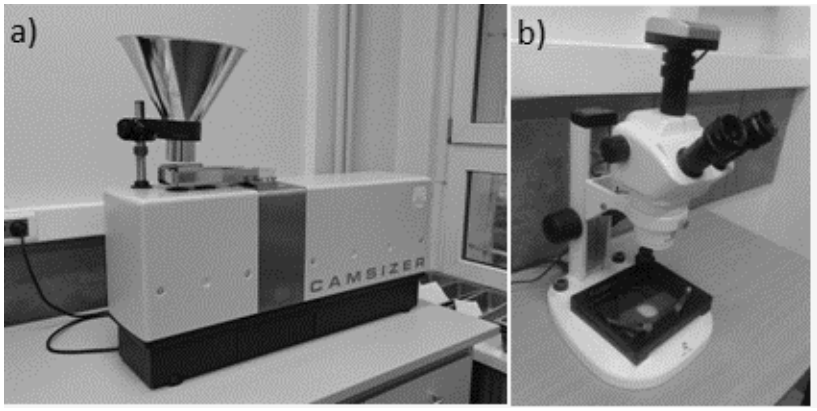


Fig. 6 – Research equipment: a – digital image processing device CAMSIZER for particles shape and size analysis; b – stereoscopic microscope OPTA-TECH; [phot. W. Kruszelnicka]

CAMSIZER operates on the principle of digital image processing. Via a vibratory feeder sample is transported to the measurement field, where moves between an extended light source and two CCD cameras. The flow of particles is recorded at a rate of more than 60 frames per second and analyzed. It is possible to provide simultaneously and at the same very accurate measurement of particles in a wide measuring range (30 microns to 30 mm), without having to switch measuring ranges or make adjustments. With its unique, patented two-camera system achieved great depth of field and maximum accuracy throughout the entire measuring range. The zoom camera provides maximum resolution down to the fine range, while the basic camera also records larger particles and guarantees a high statistical certainty in the results. CAMSIZER characterized by excellent reproducibility of the measurement results even when available is a very small sample of the material. The results are stored in at least 1,000 size classes [1].

After the study the size and shape of the particles using digital image processing, conduct an analysis of all

samples using a stereoscopic microscope OPTA-TECH SN series and high-resolution digital camera with Software OptaView, located in the Research Laboratory Shredding (WIM, UTP) (Fig. 6-b).

Stereoscopic microscope OPTA-TECH SN series has a head zoom range of 0.8X to 5X. The range of magnification possible to achieve by using additional appliances is between 4X - 200X. His wide-field glasses are characterized by adjustable dioptric. It is equipped with a video track to the installation of the camera or digital camera. It has bilateral focus and LED lighting with adjustable intensity, additional LED illuminator with the option of zoning and mechanical stage. Digital camera is characterized by a resolution of 3 megapixels. It has a connection to the computer (interface: high-speed USB 2.0). Colour - 24 bit RGB. Registration movies (resolution / speed) is 640x480 / min at 30 frames / s; 1280x1024 ROI / min. 25 frames / s and 2048x1536 / min. 10 frames / sec, and the exposure - from 0.1 ms to 0.3 s. The white balance is automatic and manual. You can adjust the color components. It is equipped with electronic shutter and integrated measurement functions, such as measuring the length of the section, measure the area and perimeter of the rectangular area, measure the area and perimeter of the circle, measure the area and perimeter of a polygon, angle measurement, counting points. The microscope software has implemented the indicator of focus capture level [1].

3.3. The course of study

Tests were performed for each sample in accordance with the plan shown in Figure 7. The first step was a measuring a humidity ground beans. The samples were then ground on a roller mill with six rolls speed of 3000 rev / min. In the next step, an analysis of moisture content of the particulate material was done, then the analysis of particle size and shape was performed using an CAMSIZER. The shape of the particles were analyzed under a stereoscopic microscope.

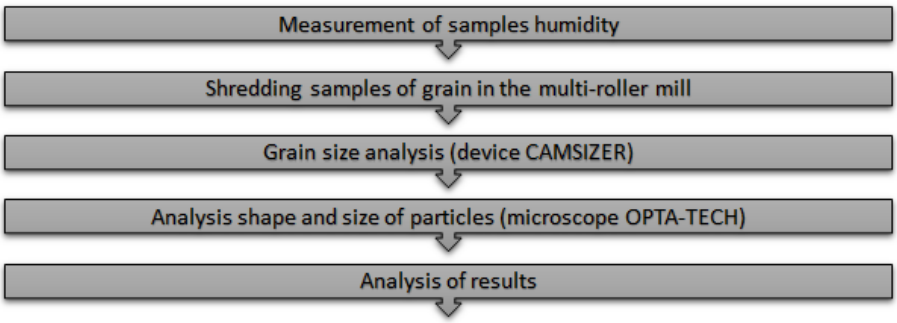


Fig. 7 – The study plan of samples of cereal grains [own work]

4. Results and analysis

The first step of the research was humidity measurement. Table 1 present the results of humidity analysis. Results show, that the highest humidity was characterized by rice (before and after grinding). The lowest humidity before grinding had corn, after grinding white sorghum. Humidity of tested materials increased after grinding.

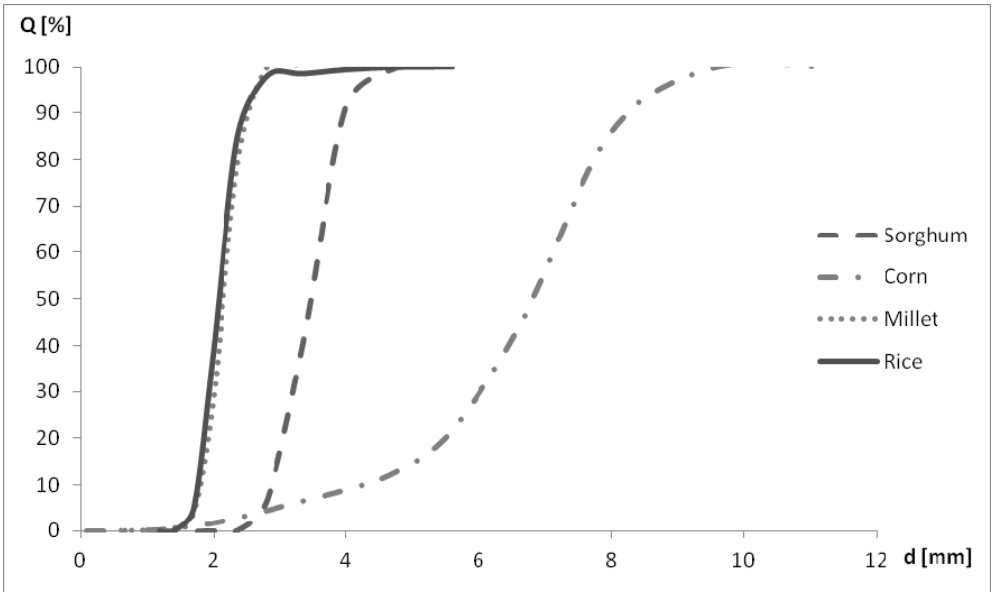


Fig. 8 – Cumulative distribution of particle size distribution of test samples before grinding [Own research]

Table 1

Results of humidity measurements

Name		Humidity [%M]	The mass of milled samples [g]
Sorghum white	Before grinding	10,811	80,71
	Shredded	11,710	
Millet	Before grinding	11,263	58,09
	Shredded	11,909	
Corn	Before grinding	9,378	105,51
	Shredded	12,264	
Rice	Before grinding	13,600	127,83
	Shredded	13,896	

Figure 8 present the chart of particle size distribution of tested cereals grains before grinding. Rice and millet had similar particle size distribution and similar size of particles. The smallest was rice and millet particles, the biggest corn particles.

For rice observed particle size grade from 1,18 mm to 5,6 mm. The highest frequency (45,6%) of appearance have particles from size class in the range of: (2-2,36) mm. The frequency of occurrence of spherical particles in the sample ranged from 0,441 to 0,786.

For white sorghum observed particle size grade from 1,7 mm to 4,75 mm. The highest frequency (50,7%) of appearance have particles from size class in the range of: (3,35-4) mm. The frequency of occurrence of spherical particles in the sample ranged from 0,504 to 0,968.

For millet observed particle size grade from 0,85 mm to 3,35 mm. The highest frequency (50,3%) of appearance have particles from size class in the range of: (2-2,36) mm. The frequency of occurrence of spherical particles in the sample ranged from 0,636 to 0,958.

For corn observed particle size grade from 0,355 mm to 11,2 mm. The highest frequency (39,3%) of appearance have particles from size class in the range of: (6,7-8) mm. The frequency of occurrence of spherical particles in the sample ranged from 0,279 to 0,958.

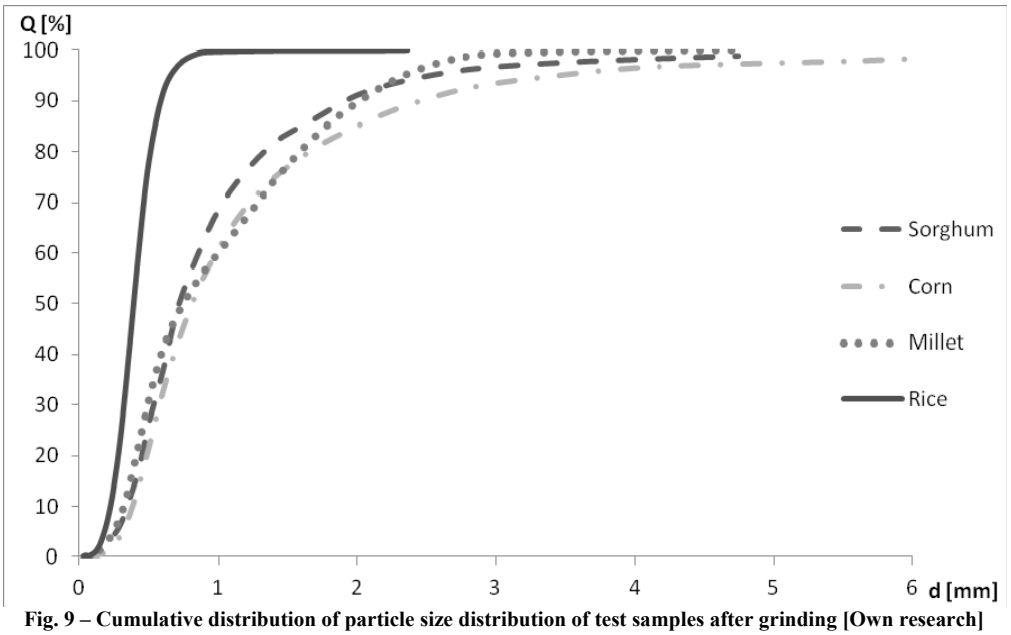


Fig. 9 – Cumulative distribution of particle size distribution of test samples after grinding [Own research]

In the next step grains was milled on a six-roller mill and obtained fractions of grain were tested on CAMSIZER to get information about size and shape of the particles. Figure 9 present the graph of particle size distribution of cereals grains after milling. As the results the largest homogeneity in terms of size of particles after grinding is characterized in rice. For the remaining three types of cereals observed a similar size distribution and a similar annual death toll of particles after grinding. The differences between the particle size distribution of rice and other cereals are dictated by the properties of material to be shredded.

For rice after grinding observed particle size grade from 0,053 mm to 1,4 mm. The highest frequency (20,3%) of appearance have particles from size class in the range of: (0,355-0,425) mm. The frequency of occurrence of spherical particles in the sample ranged from 0,633 to 0,919.

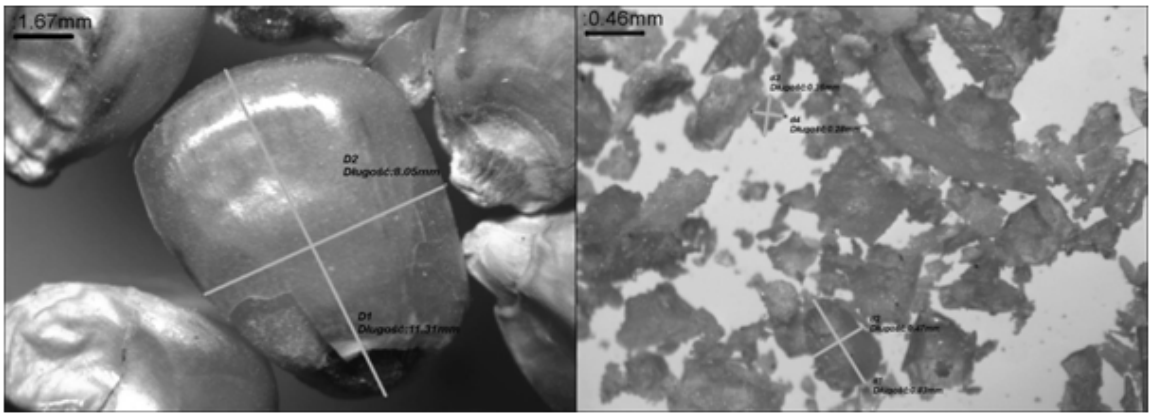
For white sorghum after grinding observed particle size grade from 0,063 mm to 4,75 mm. The highest frequency (12,7%) of appearance have particles from size class in the range of: (0,5-0,6) mm. The frequency of occurrence of spherical particles in the sample ranged from 0,134 to 0,881.

For millet after grinding observed particle size grade from 0,053 mm to 4,75 mm. The highest frequency (10%) of appearance have particles from size class in the range of: (0,5-0,6) mm. The frequency of occurrence of spherical particles in the sample ranged from 0,196 to 0,886.

For corn after grinding observed particle size grade from 0,075 mm to 8,0 mm. The highest frequency (10,9%) of appearance have particles from size class in the range of: (0,5-0,6) mm. The frequency of occurrence of spherical particles in the sample ranged from 0,067 to 0,839.

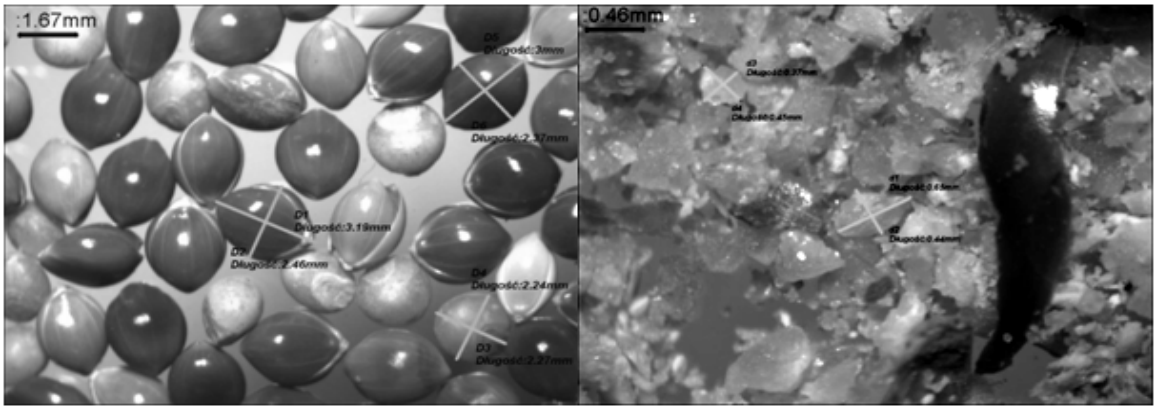
Analysis of shape of particles was also conduct on the stereoscopic microscope OPTA-TECH. Grains before milling are shown on figures: 10-a, 11-a, 12-a and 13-a. For describing the shape of particles before and after grinding the descriptive method was used. Before grinding the shape most similar shape to the spherical had sorghum and millet. Corn grains were well-rounded and had medium sphericity. Rice grains had low sphericity (particles of elongated shape) and were well - rounded.

In the figures 10-b, 11-b, 12-b and 13-b are shown views of the grains after grinding process. For particles of each type of grains observed irregular shape with medium and low sphericity. Particles in all cases have also varied in size, but generally after grinding they have a similar structure.



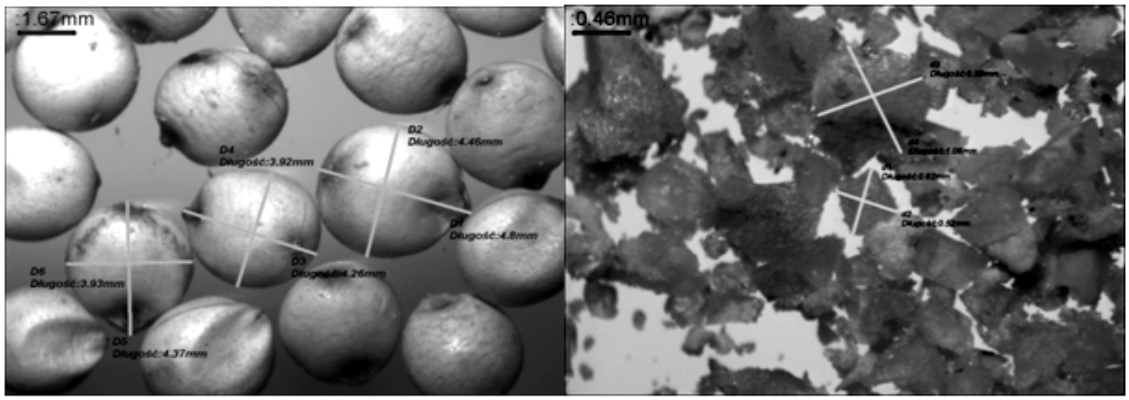
a b

Fig. 10 – Microscopic picture of particles of corn: a- grains before grinding (zoom 15x); b- grains after grinding (zoom 54x) [Own research]



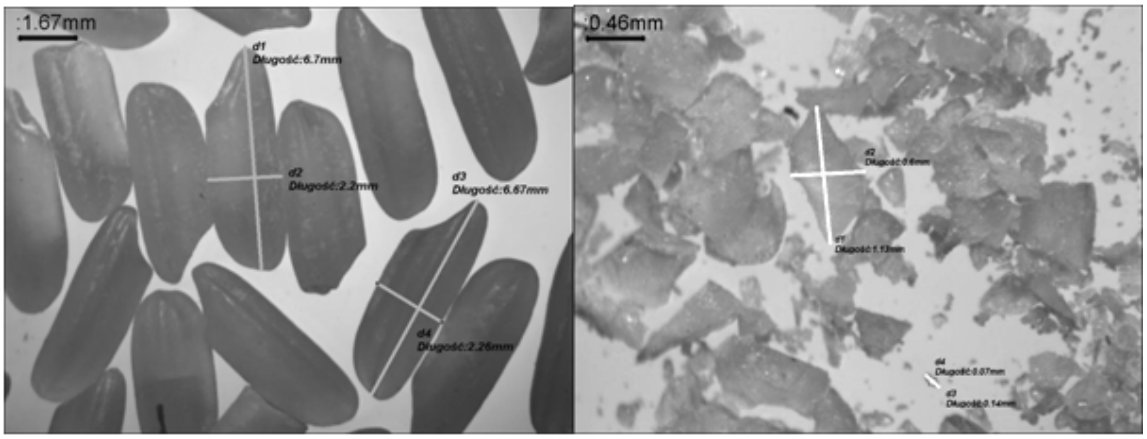
a b

Fig. 11 – Microscopic picture of particles of millet: a- grains before grinding (zoom 15x); b- grains after grinding (zoom 54x) [Own research]



a b

Fig. 12 – Microscopic picture of particles of white sorghum: a- grains before grinding (zoom 15x); b- grains after grinding (zoom 54x) [Own research]



a b

Fig. 13 – Microscopic picture of particles of rice: a- grains before grinding (zoom 15x); b- grains after grinding (zoom 54x) [Own research]

Summary

Knowledge of the particle size distribution is used for recognizing the suitability of grinders and to determine the fineness of the material. Also it allows for the classification of the particles and use only particles of desired size. Knowledge about particle size may help engineers to improve the shredder construction so as to receive the particles of a given size. Based on the obtained results it can be concluded that on the quality of the resulting products crushing the influence have: parameters of the grinding process and the properties of the material to be shredded.

The differences between the particle size distribution of rice and other cereals are dictated by the properties of material to be shredded. Grains of corn, millet and sorghum are covered with scales tougher, tested grains of rice were deprived of scales. The presence of the harder scales is affecting on the grinding process making it difficult to obtain a product of a grinding process with minimal differences between particles size.

References

1. [Online] rozdrabnianie.utp.edu.pl.
2. Falk, J. 2013. *Particle and feeding characteristics of biomass powders. Master thesis.* Umeå, Szwecja : UMEA Uniwersitet, Department of Applied Physics and Electronics, Master of Engineering in Energy Technology.
3. Gawenda, T., i inni. 2006. Sposoby optymalizacji składu ziarnowego i kształtu ziaren kruszyw mineralnych w produktach kruszarek szczękowych. *Górnictwo i Geoinżynieria.* Vol.30, z. 3/1, str. 109-124.
4. Holtzer, M., Dańko, R. i Skrzyński, M. 2012. Badanie skuteczności klasyfikacji w oparciu o wykorzystanie metody laserowego pomiaru wielkości ziaren. *Archives of Foundry Engeneering.* Vol. 12, Special Iss. 1/2012, str. 63-68.
5. Malewski, J. 2014. Kształt ziarn w produktach rozdrabniania. *Kruszywa.* nr 3, str.52-56.
6. PN-EN ISO 3252:2002 Metalurgia proszków - Słownictwo.
7. Rakowska, J., Radwan, K. i Ślosorz, Z. 2012. Problemy oceny wielkości i kształtu ziaren materiałów sypkich. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*, nr. 3, str. 59-64.
8. Rawle, A. 2000. Podstawowe pojęcia z dziedziny analizy ziarnistości. Cz. 1. *LAB.*, nr 5, str. 22-26.
9. Sadkiewicz, J., Flizikowski, J. i Piasecka, I. 2015. Analiza granulometryczna próbek mąki graham. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna.* Vol. 54, nr. 5, str. 281-282.

Рецензія/Peer review : 1.6.2016 р. Надрукована/Printed : 8.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф.. Параска Г.Б.

УДК 521.1:523.2:523.6:523.9:524.6:524.8:532.5.01:534.1:621.891

Ю.П. ЗАСПА
Хмельницький національний університет

КОНТАКТНЕ ДИНАМО ЯК ГЕНЕРАТОР КОГЕРЕНТНИХ КОСМІЧНИХ ФОРМ РУХУ ТА ДЖЕРЕЛО ПЛАНЕТАРНОЇ, СОНЯЧНОЇ, ГАЛАКТИЧНОЇ І МЕТАГАЛАКТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ. ЧАСТИНА IV

На основі запропонованої моделі космічного контактного динамо розглянуті фізичні механізми часової перемінності різномасштабних космічних об'єктів: пульсарів, цефеїд, активних галактичних ядер, джерел гамма-сплесків, барстерів. Показано, що густина ядер пульсарів значно нижча за відомі теоретичні значення для моделей замагнічених нейтронних зір, що свідчить про хибність концепції існування нейтронних зір, як таких. Встановлено, що пульсаційна стала цефеїд залежить від їх структурних параметрів, а також від порядкового індексу пульсацій, що ставить під сумнів широке використання цих об'єктів у якості "стандартних свіч" при вимірюванні космічних відстаней. Контактні механізми перемінності галактичних об'єктів з активними ядрами (квазарів, блазарів, сейфертівських галактик та ін.) не потребують штучних теоретичних конструкцій у вигляді центральних чорних дір. Це також відноситься до джерел гамма-сплесків та барстерів. Показано, що контактна генерація релятивістських джетів, а також нерелятивістських струменів (в об'єктах Гербіг-Гаро) йде за рахунок вивільнення внутрішньої електромагнітної енергії металізованого водню, запасеної в активних ядрах відповідних космічних систем на початковому етапі гравітаційного колапсу. Ця ж енергія вивільняється при катастрофічному розширенні (а не при вторинному колапсі) ядер нових та наднових зір, що прямо суперечить існуючим уявленням про спалахи цих зір. Відмічено, що відомі спектри випромінювання більшості космічних об'єктів пояснюються властивостями квазідвовимірної контактно-наведеної та тривимірної спіральної турбулентності, які відзначаються оберненим каскадом енергії при прямому каскаді енстрофії (спіральності). При цьому немонотонність спектрів космічної турбулентності обумовлена контактною генерацією когерентних структур руху. Критично проаналізовано існуюче космологічне тлумачення червоного зміщення у спектрах далеких галактик та наднових зір. Показано, що таке зміщення в дійсності обумовлене резонансним розсіянням світла на частинках космічного пилу, що супроводжується поверхневою трансформацією світлових хвиль в червону частину спектру. Це вказує на хибність відомих теорій космологічної сингулярності (Великого Вибуху) та прискореного розширення Всесвіту. Відмічено, що неврахування істотного запасу внутрішньої електромагнітної енергії металізованого водню в енергетичному балансі космічних систем стало фатальною помилкою існуючої астрофізики, яка врешті скотилась до містичних понять чорної матерії та темної енергії, закладених в основу стандартних астрофізичних та космологічних моделей.

Ключові слова: контактне динамо, космічна система, енергія, металічний водень, активні галактичні ядра, пульсари, цефеїди, гамма-сплески, барстери, релятивістські джети, турбулентність, червоне зміщення, космологічна сингулярність.

YU. P. ZASPA
Khmelnytsky National University

CONTACT DYNAMO AS A GENERATOR OF THE COHERENT SPACE FORMS OF MOTION AND A SOURCE OF THE PLANETARY, SOLAR, GALACTIC, AND METAGALACTIC ENERGY. PART IV

Basing on the model of space contact dynamo the physical mechanisms of time variableness of multiscale space objects: pulsars, Cepheid, active galactic cores, gamma-ray burst sources, bursters. It is revealed that the density of pulsars cores is much lower than well-known theoretical values for magnetized neutron stars models that shows the fallacy of the concept of the neutron stars existence. It is found, that pulsating Cepheid constant depends on their structural parameters and also on the sequence of pulsations index, which casts doubt on the widespread use of these facilities as "standard candles" for cosmic distances measuring. Contact mechanisms of the variableness of galactic objects with active cores (quasars, Blazar, Seyfert galaxies, etc.). do not need any artificial theoretical constructs like central black holes. This also belonges to the sources of gamma-ray bursts and bursters. It is shown that the contact in relativistic jets generation and non-relativistic jets (in the Herbih-Garo objects) is due to release of the metallic hydrogen internal energy stored in the active cores of the relevant space systems at the initial stage of gravitational collapse. Equal energy releases during the catastrophic expansion (not the secondary collapse) of the cores of new and supernovae stars that directly contradicts existing ideas about the flashes of such stars. It is noted, that the well-known emission spectra of the majority of cosmic objects is explained by the properties of two-dimensional contact-induced and three-dimensional spiral turbulence that are marked for the inverse energy cascade in the direct cascade enstrophy (helicity). This nonmonotonous of the cosmic turbulence spectra is caused by the contact generation of the coherent movement structures. The existing cosmological interpretation of the red shift in the spectra of distant galaxies and supernovae stars is critically analysed. It is explained that such bias actually caused by the light scattering resonance on particles of cosmic dust, accompanied by superficial transformation of light waves into the red part of the spectrum. This points to the fallacy of the well-known theories of cosmological singularity (Big Bang) and the accelerated expansion of the Universe. It is marked that the neglection of substantial reserve of the internal electromagnetic metallic hydrogen energy in the energy balance of the space systems was a fatal mistake in the existing astrophysics that eventually came to mystical concepts of dark matter and dark energy underlying in the basis of the standard astrophysical and cosmological models.

Key words: contact dynamo, space system, energy, metal hydrogen, active space cores, pulsars, Cepheid, bursters, relativistic jets, turbulence, redshift, the cosmological singularity.

Вступ

Розрахунок зоряної еволюції на основі моделі ідеального газу став фатальною помилкою класичної астрофізики, що усунула з її поля зору основне джерело енергії більшості космічних систем – внутрішню

електромагнітну енергію металізованого водню в ядрах цих систем, стиснутих гравітаційним колапсом на початковій стадії еволюції [1]. Ця помилка не була випадковою, оскільки виросла на підготовленому ґрунті найбільшої містифікації в історії фізики – загальної теорії відносності Ейнштейна [2]. Остання, перетворена врешті в релігію, є основою сучасної "нової фізики", зацикленої на сингулярностях, чорних дірах та темній енергії – поняттях, що не піддаються спостереженню, однак, спекуляція якими регулярно приносить Нобелівські дивіденди [3–8]. Оскільки така астрофізика (і така ж космологія [9–13]) не здатна пояснити бодай сонячну активність [1, 2], то в питаннях галактичного і метагалактичного масштабів політ її фантазії досягає апогею, породжуючи Великий Вибух, Інфляцію, Прискорене Розширення Всесвіту та Чорну Матерію з Темною Енергією, що цим заправляють [9–13]. Не зупиняючись на таких казочках космологічного характеру, розберемо спочатку відомі астрофізичні фантазії щодо нейтронних зір в образі пульсарів [14–18], або ж чорних дір в ролі генераторів релятивістських струменів (джетів) [19–22], а також подібні уявлення про квазари, блазари, гамма-сплески, барстери, цефеїди та інші космічні об'єкти з активними ядрами, адекватне описання яких неможливе без розуміння механізмів космічного контактного динамо.

Пульсари

Відкриття нейтрона Чедвіком у 1932 р. справило неабияке враження на швейцарських астрономів Бааде та Цвіккі, котрі одразу запропонували світові концепцію нейтронних зір небаченої густини [16, 18]. Ця концепція, сприйнята спочатку саркастично [18], дістала сильну підтримку тогочасної астрофізики, вихованої в дусі Ейнштейнівського релятивізму та Шварцшильдових колапсів [10]. Перша експериментальна реєстрація радіопульсарів у 1967 р. одразу [14] і надовго [15–17] була взята на озброєння теоретиками замагнічених нейтронних зір. За півстоліття, що пройшло з того часу, цим теоретикам так і не вдалось домовитись про фізику пульсарів, розділяючи останні, наприклад, на "нормальні" радіопульсари та аномальні рентгенівські пульсари (AXP) [16, 17]. За останніми, як і за втаємниченими джерелами м'яких гамма-сплесків (SGR), на думку астрофізиків сучасності, приховуються магнітари – відносно молоді нейтронні зорі із надсильними магнітними полями $\left(B \geq 10^{14}\,\text{Гс}\right)$ [16].

З точки зору космічного контактного динамо все виглядає геть по іншому: змінне в часі випромінювання пульсарів широкого діапазону електромагнітного спектру генерується в контактних зонах об'єктів з активними ядрами. Орієнтація цих зон в Абсолютному просторі зберігається на протязі багатьох обертів внутрішнього ядра системи, що дозволяє нам регулярно спостерігати випромінювання тих пульсарів, зони контакту в яких "дивляться" на Землю. Довготривала стабільність частоти пульсацій забезпечується синхронною (з обертанням) прецесією внутрішнього ядра системи. Періоди пульсацій задаються виразами для *m*-*n*-мод космічного контактного динамо [2]:

$$T_{m,i} = \frac{4\pi^2 R}{NH} \cdot \frac{m}{i_m}, \quad m, i_m = 1,2,3\ldots \tag{1}$$

$$T_{n,i} = \frac{4\pi^2 R}{NH} \cdot \frac{n-1/2}{i_n}, \qquad n, i_n = 1,2,3\ldots \tag{2}$$

Тут R − радіус ядра, H − товщина оболонки, m, n − поперечні модові індекси, i_m, i_n – поздовжні індекси, N – еквівалентна частота плавучості:

$$N = 2\pi \cdot \left(g/8h\right)^{1/2}, \tag{3}$$

де g – напруженість гравітаційного поля в зоні контактного розриву, h – висота нормальних контактних коливань [2], яка в даному випадку спрощено вважається однаковою для просторових зон контакту, що відповідають *m*- та *n*- модам (випромінювання, тим не менш, генерується переважно в локалізованій зоні *n*-моди контактної взаємодії [2]). Умова синхронізації мод приводить до обмеження :

$$\frac{m}{i_m} = \frac{n-1/2}{i_n} = \frac{1}{2} \cdot k^{-1}, \quad k = 1,2,3\ldots, \tag{4}$$

яке визначає період пульсацій k -го порядку:

$$T_{m-n}^{k} = \frac{2\pi R}{H} \cdot \left(\frac{2h}{g}\right)^{1/2} \cdot k^{-1}, \; k = 1,2,3\ldots. \tag{5}$$

Напруженість гравітаційного поля на контактній поверхні представимо у вигляді:

$$g = \frac{4}{3}\pi R \cdot G < \rho >, \tag{6}$$

де G − стала всесвітнього тяжіння, $< \rho >$ − середня густина ядра, що дає:

$$T_{m-n}^{k} = \left(\frac{6\pi h \cdot R}{G \cdot < \rho >}\right)^{1/2} \cdot H^{-1} \cdot k^{-1}, \; k = 1,2,3\ldots. \tag{7}$$

З останнього виразу отримуємо оцінку середньої густини ядра через період пульсацій $T_{m-n}^{k=1}$ першого порядку:

$$< \rho >= \frac{6\pi \cdot \left(hR / H^2 \right)}{G \cdot \left(T_{m-n}^{k=1} \right)^2} . \quad (8)$$

Як видно , максимальна густина ядра характерна для короткоперіодичних пульсарів. В такому випадку ядро, що швидко обертається, значно менше за оболонку, тому виконуються умови:

$$hR / H^2 << 1 , \quad (9)$$

$$< \rho >\ll \frac{6\pi}{G \cdot \left(T_{m-n}^{k=1} \right)^2} . \quad (10)$$

Для відомих пульсарів при $T_{m-n}^{k=1}$ >1,3 мсек [16]

$$< \rho >\ll 2 \cdot 10^{17} \text{ кг/м}^3. \quad (11)$$

Отже, за нашими оцінками, середня густина ядер пульсарів значно нижча за “необхідні” [14–17] величини у відомих теоріях пульсарів як замагнічених нейтронних зір. Характерне збільшення періодів пульсацій радіопульсарів згідно (7) пов'язане зі збільшенням радіуса ядра внаслідок його декомпресії в результаті контактно-наведених фазових переходів водню, або ж зі зменшенням товщини оболонки. Як відомо, у ”класичних” теоріях це збільшення періоду пульсацій пов'язують із сповільненням обертання ядра внаслідок енергетичних втрат [14–17]. Таке пояснення втрачає силу у тому реальному [9] випадку, коли період пульсацій зменшується внаслідок, наприклад, потовщення оболонки.

Вирази (7)–(8) залишаються справедливими і для “аномальних” рентгенівських пульсарів з великими періодами і, відповідно, великими ядрами відносно низької середньої густини.

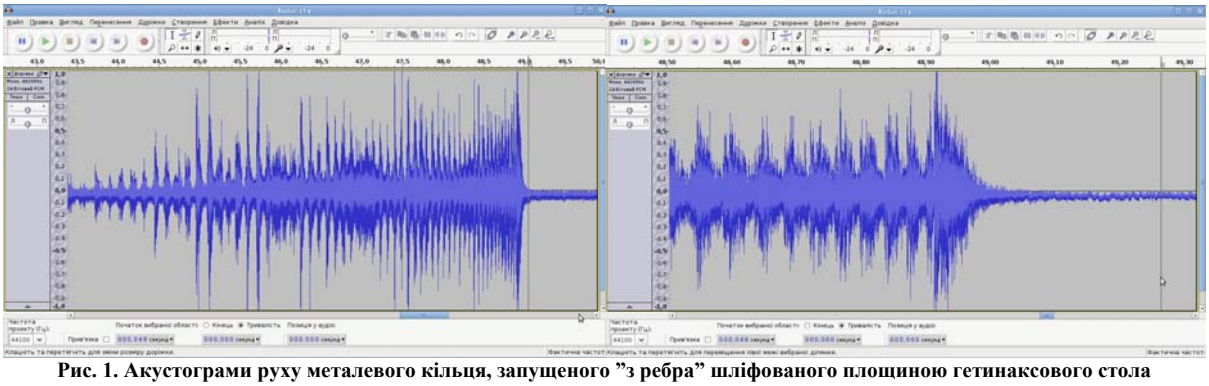


Рис. 1. Акустограми руху металевого кільця, запущеного ”з ребра” шліфованого площиною гетинаксового стола

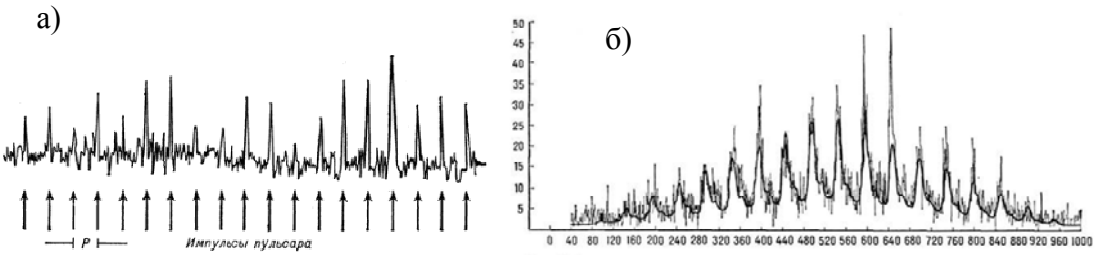


Рис. 2. Випромінювання радіопульсара (а) та рентгенівського пульсара (б) [9, 23]

На рис. 1 наведені акустограми руху металевої обручки діаметром 22 мм, запущеної ”з ребра” площиною стола, що можуть розглядатись як технічна ілюстрація до тематики пульсарів. Зокрема, на цих акустограмах (рис. 1б) присутні субімпульси ударного характеру, вельми характерні і для пульсарів [9, 23, 24] – рис. 2.

Гамма-сплески та барстери

Ці астрофізичні об’єкти, що становлять значні труднощі для сучасної астрофізики [9, 13, 16, 17], мають ту ж контактну природу, що й пульсари, однак їх аперіодичність (сплески) або ж ”погана” періодичність (барстери) пов’язані з гіршим рівнем когерентності системи, що виявляється в епізодичному переході до жорсткої контактної взаємодії ударного характеру. Інший сценарій – передусім для барстерів – циклічний вихід діаграми направленості контактно-наведеного випромінювання з земного поля зору внаслідок впливу довгоперіодичних процесійних мод руху внутрішнього ядра системи.

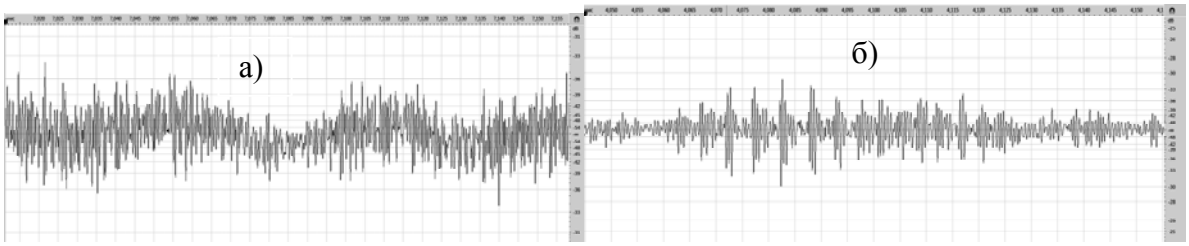


Рис. 3. Акустограми руху кульки підшипника площиною стола в умовах домінування *m*-моди (а) та *n*-моди (б) руху

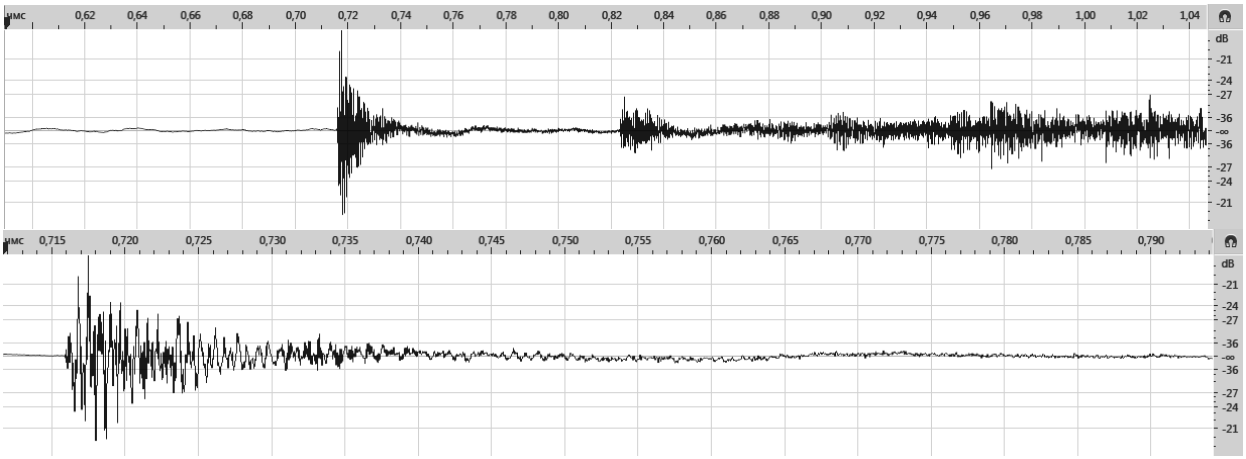


Рис. 4. Різномасштабні акустограми акустичних сплесків, що супроводжують вкидання кульки підшипника на площину дзеркала

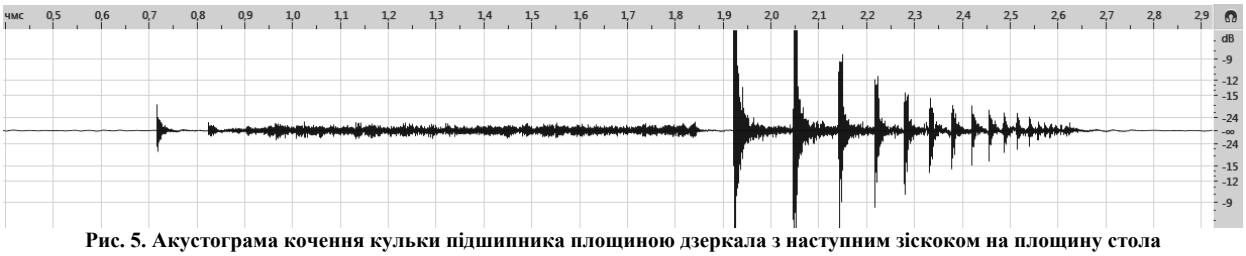


Рис. 5. Акустограма кочення кульки підшипника площиною дзеркала з наступним зіскоком на площину стола

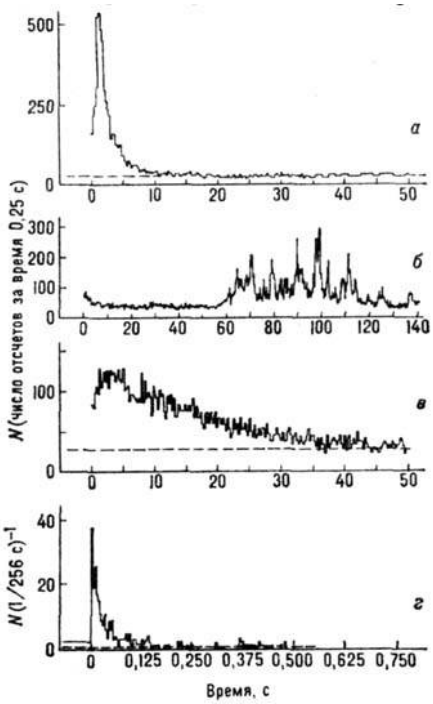


Рис. 6. Типи спостережуваних гамма-сплесків [9]

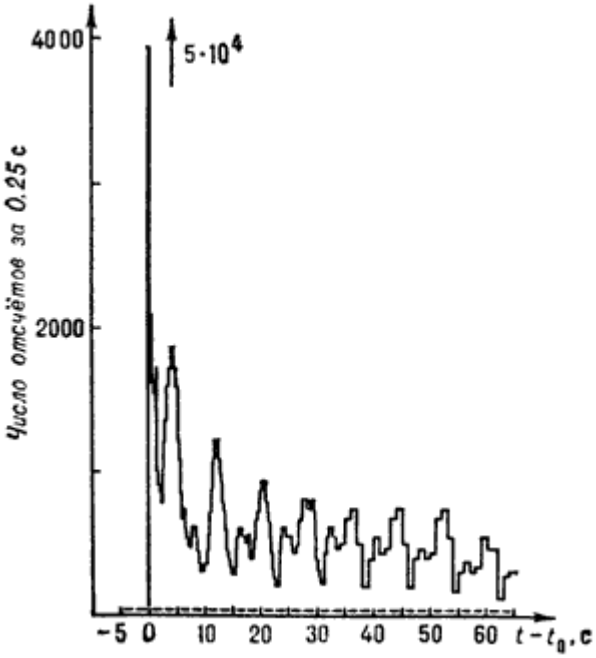


Рис. 7. Часовий профіль одного із гамма-сплесків [25]

На рис. 3 в якості технічної ілюстрації наведені акустограми кочення кульки підшипника діаметром 12 мм шліфованою площиною гетинаксового стола для двох випадків: з домінуванням ”м’якої” *m*-моди руху (рис. 3а) та домінуванням ”жорсткої” *n*-моди руху (рис. 3б). Як видно, у другому випадку спостерігаються

характерні акустичні сплески, пов’язані з епізодичною втратою контакту при підскоках, що завершуються мікроударами. Подібні акустичні сплески супроводжують також початковий контакт при вкиданні кульки на площину стола (рис. 4), а також після її зіскоку на стіл з попереднім рухом площиною дзеркала (рис. 5). Як видно, інтенсивність контактної взаємодії, що відображена рівнем звуку, значно посилюється при переході від ”спокійного” до ”ударного” кочення.

Квазіперіодична, або ж епізодична втрата когерентності відносного контактного руху в об'єктах з активними ядрами, що характеризуються як джерела гамма-сплесків та барстери, дає цілком аналогічну картину, однак вже не в акустичному, а в жорсткому електромагнітному діапазоні хвиль – рис. 6–8. Виражена дублентність гамма-сплеску на рис. 7 пов'язана з охоплюючим характером контакту ядро-оболонка, що при домінуванні ”жорсткої” *n*-моди пояснює також явну асиметрію дублетів. Присутність слабшої *m*-моди руху фактично проявляє другий порядок $(k = 2)$ періодів у виразі (5).

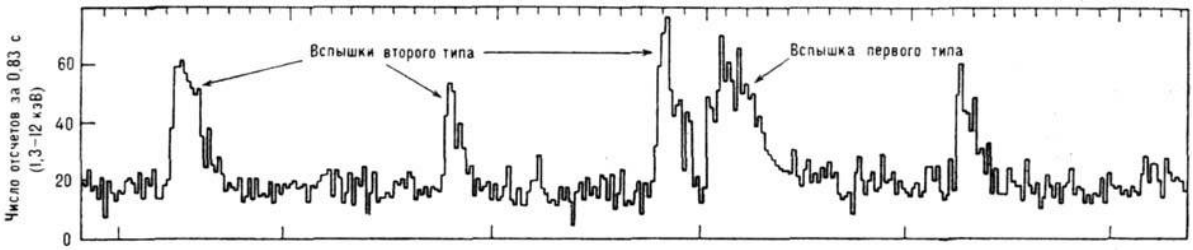


Рис. 8. Серія спалахів ”швидкого” барстера MXB 1730-335 [9]

Цефеїди

Відомі теорії пульсацій цефеїд [9, 26] не менш суперечливі, ніж відомі теорії пульсарів, гамма-сплесків та барстерів. У нашому випадку періоди пульсацій цефеїд задаються тими ж співвідношеннями (7) – (8), однак за умови великого розміру пульсацій $(h \sim H)$ у відносно тонкій оболонці $(H \ll R)$:

$$h \cdot R / H^2 \gg 1 . \tag{12}$$

Ця умова при значних періодах пульсацій цефеїд (рис. 9), все ж приводить до значно нижчих, ніж у пульсарів, середніх густин ядра $< \rho >$. В пульсаціях деяких цефеїд добре помітні періоди другого порядку $(k = 2)$ − рис. 9.

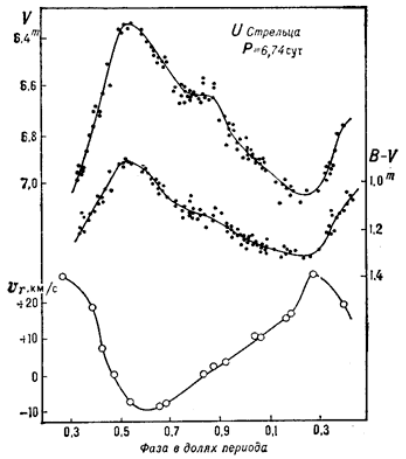


Рис. 9. Криві блиску в жовтих променях (V), показники кольору (B-V) та значення променевої швидкості (υ_r) класичної цефеїди U Стрільця з періодом 6,74 діб [26]

Із виразу (7) отримуємо:

$$T_{m-n}^{k} \cdot (< \rho >)^{1/2} = \left(\frac{6\pi}{G}\right)^{1/2} \cdot \frac{(hR)^{1/2}}{H} \cdot k^{-1} = Q , \tag{13}$$

де Q − т.з. пульсаційна стала [26], що, як видно, суттєво залежить від структурних параметрів цефеїд, а також від порядкового індексу *k*. Це ставить під сумнів широке використання цефеїд у якості ”стандартних свіч” з метою вимірювання космічних відстаней [9, 26].

Когерентні структури руху в атмосфері Спокійного Сонця

Вищенаведені вирази (5), (7) для періодів *m-n*- мод контактного динамо, отримані в рамках гідродинамічної моделі когерентної контактної взаємодії [2], мають досить широке застосування (у т.ч. – в

технічних контактних системах). Зокрема, розраховані параметри пульсацій цефеїд у вузькому поверхневому шарі цілком аналогічні пульсаціям нашого Сонця, вираженим, однак, значно слабше, що й виправдовує його характеристику як Спокійного Сонця (Quiet Sun). Цей спокій сонячної периферії, звичайно, вельми порушують непрохані "гості із центру", що безнадійно застрягають на поверхні Сонця у вигляді плям в очікуванні неминучої і катастрофічної зміни своєї топології [2]. Щодо глобальних пульсацій саме Спокійного Сонця, то їх характерні періоди можуть бути розраховані за виразами (5) при $R = R_S = 7 \cdot 10^8$ м (радіус Сонця), $g = 2,7 \cdot 10^2$ м/с^2 (напруженість гравітаційного поля на поверхні Сонця [9]) та у наближенні $H \approx h \sim 300 \div 2000$ км (характерні товщини фотосфери та хромосфери [9]), що дає:

$$T_{m-n}^{k} \approx (3 \div 8) \cdot k^{-1}, \text{ діб}; \; k = 1,2,3... \tag{14}$$

Ця оцінка добре узгоджується з періодограмами вимушених коливань напруженості магнітного поля сонячних плям (рис. 10), а також із результатами спектрального аналізу доплерограм надграну ляції Сонця (рис. 11). Зареєстровані геліосейсмологами глобальні інерційні хвилі у верхніх шарах конвективної зони з характерними періодами 6–9 діб, [29], судячи з усього, когерентно пов'язані з розрахованими тут глобальними довгоперіодичними коливаннями фотосфери та хромосфери Сонця. Щодо відомих короткоперіодичних локальних коливань у когерентних структурах сонячної грануляції, мезо- та надграну ляції, то відповідні періоди також можуть бути розраховані за формулою (5) – з тією різницею, що у якості радіуса резонатора R тут слід взяти не R_S, а, відповідно, характерні радіуси комірок грануляції, мезо- і надграну ляції. У першому випадку при $R_g \approx 0,5 \div 0,7$ Мм, $H \approx h \approx 300$ км з (5) отримуємо характерні періоди пульсацій на масштабах грануляції:

$$T_{m-n}^{k} \approx (500 \div 700) \cdot k^{-1}, \text{ сек}; \; k = 1,2,3...\,, \tag{15}$$

а також при $R_{sg} \approx 15 \div 20$ Мм, $H \approx h \approx 2000$ км – на масштабах надграну ляції:

$$T_{m-n}^{k} \approx (100 \div 130) \cdot k^{-1}, \text{ хвилин}; \; k = 1,2,3... \tag{16}$$

Отримані оцінки добре узгоджуються з відомими даними [30, 31]. Зауважимо, що при високих порядкових індексах $(k \gg 1)$ періоди пульсацій структур надграну ляції (16) опускаються до величин, характерних для структур грануляції (15) та мезогрануляції, що забезпечує часовий зв'язок когерентних структур руху різного просторового масштабу у сонячній атмосфері. Це вельми характерно для контактно-наведеної космічної турбулентності [1, 2, 32]. Осцилограми змінності поверхневої мозаїки Сонця (рис. 12) у цьому розумінні цілком аналогічні акустограмам контактної взаємодії у звичайних технічних системах [33, 34].

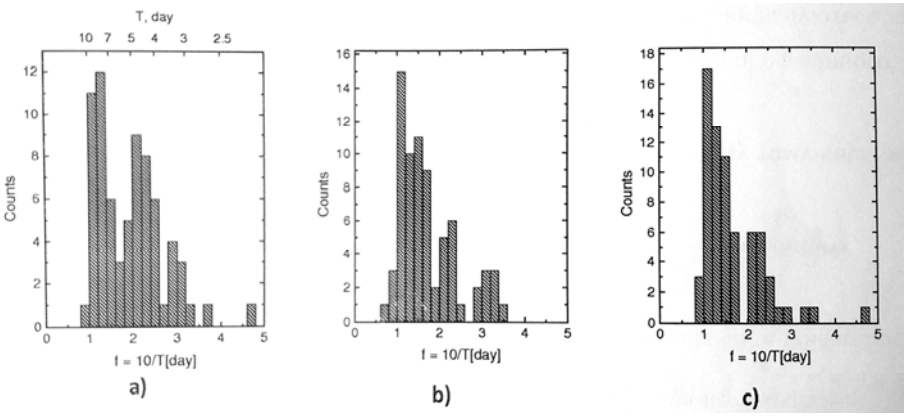


Рис. 10. Спектри різних мод коливань сонячних плям за космічними SOHO MDI-даними: a) − коливання напруженості магнітного поля, b) − широтні коливання, c) − довготні коливання [27]

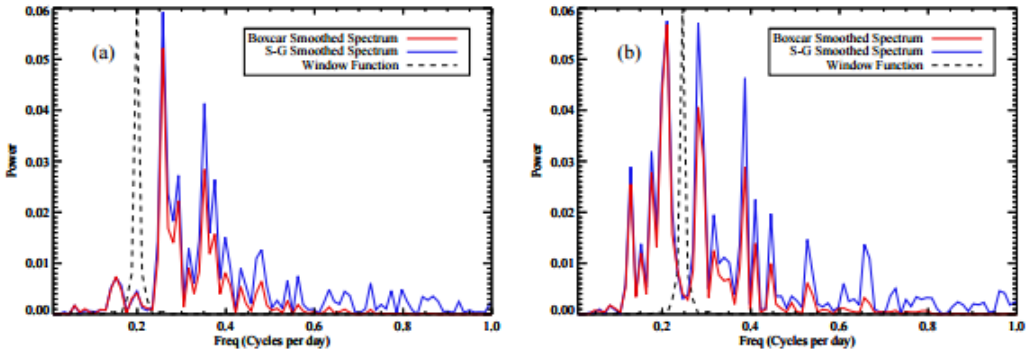


Рис. 11. Спектри доплерограм надграну ляції Сонця [28]

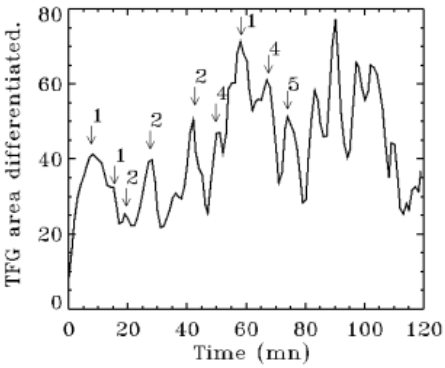


Рис. 12. Часова змінність поверхневої мозаїки Сонця [37]

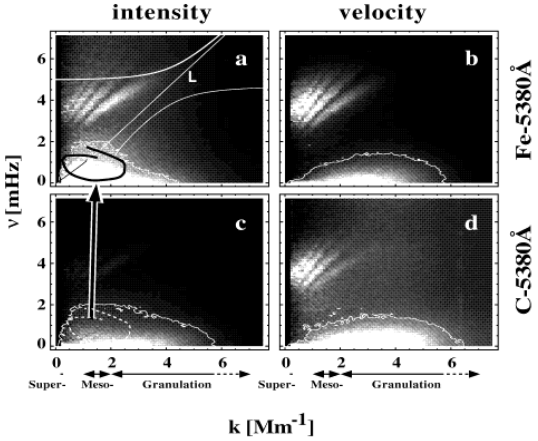


Рис. 13. k-ν-спектри сонячної фотосфери [35]

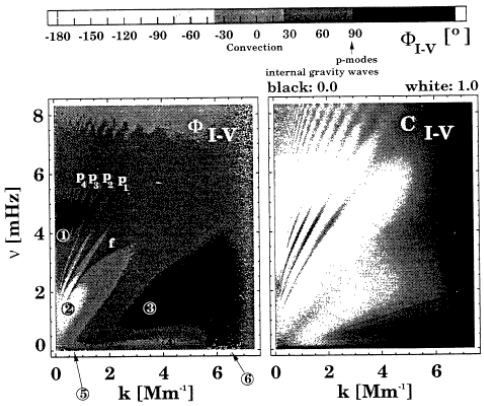


Рис. 14. k-ν-спектр сонячної фотосфери та відповідна карта когерентності [36]

Слід відмітити також, що між довжиною контактно-наведених гравітаційних хвиль у сонячній атмосфері λ та радіусом R комірки-резонатора існує зв'язок двох видів [2, 32]:

$$2\pi R = i \cdot \lambda_i / 2\ ,\ i = 1, 2, 3... \text{ − короткі хвилі,} \tag{17}$$

$$\lambda_i = 2\pi R \cdot j\ ,\ j = 1, 2, 3... \text{ − довгі хвилі.} \tag{18}$$

Як видно, для коротких хвиль при низьких значеннях i, а для довгих – при всіх значеннях j, довжина хвилі значно перевищує радіус комірки. Це пояснює, зокрема, плутанину з масштабами при аналізі результатів космічних даних в роботах [35, 36], коли грануляції приписується діапазон хвильових чисел, що на порядок перевищує реальні дані, помилково віднесені на рахунок мезогрануляції – рис. 13. При цьому характерний кластер контактно-наведених когерентних структур руху у фотосфері Сонця (позиція 2 на рис. 14) по суті заміщується ”антагоністичними” по фазі коливань ділянками великих хвильових чисел (позиції 3, 6 на рис. 14).

В контексті енергетики та магнетизму Сонця відмітимо також, що довгоперіодичні (~ 10–13 років) інерційні хвилі в конвективній зоні Сонця, більш відомі як торсійні сонячні коливання [38–41], хоч і відіграють важливу роль у генерації глобального магнітного поля, однак по суті являють собою лише передавальну ланку в механізмі геліоконтактного динамо. Саме останнє енергетично забезпечує диференційний рух шарів сонячної речовини, ”в готовому вигляді” взятий за основу у відомих несамоузгоджених теоріях гідромагнітного динамо [32]. Чітка змінність знаку глобального сонячного магнітного поля в квазіодинадцятирічних циклах, очевидно, відповідає правилу Ленца для електромагнітної індукції, внаслідок якого напрям прецесійної n-моди руху внутрішнього ядра на початку циклу [2] автоматично встановлюється таким, щоб послабити існуюче магнітне поле.

Квазідвовимірна (та спіральна тривимірна) контактно-наведена космічна турбулентність

На рис. 15 показані енергетичні спектри випромінювання космічних об’єктів різного виду: галактик, квазарів, пульсарів, залишків спалахів наднових зір, а також спектри потоків космічних частинок,у т.ч. нейтрино. На рис. 16 для порівняння наведені теоретичні спектри вимушеної квазідвовимірної турбулентності [42]. Як видно, спостерігається подібність спектрів всіх вказаних видів. Немонотонність степеневих ділянок та зміна їх нахилу пов’язані з виділеністю мод накачки та генерацією когерентних структур руху, які обмежують довгохвильове крило спектрів [2, 34, 42]. Ці структури разом із хаотичною компонентою визначають ”двофазний” стан космічної турбулентності. Турбулентна енергія переноситься в бік більших просторових та часових масштабів, в той час, як перенос енстрофії в бік малих масштабів забезпечує високі частоти, та, відповідно, енергії окремих квантів – космічних частинок (рис. 15 е-ж). Уявне

протиріччя цього твердження знімається саме дискретним характером переносу, за якого енергія на великих масштабах накопичується не за рахунок частоти, а за рахунок кількості квантів [33]. Спектри радіогалактичної турбулентності, яка має тривимірний характер, свідчать про її спіральність (гідродинамічну, струмову та магнітну), що забезпечує характер енергетичного переносу, аналогічний щодо розглянутої вище квазідвовимірної турбулентності.

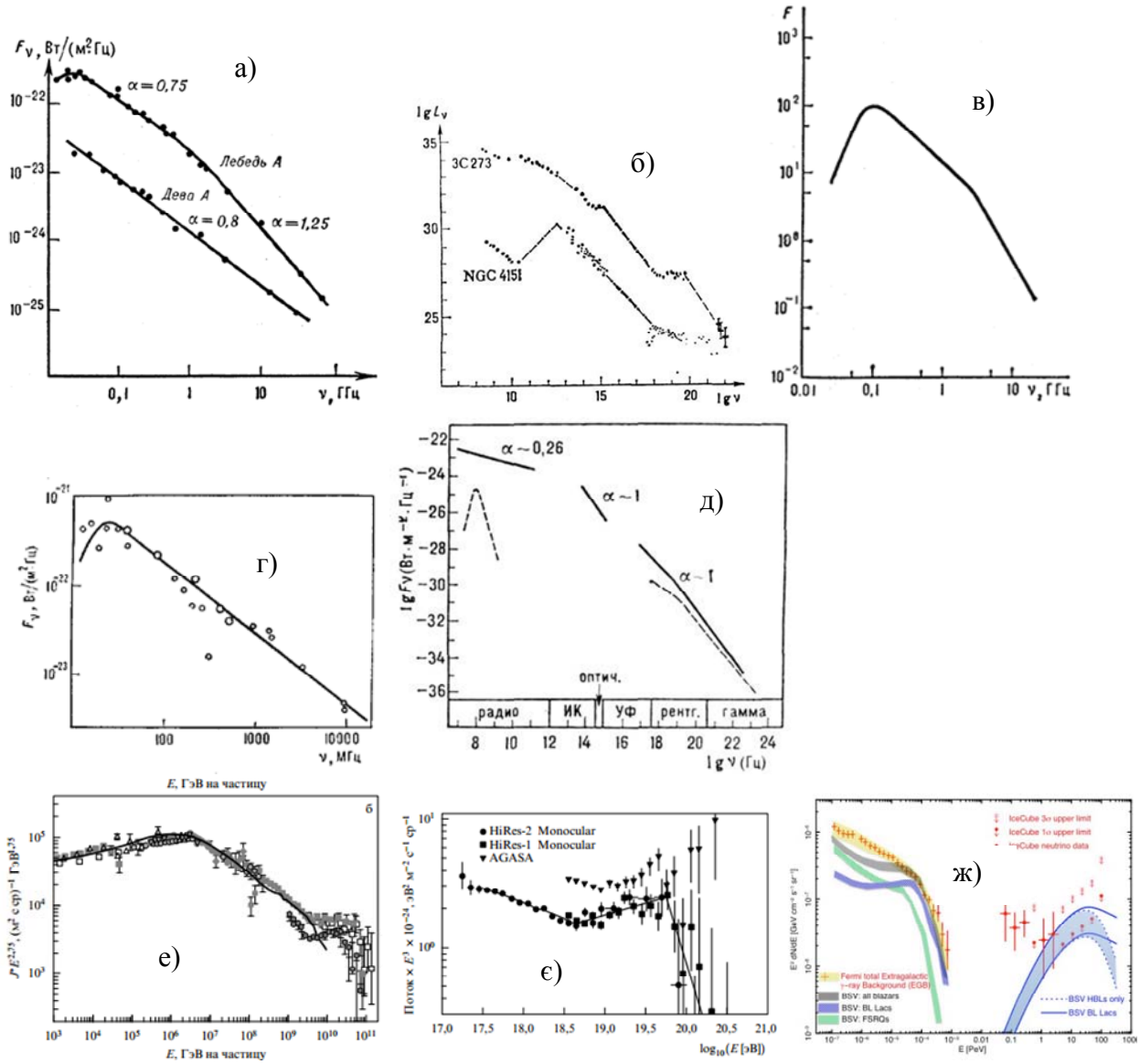


Рис. 15. Енергетичні спектри випромінювання деяких типових радіогалактик (а) [43]; квазара 3C 273 та сейфертівської галактики NGC 4151 (б) [9]; типовий спектр радіовипромінювання пульсара (в) [23]; спектр радіовипромінювання залишку від спалаху наднової Кассіопея А (г) [44]; спектр Крабовидної туманності з пульсаром (пунктир) (д) [9]; спектри енергії космічних частинок (е) [45], (є) [46], (ж) [47]

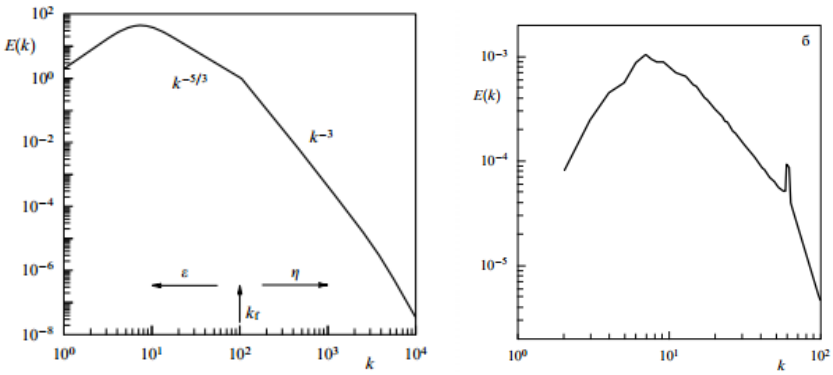


Рис. 16 Теоретичні спектри вимушеної квазідвовимірної турбулентності [42]

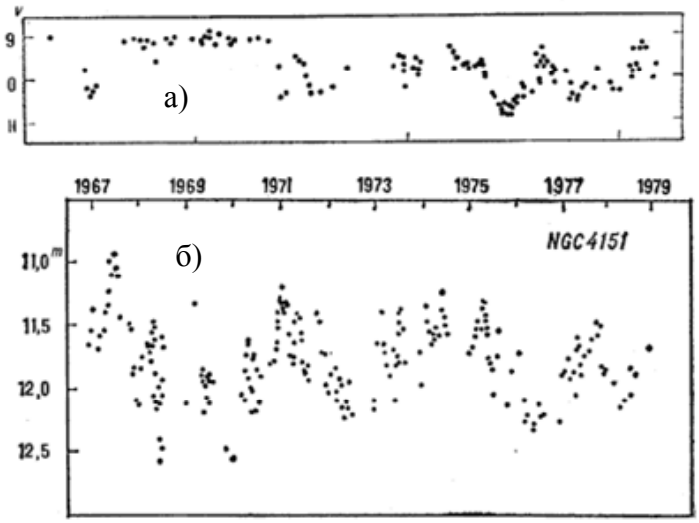


Рис. 17. Зміна блиску швидкої неправильної зорі RV Тільця (одиниця масштабу по осі абсцис – 100 діб) (а) [48] та сейфертівської галактики NGC 4151 (б) [49]

Часові періодограми змінності різномасштабних космічних об’єктів з активними ядрами цілком аналогічні у випадку невисокого рівня когерентності – рис. 17. Підвищений її рівень, як уже відзначалось, характерний, зокрема, для пульсарів, цефеїд та сонячної активності.

Релятивістські струмені (джети), спалахи нових та наднових зір

Колімовані потоки речовини та електромагнітного поля з багатьох астрофізичних об’єктів (активних галактичних ядер, квазарів, блазарів, молодих зір – об'єктів Гербіг-Гаро та ін. [9, 21, 22, 50]) не мають на сьогодні адекватного пояснення поза рамками контактного динамо. Спільність спостережуваних властивостей релятивістських та нерелятивістських джетів (рис. 18) наводить астрофізиків на думку про спільність фізичних механізмів їх формування [22]. Однак, в більшості випадків задіюються гіпотетичні механізми акреції на центральні чорні діри [19–22], а супутнє синхротронне випромінювання приймається за свідчення значних глобальних магнітних полів [22]. Розпад струменів на турбулентні згустки подаль від активного центру (рис. 18), як правило, відноситься на рахунок взаємодії з оточуючою космічною речовиною, або ж розвитку гідродинамічних та магнітогідродинамічних нестійкостей [19–22].

В рамках даного розгляду периферійна турбулізація пов’язується зі зміною режиму когерентності: від контактно-наведеної електромагнітної турбулентності (з відповідними когерентними структурами руху) до тривимірної гравітаційної турбулентності, що врешті еволюційно трансформується у тривимірні (балджі) та квазідвовимірні (диски) гравітаційні когерентні структури руху. Значний надлишок початкової кінетичної енергії, запозиченої з металізованого водневого ядра, при цьому трансформується у некеплерові (передусім прецесійні) форми фінітного руху космічної речовини навколо активного центру. Ці форми, що ”проходять мимо класичної каси” (теореми віріала), по суті формують сучасні ілюзії присутності чорної матерії та темної енергії.

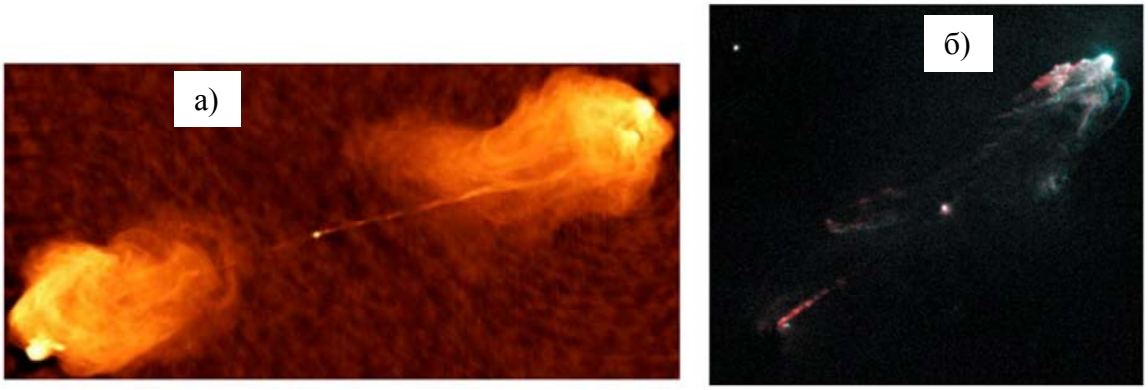


Рис. 18. Струмені радіогалактики Лебідь А (а) [21] та об'єкту Гербіг-Гаро HH1 (б) [50]

На рис. 19 наведена схема генерації джетів в контактах прецесійного верчення [2]. Високоймовірна кутова асиметрія двох зон контакту дещо скошує джети один відносно одного (або ж формується лише один джет). Таке скошення помітно на прикладі радіогалактики Лебідь А – рис. 18а.

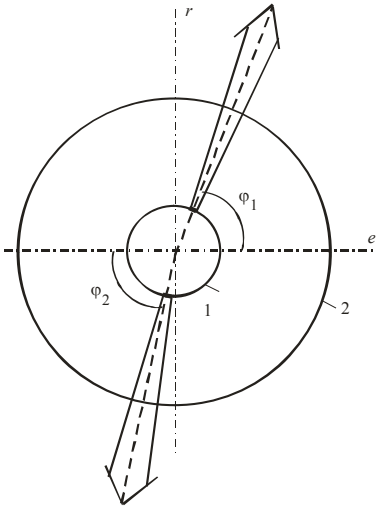


Рис. 19. Схема генерації джетів у космічних контактах прецесійного верчення (*r* – вісь обертання, e – екваторіальна площина,1 – ядро, 2 – оболонка)

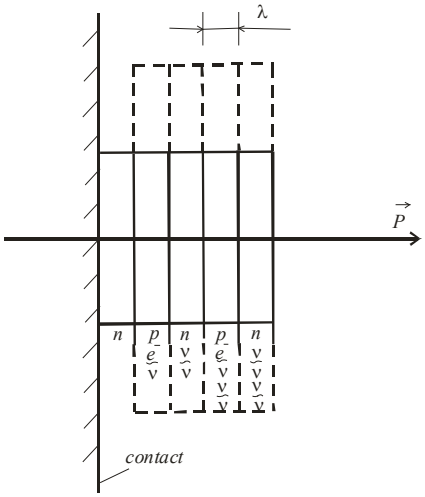


Рис. 20. Схема когерентної контактно-наведеної структури руху на нейтрон-протонних та нейтрино-антинейтринних парах

Контактна анізотропія в умовах високих тисків та рекордного питомого енерговиділення при фазових переходах водню формує локалізовані в просторі і часі когерентні структури руху. В таких умовах важливе значення можуть мати ефекти вимушеного випромінювання – як показано на рис. 20 на прикладі контактної генерації когерентних структур руху, утворених нейтрон-протонними та нейтрино-антинейтринними парами ферміонів. Такого роду структури, рухаючись направлено у вигляді ”потяга навпаки” (локомотив позаду, гнучка зчіпка) здатні утворювати релятивістські струмені, об’єднуючи “вагони” різного класу: радіо-, оптичного, рентгенівського, γ-випромінювання. Довжина хвилі де Бройля λ для протонів та нейтронів, ”деформованих” тиском нейтринного та γ-випромінювання (рис. 20), може бути достатньо малою – для пояснення високоенергетичного крила спектрів на рис. 15.

Іншим джерелом контактної генерації космічних частинок надвисоких енергій є, звичайно, вибухи нових та наднових зір. Однак, на противагу відомим астрофізичним моделям [9, 51], ці вибухи пояснюються не колапсом, а розширенням (декомпресією) внутрішнього металізованого водневого ядра зорі, що супроводжується катастрофічним енерговиділенням та розлітанням (бодай частковим) оболонки, а в гіршому випадку – і ядра також. Квазідвовимірність контактної взаємодії тут забезпечується фронтом ударних хвиль, що пояснює характер турбулентних спектрів залишків наднових (рис. 15г, д).

”Космологічне” та гравітаційне червоне зміщення, гравітаційне лінзування та мікролінзування

Патологічна тяга теоретичної астрофізики до сингулярностей [9–11] ніколи не сприймалася астрофізикою реальною. Видатний астроном Едвін Хаббл, як відомо [12], врешті відмовився від своєї початкової доплерівської інтерпретації червоного зміщення в спектрах далеких галактик. Однак, його ім’я і досі спекулятивно використовується тими, хто домальовує скривлену Ейнштейнівську картину простору-часу, в центрі якої – Великий Вибух та розширення Всесвіту [52]. Вельми давні недоплерівські пояснення червоного зміщення в спектрах галактик [53] на сьогодні надійно затиснуті пресом офіційної навколофізичної пропаганди [54]. Прикладом такої пропаганди є стаття [55], в якій її автори високомірно повчають видатного експериментатора Р.В. Паунда як ”правильно” інтерпретувати отримане ним (вперше в історії фізики) гравітаційне зміщення частоти γ-квантів в полі Земного тяжіння [56]. Неодмінним елементом повчання є ”знаменитий Ейнштейнівський ліфт”, що вільно падає з прискоренням *g*, і в кому гравітація відсутня [55]. Те, що вільне падіння з прискоренням *g* – це і є прояв гравітації – не бентежить нікого (ні А. Ейнштейна, ні Л.Б. Окуня [55]).

Нас, однак, бентежить прискорене розширення Всесвіту, ”відкрите” не так давно [6–8] в результаті грубої маніпуляції зі спектрами далеких наднових: спочатку відкидаються ”неугодні” зорі та дискретні компоненти спектрів, потім ефектно коригується почервоніння спектрів від космічного пилу – і прискорення готове. На рис. 21 наведені результати обробки спектрів далеких наднових, запозичені з Нобелівської лекції [6]. Як видно, ефект від пилу явно ”працює” на прискорення. На спектрах рис. 22а, 23а виділяється сильна дискретна лінія, що довільно приписується радикалу OH (на рис. 23а). Однак, більш традиційна інтерпретація такого роду виділених ліній як Лайман – альфа L_α водню (рис. 23 б) приводить до червоного зміщення $z \approx 3{,}5$ на рис. 23а, де автором вказано $z \approx 0{,}458$. Так з яким же прискоренням розширюється цей Всесвіт?

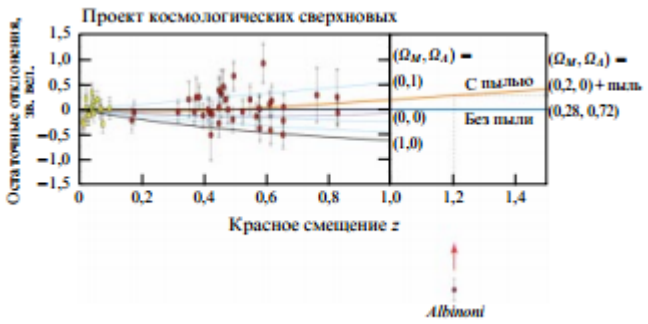


Рис. 21. Результати обробки спектрів далеких наднових [6]

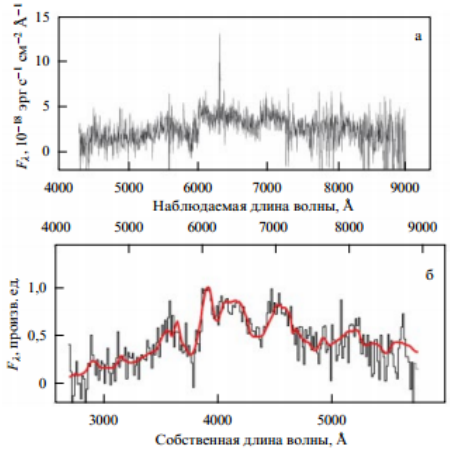


Рис. 22. Спектр однієї з наднових до (а) та після (б) видалення вузьких спектральних ліній і згладження континууму [6]

"Схильність" лінії L_α водню до рекордних червоних зміщень [57–58] вельми просто пояснити, виходячи із співвідношення (17) та графічної ілюстрації внесків різноманітних частинок космічного пилу в криву міжзоряного поглинання та розсіяння світла [9] − рис. 24. Максимум кривої при $\lambda^{-1} \approx 9$ мкм$^{-1}$ відповідає довжині хвилі $\lambda \approx 0{,}11$ мкм, що вельми близька до довжини хвилі лінії $L_\alpha : \lambda_{L_\alpha} \approx 0{,}12$ мкм. Згідно з (17) такі хвилі відповідають характерним радіусам пилової частинки – резонатора

$$R_i = i \cdot \lambda_{L_\alpha} / 4\pi \approx i \cdot 0{,}001, \text{ мкм}; \; i = 1, 2, 3... \quad (19).$$

За даними [9] вказаний підйом кривої розсіяння до $\lambda^{-1} \approx 9$ мкм$^{-1}$ обумовлюють силікатні частинки радіусами 0,005 ÷ 0,01 мкм. Форма таких частинок близька до сферичної, а їх число в одиниці об'єму приблизно в 1000 разів перевищує число пилинок, відповідальних за міжзоряне поглинання і розсіяння видимого світла [9]. Як слідує з (19), резонансна умова для цього типу частинок і лінії L_α водню задовольняється при $i \approx 5 \div 10$. По мірі червоного зміщення цієї лінії умова (19) виконуватиметься за рахунок зменшення порядкового модового індексу *i*. В умовах такого резонансного розсіяння світла на частинках космічного пилу відхилення напряму поширення світла від початкового може бути незначним, що неявно підтверджено, зокрема, в роботі [6], де пилове почервоніння спектрів далеких наднових не супроводжувалось суттєвим послабленням світлового потоку та "замиванням" зображення космічного об'єкту. Останнє, як відомо, нерідко використовують у своїх аргументах прихильники "космологічності" червоного зміщення.

В результаті контактно-наведеної поверхневої турбулізації світлового потоку при його резонансній взаємодії з космічним пилом здійснюється трансформація хвиль в бік червоного зміщення. Акустичні аналоги подібної поверхневої трансформації хвиль показані на рис. 25, 26. В першому випадку здійснювалась трансформація звуку, згенерованого мікроударом сталевого стержня діаметром 9 мм по трубопроводу ∅50 мм та довжиною 10 м (рис. 25). Початковий імпульсний сигнал з несучою частотою ≈ 6 кГц в результаті проходження трубопроводом суттєво зменшує цю частоту до ≈ 3,5 кГц та врешті турбулізується. Спектр такої турбулентності, як видно з рис. 25б, суттєво зміщений в червону сторону.

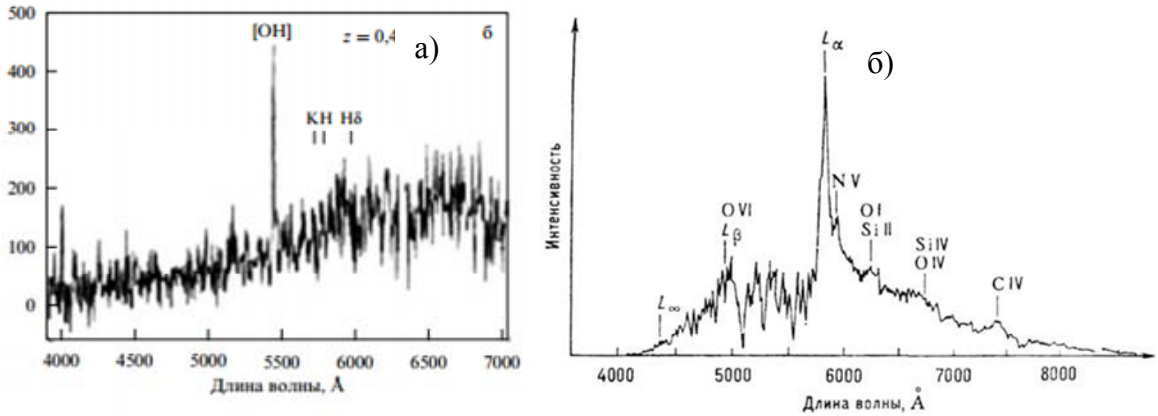


Рис. 23. Спектр хазяйської галактики наднової зорі SN 1992 bi (а) [6] та спектр квазара PKS 2000-330 з червоним зміщенням z = 3,78 (б) [9]

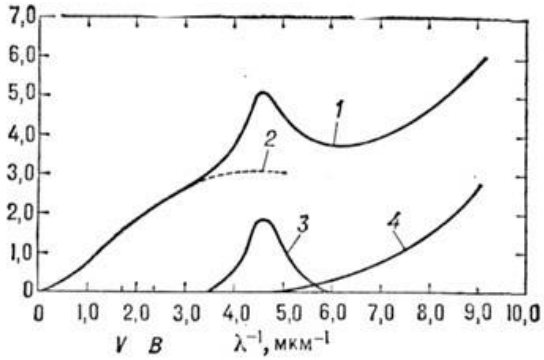


Рис. 24. Внесок різних частинок у криву міжзоряного поглинання: 1 – сумарна крива; 2 – розсіюючі частинки радіусами 0,10 ÷ 0,15 мкм; 3 – поглинаючі частинки радіусами 0,01 ÷ 0,02 мкм; 4 – розсіюючи частинки радіусами 0,005 ÷ 0,01 мкм [9]

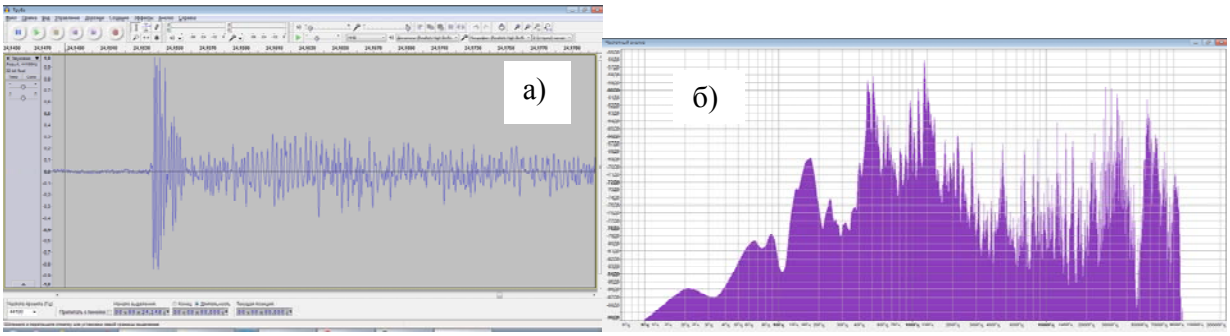


Рис. 25. Акустограма (а) та відповідний спектр Фур'є (б) трансформації акустичного сигналу у трубопроводі

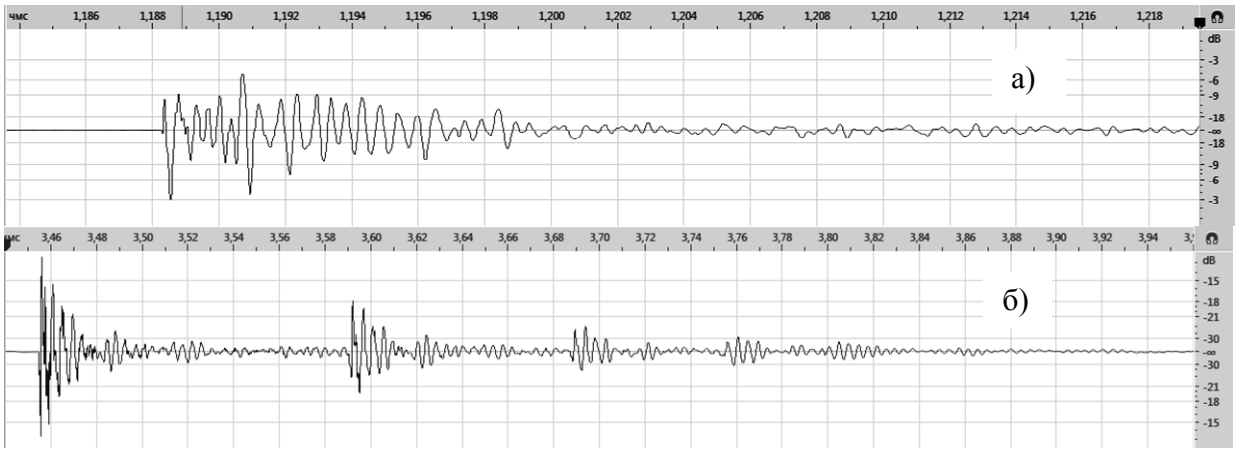


Рис. 26. Акустограми трансформації акустичних хвиль в результаті падіння кульки підшипника на площину гетинаксового стола (а) та на стопку паперу на столі (б)

Подібна поверхнева трансформація акустичних хвиль спостерігається також в результаті удару кульки підшипника ∅13,5 мм по шліфованій поверхні гетинаксового стола (рис. 26а). В той же час, удар цієї кульки по стопці паперу товщиною ≈ 3 мм на столі хоч і призводить до трансформації форми сигналу, однак мало змінює початкову несучу частоту ударного імпульсу (рис. 26б). Це пов'язано з суттєвим послабленням ефектів поверхневої взаємодії хвиль порівняно з об'ємними ефектами у відносно товстій та м'якій стопці паперу.

Контактні пилові лінзи, що розглядались нами раніше [2, 32], подібним чином здійснюють як "космологічне" червоне зміщення світла, так і його "гравітаційне" лінзування. Саме останнє, ефектно виконане Зодіакальною пиловою хмарою та пиловою короною Сонця, було спекулятивно використане свого часу апологетами "загального релятивізму" для відомого "подвоєння" Ньютонівського відхилення світла в гравітаційному полі Сонця [54]. Вже в наш час "нової фізики" перевірений метод фальсифікацій використовують модератори того ж-таки релятивізму на прикладі гравітаційного мікролінзування за містичною участю Чорної Матерії та Темної Енергії [59–61].

Висновок

Таким чином, механізм космічного контактного динамо є саме тією відсутньою ланкою в астрофізиці та космології, що переносить ці галузі знань з містики в науку.

Література

1. Заспа Ю.П. Контактне динамо як генератор когерентних космічних форм руху та джерело планетарної, сонячної, галактичної і метагалактичної енергії. Частина III // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2016. – № 3.

2. Заспа Ю.П. Контактне динамо як генератор когерентних космічних форм руху та джерело планетарного, сонячного, галактичного і метагалактичного магнетизму. Частина II // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2016. – № 2(235). – С. 36–52.

3. Тэйлор Дж.Х. Двойные пульсары и релятивистская гравитация : Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 декабря 1993 г. // УФН. – 1994. – Т. 164, № 7. – С. 757–764.

4. Халс Р.А. Открытие двойного пульсара : Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 декабря 1993 г. // УФН. –1994. – Т. 164, № 7. – С. 743–756.

5. Смут Дж.Ф. Анизотропия реликтового излучения: открытие и научное значение : Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 декабря 2006 г. // УФН. – 2007. – Т. 177, № 12. – С. 1294–1317.

6. Перлмуттер С. Измерение ускорения космического расширения по сверхновым : Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 декабря 2011 г. // УФН. – 2013. – Т. 183, № 10. – С. 1060–1077.

7. Шмидт Б.П. Ускоренное расширение Вселенной по наблюдениям далеких сверхновых : Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 декабря 2011 г. // УФН. – 2013. – Т. 183, № 10. – С. 1078–1089.

8. Рисс А.Дж. Мой путь к ускоряющейся Вселенной : Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 декабря 2011 г. // УФН. – 2013. – Т. 183, № 10. – С. 1090–1098.

9. Физическая энциклопедия : в 5-и томах / под ред. АМ. Прохорова. – М. : Большая росс. энциклопедия, 1999. – 760 с.

10. Зельдович Я.Б. Релятивистская астрофизика. I / Я.Б. Зельдович, И.Д. Новиков // УФН. – 1964. – Т. LXXXIV, № 3. – С. 377–417.

11. Шандарин С.Ф. Крупномасштабная структура Вселенной / С.Ф. Шандарин, А.Г. Дорошкевич, Я.Б. Зельдович // УФН. – 1983. – Т. 139, № 1. – С. 83–134.

12. Черепащук А.М. История истории Вселенной / А.М. Черепащук // УФН. – 2013. – Т. 183, № 5. – С. 535–556.

13. Долгов А.Д. Космология: от Померанчука до наших дней / А.Д. Долгов // УФН. – 2014. – Т. 184, № 2. – С. 211–221.

14. Гинзбург В.Л. Пульсары / В.Л. Гинзбург // УФН. – 1971. – Т. 103, № 3. – С. 393–429.

15. Бескин В.С. Физика магнитосферы пульсара / В.С. Бескин, А.В. Гуревич, Я.Н. Истомин // УФН. –1986. – Т. 150, № 2. – С. 257–298.

16. Потехин А.Ю. Физика нейтронных звезд / А.Ю. Потехин // УФН. – 2010. – Т. 180, № 12. – С. 1279–1304.

17. Бескин В.С. Радиопульсары – поиски истины / В.С. Бескин, Я.Н. Истомин, А.А. Филиппов // УФН. – 2013. – Т. 183, № 2. – С. 179–194.

18. Яковлев Д.И. Л.Д. Ландау и концепция нейтронных звезд / Д.И. Яковлев, П. Хэнсель, Г. Бейм, К. Петик // УФН. – 2013. – Т. 183, № 3. – С. 307–314.

19. Abramowicz M.A. Foundation of Black Hole Accretion Disk Theory / M.A. Abramowicz, P.C. Fragile // Living Rev. Relativity. – 2013. – V. 16, № 1. P. 1–88.

20. Bagchi J. et.al. Mega parsec relativistic jets launched from an accreting supermassive blackhole in an extreme spiral galaxy / J. Bagchi. URL : arXiv:1404.6889v2[astro-ph.GA]29Apr2014

21. Hardee P. AGN jets: from largest to smallest angular scales / P. Hardee // J. Phys.: Conf. Ser. – 2008. – V. 131, № 012052. P. 1–13.

22. Бескин В.С. Магнитогидродинамические модели астрофизических струйных выбросов / В.С. Бескин // УФН. – 2010. – Т. 180, № 12. – С. 1241–1278.

23. Пульсары (радиопульсары) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.astronet.ru/db/msg/1188563

24. Рентгеновские пульсары [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.astronet.ru/db/msg/1188644

25. Гамма-всплески [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.astronet.ru/db/msg/1191481

26. Цефеиды [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.astronet.ru/db/msg/1188283

27. Рыбак А.Л. Вариации магнитного поля солнечных пятен на разных временных шкалах : дисс. … канд. физ.-мат. наук / Рыбак А.Л. – СПб : Главн. (Пулковская) астрон. обс., 2014. – 96 с.

28. Williams P.E. Properties of Supergranulation During the Solar Minima of Cycles 22/23 and 23/24 / P.E. Williams, W.D. Pesnell // J.of Phys.: Conf.Ser. – 2011. – V. 271, № 012082. – P. 1–4.

29. Gizon L. Wave-like properties of solar supergranulation / L. Gizon, T.L. Duvall, J. Schou // Nature. – 2003. – V. 421, № 2. – P. 43–44.

30. Пикельнер С.Б. Динамика солнечной атмосферы / С.Б. Пикельнер // УФН. – 1966. – Т. 88, № 3. – С. 505–526.

31. Rast M.P. The scales of granulation, mesogranulation, and supergranulation / M.P. Rast // The Astrophys. – 2003. – V. 597. – P. 1200–1210.

32. Заспа Ю.П. Контактне динамо як генератор когерентних космічних форм руху та джерело планетарного, сонячного і галактичного магнетизму. Частина 1 / Ю.П. Заспа // Вісник ХНУ. Технічні науки. –2015. – № 5 (229). – С. 106–118.

33. Заспа Ю.П. Когерентная трибодинамика / Ю.П. Заспа // Трение и износ. – 2012. – Т. 33, № 6. – С. 659–674.

34. Заспа Ю.П. Каскадний транспорт енергії збурень в системах динамічної контактної взаємодії / Ю.П. Заспа, С.Г. Котогриз // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2015. – № 1 (221). – С. 47–52.

35. Straus Th. Dynamics of the solar photosphere. I. Two-dimentional spectroscopy of mesoscale phenomena / Th. Straus, D. Bonaccini // Astron. Astrophys. – 1997. – V. 324. – P. 704–712.

36. Straus Th. k-ω phase spectra obtained from space [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.na.astro.it/~straus/03_publications

37. Roudier Th. et.al. Mesoscale dynamics on the Sun's surface from HINODE observations / Th. Roudier // Astronomy and Astrophys. – 2009. – V. 495. – P. 945–952.

38. Gizon L. Helioseismology of time-varying flows trough the solar cycle / L. Gizon // Solar Phys. – 2004. – V. 224. – P. 217–228.

39. Hill F. Helioseismology and the Solar Cycle: Past, Present and Future / F. Hill // J. Astrophys. Astr. – 2008. – V. 29. – P. 75–84.

40. Howe R. et.al. A note on the torsional oscillation at solar minimum / R. Howe // The Astrophys. J. – 2009. – V. 701. – P. L87–L90.

41. Логинов А.А. Гидродинамическая модель торсионных колебаний Солнца / А.А. Логинов, О.К. Черемных, В.Н. Криводубский, Н.Н. Сальников // Космічна наука і технологія. – 2012. – Т. 18, № 1. – С. 74–81.

42. Данилов С.Д. Квазидвумерная турбулентность / С.Д. Данилов, Д. Гурарий // УФН. – 2000ю – Т. 170, № 9. – С. 921–968.

43. Радиогалактики [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.astronet.ru/db/msg/1188595

44. Остатки вспышек сверхновых [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.astronet.ru/db/msg/1188518

45. Птускин В.С. Происхождение космических лучей / В.С. Птускин // УФН. – 2010. – Т. 180, № 9. – С. 1000–1004.

46. Филоненко А.Д. Радиоастрономический метод измерения потоков космических частиц сверхвысокой энергии / А.Д. Филоненко // УФН. – 2012. – Т. 182, № 8. – С. 793–827.

47. Padovani P. et. al. A simplified view of blazars: the neutrino background [Електронний ресурс]. – Режим доступу : arXiv:1506.09135v1[astro-ph.HE]30Jun2015

48. Переменные звезды [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.astronet.ru/db/msg/1188527

49. Ядра галактик [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.astronet.ru/db/msg/1188309

50. Reipurth B. Herbig-Haro Flows: Probes of Early Stellar Evolution / B. Reipurth, J. Bally // Annu. Rev. Astron. Astrophys. – 2001. – V. 39. – P. 403–455.

51. Кошиба М. Рождение нейтринной астрофизики : Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 декабря 2002 г. / М. Кошиба // УФН. – 2004. – Т. 174, № 4. – С. 418–426.

52. Топоренский А.В. Хаббловский поток в картине наблюдателя / А.В. Топоренский, С.Б. Попов // УФН. – 2014. – Т. 184, № 7. – С. 767–774.

53. Мельников О.А. Недоплеровские объяснения красного смещения в спектрах далеких галактик / О.А. Мельников, В.С. Попов // Некоторые вопросы физики космоса, сборник 2. – М. : ВАГО АН СССР. – 1974. – С. 9–32.

54. Турышев В.Г. Экспериментальные проверки общей теории относительности: недавние успехи и будущие направления исследований / В.Г. Турышев // УФН. – 2009. – Т. 179, № 1. – С. 3–34.

55. Окунь Л.Б. Гравитация, фотоны, часы / Л.Б. Окунь, К.Г. Селиванов, В.Л. Телегди // УФН. – 1999. – Т. 169, № 10. – С. 1141–1147.

56. Паунд Р.В. О весе фотонов / Р.В. Паунд // УФН. – 1960. – Т. LXXII, № 4. – С. 673–683.

57. Ефремов Ю.Н. Постоянная Хаббла [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.astronet.ru/db/msg/1198709

58. Bouwens R.J. et.al. Photometric constraints on the redshift of $z \sim 10$ candidate UDFj-39546284 from deeper WFC3 / IR + ACS + IRAC observations over the HUDF / R.J. Bouwens // The Astrophys. J. Lett. – 2013. – V. 765, № L16. – 6 p.

59. Гуревич А.В. Мелкомасштабная структура темной материи и микролинзирование / А.В. Гуревич, К.П. Зыбин, В.А. Сирота // УФН. – 1997. – Т. 167, № 9. – С. 913–943.

60. Захаров А.Ф. Гравитационное микролинзирование / А.Ф. Захаров, М.В. Сажин // УФН. – 1998. – Т. 168, № 10. – С. 1041–1082.

61. Верходанов О.В. Космологические результаты космической миссии "Планк". Сравнение с данными экспериментов WMAP и BICEP2 / О.В. Верходанов // УФН. – 2016. – Т. 186, № 1. – С. 3–46.

Рецензія/Peer review : 23.5.2016 р. Надрукована/Printed : 6.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф.. Костогриз С.Г.

UDC 004.75: 004.49

E.I. KOLIBABCHUK, O.P. VOYTOVYCH, L.M. KUPERSHTEIN
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

INVESTIGATION OF DENIAL-OF-SERVICE ATTACKS

Methods and ways to perform denial-of-service attack are analyzed and classified in this work. Famous Denial-of-Service attack classifications are reviewed and analyzed. New elements of modern DoS attack classification are proposed.

Keywords: denial-of-service attacks, attacks classification, computer network.

Е.І. КОЛІБАБЧУК, О.П. ВОЙТОВИЧ, Л.М. КУПЕРШТЕЙН
Вінницький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ АТАК НА ВІДМОВУ В ОБСЛУГОВУВАННІ

У статті проаналізовано та класифіковано засоби та способи проведення атак на відмову в обслуговуванні. Розглянуто та проаналізовано відомі класифікації атак на відмову в обслуговуванні. Запропоновано нові елементи сучасної класифікації атак на відмову в обслуговуванні.

Ключові слова: атаки на відмову у обслуговуванні, класифікація атак, комп'ютерна мережа.

Introduction

In today's world the using of computers and computer networks increases every day. Not only mobile devices like smartphones and tables but also smart household appliances – TV-sets, refrigerators, game consoles gained high popularity. One of the most wide-spread threats is Denial-of-Service attack. The Denial-of-Service attack makes impossible system operation and partially or completely disables an access to resources and services for users. It's important to not only detect the fact of attack but also to properly identify attack type to increase effectiveness of DoS-preventing technologies.

To simplify detecting and preventing Denial-of-Service attacks a clear good-structured classification of the DoS attacks is required. Currently there are a lot of different classifications of DoS attacks, the basic is Mirkovic's classification [1] but there is still no good classification adapted for today's features and trends with a possibility to use with real systems.

Proposed Classification

The main proposed classification criteria is listed below (Fig. 1). By the amount of source devices – DoS attacks can be divided into simple DoS attacks, group DDoS attacks (with up to 100 devices) and massive DDoS attack (more than 100 devices). According to this preventing ways should be different. For simple DoS or group DDoS it's enough to simply block packets from attacking sources using black list. For massive DDoS it's difficult to block every source of attack manually and not to block legitimate users from accessing the resource.

According to attack source computers belonging to malicious attacks can be divided into voluntary attacks from intruder's machines, attacks that use bot networks, attacks that use physical and virtual dedicated servers, tunnelled attacks and random users' attacks.

If the sources of attack are dedicated servers network traffic can be huge even when the amount of sources is tiny because dedicated servers usually have network speeds over 1Gb/s. When preventing the tunnelled attacks it's important to consider that tunnels can be used both by intruders and legitimate users simultaneously. Detecting the difference between legitimate tunnelled traffic and malicious one can be a challenge. Bot network attacks usually can be deterined by the same kind of traffice becayse all bots do the same things.

Attacks from bot networks can be divided into attacks that use infected servers, infected home computers and mobile devices. It's important to know that mobile devices' IP address is not constant and can be changed every time user connects to different wireless network. When bot network constists from infected servers the amount traffic can be very huge and the speed of attack can be much higher because servers often have gigabit channels.

By the list of source computers DoS attacks can be divided into static-listed (fixed list of computers), controlled dynamic-listed (list of attacking sources constantly changes but there is a list of possible attack sources somewhere, for example Tor nodes list or list of users of IRC channel) and dynamic unlisted (there is no way to constantly determine the list of attack sources). IRC is very popular between so called «Anonymous» group and it's a good idea to check popular hacking-related IRC servers like OnionIRC to determine if it is it.

By the triggering attacks can be divided into manual (when attacker manually crafts each required packed), controlled (when distributed attack is remotely controlled) and automatic (when the attack is triggered without manual actions).Controlled attacks can be divided by the way of controlling into direct-controlled attacks (attack is controlled from the single point and infected computers has open ports that allows to identifyfy them) and indirect-controlled (attack is controlled with reverse-connections or additional protocols like BitTorrent or IRC) [5].

Attacks can also be divided by the geographical position of sources into local (regional) and worldwide. It's useful for better recognizing legitimate traffic.

By spread in time attacks can be divided into real-time attacks which action «just now» and scheduled attacks that can change during the time of attack or be planned to change during a period of time.

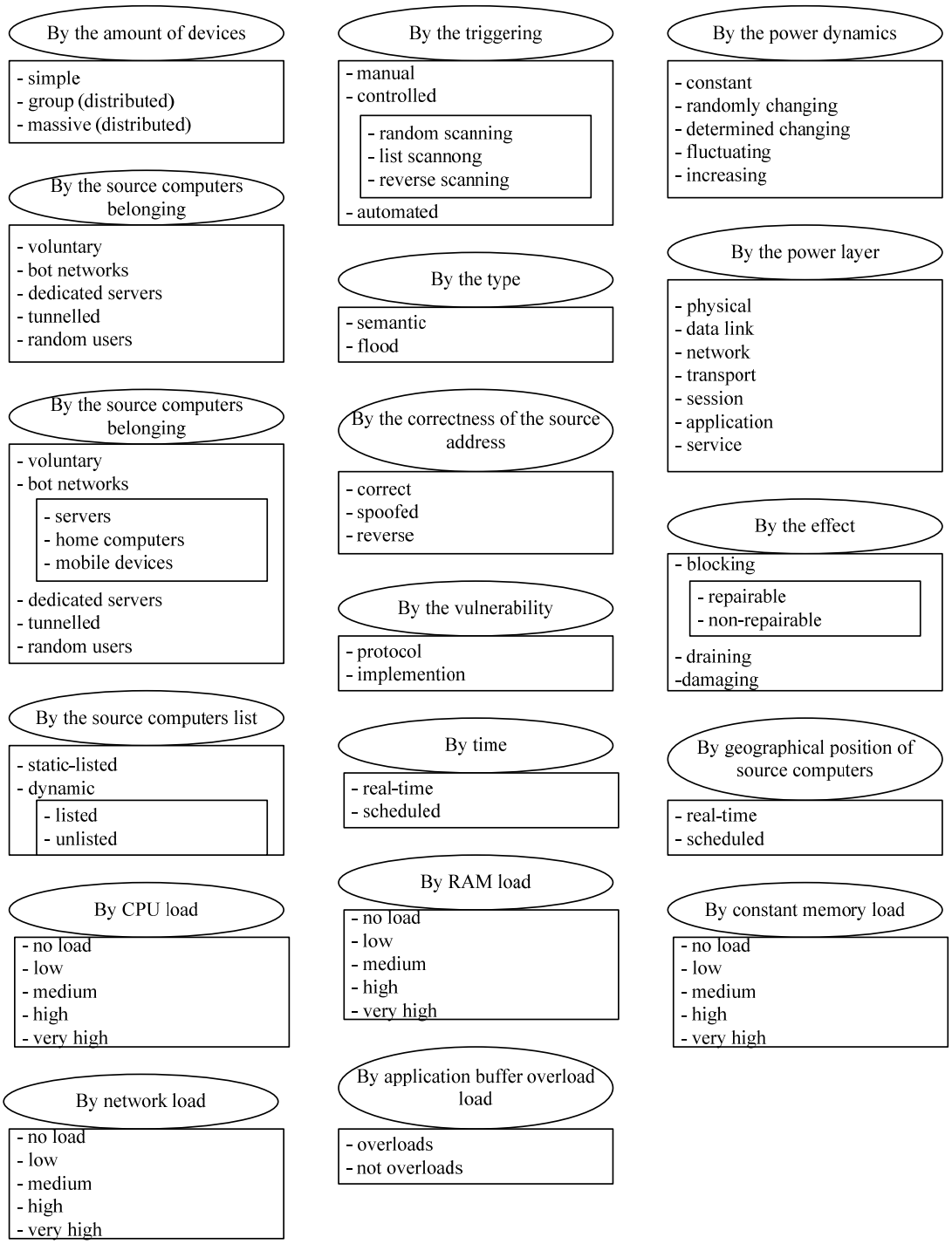


Fig. 1. Classification of DoS-attacks

Direct-controlled attacks can be divided by the way that infected computers are added into network into: random scanning (attacker randomly scans IP-addresses looking for infected computers), list scanning (attacker uses the list of infected machines) and reverse-scanning (infected machines notify the attacker themselves).

By the vulnerability type attacks can be divided into semantic (use the features of network protocol or applications) and flood (floods and overloads with a large amount or size of packets). By the correctness of the source address attacks can be divided into: attacks with correct source addresses (it's possible to determine the source of the attacking machine), spoofed attacks (the source address in packets is malformed) and reverse-attacks (use servers' replies for attacking, for example DNS. It seems that the legal service attacks when really just it's just responding to incorrectly formed queries).

By the power dynamics attacks can be divided into the attacks with constant power, attacks with randomly changing power, attacks with determined changing power, attacks with fluctuating power and attacks with increasing power.

By the layer attacks can be divided into attacks on physical layer (physical intrusion into a computer system, a cable break, radiation), attacks on the data link layer [4] (overloading on the frame layer), attacks on the network level (attacks on the IP protocol layer), attacks on the transport layer (attacks on the layer of datagrams and

segments), attacks on the session layers (attacks inside of logical connections), application level attacks [3] (attacks on the application protocols like HTTP or FTP) and attacks on services (attacks on the application that runs on top of the application layer, for. example cloud service or web framework) [6].

It's important to note that then higher the layer of the attack is than less services are damaged. Physical ot data link layer attack can disable all the network but the application layer attack can only slow down or make inaccessible for users the web server with all websites. The application layer attack is the less dangerous and can only disable an end-user application for example a web application or service.

By the effect attacks can be divided into blocking attacks (as a result it's impossible to connect to service for users), draining attacks (attacks drain a lot of network or CPU resources but the service remains available) and damaging attacks (they damage an attacking component for example a cache or file system and as a result the data can be lost).

Blocking attacks can be divided into repairable and non-repairable. Attack is repairable when the service becomes available again after the attack stops without any manual actions. By the type of the vulnerability attacks can be divided into protocol attacks and current implementation attacks. Direct-controlled attacks can be divided by the way that infected computers are added into network into: random scanning (attacker randomly scans IP-addresses looking for infected computers), list scanning (attacker uses the list of infected machines) and reverse-scanning (infected machines notify the attacker themselves). By the vulnerability type attacks can be divided into semantic (use the features of network protocol or applications) and flood (floods and overloads with a large amount or size of packets). Semantic attacks can sometimes be prevented just with software update or proper reconfiguration but the uncontrolled professional massive flood attacks can be prevented only by increasing the hardware power and network channel or using load-balancing or professional specialized anti-DDoS services.

By the correctness of the source address attacks can be divided into: attacks with correct source addresses (it's possible to determine the source of the attacking machine), spoofed attacks (the source address in packets is malformed) and reverse-attacks (use servers' replies for attacking, for example DNS. It seems that the legal service attacks when really it's just responding to incorrectly formed queries).

Attacks with spoofed source address are very dangerous because it's quite difficult to identify the true source address of the attacker and it's important not to block legitimate users. Reverse attacks became very popular few years ago and are even more difficult to prevent because if the attacker use BitTorrent-tracker or DNS server the attack even from the single attacking computer can be very powerful because DNS servers are designed to deal with very large amount of queries and torrent tracker can has thousands or even millions of users connected at the same time and they can send a lot of traffic to victim machine [7].

By the power dynamics attacks can be divided into the attacks with constant power, attacks with randomly changing power, attacks with determined changing power, attacks with fluctuating power and attacks with increasing power.

By the layer attacks can be divided into attacks on physical layer (physical intrusion into a computer system, a cable break, radiation), attacks on the data link layer [8] (overloading on the frame layer), attacks on the network level (attacks on the IP protocol layer), attacks on the transport layer (attacks on the layer of datagram and segment), attacks on the session layers (attacks inside of logical connections), application level attacks [9] (attacks on the application protocols like HTTP or FTP) and attacks on services (attacks on the application that runs on top of the application layer, e.g. cloud service or web framework) [10].

It's important to note that than higher the layer of the attack is than less services are damaged. Physical of data link layer attack can disable the entire network but the application layer attack can only slow down or make inaccessible for users the web server with all websites. The application layer attack can only disable an end-user application e.g. a web application or service as well as protection mechanism.

Application layer attacks quickly gains popularity as the result of high popularity of mobile applications that are often built on top of the Web and use HTTP-based queries such as JSON. By the effect attacks can be divided into blocking attacks (as a result it's impossible to connect to service for users), draining attacks (attacks drain a lot of networks or CPU resources but the service remains available) and damaging attacks (they damage an attacking component for example a cache, file system or protection mechanisms and as a result the data can be lost). Blocking attacks can be divided into repairable and non-repairable. Attack is repairable when the service becomes available again after the attack stops without any manual actions. By the type of the vulnerability attacks can be divided into protocol attacks and current implementation attacks.

Examples of using the proposed classification

The application of this proposed classification is an identification of the DoS-attack using proposed methods. For example, here is the identification and comparison of some types of DoS attacks (Table 1).

At first, Slowloris attack. By the amount of devices it's usually a single device attack or group attack because usually it's enough to use the single device to block access to webserver. By the source computer it's usually voluntary. Because of using a single computer it's a static-listed manually triggered attack. It's a semantic type of attack because it doesn't use any types of flood but just exceeds the limit of opened connections. The source address it's correct because web server should respond to request. The vulnerability there is in the implemention, not in HTTP protocol. Only some web servers are affected, for example Apache. By power dynamics it's a constant attack. It doesn't overload anything like CPU or RAM. It's an application-level attack (on HTTP server) [7]. By the effect the attack is repairable blocking because after the end of attack the web server will automatically resume its normal

functioning.

DoS attacks, usually flood and lower-layer attacks can also be divided by the the resouces they drain. In the most cases massive overusing of the single type of resource can trigger draining of other resource types. For example, overusing RAM will trigger using of swap files or partition which will heavily uses system's hard drive which can trigger web server cache overloading on poorly configured systems. The main types of drained resources are CPU, RAM, HDD, network and local application buffer (for example an amount of queries or opened connections that application can handle at the single moment of time). So it's important to determine the usage of each type of resource and determint if local application buffer is overloaded.

Here is another example: the attack that is used by so called «Anonymous» group. By the amount of devices it's a group or massive attack depending on the quantity of «operation» members. The computers belong to voluntaries. Their attacks are usually tunneled because Anonymous moderators recommend to use paid VPN services. Source computers are usually listed on the IRC server [8]. It's a controlled attack. By type its flood attack usually using ICMP or TCP protocol. Source addresses are corrected or spoofed but not reversed. The vulnerable is implemention because attacked websites are not designed to handle such a big amount of traffic. By the power dynamics attack is usually increasing until the end of the «operation». The layer of the attack can be different but usually network, session or application. By the effect it's non-repairable blocking.

Table 1

Comparisons of DoS-attacks

	Slowloris	Flood	Google Spreadsheet bug	DC++ bug
By amount of devices	Single or group	Massive or group	Group	Massive
By the source computer belonging	Voluntary	Voluntary	Dedicated servers	Home computers botnet
By the source computers list	Static-listed	Dynamic-listed	Static	Dynamic-listed
By time	Real-time	Real-time	Real-time	Real-time
By the triggering	Manually triggered	Direct-controlled	Manually triggered	Direct-controlled
By the correctness of the source address	Correct	Tunneled	Correct	Correct
By the vulnerability	Implemention	Implemention	Implementation	Protocol
By the type	Semantic	Flood	Flood	Flood
By power dynamics	Constant	Increasing	Constant	Fluctuating
By the power layer	Application	Network, session, application	Application	Application
By the effect	Repairable blocking	Non-repairable blocking	Non-repairable blocking	Repairable-blocking or draining
By time	Scheduled	Real-time	Scgeduled	Real-time
By the geographical position	The single point	Worldwide or regional	The single point	Wordlwide or regional (depending on DC++ hub users)
By CPU load	No load	Medium load	High load	Low load
By RAM load	No load	Low load	High load	Low load
By constant memory load	No load	No load	Low load	No load
By network load	No load	Very high load	Low load	Very high load
By local application buffer overload	Overloaded	Not overloaded	Not overloaded	Not overloaded

One of the very interesting attacks was an attack using Google Spreadsheet service. Because of the bug in this application Google bot tried to download image from website 1000 times and it was a quite powerful HTTP-GET DoS attack [9]. By the amount of devices it was a group devices attack (a group of Google servers). The source computers were a kind of dedicated servers. The source list was static and it was a list of Google FeedFetcher bot servers. The attack was triggered manually. By the type it was flood attack, the source of attack was correct (Google servers). There was vulnerability in implementation. By the power dynamics the attack was constant. By the level it was application-layer attack. The effect was non-repairable blocking of the website, high CPU and RAM load [10]. Another interesting example is DoS attack based on a bug in old peering file-sharing network DC++ protocol version that can make a lot of connected peers attack victim's IP address. This attack is massive and it is a kind of bot network. The list of attacking machines is dynamic and it is available on vulnerable DC++ hub. It's controlled attack, the source addresses are correct on protocol with fluctuating (as users join and leave hub fluctually)

dynamics. The attack layer is application-layer. By the effect it can be draining or even repairable blocking, by type – flood [11]. This type of attack makes very heavy network load and medium CPU load.

The proposed classification allows determining the single attack or a group of similar attacks just by analyzing the attack by proposed criteria. For example, if the attack if performed by single voluntary static-listed computer, it's manually triggered, the source address is connect, it's semantic and exploits application (implemention), it's constant, repairable blocking scheduling with constant dynamic, performed from the single , overloads local application buffer and doesn't use heavily computers' resources it's a Slowloris attack or similar attack.

It's also possible sometimes to select DoS-preventing methods depending on the proposed criteria. For example flood attack attack with determined geographical position can be prevented by using local restrictions, service-layer attacks can be prevented by fixing the vulnerability in the application and so on.

Summary

There were reviewed and analysed known Denial-of-Service attack classifications in this paper. New modern classification of different types of Denial-of-Service attack depending on different aspects was proposed for future development. Four different DoS-attacks were analyzed using proposed classification for example. Future plans are to complete investigation of different Denial-of-Service attacks and to improve proposed classification. This investigation can be used for future development and research.

References

1. J. Mirkovic "A taxonomy of DDoS attack and DDoS defense mechanisms" (05/20/16). URL: https://www.researchgate.net/profile/Peter_Reiher/publication/2879658_A_taxonomy_of_DDoS_attack_and_DDoS_defense_mechanisms/links/02e7e51d1ce0432910000000.pdf.

2. J. Sah "Impact of DDOS attacks on cloud environment" (05/20/16). URL: http://ijrcct.org/index.php ojs/article/download/276/pdf.

3. J. Yu. "A detection and offense mechanism to defend against application layer DDoS attacks" (05/20/16). URL: https://www.researchgate.net/profile/Xiaoming_Chen17/publication/4314603_A_Detection_and_Offense_Mechanism_to_Defend_Against_Application_Layer_DDoS_Attacks/links/546ee4da0cf29806ec2ebfeb.pdf.

4. V. Gupta. "Denial of service attacks at the MAC layer in wireless ad hoc networks" (05/20/16). URL: https://www.cs.wmich.edu/wise/doc/spins/dos/denial-of-service-attacks.pdf.

5. Z. Chi. "Detecting and blocking malicious traffic caused by IRC protocol based botnets" (05/20/16). URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4351531.

6. M. Srivatsa. "Mitigating application-level denial of service attacks on Web servers: A client-transparent approach" (05/20/16). URL: http://researcher.ibm.com/files/us-aruni/TWEBDos.pdf.

7. E. Cambiaso. "Slow DoS attacks: definition and categorization" (05/20/16). URL: http://www.inderscienceonline. com/doi/abs/10.1504/IJTMCC.2013.056440.

8. S. Mansfield-Devine. "Anonymous: serious threat or mere annoyance?" (05/20/16). URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1353485811700046.

9. D. Hobbs. "Using Spreadsheets as a DDoS weapon" (05/20/16). URL: https://blog.radware.com/security/2012/05/spreadsheets-as-ddos-weapon/.

10. P. Ipeirotis. "The Google attack: How I attacked myself using Google Spreadsheets and I ramped up a $1000 bandwidth bill" (05/20/16). URL: http://www.behind-the-enemy-lines.com/2012/04/google-attack-how-i-self-attacked.html.

11. B Ion. "Dc++ and ddos attacks" (05/20/16). URL: http://www.iiis.org/cds2009/cd2009sci/SCI2009/PapersPdf/ S167TT.pdf.

Рецензія/Peer review : 20.5.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Мартинюк Т.Б.

УДК 621.01

Р.В. АМБАРЦУМЯНЦ, Е.Д. КАРА
Одесская национальная академия пищевых технологий

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ НОГИ ШАГАЮЩИХ МАШИН

Обоснована перспективность использования шагающих машин для транспортировки грузов, в военных целях, в сельском хозяйстве и др. Обоснована постановка задачи об описании траектории ноги шагающих машин кривыми второго порядка, так как шатунные кривые простейших рычажных механизмов описывается в новом виде уравнениями четвертого и шестого порядков. Рассмотрены симметричная и асимметричная траектории движения ноги. Проанализированы отдельные участки выбранных кривых. Особо обращено внимание на необходимость обеспечения высоты просвета между корпусом машины и опорной поверхностью. Предлагается отдельные участки кривых описывать уравнениями прямой линии и дугами окружностей. Составлены системы уравнения для обоих вариантов выбранных траекторий и определены параметры дуг окружностей, их границы, являющиеся исходными данными для кинематического синтеза выбранных схем рычажных механизмов привода ноги шагающих машин. Приведен числовой пример описания траектории.

Ключевые слова: траектория, нога, окружность, уравнение, шагающая машина, математическое моделирование, кривая второго порядка.

R.V. AMBARTSUMYANTS, E.D. KARA
Odessa National Academy of Food Technologies

MATHEMATICAL MODELLING OF THE TRAJECTORY LEGS WALKING MACHINES MOVEMENT

Prospects of use of the walking machines for transporting cargo are proved, for military purposes, agriculture etc. Justified statement of the problem about the description of the trajectory of the legs of walking machines by the second order curves, as the curves connecting rod of simple lever mechanisms is described in the form of new equations of fourth and sixth orders. Symmetric and asymmetric trajectories of the movement of a leg are considered. Separate sites of the chosen curves are analyzed. Especially paid attention to necessity of providing of height of road clearance between the corps of machine and a basic surface. It is offered to describe separate sites of curves the equations of a straight line and arches of circles. Systems the equations for both options of the chosen trajectories are worked out and the parameters of arches of circles, their borders which are basic data for kinematic synthesis of the chosen schemes of lever mechanisms of the drive of a leg of the walking cars are determined. The numerical example of the description of a trajectory is given.

Keywords: trajectory, leg, a circle equation, walking machine, mathematical modelling, the curve of the second order.

В конце XX столетия возросло количество работ посвященные к проектированию, исследованию кинематики и динамики транспортных и технологических машин с шагающими движителями.

В настоящее время считается достаточно обоснованной перспективность использования шагающих машин для транспортировки грузов, например, доставки крупнотоннажного негабаритного оборудования буровых платформ, газгольдеров, ректификационных колонн и другой техники в малоосвоенных районах в условиях бездорожья. Предполагается использование шагающих машин в военных целях, в исследовании поверхности планет не только солнечной системы [1].

Особо важным является шагание технологических машин в сельском хозяйстве при работе на машинах, например, культиваторы, зерноуборочные комбайны, особенно после обильных дождей, когда колесные и гусеничные транспортные машины практически становятся непригодными.

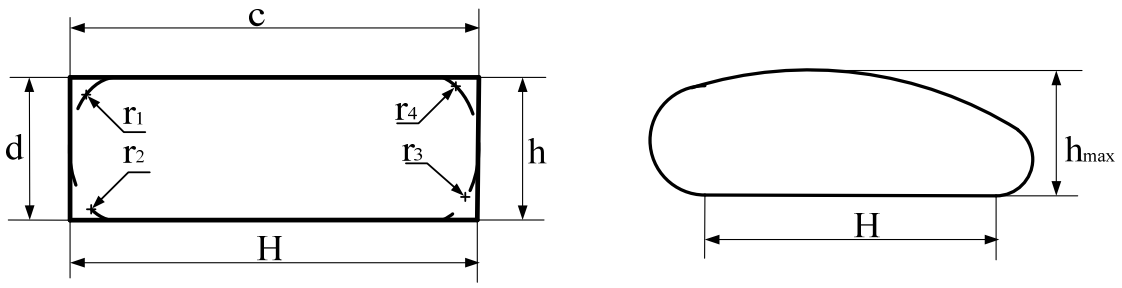
К важнейшим параметрам, характеризующим свойства шагающих машин относится: тяговые и энергетические показатели; проходимость; маневренность; устойчивость; грузоподъемность; структура системы управления; наличие дополнительных технологических функций. Большинство из указанных свойств зависит от траектории движения ноги, что обеспечивается разными технологическими устройствами.

Проведенные за последние десятилетия исследования показывают, наиболее приемлемыми являются рычажные механизмы [2].

Для кинематического синтеза механизмов привода ноги необходимо задаться математической моделью его траектории движения. Правильный выбор траектории движения ноги во многом предопределяет не только кинематические, но и динамические свойства будущей шагающей машины. С точки зрения воспроизведения траектории ноги наиболее оптимальной является траектория в виде прямоугольника (рис. 1а), где прямолинейный участок длиной H соответствуют перемещению корпуса машины, участок h соответствует подъему ноги на высоту просвета между корпусом и опорной поверхности, участки длиной $c=H$ и $d=h$ соответствуют перемещению ноги относительно корпуса в направлении к опорной поверхности соответственно.

Реализовывать перемещение ноги по траектории а) возможно с помощью гидроприводов, причем не меньше 2-х: один для участков длиной $c=H$ и второй для участков с длиной $d=h$. Воспроизвести такую траекторию с помощью цикловых механизмов возможно, если в точках пересечения прямых участков

траектории произвести сопряжения с определенным радиусом (рис. 1а, пунктирно). Радиусы закругления r_1, r_2, r_3, r_4, зависят от того какие дополнительные требования предъявляются к шагающей машине; например, скорость отрыва от опорной поверхности, скорость наступления на опорную поверхность и др. Наиболее перспективными с точки зрения воспроизведения траектории ноги шагающих машин являются рычажные механизмы, в которых некоторая точка шатуна перемещается по заданной траектории (рис. 1,б).



а) б)

Рис. 1. Траектория движения ноги шагающих машин: прямоугольная траектория – а), шатунная кривая – б)

В качестве базовых для воспроизведения шатунных кривых в технической литературе, чаще всего рекомендуется использовать кривошипно-ползунный механизм или шарнирный четырехзвенник. [3–5]

В первом механизме шатунная кривая описывается алгебраическим уравнением 4-го порядка в неявном виде, а во втором механизме – 6-го порядка также в неявном виде. Использование таких уравнений для кинематического синтеза названных выше механизмов за полный цикл работы становится невозможным.

Следует отметить, что многочисленные работы по синтезу направляющих механизмов позволяют определить их параметры только из условия обеспечения прямолинейного участка. [3,4] Для шагающих машин необходимо воспроизведение траектории на всей своей протяженности, если число параметров это позволяют, либо кроме прямолинейного участка, обеспечение необходимого просвета от дорожного покрытия. Такое требование приводит к усложнению схемы рычажных механизмов [5, 6].

Целью настоящей работы является математическое описание некоторых видов шатунных кривых уравнениями второго порядка, что позволит сравнительно просто осуществить кинематический синтез рычажных направлениях механизмов независимо от сложности их структурных схем.

На рис. 2 представлен один из возможных вариантов шатунных кривых, в качестве траектории движения ноги шагающих машин. Согласно рис. 2 шатунная кривая разделена условно на четыре участка: приближенно прямолинейный участок *AD* с длиной *H*; участок *AB*, описываемый приближенно окружностью радиуса r_1; участок *BC*, описываемый приближенно окружностью радиуса r_3; участок *CD*, описываемый приближенно окружностью радиуса r_2.

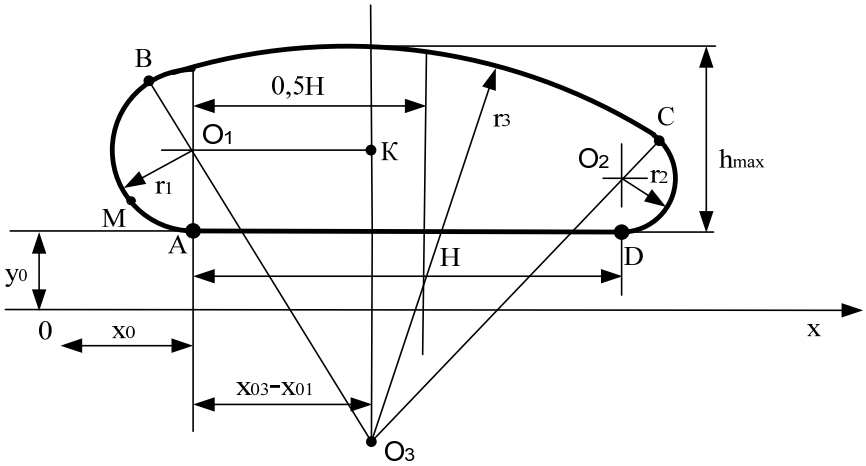


Рис. 2. Траектория движения ноги шагающих машин

Наиболее важным из названных являются, участок *AD* для перемещения корпуса машины и участок *BC*, определяющий высоту h_{max}.

Составим математическую модель отдельных участков траектории при заданной длине H, радиусов r_1, r_2 , r_3. Свяжем с заданной кривой прямоугольную систему координат yO_x, направим ось x -в параллельно участку *AD*. Координатами x_0, y_0 точки *A* считаем заданными. Поскольку окружности радиуса r_1 и r_2 должны касаться прямой *AD*, то в выбранной системе координат, координаты точек O_1 и O_2 становятся известными.

Уравнение прямой *AD* выражается равенством

$$y = y_0 = const, \tag{1}$$

в границах аргумента $x_A \le x \le x_D$. Заметим, что $x_A = x_0 = x_{01}$ $x_D = x_{02}$ где x_{01} x_{02} абсциссы центров O_1 и O_2 окружностей радиуса r_1 и r_2 соответственно; $y_{01} = y_0 + r_1; y_{02} = y_0 + r_2$. Тогда уравнение окружности радиуса r_1 запишем в виде

$$(x - x_{01})^2 + (y - y_{01})^2 = r_1^2, \tag{2}$$

в границах изменения аргумента $x_A \le x \le x_B$, где x_B – абсцисса точки касания *B* окружности радиуса r_1 с окружностью радиуса r_3.

Аналогичным образом для участка *CD* запишем

$$(x - x_{02})^2 + (y - y_{02})^2 = r_2^2, \tag{3}$$

в границах изменения аргумента $x_A \le x \le x_B$, где x_D – абсцисса точки касания *C* участка *CD* окружностей радиуса r_2 и r_3..

Чтобы описать траекторию на участке *BC* необходимо при заданном значении радиуса r_3 определить координаты центра O_3 окружности радиуса r_3. Для этого решаем синтез уравнений

$$\left.\begin{aligned}(x_{03} - x_{01})^2 + (y_{03} - y_{01})^2 = m_1\\ (x_{03} - x_{02})^2 + (y_{03} - y_{02})^2 = m_2\end{aligned}\right\}, \tag{4}$$

где $m_1 = (r_3 - r_1)^2; m_2 = (r_3 - r_2)^2$, x_{03}, y_{03} – координаты центра O_3.

Рассмотрим два случая решения системы (4).

Случай первый. Радиусы $r_1 = r_2$, т.е. шатунная кривая симметрична относительно прямой, параллельной оси *y*-в, проходящей через середину участка *AD*. Поскольку при этом условии $m_1=m_2$, то запишем $(x_{03} - x_{01})^2 + (y_{03} - y_{01})^2 = (x_{03} - x_{02})^2 + (y_{03} - y_{02})^2$. После раскрытия этого уравнения и перегруппирования учитывая, что $y_{01} = y_{02}$, $x_{02} = x_{01} + H$, получим $2x_{03}(x_{02} - x_{01}) = x^2{}_{02} - x^2$. Отсюда

$$x_{03} = \frac{(x_{01} + x_{02})}{2}. \tag{5}$$

Подставляя значения x_{03} из выражения (5) в одно из уравнений системы (4), например 2-е, находим

$$y_{03} = \pm\sqrt{m_2 - \left(\frac{x_{01} - x_{02}}{2}\right)^2} + y_{02} = \pm 0{,}5\sqrt{4m_2 - (x_{01} - x_{02})^2} + y_{02}. \tag{6}$$

Значение дорожного просвета h_{max} находим из выражения (см. рис. 2) $h_{max} = r_3 - (O_3K) + r_1$.

Ввиду симметрично кривой ($r_1 = r_2$) из прямоугольного треугольника O_1KO_3 (см. рис. 2) получим $(O_3K) = \sqrt{m_2 - 0{,}25H^2}$. Тогда для значения просвета h_{max} находим

$$h_{\max} = r_3 + r_2 - \sqrt{m_2 - 0{,}25H^2}. \tag{7}$$

Если в начальных условиях синтеза направляющего механизма задается также h_{max}, то нельзя произвольно задаваться значением радиуса r_3. Его значение в таком случае можно определить из выражения (7).

Имеем

$$m_2 - 0{,}25H^2 = [h_{\max} - (r_3 + r_2)]^2 = h^2{}_{\max} - 2h_{\max}(r_3 + r_2) + (r_3 + r_2)^2 \text{ или}$$

$$(r_3 - r_2)^2 - 0{,}25H^2 = r_3^2 + 2r_3r_2 + r^2 - 2h_{\max}(r_3 + r_2) + h^2{}_{\max}.$$

После несложных преобразований находим

$$d_3(h_{\max} - d_2) = h_{\max}(h_{\max} + d_2) + 0{,}25H^2,$$

$$d_3 = 2r_3 = \frac{h_{\max}}{h_{\max} - d_2} + \frac{0{,}25H^2}{h_{\max} - d_2}, \tag{8}$$

где $d_2 = 2r_2$.

Случай второй. Радиусы $r_1 \ne r_2$.Из решения системы (4) относительно одного из неизвестных, например, x_{03} получим

$$x_{03}(x_{02}-x_{01})^2+y_{03}(y_{02}-y_{01})=\frac{m_1-m_2+x^2{}_{02}+y^2{}_{02}-x^2{}_{01}-y^2{}_{01}}{2}. \quad (9)$$

Принимая во внимание, что $y_{02}-y_{01}=r_2-r$ $x_{02}-x_{01}=H$.

Из выражения (9) находим

$$x_{03}=\frac{k+y_{03}\sqrt{m_1}}{H}, x_{03}=m+ny_{03}, \quad (10)$$

где $k=\frac{m_1-m_2+x^2{}_{02}+y^2{}_{02}-x^2{}_{01}-y^2{}_{01},}{H}; n=\frac{r_2-r_1}{H}$

Подставляем выражение (10) в одно из уравнений системы (4), например, первое. Имеем:

$$(k+ny_{03}-x_{01})^2+(y_{03}-y_{01})^2=m_1. \quad (11)$$

В уравнении (11) только одно неизвестное – y_{03}.

Из этого уравнения находим:

$$Ay^2{}_{03}+By^2{}_{03}+C=0, \quad (12)$$

где $A=(n+1); B=2(k-y_{01}); C=\left(k^2+x^2{}_{01}+y^2{}_{01}-2kx_{01}-m_1\right).$

Из двух значений корней уравнения (12) выбираем то значение, которое удовлетворяет заданной кривой в выбранной системе координат.

Выражение (7) справедливо и для данного случая с той лишь разницей, что точка *К* находится на расстоянии $(x_{03}-x_{01})$ от абсциссы точки O_1. В таком случае отрезок (O_3 *К*) находим из выражения (O_3K)= $\sqrt{m_1-(x_{03}-x_{01})^2}$. Тогда выражения (7) для второго случая принимает вид

$$h_{\max}=r_3+r_1-\sqrt{m_1-(x_{03}-x_{01})^2}. \quad (13)$$

Как и в предыдущем случае при известном значении $h_{\max}$ из (13) можно определить значение радиуса r_3. Имеем $(r_3-r_1)^2-(x_{03}-x_{01})^2=r_3+r_1-h_{\max}$. После несложных преобразований получим

$r_3{}^2-2r_3r_1+r_1^2-(x_{03}-x_{01})^2=r_3{}^2+2r_3r_1+r_1^2-2h_{\max}(r_3+r_1)+h_{\max}{}^2$ или

$d_3(d_1+h_{\max})=h_{\max}(d_1-h_{\max})-(x_{03}-x_{01})^2$. Отсюда

$$d_3=\frac{d_1-h_{\max}}{d_1+h_{\max}}h_{\max}-\frac{(x_{03}-x_{01})^2}{d_1+h_{\max}}, \quad (14)$$

где $d_3=2r_3$; $d_1=2r_1$.

Для нахождения координат точек касания *B* и *C*, что позволяет определить границы участков *AB*, *BC* и *CD* необходимо решить системы уравнений например, для точки касания *B* систем

$$\left.\begin{aligned}&(x_B-x_{03})^2+(y_B-y_{03})^2=r_3^2\\&y_B=k_1(x_B-x_{01})+y_{01}\end{aligned}\right\}, \quad (15)$$

где $k_1=\frac{y_{03}-y_{01}}{x_{03}-x_{01}}$.

Для точки касания *C* систему

$$\left.\begin{aligned}&(x_C-x_{03})^2+(y_C-y_{03})^2=r_3^2\\&y_C=k_2(x_C-x_{02})+y_{02}\end{aligned}\right\}, \quad (16)$$

где $k_2=\frac{y_{03}-y_{02}}{x_{03}-x_{02}}$.

Пример. Определить границы участков *AB*, *BC* и *CD*, если *H*=100 мм; r_1=25 мм; r_2=15 мм; x_0=30 мм; y_0=25 мм.

Из решения системы уравнений (15) и (16) найдены:

x_B=30 мм; y_B=50 мм; x_c=113 мм; y_c=8 мм.

Если для синтеза будущего механизма привода ноги шагающих машин используются участки *AB* и *CD* для исключения неопределенности функции $y=f(x)$, координаты выбранной точки, (например М) находим следующим образом

$$x_M = x_A - r_1 \cdot \sin\varphi, \qquad y_M = y_0 - r_2 \cdot (1 - \cos\varphi), \tag{17}$$

где $\varphi = 2\arcsin\dfrac{l_{AB}}{2r_1}$.

Таким образом, все выделенные участки описаны, их границы известны. Это позволяет переходить к синтезу направляющих механизмов.

Литература

1. Павловский В.Е. О разработке шагающих машин / В.Е. Павловский // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. – 2013. – № 101. – 32 с.

2. Брискин Е.С. Опыт разработки и испытаний шагающих опор дождевальной машины / Е.С. Брискин, В.В. Чернышев, В.В. Жога, А.В. Малолетов // Тракторы и сельхоз машины. – 2011. – № 9. – С. 27–31.

3. Павлов Б.И. Синтез четырехзвенных шарнирных направляющих механизмов / Б.И. Павлов // VII Международная научно-техническая конференция по динамике технологических систем (ДСТ 2007). – Ростов-на-Дону, Октябрь, 2007.

4. Bum Seok Kim, Hong Hee Yoo. Unified mechanism synthesis method of a planar four-bar linkage for path generation employing a spring-connected arbitrarily sized rectangular block model. Myltibody System Dynamics. March 2014, Volume 3, Issue 3, pp. 241–256.

5. Кинин А.Б. Интерактивная методика синтеза направляющих рычажных механизмов для машин легкой промышленности / А.Б. Кинин, А.А. Кинин // Изв. ВУЗов Технология легкой промышленности. – 2010. – № 1. – С. 68–72.

6. Radovan R., Bulatovic, Stevan R. Dordevic. Optimal synthesis of a path generator six-bar linkage. Goumal of Mechanical Science and Technology. December 2012, Volume 26, Issue 12, pp. 402–440.

Рецензія/Peer review : 9.5.2016 р. Надрукована/Printed : 6.6.2016 р.
Стаття прорецензована редакційною колегією

УДК 669.1:537.5

І.М. ПАСТУХ, В.В. ЛЮХОВЕЦЬ
Хмельницький національний університет

ЕФЕКТ НАКАЧУВАННЯ ІОНІВ АЗОТУ В ОТВОРИ ВІДНОСНО МАЛОГО ДІАМЕТРА

Встановлено основні закономірності та умови азотування в тліючому розряді отворів відносно малого діаметра. Проаналізована можливість головних процесів азотування таких отворів при різних типах існування газового розряду. Запропоновані рекомендації стосовно параметрів електричного розряду в газі для забезпечення ефективності процесу модифікації внутрішніх поверхонь отворів відносно малого діаметра. Наведені основні закономірності, які характеризують технологічні особливості азотування внутрішньої поверхні отворів. Встановлені умови та обмеження існування розряду, при яких можливий ефект накачування іонів в отвір.

Ключові слова: отвори відносно малого діаметра, тліючий розряд, азотування.

I.M. PASTUKH, V.V. LUHOVEC
Khmelnytsky National University

EFFECT OF NITROGEN IONS PUMPING HOLE RELATIVELY SMALL DIAMETER

The basic laws and nitriding conditions of glow discharge holes of relatively small diameter. The possibility of the main processes of nitriding of holes for different types of the existence of the gas discharge. Recommendations on the parameters of the electric discharge in the gas to ensure the effectiveness of the modification of internal surfaces of the holes of relatively small diameter. The basic laws that characterize the technological features of the internal surface hole nitriding. The requirements and limitations exist category in which the possible effect of pumping ions into the hole. Your selections electrical discharge in the gas, under which achieved the greatest efficiency modifications inner surfaces of relatively small diameter holes.

Keywords: hole of relatively small diameter, glow discharge nitriding.

Вступ

Отворами відносно малого діаметра в деталях слід вважати наскрізні або глухі отвори, відношення довжини (глибини – для не наскрізних) яких до діаметра більше 2–4. Обґрунтування цих меж (менше значення – для не наскрізних) полягає в тому, що як це встановлено в [1] на глибині отвору порядку двох діаметрів напруженість поля електричного розряду становить всього 0,02% від напруженості на торці отвору. З врахуванням цього показника реально можна вважати отворами відносно малого діаметра наскрізні отвори, відношення довжини яких до діаметра більше трьох, для не наскрізних – 1,5.

Практичне значення вирішення поставленої задачі надзвичайно велике, оскільки в

машинобудуванні практично всіх напрямків використовується безліч деталей з отворами відносно малого діаметра, внутрішня поверхня яких є робочою і зносостійкість якої має принципове значення для підвищення ресурсу продукції, її працездатності та терміну нормальної роботи. Прикладами таких деталей можуть служити внутрішні поверхні матеріальних циліндрів термопластавтоматів, внутрішні поверхні пневмо- та гідроциліндрів, внутрішні поверхні плунжерних насосів паливної апаратури двигунів – взагалі всі вузли машин, які працюють по схемі плунжер-циліндр.

Відомі різні технології модифікації внутрішніх поверхонь подібних пар. Серед них найчастіше використовуються цементація. Проте головним недоліком цього процесу є формозмінність деталей , що вимагає додаткової чистової обробки внутрішніх поверхонь отворі. При цьому не тільки зростає трудомісткість виготовлення деталей, їх вартість, а, що найбільш принципове, при значних формозмінах припуски на фінішну обробку отворів може перевищувати глибину модифікованого шару локально або навіть по всіх поверхні, що знижує або зовсім нівелює результат обробки.

Модифікація вказаних поверхонь можлива з використанням пічного азотування, проте цей технологічний процес надзвичайно тривалий (до 96 годин), ресурсозатратний, в плані організації виробництва бажана наявність деталей на повне завантаження печей, що не завжди прийнятно, особливо для індивідуального або малосерійного виробництва. Ще одна небажана особливість процесу пічного азотування, особливо в світлі сучасних вимог до екології виробництва, полягає у використані в якості робочого агенту аміаку. Відомо, що азотування в аміачних газових середовищах хоча і забезпечує більшу твердість оброблюваної поверхні, але і обумовлює її більшу крихкість. Цей недолік пояснює необхідність додаткової обробки поверхні з метою видалення тих фаз модифікованого шару, які і є причиною підвищеної крихкості поверхні. Крім того, при певних режимах пічного азотування спостерігається утворення тріщин у зв'язку з наявністю значних напружень в поверхневому шарі.

Всі зазначені недоліки відсутні при використанні технологічного процесу азотування в тліючому розряді. Деталь до модифікації обробляється в чистових розмірах, тобто додаткова наступна після модифікації механічна обробка стає зайвою, що принципово відзначається на собівартості виготовлення деталей, процес на порядок менш тривалий в порівнянні з пічним, а при застосуванні безводневих середовищ не тільки стає можливим забезпечення всіх вимог екологічної безпеки, але суттєво знижуються показники крихкості (модифікована поверхня відповідає класу А по шкалі ВІАМ, тоді як найкращим досягненням пічного азотування є клас В по тій же шкалі).

Проте азотування в тліючому розряді при звичайних умовах живлення не забезпечує обробку внутрішньої поверхні рівномірно по всій глибині, а при значних відношеннях довжини до діаметра поверхня отвору віддалена від торців отвору внутрішня поверхня практично не модифікується [2].

Постановка задачі

Метою цієї роботи є аналіз умов, при яких вказаний вище недолік може бути нівельовано аж до забезпечення можливості азотування внутрішніх поверхонь отворів відносно малого діаметра. Також слід врахувати той ефект, що навіть без спеціальних заходів можливе часткове азотування поверхонь отворів на певній відстані від торців отвору за рахунок того, що нагріта поверхня більш активна по відношенню до азоту, хоча інтенсивність та результативність цього процесу незрівнянна з умовами, коли таж поверхня контактує з активованими частками азоту. Встановлення умов, при яких можливе явище забезпечення наявності іонізованих часток азоту на внутрішній поверхні в глибині отвору, становить головну задачу статті.

Виклад основного матеріалу

Стосовно ефективності процесу азотування у тліючому розряді (АТР) загальноприйнятою є теза, згідно з якою продуктивність технології значною мірою залежить від наявності в околі оброблюваної поверхні іонізованих атомарних чи молекулярних часток [3]. Розглянемо можливість міграції іонізованих часток молекулярного та атомарного азоту в глибину отворів відносно малого діаметра при стаціонарному живленні розряду. Схема (для спрощення – тільки одного з торців отвору) показана на рис. 1.

Область катодного падіння (ОКП) має ширину δ, яка поступово вздовж отвору в глибину його зменшується і, як зазначалось вище, на відстані подвійного діаметра 2D від торця дорівнює нулю [1]. Частки азоту N_2 або N входять в ОКП під довільним кутом $\overline{\beta}$, який визначається за методикою [4].

$$\overline{\beta}(p,j,U,v) = 90(1 - a(p,j,U)^{-v}) - b(p,j,U)ve^{-0,1v^c},$$

де a, b, c – константи;

v – аналог швидкості, $v = V \cdot 10^{-4}$ м/с.

Кращі результати апроксимації (кореляційне відношення між розрахунковими та апроксимаційними даними – 0,999) досягаються при використанні залежності виду:

$$\overline{\beta}(p,U,v) = 90(1 - a(p,U)^{-2av}) - b(p,U)ve^{-0,1v^c}.$$

Коефіцієнт a визначається за допомогою залежності:

$$a(U,p) = K_{a1}(p) + K_{a2}(p)U + K_{a3}(p)U^2 + K_{a4}(p)U^3,$$

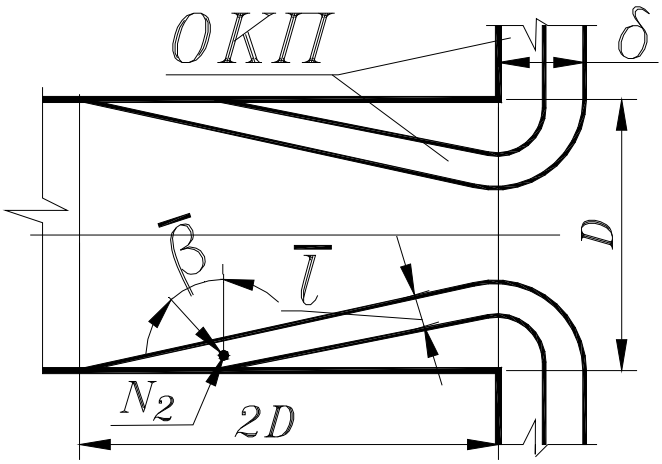


Рис. 1. Схема області катодного падіння в околі торця отвору відносно малого діаметра

де для молекулярного іона азоту:

$$K_{a1}(p) = 1,445 + 0,2737p - 0,1344p^2;$$
$$K_{a2}(p) = -5,278\cdot10^{-4} + 3,595\cdot10^{-4}p - 1,694\cdot10^{-4}p^2;$$
$$K_{a3}(p) = -7,917\cdot10^{-7} - 7,639\cdot10^{-7}p + 3,472\cdot10^{-7}p^2;$$
$$K_{a4}(p) = -2,932\cdot10^{-10} + 2,894\cdot10^{-10}p - 1,447\cdot10^{-10}p^2,$$

для атомарного іона азоту:

$$K_{a1}(p) = 0,14 + 3,0125p - 1,71875p^2;$$
$$K_{a2}(p) = 0,0061444445 - 0,014930556p - 0,00840277779p^2;$$
$$K_{a3}(p) = -8,8333333\cdot10^{-6} + 2,125\cdot10^{-5}p - 1,1805555\cdot10^{-5}p^2;$$
$$K_{a4}(p) = 3,7654321\cdot10^{-9} - 9,1049383\cdot10^{-9}p + 5,0154321\cdot10^{-9}p^2.$$

Нейтральна частка насамперед входить в поверхневий прошарок, ширина якого становить середню довжину вільного пробігу $\bar{l}$ частки в ОКП, що визначається

$$\bar{l} = kT/p\sigma_{vc},$$

где k – постійна Больцмана, J/K°,

T – температура по шкалі Кельвіна, K°,

p – тиск в розрядній камері, Pa,

σ_{vc} – приведений перетин сутичок компонента газового середовища, м^2.

Для молекулярного азоту приведений перетин сутичок в азотно-аргоновому середовищі

$$\sigma_{vc\ N_2} = \pi\left(r_{N2} + r_{N2}\right)^2 \times K_{p\,N2} + \pi\left(r_{N2} + r_{Ar}\right)^2 \times K_{p\,Ar},$$

для атомарного азоту приведений перетин сутичок в азотно-аргоновому середовищі

$$\sigma_{vc\ N} = \pi\left(r_N + r_{N2}\right)^2 \times K_{p\,N2} + \pi\left(r_N + r_{Ar}\right)^2 \times K_{p\,Ar},$$

де r_{N2}, r_N, r_{Ar} радіуси відповідно молекул, атомів азоту та атомів аргону, r_{N2}=1,85x10^{-10} м, r_N=0,938x10^{-10} м, r_{Ar}=1,82x10^{-10} м.

K_{pN2}, K_{pAr} коефіцієнти об'ємної концентрації азоту та аргону в газовому середовищі, для середовища N75Ar25 K_{pN2}=0,75, K_{pNAr}=0,25,

Ширина ОКП визначається в реально застосовуваному діапазоні параметрів режиму через вихідний параметр еталонної ширини [5]. У якості еталонної прийнята ширина ОКП для суміші, що містить 100% азоту (середовище N100), при температурі T=300˚K)

$$\delta_{N_2 300} = 1,54\ \ p^{-0.89} + 1.84\ \ p^{0.58} j^{-\left(1,04\ \ p^{-0,39}\right)},$$

де p – тиск в камері, тор,

j – густина струму, А/м^2.

Для конкретних умов, які відрізняються від прийнятих при розрахунку еталонної ширини, ширина ОКП корегується. В остаточному варіанті при температурі поверхні деталі T=300...900˚K, тискові в розрядній камері p=0,4...1,2 тора, густині струму j=4...50 А/м^2 ширина ОКП (мм) може визначатись для довільного середовища

$$\delta_W(j,p,T) = d_{N_2 300}(j,p)\cdot K_{TN}(j,T)\cdot K_\sigma(k_\sigma)\cdot K_{T\sigma}(k_\sigma),$$

K_{TN} (j,T) – температурний коефіцієнт для середовища N100 (кореляційне відношення не нижче 0,98),

$$K_{TN}(j,T)=(0,302+0,514j^{-0,419})+(0,002013-0,001663j^{-0,749})\cdot T,$$

$K_\sigma(k_\sigma)$ – коефіцієнт впливу відношення приведених інтегральних перетинів, (константа a_σ=0.38)

$$K_\sigma(k_\sigma)=(1+a_\sigma)-a_\sigma k_\sigma,$$

$K_{T\sigma}(k_\sigma)$ – поправка до температурного коефіцієнта, яка враховує склад газового середовища,

$$K_{T\sigma}(k_\sigma)=0,285+0,715k_\sigma.$$

Приведений інтегральний перетин іонізації розраховується

$$\sigma_\Sigma=\sum_1^i K_{pWi}\cdot\sigma_{\Sigma Wi},$$

де K_{pWi} – коефіцієнт об'ємної долі компонента в газовому середовищі,

i – кількість компонентів газової суміші,

$\sigma_{\Sigma W}$ – інтегральний перетин іонізації для будь-якого компонента W газового середовища,

$$\sigma_{\Sigma W}=\int_0^\infty \sigma_{иуеW}(\overline{V_e})\cdot 10^{26}\cdot dV,$$

де $\sigma_{иуеW}(V_e)$ – залежність перетину ударної іонізації електроном будь-якого компонента газової суміші від середньої швидкості (відповідно – енергії) електрона (коефіцієнт 10^{26} введено для того, щоб дані були зручнішими в подальшій обробці, і передбачає, що перетин ударної іонізації визначається в м^2).

Обробка відомих величин перетинів іонізації дає значення інтегральних та, відповідно, приведених інтегральних перетинів ударної іонізації для окремих компонентів та типових газових середовищ: N100 – 30,81; Ar100 – 41,97; N25Ar75 – 39,18; N50Ar50 – 36,39; N75Ar25 – 33,6; N90H10 – 29,62. Проте зручніше в подальшому оперувати відношенням приведених інтегральних перетинів до деякого базового значення k_σ, в якості якого вибрано приведений інтегральний перетин для середовища N100. Тоді відношення приведених інтегральних перетинів k_σ для інших середовищ становить: N25Ar75 – 1,272; N50Ar50 – 1,181; N75Ar25 – 1,091; Ar100 – 1,362; N90H10 – 0,961, N10Ar90 – 1,326.

Для типових (найбільш застосовуваних) параметрів технологічного режиму – газове середовище N75Ar25, температура T=560°C=833°K, тиск p=0,9 мм. рт. ст=120 Па, напруга U=800 В, густина струму j=15 А/м^2 основні параметри, котрі стосуються ОКП та процесів в ОКП, пов'язаних з іонами азоту можуть бути визначені на основі аналітики, приведеної вище.

Еталонна ширина ОКП $\delta_{N_2 300}=1,54\times 0.9^{-0.89}+1.84\times 0.9^{0.58}\times 15^{-\left(1,04\times 0.9^{0.39-}\right)}=1,783$ мм.

Температурний коефіцієнт для середовища N100

$$K_{TN}(j,T)=(0,302+0,514\times 15^{-0,419})+$$
$$+(0,002013-0,001663\times 15^{-0,749})\cdot 833=1,964$$

Коефіцієнт впливу відношення приведених інтегральних перетинів

$$K_\sigma(k_\sigma)=(1+0,38)-0,38\times 1,091=0,965.$$

Поправка до температурного коефіцієнта, яка враховує склад газового середовища,

$$K_{T\sigma}(k_\sigma)=0,285+0,715\times 1,091=1,065.$$

Ширина ОКП (мм) для середовища з прийнятими параметрами режиму

$$\delta_W(j,p,T)=1,783\cdot 1,964\cdot 0,965\cdot 1,065=3,599 \text{ мм.}$$

Напруженість електричного поля біля катоду

$$E_K=2\times U_K/\delta_W(j,p,T),$$

де U_K – напруга катодного падіння, В.

$$E_K=2\times 1000\times 800/3,77=4,446\times 10^5 \text{ В/м}$$

Виходячи з передумови, що, як буде показано нижче, в першому зі сторони анода прошарку вільного пробігу ОКП немає достатніх умов для утворення іонів молекулярного азоту, приведений перетин сутичок визначається для молекулярного азоту. Атоми азоту як правило утворюються в результаті рекомбінації молекулярних іонів, тобто визначення приведеного перетину сутичок для атомарного азоту немає сенсу.

$$\sigma_{vc\ N_2}=\pi\left(1,85\times 10^{-10}+1,85\times 10^{-10}\right)^2\times 0,75+\pi\left(1,85\times 10^{-10}+1,82\times 10^{-10}\right)^2\times 0,25=42,81\times 10^{-20} \text{ м}^2.$$

Довжина вільного пробігу

$$\bar{l}=1,381\times 10^{-23}\times 833/120\times 42,81=0,000224 \text{ м.}$$

Таким чином, при параметрах технологічного режиму, прийнятих для аналізу, ОКП може включати біля шістнадцяти прошарків вільного пробігу. Напруженість електричного поля катодної межі першого від аноду прошарку вільного пробігу при прийнятому лінійному законові її зміни в ОКП становить біля 27787 В/м.

Швидкість електронів на катодній межі першого від аноду прошарку вільного пробігу визначається

у відповідності до методики, розробленої в [5]. Ця методика передбачає умовне розбиття ОКП на 50 ділянок. Найкраще крива зміни середньої швидкості на рис. 2 відображається формулою

$$\overline{V_e}(z) = V_{e0} + a_V z \cdot e^{-b_V z^{c_V}} \cdot 10^6 \quad (1)$$

де a_V, b_V, c_V – коефіцієнти, які залежать від умов електричного розряду в газі (ЕРГ): склад суміші, тиск газового середовища, температура газової компоненти, густина струму,

z – номер прошарку ОКП при їх загальній кількості 50, який зв'язаний з координатою поля y в напрямку від катода формулою

$$y = 0{,}02 \cdot \delta \cdot z ,$$

V_{e0} – початкова середня швидкість електронів біля катоду, м/с.

Електрон вилітає з катода, маючи енергію порядку 1 еВ [6, с. 358], яка забезпечує йому швидкість V_{e0}=0,5931·10^6 м/с. Після досягнення максимального значення V_{eM} в шарові z_M швидкість плавно зменшується до величини $V_{e\delta}$, що відповідає усталеній енергії електрона на межі входу його в позитивний стовп. Оскільки ця енергія дорівнює 2 еВ (кількість електронів з енергією 3-4 еВ на два-три порядки менша [6, с. 359, 683]), то їй відповідає швидкість електрона $V_{e\delta}$=0,839·10^6 м/с.

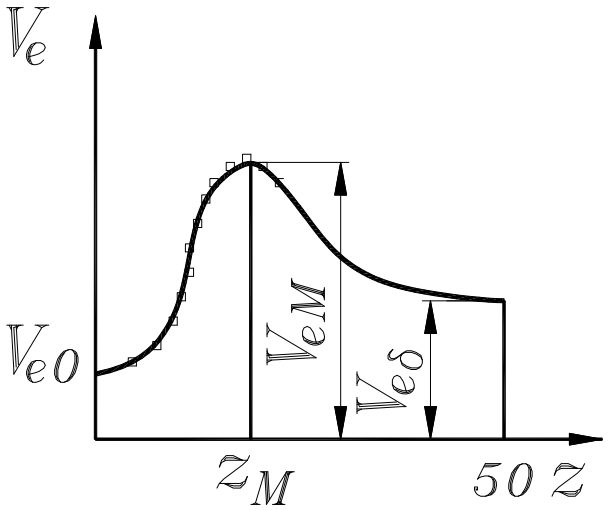


Рис. 2. Зміна середньої швидкості електронів по ширині області катодного падіння

Розроблена методика визначає коефіцієнти рівняння (1) в два етапи: спочатку в залежності від умов, в яких існує електричний розряд в газі, розраховуються максимальні значення швидкості V_{eM} та номер прошарку, в котрому розташований цей максимум, а потім ці два значення переводяться в значення коефіцієнтів для рівняння (1). Для суміші, яка повністю складається з азоту, максимальне значення середньої швидкості електронів в м/с як функції тиску p (в межах 0,4...1,2 тора), густини струму j (4...120 А/м2), температури газової компоненти T (300...873˚К), міжелектродного потенціалу U (250...550 В) розраховується системою рівнянь в послідовності виключення факторів впливу [5]: тиску в торах

$$\begin{cases} K_{P1}(p) = 1{,}565 - 1{,}415p + 0{,}85p^2 \\ K_{P2}(p) = 0{,}075 + 0.064p - 0{,}066p^2 \\ K_{P3}(p) = 0{,}0008601 - 0.0006156p + 0{,}0003584p^2 \\ K_{P4}(p) = -0{,}245 + 0{,}284p - 0{,}166p^2 \\ K_{P5}(p) = 0{,}004206 - 0{,}003856p + 0{,}002291p^2 \\ K_{P6}(p) = 0{,}063 + 0{,}089p - 0{,}078p^2 \\ K_{P7}(p) = 0{,}000002069 - 0{,}000001228p + 0{,}00000075p^2 \\ K_{P8}(p) = -0{,}178 + 0{,}134p - 0{,}084p^2 \end{cases},$$

густини струму в А/м^2

$$\begin{cases} K_{PJ1}(p,j) = K_{P1}(p) \cdot j^{K_{P2}(p)} \\ K_{PJ2}(p,j) = K_{P3}(p) \cdot j^{K_{P4}(p)} \\ K_{PJ3}(p,j) = K_{P5}(p) \cdot j^{K_{P6}(p)} \\ K_{PJ4}(p,j) = K_{P7}(p) \cdot j^{K_{P8}(p)} \end{cases},$$

температури (в градусах Кельвіна)

$$\begin{cases} K_{TPJ1}(T,p,j) = K_{PJ1}(p,j) + K_{PJ2}(p,j) \cdot T \\ K_{TPJ2}(T,p,j) = K_{PJ3}(p,j) + K_{PJ4}(p,j) \cdot T \end{cases},$$

міжелектродного потенціалу, В

$$\overline{V}_{eM}(U,T,p,j) = (K_{TPJ1}(T,p,j) + K_{TPJ2}(T,p,j) \cdot U) \cdot 10^6 ,$$

Аналогічним порядком визначається номер прошарку, в якому середня швидкість електронів буде максимальною, але, як це було встановлено [5], оскільки положення максимуму не залежить від міжелектродного потенціалу U, то кількість факторів виключення буде меншою, а саме: тиск

$$\begin{cases} K_{ZP1}(p) = 13,648 - 19,871p + 11,766p^2 \\ K_{ZP2}(p) = 0,167 + 0,144p - 0,153p^2 \\ K_{ZP3}(p) = 0,021 - 0,026p + 0,014p^2 \\ K_{ZP4}(p) = -0,079 + 0,193p - 0,131p^2 \end{cases},$$

густина струму

$$\begin{cases} K_{ZPJ1}(p,j) = K_{ZP1}(p) \cdot j^{K_{ZP2}} \\ K_{ZPJ2}(p,j) = K_{ZP3}(p) \cdot j^{K_{ZP4}} \end{cases},$$

температура

$$z_M(T,p,j) = K_{ZPJ1}(p,j) + K_{ZPJ2}(p,j) \cdot T$$

з наступним закругленням до ближчого цілого значення.

Оскільки коефіцієнт a_V впливає тільки на величину максимального значення середньої швидкості, але зовсім не змінює положення максимуму, то доречно вибір починати саме з цього параметра за системою рівнянь

$$\begin{cases} K_{a1}(z_M) = 1900 \cdot z_M^{-4,5} - 0.002241 \\ K_{a2}(z_M) = 9,581 \cdot z_M^{-1,652} \\ a_V(z_M, \overline{V}_{eM}) = K_{a1}(z_M) + K_{a2}(z_M)\overline{V}_{eM} \cdot 10^{-6} \end{cases}.$$

Тоді, враховуючи значення середньої швидкості електронів в початковій, кінцевій точках та в точці максимуму, вводячи позначення

$$w = ln\left(\frac{\overline{V}_{eM} - V_{e0}}{a_V z_M \cdot 10^6}\right), \quad v = ln\left(\frac{0,004918}{a_V}\right),$$

одержимо вирази для визначення інших двох коефіцієнтів

$$c_V = \frac{ln\,w - ln\,v}{ln\,z_M - 3,912}, \qquad b_V = -\frac{v}{50^{c_V}} = -\frac{w}{z_M^{c_V}}.$$

Для прийнятих вище в якості прикладу параметрах технологічного режиму

$$\begin{cases} K_{P1}(p) = 1,565 - 1,415 \times 0,9 + 0,85 \times 0,9^2 = 0,98 \\ K_{P2}(p) = 0,075 + 0,064 \times 0,9 - 0,066 \times 0,9^2 = 0,07914 \\ K_{P3}(p) = 0,0008601 - 0.0006156 \times 0,9 + 0,0003584 \times 0.9^2 = 0,000596364 \\ K_{P4}(p) = -0,245 + 0,284 \times 0.9 - 0,166 \times 0.9^2 = -0,12386 \\ K_{P5}(p) = 0,004206 - 0,003856 \times 0,9 + 0,002291 \times 0,9^2 = 0,00259131 \\ K_{P6}(p) = 0,063 + 0,089 \times 0,9 - 0,078 \times 0,9^2 = 0,07992 \\ K_{P7}(p) = 0,000002069 - 0,000001228 \times 0,9 + 0,00000075 \times 0,9^2 = 0,0000015713 \\ K_{P8}(p) = -0,178 + 0,134 \times 0,9 - 0,084 \times 0,9^2 = -0,12544 \end{cases}$$

$$\begin{cases} K_{PJ1}(p,j) = 0,98 \cdot 15^{0,07914} = 1,2142327375603 \\ K_{PJ2}(p,j) = 0,000596364 \cdot 15^{-0,12386} = 0,000426423132 \\ K_{PJ3}(p,j) = 0,00259131 \cdot 15^{0,07992} = 0,0032174557627 \\ K_{PJ4}(p,j) = 0,0000015713 \cdot 15^{-0,12544} = 0,0000011187427 \end{cases}$$

$$\begin{cases} K_{TPJ1}(T,p,j) = 1,21423273756 + 0,000426423132 \cdot 833 = 1,569443206516 \\ K_{TPJ2}(T,p,j) = 0,0032174557627 + 0,0000011187427 \cdot 833 = 0,0041493684318 \end{cases}$$

$$\overline{V}_{eM}(U,T,p,j) = (1,569443206516 + 0,004193648 \cdot 800) \cdot 10^6 = 4,92 \times 10^6 \text{ м/с.}$$

$$\begin{cases} K_{ZP1}(p) = 13,648 - 19,871 \cdot 0,9 + 11,766 \cdot 0,9^2 = 5,29456 \\ K_{ZP2}(p) = 0,167 + 0,144 \cdot 0,9 - 0,153 \cdot 0,9^2 = 0,17267 \\ K_{ZP3}(p) = 0,021 - 0,026 \cdot 0,9 + 0,014 \cdot 0,9^2 = 0,00894 \\ K_{ZP4}(p) = -0,079 + 0,193 \cdot 0,9 - 0,131 \cdot 0,9^2 = -0,01141 \end{cases}$$

$$\begin{cases} K_{ZPJ1}(p,j) = 5,29456 \cdot 15^{0,17267} = 8,451 \\ K_{ZPJ2}(p,j) = 0,0085415 \cdot 15^{(-0,01141)} = 0,00867 \end{cases}$$

$$z_M(T,p,j) = 8,451 + 0,00867 \cdot 833 = 15,671$$

Закруглене до цілого значення номера прошарку, в якому швидкість електронів максимальна z_M=16.

$$\begin{cases} K_{a1}(z_M) = 1900 \cdot 16^{-4,5} - 0,002241 = 0,00328 \\ K_{a2}(z_M) = 9,581 \cdot 16^{-1,652} = 0,00889 \\ a_V(z_M, \overline{V}_{eM}) = 0,00328 + 0,00889 \cdot 4,924 \cdot 10^{-6} = 0,441 \end{cases}$$

$$w = ln\left(\frac{4,924 - 0,5931}{0,441 \cdot 16 \cdot 10^6}\right) = -0,549$$

$$v = ln\left(\frac{0,004918}{0,441}\right) = -4,496$$

$$c_V = \frac{ln(-0,549) - ln(-4,496)}{ln(16) - 3,912} = 1,9493$$

$$b_V = -\frac{(-4,496)}{50^{1,9493}} = -\frac{(-0,549)}{17^{1,9493}} = 0,00219$$

Номер прошарку, який відповідає катодній межі першого від аноду прошарку вільного пробігу (враховуючи, що в ОКП 16 таких прошарків) $z_l = 50(1 - 1/16) = 46,875$, прийнято z_l=47. Тоді швидкість електронів на вході зі сторони катоду в останній прошарок вільного пробігу згідно з рівнянням (1)

$$\overline{V}_e(47) = 0,5931 \cdot 10^6 + 0,441 \cdot 47z \cdot e^{-0,00219 \times 47^{1,9493}} \cdot 10^6 = 0,9822 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

Оскільки отримане значення швидкості суттєво менше швидкості електронів VI, яка відповідає потенціалу іонізації, котра для молекулярного азоту VI =2,343 10^6 м/с, для аргону VI=2,358 10^6 м/с, для молекулярного водню VI=2,327 10^6 м/с, для атомарного азоту VI =2,259 10^6 м/с, для атомарного водню VI=2,187·10^6 м/с [5], то для ударної іонізації компонентів газового середовища в першому від анода прошарку вільного пробігу немає ніяких умов. Аналогічно з причини низької швидкості електронів відсутні умови і для ступінчатої іонізації. Таким чином, в першому від анода прошарку вільного пробігу енергетика електронів – головного ініціатора субпроцесів іонізації не дозволяє отримати іони молекулярного азоту, що також робить неможливим утворення атомарних іонів азоту та нейтралів азоту.

Необхідно також проаналізувати процеси пов'язані з можливістю дрейфу поза зону ОКП іонів, утворених в прошарках, розташованих ближче до катода, ніж перший прошарок. Цей дрейф можливий тільки як наслідок сутичок іонів з іншими частками газу (як правило, нейтральними з огляду на дуже малу ступінь іонізації, що унеможливлює сутички іонів один з одним). Схема для дослідження показана на рис. 3.

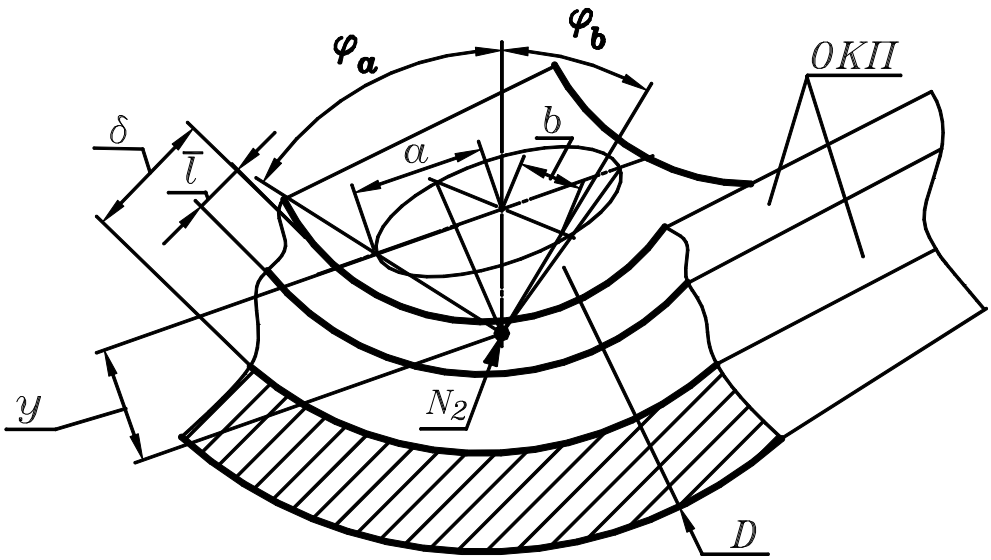


Рис. 3. Схема процесів в першому від анода прошарку вільного пробігу

Частка молекулярного азоту, яка ввійшла в ОКП, в результаті сутички з іншими компонентами газу згідно із законом сферичної симетрії може бути відбита в будь-якому напрямку. З позиції дослідження ефекту накачування внутрішнього простору отворів навіть, якщо допустити, що з тих чи інших умов в першому прошарку з'явились іони азоту, котрі перемістились в нього з прошарків, ближчих до катода, то вихід з першого прошарку у внутрішню область отвору поза зону ОКП можливий тільки, якщо частка буде відбита в межах сегмента у формі еліптичного коноїда з еліпсом в основі (півосі його a і b, а кути бокових твірних відповідно φ_a та φ_b). Враховуючи відносно незначні розміри ширини прошарків вільного пробігу замінимо еліптичний коноїд круговим, тобто півосі основи та кути твірної будуть однакові. Розміри півосей (радіуси кола основи) залежать від координати y положення частки в момент сутички, яка може

змінюватись від нуля до розміру ширини прошарку вільного пробігу. Тоді геометричні параметри конуса визначаться

$$\phi_a = \phi_b = arc\ cos\ (y/\bar{l})\ ,$$

$$a = b = \sqrt{\left(\bar{l}\right)^2 - y^2}\ .$$

Очевидно, що і кути, і розміри півосей будуть змінюватись в залежності від координати точки сутички y в межах відповідно (90° -0), ($\bar{l}$ – 0). Площа круга основи теж буде змінюватись від $\pi\left(\bar{l}\right)^2$ до нуля. Ймовірність виходу частки з першого прошарку вільного пробігу (подія A) є, таким чином, відношенням площі круга основи конічного сегмента до площі кулі, радіус якої $\bar{l}$ $P_A(A) = \pi\, a^2 \Big/ 4\pi\left(\bar{l}\right)^2$, тобто залежно від координати точки сутички ймовірність змінюється від нуля до 0,25. Проте найбільше значення ймовірності відповідає сутичці на анодній межі першого прошарку вільного пробігу, де виключена навіть теоретична можливість іонізації азоту. При відбитті частки азоту, в тому числі і його іонів з наступних, ближчих до катода, прошарків (подія B), то ймовірність цього процесу дорівнює добуткові ймовірностей події A

$$P_B(B) = P_A(A)^Z\ ,$$

де Z – порядковий номер прошарку вільного пробігу, який відраховується в послідовності від анодної межі ОКП до катода.

Очевидно, що чим ближче точка старту частки азоту (в тому числі і його іонів) до катода, тим катастрофічніше зменшується ймовірність виходу її за межі ОКП у внутрішній об'єм отвору. Крім того слід врахувати ще одну суттєву обставину, яка не сприяє дрейфові іонізованих часток азоту в отвір. На іон діє сила від поля, причому вона тим більша, чим ближче точка старту до катода (відстань від катода y вимірюється в напрямку від катода до анода)

$$F(y) = m_+ \frac{d^2 y}{dt^2} = q_+ E(y)\,,$$

де q_+ – елементарній заряд іона, який номінально дорівнює заряду електрона (всі іони – однозарядні),

$E(y)$ – закон зміни напруженості поля по нормалі до поверхні в напрямку від катода катоду до анода,

$$E(y) = -\frac{d\phi}{dx} = E_K\left(1 - \frac{y}{\delta}\right),$$

де y – координата в напрямку нормалі до поверхні з початком системи координат на поверхні в сторону анода.

Враховуючи значення напруженості поля біля катода, визначене вище (по порядку величин – 10^5 В/м), сила, яка притягує іон досягає великих значень, іон різко змінює траєкторію свого руху в сторону катода, причому чим ближче сутичка проходить до катода, тим у меншій мірі іон може рухатись в напрямку виходу з ОКП, що ще раз вказує на повну неможливість при стаціонарному живленні розряду дрейфу іонів з ОКП у внутрішню зону отвору.

Принципова відмінність азотування з переривчастим живленням розряду у порівнянні із стаціонарним полягає в тому, що послідовно за певною частиною періоду, в якій розряд отримує живлення, слідує проміжок часу, коли живлення відсутнє. При відсутності живлення рух іонів в ОКП продовжується по інерції, проте на іон вже не діє сила F(y) від поля, яке в цей момент відсутня. За цих обставин енергія іонів визначається через різницю потенціалів поля в точках передостанньої φ_0 та останньої φ_y сутичок

$$\varepsilon_0 = q_e(\phi_0 - \phi_y)\,.$$

При лінійному законові зміни напруженості поля потенціал в точці з координатою y визначається

$$\phi_y = 2U\left(\frac{y}{\delta} - \frac{y^2}{2\delta^2}\right).$$

Враховуючи, що потенціал поля в точці передостанньої сутички, яка знаходиться аналогічно

$$\phi_0 = U\left(\frac{2\delta(y + y_0) - (y + y_0)^2}{\delta^2}\right),$$

де $y_0 = \bar{l} \cdot cos\,\beta_0$,

β_0 – середній кут між напрямками руху іона перед сутичкою та нормаллю до поверхні (див вище), то енергія входу в останню сутичку

$$\varepsilon_0 = q_e U\,\frac{2\delta \cdot y_0 - 2yy_0 - y_0^2}{\delta^2}\,.$$

Приведена залежність надто ускладнить подальші викладки без нагальної в тому потреби. Останнє

обґрунтовується тим, що в першому від катоду ПВП, ширина якого приблизно становить в околі 10% ширини ОКП, падіння потенціалу сягає від 20 до 40%, тобто потенціал поля змінюється дуже різко. Ця обставина дозволяє прийняти в межах першого від катоду ПВП лінійний закон зміни потенціалу поля, який тоді прийме вигляд

$$\phi(y) = \frac{y}{\bar{l}}\phi_Y ,$$

де φ_Y – потенціал поля на анодній межі першого від катода ПВП, котрий визначається

$$\phi_Y = 2U\left(\frac{\bar{l}}{\delta} - \frac{\left(\bar{l}\right)^2}{2\delta^2}\right).$$

З цим допущенням втрата енергії іоном під час сутички значно спрощується

$$\Delta\varepsilon = \frac{2m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2}\varepsilon_0 .$$

При приблизній рівності мас учасників сутички коефіцієнт втрати енергії становить 0,5. Таке допущення абсолютно правомірне, якщо врахувати, що в газовому середовищі, реально використовуваному в технологічних процесах, переважає один компонент – азот. Тоді енергія частки азоту після виходу з чергової сутички становить 50% від енергії на момент входу в неї. Середня швидкість іона певного сорту розраховується через його середню енергію, якщо прийняти до уваги, що оперуємо поняттям опосередкованої частки

$$\overline{V_+} = K_{VE}\sqrt{\varepsilon_0} ,$$

де K_{VE} – числовий коефіцієнт в м/с, для аргону – $2{,}195\cdot10^3$, для молекулярного азоту – $2{,}622\cdot10^3$, для атомарного азоту – $3{,}708\cdot10^3$, для молекулярного водню – $9{,}78\cdot10^3$ та для атомарного водню – $13{,}83\cdot10^3$, одиниці виміру енергії – еВ, швидкості – м/с.

Час, який необхідний для проходження іоном зони ОКП в сторону внутрішнього простору отвору,

$$t = \delta/\overline{V_+} ,$$

не повинен бути більшим від тривалості перерви в подачі живлення розрядом. Враховуючи, що тривалість подачі напруги на електроди розрядної камери $t_0 = T/S = 1/\nu S$, тривалість паузи $t_n = T - t_0$ (ν – частота коливань напруги на електродах камери, S – шпаруватість сигналу). Параметри коливань (частота, шпаруватість) повинні встановлюватись також з огляду на ту обставину, що тривалість подачі напруги повинна бути достатньою, щоб іон при певній швидкості, якої він досяг, проходив відстань, рівну довжині вільного пробігу.

Висновки

Наведений аналіз вказує на принципову можливість азотування внутрішньої поверхні отворів з відносно малим діаметром при переривчастому живленні розряду за рахунок ефекту накачування іонів азоту з області катодного падіння. Тільки в цьому випадку утворюються умови для дрейфу іонів поза межі області катодного падіння в результаті сутичок з частками газу. При азотуванні з безперервним живленням розряду подібні явища неможливі і якщо спостерігаються в певних умовах процеси часткової модифікації внутрішніх поверхонь отворів з відносно малим діаметром, то азотування в цьому випадку ймовірно проходить по схемі пічного з відповідними недоліками, характерними для нього.

Література

1. Москалев Б. И. Разряд с полым катодом / Москалев Б. И. – М. : Энергия, 1969. – 184 с.

2. Пастух І. М. Особливості азотування в тліючому розряді з нестаціонарним живленням отворів з відносно малим діаметром / І. М. Пастух, В. В. Люховець, В. С. Курской // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013. – № 3. – С. 195–199.

3. Ионная химико-термическая обработка сплавов / Б. Н. Арзамасов, А. Г. Братухин, Ю. С. Елисеев, Т. А. Панайоти. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. – 400 с.

4. Пастух І. М. Кінетика входження іонів у зіткнення з поверхнею в розширеному енергетичному діапазоні / Пастух І. М., Соколова Г. М. // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 4. – С. 6–10.

5. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / И. М. Пастух. – Х. : Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», 2006. – 364 с.

6. Райзер Ю. П. Физика газового разряда / Райзер Ю. П. – М. : Наука, 1987. – 592 с.

Рецензія/Peer review : 20.5.2016 р. Надрукована/Printed : 6.6.2016 р.
Стаття прорецензована редакційною колегією

УДК 669.1:537.5

Г. М. СОКОЛОВА
Хмельницький національний університет

ВІДНОСНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ ФАКТОРИ ПРОЦЕСУ АЗОТУВАННЯ У ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ

Запропоновано комплекс вихідних факторів моделювання процесу азотування у тліючому розряді, що базується на енергетичній моделі процесу і дозволяє враховувати вплив на результати модифікації інтенсивності перебігу основних субпроцесів досліджуваного процесу – утворення нітридів, розпорошення поверхні та дифузії. Розглянуто характер взаємозалежності між відносними енергетичними факторами і на цій основі запропоновано методи математичного моделювання, що можуть бути використані для прогнозування кількісних характеристик поверхневих шарів матеріалів, азотованих в тліючому розряді.

Ключові слова: азотування, тліючий розряд, багатофакторний процес, моделювання.

G. M. SOKOLOVA
Khmelnytsky National University

RELATIVE ENERGY FACTORS OF NITRIDING IN GLOW DISCHARGE PROCESS

It was proposed alternative approaches to formation of the initial factors complex based on energy model of the nitriding in glow discharge (NGD) process, that take into account the influence of the intensity of the main subprocesses (the formation of nitrides, surface sputtering and diffusion) on the modification results. The nature of relationship between the relative energy factors was analyzed and on this basis it was found that it can be represented by a second order surface. The practical value of such representing is that the formation of the model of the nitriding in glow discharge process with independent parameters can be significantly simplified by reducing the number of input factor, because a combination of two relative energy factors uniquely determines the third one. It was proposed the methods of mathematical modeling that can be used to predict the quantitative characteristics of the surface layers of materials nitrided in a glow discharge.

Keywords: nitriding, glow discharge, multifactorial process, modelling.

Вступ

Достовірність результатів прогнозування стану та властивостей досліджуваного об’єкта залежить від того, наскільки повно враховані усі можливі способи впливу на нього, тому прийнятність створюваної моделі у кінцевому підсумку визначається правильністю вибору комбінації вихідних факторів. При моделюванні процесу азотування у тліючому розряді (АТР) у цій якості традиційно використовувались лише режимні параметри – температура, тиск, склад газової суміші та тривалість процесу. Втім, значний вплив, який справляють на основні характеристики азотованих шарів енергетичні параметри розряду, свідчить про неприпустимість ігнорування напруги та густини струму при формуванні комбінації факторів математичної моделі АТР. Однак, необхідність врахування впливу вказаних показників спричиняє іншу проблему – велика кількість факторів (до того ж за умов, що частина їх пов’язана нелінійними залежностями) суттєво ускладнює процес побудови моделі. Зазначена проблема може бути вирішена шляхом введення деяких опосередкованих показників, що враховували б вплив усіх технологічних параметрів процесу АТР.

Аналіз джерел за темою дослідження

У роботі [1] було запропоновано використати у якості згаданих узагальнюючих показників відносні енергетичні фактори – аналітичні критерії, що характеризують інтенсивність перебігу трьох основних субпроцесів АТР – утворення нітридів, розпорошувальної та дифузійної дії. Вказані показники були введені в рамках енергетичної моделі процесу АТР. Загальні принципи їх розрахунку викладені у роботі [2]. У [3] досліджено залежність відносних енергетичних факторів від технологічних параметрів режиму АТР.

Постановка завдання

Відносні енергетичні фактори характеризують складові процесу азотування лише якісно, тобто дозволяють проаналізувати можливий вплив параметрів технології на структуру та властивості азотованого шару з позицій “більше-менше”, “краще-гірше”. Застосування запропонованої системи показників для кількісного прогнозування результатів АТР вимагає встановлення функціональних залежностей між значеннями ВЕФ та кількісними характеристиками модифікованого шару, але цьому має передувати дослідження характеру взаємозв’язку між окремими ВЕФ, оскільки саме ним визначається область припустимих методів математичного моделювання, які можуть бути застосовані з метою прогнозування шуканих характеристик.

Виклад основного матеріалу

У таблиці 1 наведено значення відносних енергетичних факторів, розраховані за допомогою програмного забезпечення, розробленого автором енергетичної моделі [2].

Таблиця 1

Значення відносних енергетичних факторів

Температура, С°	Тиск, торр	Напруга, В	Густина струму, А/м^2	ВЕФ розпоро-шувальної дії	ВЕФ дифузійної дії	ВЕФ утворення нітридів		
						Сталь 45	40Х	38Х2МЮА
520	0,4	1020	9,4	36,67765	97,88986	0,01197	0,01224	0,01272
		800	6	24,19797	67,90978	0,02047	0,02110	0,02224
		500	2,8	11,52915	33,09167	0,03282	0,03480	0,03686
	0,8	800	12	18,21936	52,40937	0,02053	0,02132	0,02249
		500	6,4	9,09364	25,34668	0,07795	0,08148	0,08773
		300	1,8	5,14168	13,42316	0,28774	0,29332	0,31436
	1,2	600	13,4	13,03211	35,62180	0,04837	0,05042	0,05387
		450	10	8,18610	22,42668	0,11225	0,11550	0,12357
		300	5,6	5,01237	11,98822	0,38865	0,39608	0,41729
560	0,4	1100	11	34,73191	104,97881	0,01027	0,01048	0,01087
		820	7,2	26,37017	73,83184	0,01849	0,01905	0,02006
		515	3,2	12,97231	37,48390	0,04689	0,04902	0,05268
	0,8	840	13,2	20,57869	59,74901	0,02448	0,2532	0,02683
		700	10,7	15,57631	44,75965	0,03604	0,03751	0,04008
		515	7,2	9,75368	27,26150	0,07020	0,07366	0,07958
		300	2,8	5,29830	14,12675	0,25016	0,25525	0,27448
	1,2	700	15,8	17,96776	48,91995	0,02849	0,02947	0,03114
		515	12,8	10,92007	29,92542	0,06238	0,06473	0,06929
		300	7,2	5,21246	12,91481	0,34025	0,34699	0,36925
600	0,4	1250	14	41,19022	125,80661	0,00798	0,00812	0,00837
		700	6,2	21,46048	61,92667	0,02200	0,02274	0,02407
		500	4	12,89066	37,47126	0,04312	0,04516	0,04863
	0,8	1050	16	29,82257	86,38759	0,01386	0,01423	0,01490
		700	11,6	16,17211	46,60104	0,03462	0,03606	0,0386
		300	3,6	5,47850	14,83218	0,22802	0,25100	0,23287
	1,2	800	18,8	21,87710	60,58764	0,02074	0,02135	0,02241
		550	15,6	12,74405	35,16155	0,04663	0,04860	0,05205
		300	10	5,50532	14,03370	0,27941	0,28514	0,30587

На рис. 1 отримані результати представлені графічно.

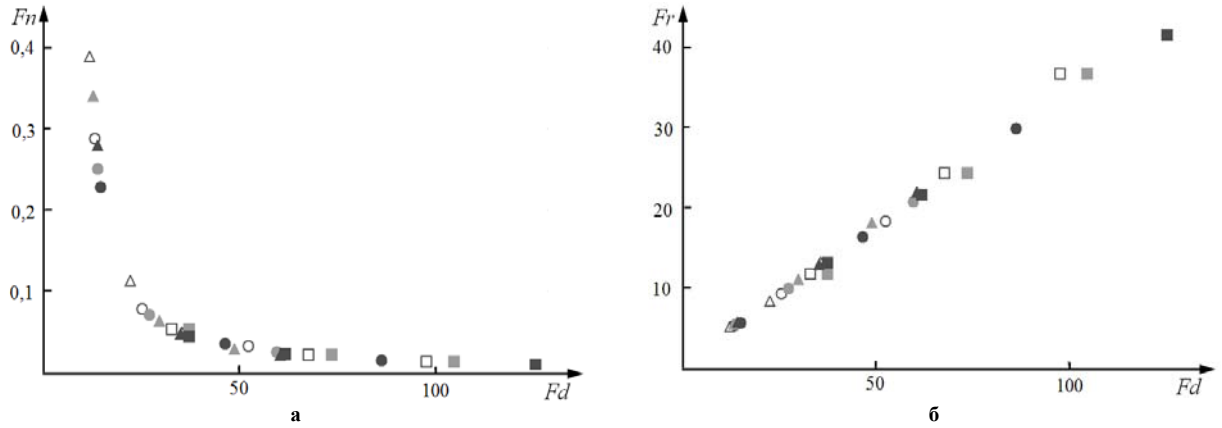


Рис. 1. Взаємозалежність відносних енергетичних факторів:
***а* – утворення нітридів від дифузійної дії; *б* – розпорошувальної дії від дифузійної**

Аналіз отриманих даних дозволяє припустити, що геометрично взаємозв'язок вказаних факторів при постійній температурі та складі газової суміші може бути представлений поверхнею другого порядку, яка у випадку неявного задання описується рівнянням:

$$a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{33}z^2 + 2a_{12}xy + 2a_{23}yz + 2a_{13}zx + 2a_{14}x + 2a_{24}y + 2a_{34}z + a_{44} = 0, \quad (1)$$

тобто:

$$a_{11}F_r^2 + a_{22}F_d^2 + a_{33}F_n^2 + 2a_{12}F_rF_d + 2a_{23}F_dF_n + 2a_{13}F_nF_r + 2a_{14}F_r + 2a_{24}F_d + 2a_{34}F_n + a_{44} = 0, \quad (2)$$

де a_{ij} (i = 1, 2, 3, j = 1, 2, 3, 4) – коефіцієнти, що визначають тип поверхні, її положення та орієнтацію у просторі.

Такий спосіб задання поверхні не завжди є однозначним [4, с. 153], тому для доведення правомірності застосування у подальших розрахунках рівняння (2) необхідно визначити тип заданої ним поверхні.

Для будь-якої поверхні другого порядку існує прямокутна система координат, в якій вона належить

до одного з сімнадцяти типів (еліпсоїд, гіперболоїд, циліндр і т.д.) [5, с. 563].

Тип поверхні може бути визначений за значеннями її інваріантів:

$$I_1 = a_{11} + a_{22} + a_{33}; \qquad I_2 = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{12} & a_{22} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} \\ a_{23} & a_{33} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{33} & a_{13} \\ a_{13} & a_{11} \end{vmatrix};$$

$$I_3 = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{12} & a_{22} & a_{23} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{vmatrix}; \qquad I_4 = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{12} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} & a_{34} \\ a_{14} & a_{24} & a_{34} & a_{44} \end{vmatrix}. \tag{3}$$

Для випадку, що відповідає умовам проведення експерименту (T = 560 °C, 80N20Ar), коефіцієнти a_{ij} можуть бути визначені з системи рівнянь:

$$\begin{cases} a_{11}x_{00} + a_{22}x_{01} + a_{33}x_{02} + 2a_{12}x_{03} + 2a_{23}x_{04} + 2a_{13}x_{05} + 2a_{14}x_{06} + 2a_{24}x_{07} + 2a_{34}x_{08} + a_{44}x_{09} = 0; \\ a_{11}x_{10} + a_{22}x_{11} + a_{33}x_{12} + 2a_{12}x_{13} + 2a_{23}x_{14} + 2a_{13}x_{15} + 2a_{14}x_{16} + 2a_{24}x_{17} + 2a_{34}x_{18} + a_{44}x_{19} = 0; \\ \ldots \\ a_{11}x_{90} + a_{22}x_{91} + a_{33}x_{92} + 2a_{12}x_{93} + 2a_{23}x_{94} + 2a_{13}x_{95} + 2a_{14}x_{96} + 2a_{24}x_{97} + 2a_{34}x_{98} + a_{44}x_{99} = 0. \end{cases} \tag{4}$$

де $x_{i0} = F_{ri}2$; $x_{i1} = F_{di}2$; $x_{i2} = F_{ni}2$; $x_{i3} = F_{ri}\cdot F_{di}$; $x_{i4} = F_{di}\cdot F_{ri}$; $x_{i5} = F_{ni}\cdot F_{ri}$; $x_{i6} = F_{ri}$; $x_{i7} = F_{di}$; $x_{i8} = F_{ni}$; $x_{i9} = 1$.

Система рівнянь (4) може бути розв'язана методом Гауса (з цією метою у системі MathCAD було розроблено спеціальний математичний апарат).

Загальний розв'язок системи матиме вигляд:

– для сталі 45:

$a_{11} = 0{,}104\ a_{44}$; $a_{22} = 0{,}009\ a_{44}$; $a_{33} = 3{,}575\ a_{44}$;
$a_{12} = -0{,}032\ a_{44}$; $a_{23} = -1{,}564\ a_{44}$; $a_{13} = 4{,}063\ a_{44}$;
$a_{14} = -0{,}411\ a_{44}$; $a_{24} = 0{,}137\ a_{44}$; $a_{34} = -1{,}047\ a_{44}$;

– для сталі 40Х:

$a_{11} = 0{,}096\ a_{44}$; $a_{22} = 0{,}009\ a_{44}$; $a_{33} = 3{,}147\ a_{44}$;
$a_{12} = -0{,}029\ a_{44}$; $a_{23} = -1{,}361\ a_{44}$; $a_{13} = 3{,}488\ a_{44}$;
$a_{14} = -0{,}383\ a_{44}$; $a_{24} = 0{,}127\ a_{44}$; $a_{34} = -0{,}821\ a_{44}$;

– для сталі 38Х2МЮА:

$a_{11} = 0{,}089\ a_{44}$; $a_{22} = 0{,}008\ a_{44}$; $a_{33} = 2{,}686\ a_{44}$;
$a_{12} = -0{,}027\ a_{44}$; $a_{23} = -1{,}164\ a_{44}$; $a_{13} = 2{,}948\ a_{44}$;
$a_{14} = -0{,}360\ a_{44}$; $a_{24} = 0{,}119\ a_{44}$; $a_{34} = -0{,}646\ a_{44}$,

де a_{44} – довільне число.

Можливість варіювання коефіцієнтів пояснюється тим, що система (4) є сумісною, але невизначеною (у результаті перетворень, виконаних за методом Гауса, останнє рівняння системи приймає вигляд 0 = 0). Цей факт жодним чином не впливає на однозначність задання поверхні рівнянням (2), оскільки поверхня, задана у деякій системі координат рівнянням $F(x, y, z) = 0$, може бути задана й іншим рівнянням, наприклад, $G(x, y, z) = 0$; при цьому в силу теореми єдиності усі коефіцієнти багаточлена $G(x, y, z)$ отримуються з відповідних коефіцієнтів багаточлена $F(x, y, z)$ шляхом множенням на деяке число $k \neq 0$ [5, с. 554].

Нехай $a_{44} = 1$, тоді для випадку, що розглядається, інваріанти дорівнюють:

– для сталі 45:

$I_1 = 3{,}688$; $I_2 = -18{,}551$; $I_3 = -0{,}009$; $I_4 = -0{,}0008$.

– для сталі 40Х:

$I_1 = 3{,}251$; $I_2 = -13{,}692$; $I_3 = -0{,}007$; $I_4 = -0{,}0007$.

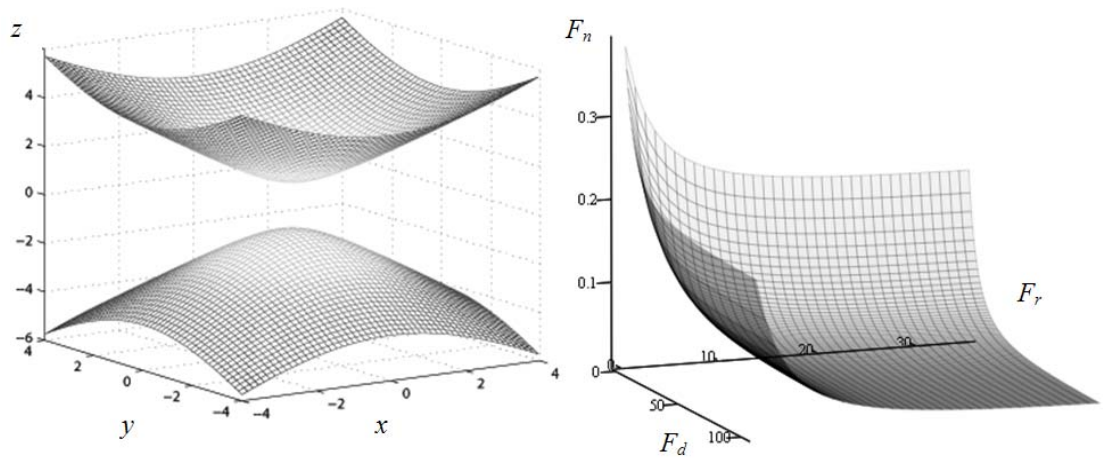
– для сталі 38Х2МЮА:

$I_1 = 2{,}782$; $I_2 = -9{,}788$; $I_3 = -0{,}006$; $I_4 = -0{,}0006$.

Оскільки $I_3 \neq 0$, $I_4 < 0$, $I_2 < 0$ ($I_1 I_3 < 0$), то у деякій системі координат $Oxyz$, отриманій шляхом паралельного переносу та повороту осей системи координат $OF_rF_dF_n$, поверхня, задана рівнянням (2), є двопорожнинним гіперболоїдом [4, с. 153]. В принципі у новій системі координат рівняння поверхні, що розглядається, може бути приведено до канонічного вигляду, але в даному випадку у цьому немає потреби, оскільки практичний інтерес становить саме система координат $OF_rF_dF_n$, а усі вищенаведені положення мають на меті лише доведення того факту, що рівнянням (2) задана реальна поверхня другого порядку. Загальний вигляд двопорожнинного гіперболоїда наведено на рис. 2 *а*; графік поверхні, заданої рівнянням (2) у системі координат $OF_rF_dF_n$, – на рис. 2 *б*.

Очевидно, що відсутність на рис. 2 *б* другої порожнини гіперболоїда пояснюється тим, що значення F_r, F_d, F_n можуть бути лише додатними. Варто також зауважити, що вказаною поверхнею описується взаємозв'язок усіх принципово можливих значень відносних енергетичних факторів, тобто вона є суто теоретичною; що ж стосується області значень, яка відповідає реальним процесам АТР, то вона обмежується лише невеликою ділянкою цієї поверхні.

Практична цінність представлення взаємозв'язку між відносними енергетичними факторами у якості поверхні полягає у тому, що процес формування моделі АТР з незалежними параметрами може бути суттєво спрощений завдяки скороченню кількості вихідних факторів з трьох до двох, оскільки згідно з виразом (2) комбінація двох ВЕФ цілком однозначно визначає третій.



а б

Рис. 2. Графік поверхні, заданої рівнянням (2):
***а* – у системі координат *Oxyz*; *б* – у системі координат $OF_rF_dF_n$**

Наявність нелінійної залежності між вихідними факторами моделі (у даному випадку між ВЕФ дифузійної дії і ВЕФ утворення нітридів) суттєво звужує коло методів, що можуть бути застосовані для математичного моделювання досліджуваного процесу, і однозначно виключає можливість побудови регресійних моделей у рамках методу планування експерименту, що є традиційним підходом при прогнозуванні кількісних характеристик модифікованих шарів, отриманих азотуванням у тліючому розряді.

Серед існуючих методів математичного моделювання багатофакторних процесів, що дозволяють прогнозувати їхні результати залежно від взаємопов'язаних факторів впливу, варто виділити описані у роботах [6] та [7]. Перший дозволяє будувати графічні моделі багатофакторних процесів із використанням методологічного апарату нарисної геометрії багатовимірного простору. При всій наочності цього методу його застосування є надто трудомістким, а точність доволі відносною, оскільки вона визначається точністю побудов та вимірювань, тому більш раціональним можна вважати застосування другого методу. Суттєвою його перевагою є той факт, що алгоритм формування математичної моделі може бути повністю автоматизований (наприклад, у системі MathCAD), що дозволить знаходити значення цільової функції при заданій комбінації взаємозалежних факторів впливу без проведення проміжних розрахунків.

Висновки

Запропоновано комплекс вихідних факторів моделювання процесу азотування у тліючому розряді, що базується на енергетичній моделі і дозволяє враховувати вплив на результати модифікації інтенсивності перебігу основних субпроцесів досліджуваного процесу – нітридоутворення, розпорошення поверхні та дифузії. Розглянуто характер взаємозалежності між відносними енергетичними факторами і на цій основі запропоновано методи математичного моделювання, що можуть бути використані для прогнозування кількісних характеристик поверхневих шарів матеріалів, азотованих в тліючому розряді.

Література

1. Соколова Г. М. Прогнозування результатів азотування в тліючому розряді на основі енергетичної моделі процесу / Г. М. Соколова // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 2. – С. 181–185.

2. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / И. М. Пастух. – Х. : ННЦ ХФТИ, 2006. – 364 с.

3. Фізико-технічна обробка поверхні металів безводневим азотуванням в тліючому розряді : дисертація ... доктора технічних наук : 05.03.07 / Пастух Ігор Маркович. – Хмельницький, 2008. – 520 с.

4. Голованов Н. Н. Геометрическое моделирование / Н. Н. Голованов. – М. : Изд-во Физико-математической литературы, 2002. – 472 с.

5. Александров П. С. Лекции по аналитической геометрии, пополненные необходимыми сведениями из алгебры / П. С. Александров. – М. : Наука, 1968. – 911 с.

6. Чижик М. А. Алгоритмы конструирования графических оптимизационных моделей многофакторных процессов / М. А. Чижик, К. С. Яковенко, В. Я. Волков // Омский научный вестник. – 2012. – № 1. – С. 17–20.

7. Соколова Г. М. Моделювання багатофакторних процесів з взаємозалежними факторами впливу / Г. М. Соколова // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 1. – С. 117–120.

Рецензія/Peer review : 15.5.2016 р. Надрукована/Printed : 6.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф.. Пастух І.М.

УДК 621.002

А.В. ГОРОШКО
Хмельницький національний університет

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПАРАМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РОТОРІВ

В роботі запропоновано методи підвищення точності розв'язків дискретних лінійних обернених задач шляхом балансування матриць систем лінійних рівнянь і масштабування їх коефіцієнтів. Методи дозволяють покращити обумовленість матриць і стійкість одержуваних розв'язків. Методи були застосовані для ідентифікації ексцентриситетів і пружно-інерційних характеристик ротора турбонасосного агрегату, вібрації якого перевищували допустимий рівень. Ідентифіковані з прийнятною точністю значення дозволили провести балансування ротора в трьох площинах корекції шляхом установки коригувальних мас на дисках. В результаті зрівноваження максимальні прогини вала ротора в діапазоні 2000–18000 об/хв знижені приблизно в 6 разів, амплітуди вібрацій опор - в 4 рази, статичні напруження в матеріалі вала – в 3,5 разу, а динамічні - в 3 рази.

Ключові слова: дискретні обернені задачі, ідентифікація, ексцентриситети, точність, стійкість розв'язків, ротор, турбонасосний агрегат.

ANDRII VOLODYMYROVYCH GOROSHKO
Khmelnytskyi National University, Ukraine

METHODS OF INCREASING THE ACCURACY PARAMETRIC IDENTIFICATION ROTOR

In the proposed methods to improve the accuracy of solutions of discrete linear inverse problems by balancing matrices of linear systems of equations and their scaling factors. The methods can significantly improve the conditioning of the matrix and the solutions obtained resistance. The methods were applied to identify the eccentricities and elastic-inertial characteristics of the rotor of the turbopump unit, vibrations that exceed the allowable level. Identified value allowed a rotor balancing in three planes of correction by setting correction masses on the disks. As a result of balancing the maximum deflection of the rotor shaft in the range 2000–18000 rpm reduced by about 6 times, the amplitude of vibration supports – 4 times the static tension in the material of the shaft – 3.5 times, and dynamic – 3 times.

Keywords: discrete inverse problems, identification, eccentricities, accuracy, stability of solutions, rotor, turbopump unit.

Постановка проблеми. Різні дослідження показують, що більше 40% аварій турбомашин викликані підвищеними вібраціями їх деталей. Сучасні CAD-системи, такі як Solidworks і Ansys, добре зарекомендували себе при вирішенні деяких завдань проектування турбомашин, але в задачах балансування готових машин вони можуть лише виступати інструментом в руках дослідника. У згаданих програмних комплексах, що базуються на методі скінченних елементів, розроблені ефективні алгоритми модального аналізу, який включає визначення критичних частот ротора та форм його коливань. Однак модальний аналіз є прямою задачею, а для ідентифікації жорсткостей опор ротора та ексцентриситетів за результатами експериментів необхідно вміти ефективно розв'язувати відповідні обернені задачі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Більшість роторів сучасних турбомашин балансують з урахуванням їх гнучкості під час експлуатації, оскільки для них не ефективні методи балансування жорстких роторів в двох крайніх площинах корекції на низько обертових балансувальних верстатах [1, 2]. Такі ротори балансують на робочих швидкостях і не в двох, а в трьох і більше площинах корекції, прагнучи виявити, а потім компенсувати дисбаланси, які тим чи іншим чином розподілені по довжині ротора. Для цього спочатку вимірюють деформації по всій довжині ротора або в деяких місцях, де можуть бути зосереджені найбільші дисбаланси [3]. Найчастіше в цих місцях вимірюють прогини ротора, за якими розраховують ексцентриситети і відповідні їм значення дисбалансів, а потім і врівноважують вантажі [4].

Ідентифікація ексцентриситетів за виміряними прогинами є оберненою задачею. Тут за наслідком (виміряним прогинам) необхідно знайти причини (ексцентриситети ротора). Оберненим задачам ідентифікації ексцентриситетів притаманні складності, які виникають внаслідок некоректної постановки обернених задач. На жаль, в літературі приділено недостатньо уваги методам подолання проблем, що виникають при розв'язанні задач ідентифікації ексцентриситетів реальних роторів турбомашин. Зокрема, з причини поганої обумовленості систем лінійних рівнянь, які потребують розв'язання, отримані розв'язки можуть бути нестійкими, а ідентифіковані значення параметрів – неточними [5]. Без застосування спеціальних прийомів підвищення стійкості і зменшення розсіяння отриманих шуканих значень методи ідентифікації ексцентриситетів можуть бути неефективними.

Рис. 1. Турбонасосний агрегат

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Об'єктом досліджень був турбонасосний агрегат (ТНА) (рис. 1). Оскільки балансування ротора на низько обертових верстатах в двох площинах корекції не приводило до бажаних результатів [6], було вирішено балансувати цей ротор на експлуатаційних обертах у трьох площинах корекції, де зосереджені найбільші маси, а саме площинах двох дисків компресора 2 і 3 і диску турбіни 1.

Балансування має на миті виявити а потім компенсувати дисбаланси, які тим чи іншим чином розповсюджені по довжині ротора. Для цього спочатку вимірюють деформації по всій довжині ротора, або в деяких місцях, де можуть зосереджуватись найбільші дисбаланси.

Частіше всього в цих місцях вимірюють прогини ротора, за якими розраховують ексцентриситети і відповідні їм значення дисбалансів, а потім і зрівноважувальні вантажі.

Задача полягає у ідентифікації за результатами виміряних у трьох перерізах прогинів ротора величини і місця розташування ексцентриситетів (дисбалансів) кожної з мас для подальшої установки компенсувальних вантажів, що їх врівноважують.

Постановка задачі досліджень. Відомі інтегро-диференціальні залежності теорії згину дозволили описати рівняння руху ротора, в результаті чого для кожного з трьох перерізів ротора в проекціях на дві взаємно перпендикулярні площини були записані рівняння, які пов'язують невідомі розподіли жорсткостей EJ, мас m і проекціями e_y і e_x ексцентриситетів e з прогинами y вала ротора [7].

$$\alpha_0 K''_{zz}(Z,\omega_j) + 2\alpha_1 K'(Z,\omega_j) + \alpha_2 K(Z,\omega_j) - e_y\omega_j^2 = \omega_j^2 y\,, \tag{1}$$

де $\alpha_i = \alpha_i(Z) = \frac{1}{m}\cdot\frac{d^{(i)}EJ}{dZ^i}$, i=0,1,2, $K(Z,\omega) = y''/\left[1+(y')^2\right]^{3/2}$ – кривизна пружної лінії ротора, Z – координата перерізу ротора, що відраховується вздовж вісі обертання. Шуканими невідомими є коефіцієнти $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, e_x, e_y$.

Таблиця 1

Системи лінійних рівнянь типу (1)

№ перерізу	вісь	Система рівнянь	$cond(\mathbf{A})$
1	OY	$\begin{bmatrix} -6\cdot10^{-8} & 13{,}34\cdot10^{-6} & 132{,}86\cdot10^{-6} & -218\cdot10^{4} \\ -9\cdot10^{-8} & 20{,}02\cdot10^{-6} & 161{,}13\cdot10^{-6} & -246\cdot10^{4} \\ -6\cdot10^{-8} & 15{,}01\cdot10^{-6} & 138{,}41\cdot10^{-6} & -267\cdot10^{4} \\ -9\cdot10^{-8} & 20{,}02\cdot10^{-6} & 161{,}09\cdot10^{-6} & -280\cdot10^{4} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \alpha_0 \\ \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ e_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -8285 \\ -10363 \\ -11209 \\ -12352 \end{bmatrix}$	$1{,}4\cdot10^{15}$
	OX	$\begin{bmatrix} 0{,}7\cdot10^{-8} & -22{,}52\cdot10^{-6} & -96{,}44\cdot10^{-6} & -218\cdot10^{4} \\ 8\cdot10^{-8} & -13{,}2\cdot10^{-6} & -73{,}25\cdot10^{-6} & -246\cdot10^{4} \\ 4\cdot10^{-8} & -4{,}66\cdot10^{-6} & -29{,}02\cdot10^{-6} & -267\cdot10^{4} \\ 3\cdot10^{-8} & -6{,}3\cdot10^{-6} & -36{,}82\cdot10^{-6} & -280\cdot10^{4} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \alpha_0 \\ \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ e_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 654{,}1 \\ 1233{,}7 \\ 1334{,}4 \\ 1122{,}9 \end{bmatrix}$	$5{,}0\cdot10^{14}$
2	OY)	$\begin{bmatrix} 3{,}9\cdot10^{-8} & 0{,}1\cdot10^{-6} & -180{,}2\cdot10^{-6} & -218\cdot10^{4} \\ 5{,}8\cdot10^{-8} & 0{,}1\cdot10^{-6} & -32{,}7\cdot10^{-6} & -246\cdot10^{4} \\ 8{,}1\cdot10^{-8} & 0{,}43\cdot10^{-6} & -86{,}6\cdot10^{-6} & -267\cdot10^{4} \\ 14{,}1\cdot10^{-8} & 0{,}55\cdot10^{-6} & -141{,}2\cdot10^{-6} & -280\cdot10^{4} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \alpha_0 \\ \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ e_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1744{,}2 \\ 2960{,}9 \\ 3202{,}5 \\ 6176{,}2 \end{bmatrix}$	$1{,}7\cdot10^{14}$
	OX	$\begin{bmatrix} 0{,}97\cdot10^{-8} & 44{,}45\cdot10^{-6} & 267{,}6\cdot10^{-6} & -218\cdot10^{4} \\ 0{,}54\cdot10^{-8} & 35{,}56\cdot10^{-6} & 108{,}8\cdot10^{-6} & -246\cdot10^{4} \\ 0{,}43\cdot10^{-8} & 28{,}45\cdot10^{-6} & 48{,}7\cdot10^{-6} & -267\cdot10^{4} \\ 0{,}1\cdot10^{-8} & -16{,}23\cdot10^{-6} & 40{,}5\cdot10^{-6} & -280\cdot10^{4} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \alpha_0 \\ \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ e_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2180{,}2 \\ -3701{,}1 \\ -3202{,}5 \\ -561{,}5 \end{bmatrix}$	$6{,}4\cdot10^{15}$
3	OY	$\begin{bmatrix} -80\cdot10^{-8} & -7{,}7\cdot10^{-6} & -90{,}71\cdot10^{-6} & -218\cdot10^{4} \\ -80\cdot10^{-8} & -11{,}56\cdot10^{-6} & -83{,}13\cdot10^{-6} & -246\cdot10^{4} \\ -80\cdot10^{-8} & -9{,}64\cdot10^{-6} & -86{,}94\cdot10^{-6} & -267\cdot10^{4} \\ -80\cdot10^{-8} & -9{,}64\cdot10^{-6} & -80{,}31\cdot10^{-6} & -280\cdot10^{4} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \alpha_0 \\ \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ e_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2180{,}2 \\ -3701{,}1 \\ -3202{,}5 \\ -561{,}5 \end{bmatrix}$	$2{,}1\cdot10^{14}$
	OX	$\begin{bmatrix} 10\cdot10^{-8} & 12\cdot10^{-6} & 34{,}95\cdot10^{-6} & -218\cdot10^{4} \\ 44\cdot10^{-8} & 24\cdot10^{-6} & 17{,}32\cdot10^{-6} & -246\cdot10^{4} \\ 32\cdot10^{-8} & 24\cdot10^{-6} & 34{,}58\cdot10^{-6} & -267\cdot10^{4} \\ 10\cdot10^{-8} & 21\cdot10^{-6} & 57{,}98\cdot10^{-6} & -280\cdot10^{4} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \alpha_0 \\ \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ e_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1090{,}1 \\ 1480{,}4 \\ 2135{,}0 \\ 561{,}5 \end{bmatrix}$	$3{,}5\cdot10^{3}$

Для ідентифікації жорсткісних, масових і інерційних характеристик ротора на чотирьох різних частотах обертання $\omega_1 = 14100$ об/хв, $\omega_2 = 15000$ об/хв, $\omega_3 = 15600$ об/хв, $\omega_4 = 16000$ об/хв вимірювали і

обчислювали значення проекцій прогинів $y_j, j=\overline{1,4}$ валу ротора, а також розраховували чотири перші похідні $y_j, y_j', y_j'', y_j''', y_j^{IV}, j=\overline{1,4}$, складали по дві системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) типу (1) для кожного із розрахункових перерізів 1,2,3, в яких ідентифікували ексцентриситети, жорсткості і маси. Матричні рівняння розглянутих лінійних дискретних обернених задач типу

$$\mathbf{AX}=\mathbf{Y} \tag{2}$$

наведені у таблиці 1. Число обумовленості матриць складених систем рівнянь $cond(\mathbf{A})$ є дуже великим, матриці є погано обумовленими. Очевидним є факт, що отриманий розв'язок такої задачі не може вважатись надійним, оскільки відносна похибка розв'язку $\mathbf{X}$ задачі може бути збільшена в $cond(\mathbf{A})$ разів у порівнянні з похибками виміряних величин $\mathbf{Y}$.

Покращення обумовленості систем лінійних рівнянь шляхом балансування матриці. Під час розв'язання погано обумовлених СЛАР інженеру-досліднику зручно, не вдаючись до особливостей задачі, мати дієві засоби покращення точності і надійності отриманих розв'язків шляхом зменшення числа обумовленості відповідних матриць. Один із шляхів розв'язання цієї проблеми представлений нижче.

В реальних обернених задачах, що виникають на практиці, значення коефіцієнтів $a_{ij},\ i=1,2,...,m,\ j=1,2,...,n$ матриці $\mathbf{A}$ часто можуть значно відрізнятись. Різниця може складати декілька порядків і більше. В цьому разі внаслідок значної різниці у нормах строк і стовпців матриця $\mathbf{A}$ перестає бути збалансованою, що приводить до погіршення її обумовленості. Така обумовленість не пов'язана з близькістю матриці до виродженої, і її можна покращити шляхом балансування строк і стовпців матриці. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є масштабування шуканих величин таким оптимальним шляхом, щоб коефіцієнти a_{ij} у строках і стовпцях мали один порядок. Наприклад, матрицю $\mathbf{A}$ можна подати у вигляді матриці з експоненціальними коефіцієнтами, а відповідну СЛАР (2) у вигляді

$$\begin{bmatrix} a_{11}\cdot 10^{p_1} & a_{12}\cdot 10^{p_2} & \dots & a_{1n}\cdot 10^{p_n} \\ a_{21}\cdot 10^{p_1} & a_{22}\cdot 10^{p_2} & \dots & a_{2n}\cdot 10^{p_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1}\cdot 10^{p_1} & a_{n2}\cdot 10^{p_2} & \dots & a_{nn}\cdot 10^{p_n} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix}, \tag{3}$$

де a_{ij} – мантиси відповідних коефіцієнтів, $p_1, p_2, ..., p_n$ – порядок числа, $p\in\mathbf{Z}$. Якщо $p_i,\ i=1,2,...,n$ значно відрізняються один від одного, матриця буде мати погану обумовленість. Перехід до нових змінних $\mathbf{X}=\left[x_1\cdot 10^{p_1}, x_2\cdot 10^{p_2}, ..., x_n\cdot 10^{p_n}\right]^T$ перетворює матрицю $\mathbf{A}$ на збалансовану, при цьому її число обумовленості суттєво зменшиться.

Покращення обумовленості систем лінійних рівнянь шляхом масштабування коефіцієнтів. Крім того, можна показати, що залежність числа обумовленості від еквівалентних перетворень рівнянь СЛАР удавана, тобто дійсна обумовленість матриць $\mathbf{A}$ і $\mathbf{A}'$

$$\mathbf{A}=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \text{ і } \mathbf{A}'=\begin{bmatrix} k_1a_{11} & k_1a_{12} & \dots & k_1a_{1n} \\ k_2a_{21} & k_2a_{22} & \dots & k_2a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_na_{n1} & k_na_{n2} & \dots & k_na_{nn} \end{bmatrix},\ k_i\in\mathbb{R},\ i=\overline{1,n}$$

однакова, хоча числа обумовленості цих матриць і різні $cond(\mathbf{A})=\|\mathbf{A}\|\cdot\|\mathbf{A}^{-1}\|\neq cond(\mathbf{A}')=\|\mathbf{A}'\|\cdot\|(\mathbf{A}')^{-1}\|$.

Нехтування цим фактом веде до грубих оцінок похибок розв'язку, особливо якщо це стосується повторень проведення дорогих експериментів для накопичення додаткової інформації щодо об'єкту, як пропонується у [8].

Між тим доречним є вибір такого вектора коефіцієнтів $\mathbf{K}=[k_i]_{1\times n}$, при якому матриця еквівалентної СЛАР $\mathbf{A}'$ з строками $\mathbf{A}'(j,:)=\mathbf{A}(j,:)k_j, j=\overline{1,n}$, мала б найменше із можливих число обумовленості $cond(\mathbf{A}')$. Це забезпечило б найкращу оцінку і таку, що найбільш близька до дійсної похибки розв'язку. В цьому разі замість (2) розв'язанню підлягає система $\mathbf{A}'\mathbf{X}=\mathbf{Y}\times diag\{k_1,k_2,...,k_n\}$.

Отже, пропонується знайти такий оптимальний вектор $\mathbf{K}$, при якому досягається $\min\limits_{\mathbf{K}} cond(\mathbf{A}')$. Це можна здійснити, наприклад, одержавши аналітичну залежність числа обумовленості від $\mathbf{K}$ і знайшовши мінімум функції $cond(\mathbf{A}')$, продиференціювавши її та прирівнявши до 0. Однак при $n>2$ такий шлях на практиці дуже проблематичний.

Іншим, набагато зручнішим для комп'ютерної реалізації способом є приведення цієї задачі до задачі векторної оптимізації. Позначимо скалярну функцію $f(\mathbf{K})=cond(\mathbf{A}')$. Ставиться задача пошуку такого

вектора $\mathbf{K}$, який оптимізує векторну функцію

$$\min_{\mathbf{K}}\left\{f_1(\mathbf{K}), f_2(\mathbf{K}), ..., f_k(\mathbf{K})\right\},\ k \geq 2, \tag{4}$$

елементи якої відповідають цільовим функціям $f(\mathbf{K}) = cond(\mathbf{A}')$.

Цю задачу можна розв'язати, наприклад, в комп'ютерному середовищі Matlab, використовуючи функцію *fminunc.* Функція здійснює пошук мінімуму скалярної функції декількох змінних, стартуючи з деякої початкової точки. В загальному, виконує нелінійну оптимізацію без обмежень, використовуючи метод градієнтів і квазіньютонівський метод [9].

Розв'язання оберненої задачі ідентифікації ексцентриситетів ротора турбонасосного агрегату. Аналіз матриць $\mathbf{A}$ у таблиці 1 показує, що їх погана обумовленість викликана не лише близькістю системи до виродженої, але і величезною різницею у порядку коефіцієнтів, тобто різницею значень норм строк матриці. Для балансування матриць застосуємо масштабування коефіцієнтів за допомогою співвідношення (3), для чого припустимо, що шукані невідомі наступні: $\alpha_0' = \alpha_0 \cdot 10^{-11}$, $\text{см}^4/\text{с}^2$, $\alpha_1' = \alpha_1 \cdot 10^{-9}$, $\text{см}^3/\text{с}^2$, $\alpha_2' = \alpha_2 \cdot 10^{-8}$, $\text{см}^2/\text{с}^2$, $-e_y' = e_y \cdot 10^2$, см, а $\mathbf{B}' = \mathbf{B} \cdot 10^{-3}$. Шляхом масштабування коефіцієнтів СЛАР одиниць вимірювання, вдалося покращити обумовленість матриць систем рівнянь, складених для перерізів 1,2,3 і осей Ох та Оу (таблиця 2). Отримані матриці все ще є погано обумовленими і тому відповідні СЛАР розв'язувались із застосуванням статистичних методів забезпечення стійкості із залученням додаткових вимірювань.

Таблиця 2

Результати застосування методів покращення обумовленості

№ перерізу	вісь	$cond(\mathbf{A})$		Масштабувальний вектор	Після масштабування	
		Початкове	Після балансування		$cond(\mathbf{A})$	Відносне зменшення $cond(\mathbf{A})$
1	OY	$1{,}4 \cdot 10^{15}$	217	$\mathbf{K} = [1\ 1\ 1\ 1]$	217	0%
	OX	$5{,}0 \cdot 10^{14}$	502	$\mathbf{K} = [1\ 0{,}99\ 3{,}83\ 3{,}46]$	178	65%.
2	OY	$1{,}7 \cdot 10^{14}$	25	$\mathbf{K} = [1\ 3{,}46\ 4{,}48\ 3{,}07]$	19,6	22%
	OX	$6{,}4 \cdot 10^{15}$	118	$\mathbf{K} = [1\ 2{,}89\ 3{,}13\ 1{,}96]$	76	55%
3	OY	$2{,}1 \cdot 10^{14}$	176	$\mathbf{K} = [1\ \ 0.81\ \ 1.63\ \ 1.06]$	152	14%
	OX	$3{,}5 \cdot 10^{3}$	3453	$\mathbf{K} = [1\ \ 2.11\ \ 2.51\ \ 1.69]$	3125	10%

Оцінимо відносну похибку елементів вектора вільних членів. Елементом вектора $\mathbf{Y}$ є добуток $\omega_i^2 \cdot y_i$, $i = \overline{1,4}$. З теорії похибок відомо, що відносна похибка добутку $\delta(\omega^2 \cdot y) = \delta\omega^2 + \delta y$, а $\delta(\omega^2) = 2\delta\omega$. Враховуючи, що похибка вимірювання частоти обертання є 100 об/хв=10,47 рад/с ($\delta\omega = 0{,}0071$ рад/с), а похибка вимірювання прогину – 1 мкм ($\delta y = 0{,}026$), відносна похибка першого елементу дорівнює 4%. Отже, при розв'язанні вказаної задачі без застосування регуляризаційних прийомів можлива похибка визначення невідомих може скласти сотні процентів.

Аналіз сингулярних чисел $\mathbf{S} = [\sigma_i]_{n\times 1}$ при розкладанні матриць $\mathbf{A} = \mathbf{USV}^T$ показав, що $0 < \sigma_{\min} < 1$, але коефіцієнт підсилення абсолютної похибки не є великим і дорівнює $q = 1/\sigma_{\min} = 1...5$. Аналіз спектру матриці Фішера показав, що спектр не містить власних чисел, значно менших від нуля, отже застосування статистичної регуляризації застосування фільтрації головних компонент шляхом зменшення впливу компонент з найбільшою дисперсією є недоцільним. В цьому разі ефективніше провести багатократні вимірювання і використати ОНК. Для даної задачі оцінка за методом найменших квадратів при 20-кратних вимірюваннях виявилась найкращою оцінкою.

З метою зменшення кількості систем рівнянь, що підлягають розв'язанню, був запропонований інший метод ідентифікації невідомих $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, e_x, e_y$ в кожному із трьох перерізів. Аналізуючи сумісно СЛАР, складені для осей ОХ і ОУ відповідно в перерізі 1, видно, що із 8 рівнянь шукають лише 5 невідомих, оскільки для обох СЛАР спільними невідомими є $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$. Цей факт дозволяє спростити розрахунки ексцентриситетів, дисбалансів і кути їх розташування шляхом розв'язання однієї СЛАР, складеної із двох СЛАР стандартними лінійними перетвореннями. Наприклад, додавши відповідні матриці лівої і правої частини двох СЛАР для перерізу 1 і утворивши 5-е рівняння шляхом додавання рівнянь, отримаємо наступну матричну систему

$$\begin{bmatrix} -5.3\cdot10^{-8} & -9.18\cdot10^{-6} & 36.42\cdot10^{-6} & -2.1802\cdot10^{6} & -2.1802\cdot10^{6} \\ -1.0\cdot10^{-8} & 6.82\cdot10^{-6} & 87.88\cdot10^{-6} & -2.4674\cdot10^{6} & -2.4674\cdot10^{6} \\ -2.0\cdot10^{-8} & 10.35\cdot10^{-6} & 109.39\cdot10^{-6} & -2.6687\cdot10^{6} & -2.6687\cdot10^{6} \\ -5.9\cdot10^{-8} & 13.72\cdot10^{-6} & 124.27\cdot10^{-6} & -2.8073\cdot10^{6} & -2.8073\cdot10^{6} \\ -8.3\cdot10^{-8} & -2.50\cdot10^{-6} & 64.65\cdot10^{-6} & -2.1802\cdot10^{6} & -2.8074\cdot10^{6} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \alpha_0 \\ \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ e_x \\ e_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -7631 \\ -9129 \\ -9874 \\ -11229 \\ -11698 \end{bmatrix}, cond(\mathbf{A}) = 3.1\cdot10^{14}.$$

Отримана матриця **A** погано обумовлена, і число обумовленості вдалося зменшити до $cond(\mathbf{A}) = 724$ шляхом балансування матриці. Масштабування коефіцієнтів матриці за допомогою масштабувального вектора $\mathbf{K} = [1\ 2{,}94\ 2{,}64\ 1{,}19\ 1{,}19]$ дозволило отримати еквівалентну СЛАР виду

$$\begin{bmatrix} -5.3000 & -9.1799 & 0.3642 & -2.1802 & -2.1802 \\ -2.9435 & 20.0748 & 2.5868 & -7.2628 & -7.2628 \\ -5.2832 & 27.3407 & 2.8896 & -7.0498 & -7.0498 \\ -7.1679 & 16.3906 & 1.4846 & -3.3538 & -3.3538 \\ -9.9081 & -2.9844 & 0.7718 & -2.6025 & -3.3512 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \alpha_0' \\ \alpha_1' \\ \alpha_2' \\ e_x' \\ e_y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.7631 \\ -2.6873 \\ -2.6084 \\ -1.3415 \\ -1.3964 \end{bmatrix}.$$

В результаті застосування методу масштабування число обумовленості зменшилось до $cond(\mathbf{A}) = 564$, тобто на 28%. Аналогічно можна утворити дві СЛАР з 5 рівнянь для перерізів 2 і 3 відповідно. При такому підході розв'язанню підлягають не 6 систем рівнянь, а лише 3.

Результати розв'язання задачі ідентифікації коефіцієнтів α_0, α_1, e_x, e_y наведені в таблиці 3. Ідентифіковані значення α_0 и α_1 дозволили більш точно, ніж при статичних випробуваннях, визначити значення жорсткостей [5]. Для цього у кожному з 3-х перерізів знайшли значення приведених мас m_i і жорсткостей EJ_i, i = 1,2,3 вала ротора у відповідності з формулами:

$$m(Z) = M \cdot \exp\left(\int_0^Z \frac{\alpha_1}{\alpha_0} dZ\right), \quad EJ(Z) = m(Z)\cdot\alpha_0(Z),$$

де M – маса ротора.

Далі за формулами

$$D_i = M_i\sqrt{e_{xi}^2 + e_{yi}^2}, \quad \varphi_i = arctg\left(e_{yi}^2 / e_{xi}^2\right) \quad i=1,2,3$$

визначали величини дисбалансів ротора і кути, що складаються ними з віссю OX обраної системи координат. Результати розрахунків представлені в таблиці 3. І, нарешті, використовуючи ідентифіковані дані про ексцентриситети, компенсували їх.

За ідентифікованими жорсткостями і масами був зроблений розрахунок критичних частот ротора, приведених до прийнятої динамічної моделі. Для цього за відомими значеннями EJ для ділянок ротора за допомогою інтеграла Мора розрахували значення коефіцієнтів впливу, а потім з знайшли ω_1=1732 1/с и ω_2=2625 1/с, що відповідає n_1=16500 об/хв, n_2=25080 об/хв. Різниця між першою критичною частотою обертання, розрахованою за ідентифікованими масами і жорсткостями, і критичною частотою ротора, виміряною при роботі ТНА, становить 400 об/хв, тобто 2,49% від 16100 об/хв.

Таблиця 3

Результати розв'язання оберненої задачі ідентифікації параметрів ротора ТНА

№ перерізу	Проекції ексцентриситетів		α_0, м³/с²	α_1, м²/с²	Жорсткість EJ_i, Н·м²	Приведена маса $m_i\cdot10^{-3}$, кг/м	Дисбаланс D_i, г·см	Кут з віссю Ox φ_i, град.
1	$-5\cdot10^{-6}$	$-5{,}84\cdot10^{-6}$	185,65	-270,37	414,7	2,2	23,	95°
2	$-9\cdot10^{-6}$	$1{,}7\cdot10^{-6}$	710,65	-247,18	1594	2,0	2,48	170°
3	$-6{,}2\cdot10^{-6}$	$30\cdot10^{-6}$	280,83	-680,00	23998	8,3	30,6	102°3´

Для порівняння, різниця між дійсною критичною швидкістю ротора і отриманої в результаті розв'язання визначника вікового рівняння, складеного на основі статичних коефіцієнтів впливу, становить 3400 об/хв, тобто 21% від 16100 об/хв. Підвищення точності розрахунків у 8,4 разу стало можливим завдяки розв'язанню обернених задач із застосуванням методів забезпечення стійкості розв'язків.

Висновки

Після здійснення балансування ротора шляхом установки коригувальних мас у спеціальні місця на дисках проводився контрольний запуск на прохід від 0 до 18000 об/хв з осцилографуванням показів

тензорезисторів і вібродатчиків. Обчислення показали, що максимальні статичні і динамічні напруження отримані при запуску і роботі ТНА-150 до проведеного балансування і склали $\sigma_{ст}$ =64 МПа на 16100 об/хв, після балансування – $\sigma_{ст}$ =17,6 МПа на 15300 об/хв. Динамічні напруження до балансування по першій роторній гармоніці склали $\sigma_{дин}$ =±26,8 МПа на 10800 об/хв, по другій – $\sigma_{дин}$ =±34,8 МПа на 15100 об/хв.

Після балансування максимальні напруження склали по першій роторній гармоніці $\sigma_{дин}$ =±14,8 МПа на 16200 об/хв, по другій – $\sigma_{дин}$ =±10,8 МПа на 14700 об/хв.

В результаті зрівноваження максимальні прогини вала ротора в діапазоні 2000-18000 об/хв. знижені приблизно в 6 разів, амплітуди вібрацій опор – в 4 рази, статичні напруження в матеріалі вала - в 3,5 разу, а динамічні – в 3 рази.

Література

1. Srikanthan M. R., Sekhar A. S., Deepthikumar M. B. 2013. Modal balancing of flexible rotors with bow and distributed unbalance / Journal of Sound and Vibration, 332(24): 6216–6233.

2. Dimarogonas A. D., Paipetis S. A., Chondros T. G. 2013. Analytical methods in rotor dynamics, Berlin-Heidelberg-New York, Springer Verlag. doi: 10.1007/978-94-007-5905-3

3. Darlow M. S. 2012. Balancing of high-speed machinery, Springer Science & Business Media.

4. Zhou S., Shi J. 2001. Active balancing and vibration control of rotating machinery: a survey / Shock and Vibration Digest, T. 33, № 5. pp 361–371.

5. Tarantola A. 2005. Inverse problem theory and methods for model parameter estimation, Siam. 342 p.

6. Levit M. E. et al. 1992 Manual balancing, Moscow, Mashinostroenie. 464 p.

7. Горошко А.В. Обернена задача динаміки турбонасосного агрегату / А.В. Горошко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 3. – С. 195–201.

8. Goroshko A. V., Roizman V. P. 2015. Statistical Methods for Providing the Stability of the Solutions of Inverse Problems and Their Application to Decrease Rotor Vibroactivity, Journal of Machinery Manufacture and Reliability, Vol. 44, 3: 232–238.

9. MathWorks. The MathWorks, Inc. 1994–2014. URL: http://www.mathworks.com/

Рецензія/Peer review : 17.5.2016 р. Надрукована/Printed : 6.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Ройзман В.П.

УДК 687.053

Е.А. МАНЗЮК
Хмельницький національний університет

ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РОТАЦІЙНИХ ЧОВНИКОВИХ КОМПЛЕКТІВ

Проведені дослідження розвитку технологічних методів підвищення працездатності човникових пристроїв. Визначено напрямки розвитку найбільш ефективних технічних рішень та проведено систематизацію відомих підходів до покращення експлуатаційних характеристик швейного обладнання.

Ключові слова: човниковий пристрій, шпулетримач, човник.

E.A. MANZIUK
Khmelnytskyi National University

TECHNOLOGICAL METHODS OF IMPROVING EFFICIENCY ROTARY HOOKS

Conducted researches of technological methods to increase efficiency of shuttle devices. The directions of development of the most effective technical solutions and system organization known approaches to improve the performance of sewing equipment. Research of modern technical solutions in areas of development, directed at the improvement and invention of new technologies for production, operation of rotary hooks, their modes of operation and operating conditions. Expansion and specification of the main areas of sewing technology. The analysis of the factual material allowed to identify the main solutions aimed at improving efficiency rotary hooks criteria for vibration resistance and durability. Concomitant use of structural and technological methods to increase efficiency rotary hook which uses a variety of wear-resistant materials, surface strengthening methods. Changes in the design of the kinematic pair, which improves modes of friction and wear, and determine the conditions of interaction of elements which provide reliability rotary hooks. Improvement and optimization of the required parameters is done by changing the geometry, shapes, sizes without introducing additional elements in the coupling and making radical changes in the design.

Keywords: rotary hook, sewing shuttle

Постановка проблеми

Човниковий комплект швейної машини є важливим вузлом швейної машини до якого ставлять підвищені вимоги по надійності його роботи та працездатності упродовж усього періоду експлуатації. Експлуатаційні умови його роботи є досить важкими, зважаючи на цілий рад факторів. Перш за все це

робота в умовах недостатнього змащування. Це зумовлюється тим, що поверхні ковзання швейного гачка та шпулетримача мають розриви, що не дозволяє сформувати умови рідинного розклинювання поверхонь тертя. Робота човника відбувається при значних ударних та вібраційних навантаженнях. Крім того, верхня голкова нитка при обводі навколо шпулетримача проходить поблизу зон ковзання, це вимагає обмежувати подачу мастила в зону контакту, щоб не призвести до забруднення нитки та погіршення якості виробу.

Робота швейної машини пов'язана з механічним впливом на продукти шиття. Наслідком такого механічного впливу, який зумовлюється переміщенням матеріалу рейкою, проколюванням голкою, діями оператора так і структурую самого матеріалу, є поява пилу та частинок матеріалу, які попадають в зону ковзання складових елементів човникового пристрою. Наявність мастила дозволяє акумулювати та накопичувати цей пил в зоні тертя, що значно погіршує умови експлуатації, призводить до швидкого зношування контактуючих поверхонь, та вимагає частого технічного обслуговування човникового комплекту.

Розмірні та конструкційні параметри човника зумовлені технологією шиття та переплетенням верхньої голкової та нижньої човникової ниток. Зміна цих параметрів та внесення суттєвих конструкційних покращень обмежена. Тому пошук ресурсів покращення роботи човника було направлено в сторону винайдення нових матеріалів, оптимізації методів змащування та інших напрямках, які можна узагальнити технологічним напрямком.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Широке розповсюдження набули типові конструкції човникових комплектів з використання мастильних матеріалів, які широко розповсюдженні в машинобудуванні [1−3]. Значній увазі приділяли дослідженням, які направлені на адаптацію мастильних матеріалів широкого вжитку до умов експлуатації човникових комплектів [4].

Дослідження проводились за багатьма аспектами технологічного напрямку, це пов'язані як з дослідженням впливу густини мастильних матеріалів на роботу човника, використання присадок різного типу та складу, застосування різних систем та режимів змащування. Проводились ґрунтовні дослідження в напрямку пошуку нових методів поверхневого зміцнення поверхонь тертя, винайдення нових матеріалів з яких виготовляють деталі комплекту їх складові елементи та інше

Формулювання цілі статі

Дослідження сучасних технічних рішень на напрямків їх розвитку, які направлені на удосконалення та винайдення нових технологій виготовлення, експлуатації човникових комплектів, їх режимів роботи та умов експлуатації. Розширення та специфікацію основних напрямків розвитку інженерної думки технологічного напрямку.

Виклад основного матеріалу

Відомі дослідження з питань підвищення надійності та працездатності роботи комплекту, які носять технологічний характер, спрямовані на застосування відповідних конструкційних матеріалів, використання поверхневих методів зміцнення, нанесення на поверхні тертя зносостійких покрить, підбір мастил та інше.

Значний ефект дає поєднання конструкційних та технологічних методів та рішень. Ряд патентів ґрунтуються на поєднанні блочно-модульного принципу конструювання з технологічними рішеннями. Деталі, які найшвидше зношуються, виготовляють із зносостійких матеріалів, тоді як несучі частини з дешевих матеріалів, які легко оброблюються або штампують з полімерних матеріалів [5]. Такі деталі як обідок шпулетримача виготовляють з берилієвої бронзи, фторопластографіта [6], носик швейного гачка з титану [7], високоякісної сталі [8] та інше. На робочих поверхнях і в зонах, які постійно контактують з голковою та човниковою нитками встановлюють накладки із сплаву на основі титану [9]. Зменшення вартості виготовлення досягається пресуванням швейного гачка методом порошкової металургії [10, 11].

Ділянки, які при подальшій роботі піддаються найбільшому зношуванню і контактують з нитками та шпулетримачем, термообробляють [12]. Для фіксування елементів конструкції у необхідному положенні за допомогою магнітного поля, виготовляють швейний гачок з феромагнітного матеріалу [13]. На суміжні поверхні спряження шпулетримач-швейний гачок рекомендовано наносити антифрикційне дисульфідмолібденове покриття [14]. Суміжні поверхні спряження, а також поверхні, які контактують з нитками, покривають матеріалами на основі нітриду титану [14]. Нітрид титану наноситься на одну або обидві суміжні поверхні металізацією, що дозволяє забезпечити твердість поверхні від 1000 до 2000 одиниць по Вікерсу. Досить часто деталі човникового комплекту виготовляють із складових частин [15] (рис. 1).

Рис. 1. Приклад комбінування шпулетримача з різних матеріалів [15]

Широке використання знайшли полімерні матеріали [16, 17]. На поверхні спряження наноситься

полімер, який містить скляні, орієнтовані полімерні волокна, тверде мастило або їх комбінацію. Таким пластичним матеріалом може бути Acetal Celcon® або Delrin® , які є термопластичними полімерами з високою температурою плавлення і дисперсією мастильних TFE волокон [8].

Іншим прикладом використання полімерних матеріалів є патенти [18–22]. Згідно з цими патентами окремі деталі човникового комплекту виготовляють з рідкокристалічного полімеру, поліамідних смол, та інших неорганічних речовин, які можуть мати металічний, керамічних порошок, вуглецеві та скляні волокна. Також запропоновано різні форми розташування полімерного матеріалу на поверхнях контакту спряжених елементів. Рідкокристалічний полімер, який може включати тверді компоненти, має високу температуру деформації. Він містить молекулярний ланцюг, який характеризується високим ступенем деформації, низьким лінійним коефіцієнтом розширення, що в напрямку потоку складає $1x10^{-5}$ см/см/°С і співвідноситься із значеннями для металів. Покриття з рідкокристалічного полімеру має шарову структуру (рис. 2, 3). Зовнішній шар з молекулярними ланцюгами і високо орієнтованим в напрямку потоку внутрішнім шаром складає 0.2 ÷ 3 мм. Полімер має волокнисту структуру з довжиною волокон 5, 0.5, 0.05 мкм. Шарова структура полімерного покриття дає можливість демпфірувати вібраційні коливання та удари.

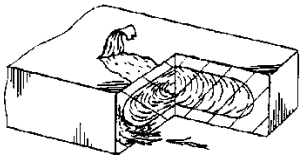


Рис. 2. Шарова структура поверхневого покриття з рідкокристалічного полімеру [18]

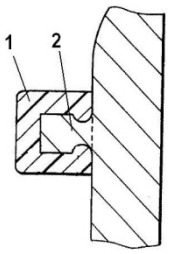


Рис. 3. Поясок шпулетримача виготовлений з полімеру: 1 – поясок з полімеру; 2 – металічний шпулетримач [18]

Добавлення до полімеру металічних волокон алюмінію довжиною 0.01 мм підвищує границю міцності. Встановлено, що 35% вміст металічних волокон збільшує границю міцності у п'ять разів. Покращення механічних властивостей досягається сумісним введенням алюмінієвого і залізного порошку. Вміст керамічного порошку на основі оксиду алюмінію (Al_2O_3) або суміші його з іншими металами значно підвищує зносостійкість покриття і виключає зварювання та схвачування поверхонь. Поверхні спряження мають низький коефіцієнт тертя і зберігають працездатність при високих температурах. Полімер при необхідності може бути підданий механічні обробці.

Хороші результати дає поєднання полімеру і металу в одній деталі. Наприклад, частина шпулетримача виготовляється з полімеру, а частина з високоякісної сталі, яка покривається TiAlN або TiCN на товщину до 5 мкм. Високою зносостійкістю відзначається спряження, елементи якого виготовлені з неорганічного матеріалу. Неорганічний матеріал містить алюмінієвий порошок і порошок алюмінієвого сплаву. Суміш виготовляється таким чином. Алюмінієвий сплав серії A2000, який містить сталь, магній, нікель, залізо подрібнюється. До нього додається від 2 до 5% порошку алюмінію з розмірами частинок, приблизно, 5 мкм і змішується з основною складовою. Суміш пресується і витісняється при температурі 400 °С у необхідну форму, наприклад обідок шпулетримача.

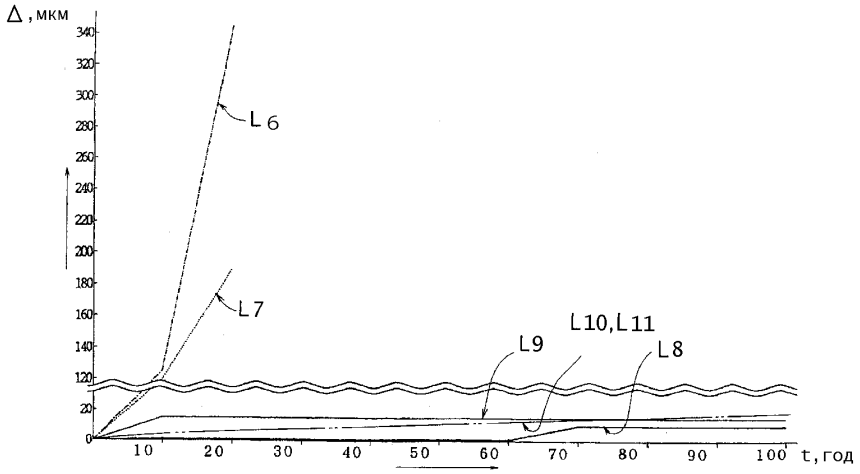


Рис. 4. Графік залежності росту зазору від часу роботи без змащування: аксіальний зазор (l6 − флуорезін, l8 − рідкокристалічний полімер); радіальний зазор, (l7 − флуорезін, l9 − рідкокристалічний полімер); з мастилом відповідно: радіальний l10, аксіальний l11 [18]

Деталі човникового комплекту, які виготовляються таким чином мають високу зносостійкість. Вона

перевищує зносостійкість вуглецевої сталі у 100 разів. Границя міцності 360 Н/см^2 при 150 °С, яка еквівалентна значенню вуглецевої сталі при кімнатній температурі і у п'ять разів перевищує відповідне значення для чистого алюмінію.

Високі швидкості ковзання елементів спряження вимагають досконалого змащування поверхонь. В той же час кількість мастила, яке подається на поверхню необхідно обмежувати, щоб не забруднити нитки, а отже, і самий виріб. Для забезпечення зазору між суміжними поверхнями пар тертя подають повітря під тиском [23] або суміш повітря і розпиленого мастила [24]. Це дає змогу розташувати шпулетримач на повітряній подушці і забезпечити надійне охолодження поверхонь тертя. Недостатнє змащування поверхонь призводить до погіршення умов тертя і перегріву спряження [25]. Тому використовують різні методи та способи змащування спряження [26–29]. Аналіз систем змащування механізмів човників промислових швейних машин дозволяє розділити їх на дві основні групи [4]:

1. Системи змащування, які є складовою частиною системи змащування усієї швейної машини.
2. Автономна групова система змащування, яка не залежить від системи змащування усієї машини.

Система змащування повинна забезпечувати такі вимоги, при яких змащування усіх пар тертя човникового комплекту виконується централізовано; мастило підводиться безпосередньо до напрямного паза швейного гачка; механізм комплекту повинен мати дросельні пристрої, які забезпечують в поєднані з ґнотом в каналах тонке регулювання подачі мастила при незначних витратах і малому перепаді тиску. Дослідженнями [30–32] встановлено, що взаємна орієнтація шпулетримача і швейного гачка залежить від в'язкості мастила (рис. 5). Рекомендовано для зменшення імпульсних навантажень в кінематичні парі використовувати мастила малої в'язкості, найкращі результати отримано при використанні мастила з в'язкістю 1.44 ВУ50 фірми «Juki» (Японія). Використання мастил з низькою в'язкістю обґрунтовано у роботі [31] з врахуванням швидкісних режимів роботи швейної машини.

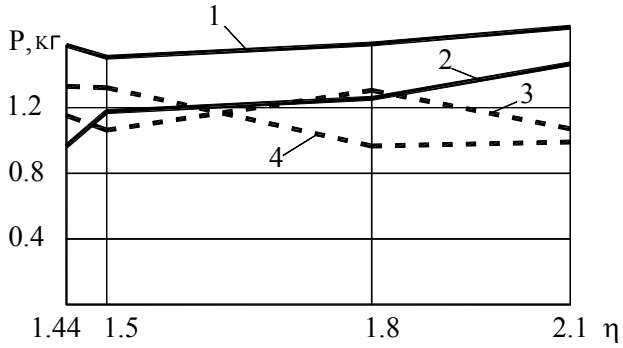


Рис. 5. Графік залежності навантаження на виступі пальця шпулетримача від в'язкості мастила: 1 − середнє сумарне навантаження на виступі пальця шпулетримача за один оберт швейного гачка на холостому ходу; 2 − теж при шитті; 3 − середнє навантаження на виступі пальця шпулетримача при шитті; 4 − теж на холостому ходу [31]

Одним з рішень питань підвищення надійності може бути використання ефекту вибіркового переносу [33]. Відомі дослідження [34- 36] базуються на використанні у спряженнях човникового комплекту мінеральних мастил із вмістом присадок, які мають мідь. До таких присадок відносяться МКФ-18 і МКФ-18У, які представляють собою 50-і 40% розчини продукту, який містить мідь у базовому маслі І-20. Введення присадки в мастило створює умови для формування на поверхнях тертя мідної захисної плівки. Пара тертя становиться фактично парою мідь-хром з включенням міді у пори хромового покриття по всій поверхні обідка шпулетримача. Запропонований метод змащування дозволяє в значній мірі збільшити ресурс.

Відомі технологічні методи підвищення працездатності надійності не завжди дають бажані результати. Значну роль у цьому відіграє забруднення середовища, яке оточує човниковий комплект пилом, очосами, нитками та інше, а також відсутність засобів видалення їх з робочої зони досить суттєво змінює режими тертя та зносостійкість спряження [31].

Висновки

Таким чином, аналіз фактичного матеріалу дозволив виділити основні рішення, які спрямовані на підвищення працездатності човникового комплекту за критеріями віброударної стійкості та зносостійкості. Це досягається таким чином:

- Компенсацією радіального і аксіального зазорів у спряжені швейний гачок-шпулеримач за рахунок введення пружних елементів, які є конструкційною частиною спряження. Ліквідація зазорів, яка залежно від конструкційного рішення може бути як автоматичною і неперервною, так і дискретною. Введення пружних елементів в деяких випадках дозволяє забезпечити демпфірування віброударних навантажень, які виникають під час роботи швейної машини.
- Використанням блочно-модульного принципу конструювання човникового комплекту, при якому застосовується подальша деталізація конструкції човникового комплекту на базі виділення з конструкції елементів, які найбільш інтенсивно зношуються. Так, наприклад, виділяється обідок шпулетримача в окрему деталь, або розділюється шпулетримач на дві деталі. Іншим вдалим прикладом є

виділення носика швейного гачка в окрему деталь, яка прикріплюється до основного корпусу. Такий підхід дає змогу значно спростити конструкцію, здешевити її виготовлення. Це дозволяє збільшити ресурс роботи човникового комплекту, шляхом заміни в процесі експлуатації зношених елементів комплекту, які у даному випадку є простими окремими деталями.

- Заміною просторового розташування човникового комплекту або шпулетримача відносно швейного гачка. Човниковий комплект закріплюється під деяким кутом з можливістю його регулювання, а вісь шпулетримача розташовується під кутом до осі швейного гачка. У деяких конструкціях така взаємна орієнтація дозволяє запобігти можливим імпульсним ударним навантаженням у човниковому комплекті при його роботі.
- Заміною характеру тертя та зношування взаємодіючих поверхонь. На одній із поверхонь ковзання розташовують тіла кочення, за допомогою яких і відбувається взаємодія конструкційних елементів. Результатом такого технічного рішення є заміна тертя ковзання тертям кочення і відповідно режиму та характеру зношування кінематичного з'єднання.
- Комбінацією та перенесенням технологічних, конструкційних та інших функцій з одних елементів конструкції на інші. Вдалим прикладом такого технічного рішення є зміна форми установочного пальця і конструкції швейного гачка таким чином, що частина ваги шпулетримача переноситься з швейного гачка на установочний палець. При цьому зменшується навантаження на поверхні елементів кінематичної пари, а також досягається стійке положення шпулетримача у швейному гачку.
- Внесенням змін у конструкцію кінематичної пари, які покращують режими тертя та зношування, а також визначають умови взаємодії елементів при яких забезпечується надійність роботи човникового комплекту. Покращення та оптимізація необхідних параметрів відбувається шляхом зміни геометрії, форми, розмірів без введення додаткових елементів у спряження та внесення радикальних змін у конструкцію.
- Одночасним застосуванням конструкційних та технологічних методів підвищення працездатності човникового комплекту де використовуються різноманітні зносостійкі матеріали, поверхневі методи зміцнення.

Література

1. Рейбарх Л.Б. Оборудование швейного производства / Рейбарх Л.Б. − М. : Высшая школа, 1982. – 302 с.

2. Оборудование швейных фабрик / Н.М. Вальщиков, А.И. Шаранин, И.А. Идиатулин, К.А. Маковецкий. − Л. : Машиностроение, 1968. – 419 с.

3. Комисаров А.И. Челночные устройства и механизмы швейных машин / А.И. Комисаров, В.В. Сторожев. − М. : МТИЛП, 1964. – 20 с.

4. Рейбарх Л.П. Пути совершенствования систем и способов смазки современных швейных машин / Л.П. Рейбарх, Л.Б. Рейбарх. − Л. : Машиностроение, 1982. – 83 с.

5. Пат. 665435 Швейцарія. МПК D 05 B 57/28. Dispositif capteur de boucle a crochet rotatif pour machine a coudre / Baruffa Olindo, Jimenez Antonio (Швейцарія); Mefina S.A. − № 1235/85 ; заявл. 20.03.85 ; опубл. 13.05.88, НПК 112/228.

6. А.с. 1687679 СССР, МПК D 05 B 57/10. Челночное устройство швейной машины / В. К. Бондаренко, Л. А. Каданаций, В. А. Лишанков, В. Я. Франц (СССР). − № 4683898 ; заявл. 25.04.89 ; опубл. 30.10.91, бюл. № 40.

7. Пат. 4488499 США, МПК D 05 B 57/08. Replaceable hook point and needle guard for sewing machine loop taker / Giaimo Anthony, Zylbert Thaddeus J. (США); The Singer Company. − № 326885 ; заявл. 02.12.1981; опубл. 18.12.1984 ; НПК 112/230.

8. Пат. 4966088 США, МПК D 05 B 57/08. Composite rotary loop taker for lockstitch sewing machine / Badillo Paul (США); Bakron Corp. − № 292652 ; заявл. 28.12.1988 ; опубл. 30.10.1990 ; НПК 112/184.

9. Пат. 2576042 Франція. МПК D 05 B 57/10. Dispositif a navettes a rotation totaie / Shimizu Hiromitsu (Японія); Hirose Tokuso. − № 8500571 ; заявл. 16.12.85 ; опубл. 18.07.86, НПК 112/228.

10. Пат. 4486940 США, МПК B 21 D 39/00. Method of forming a sewing machine hook assembly / Valori Giuseppe, Primati Marco (Італія), Stevens; Victor G. (США); The Singer Company. − № 442540 ; заявл. 18.11.1982; опубл. 11.12.1984 ; НПК 029/509.

11. Пат. 2000229 Японія, МПК D 05 D 57/14. Rotating hook of sewing machine / Mizusawa Koji (Японія); Sabun Kogyosho. − № 11033210 ; заявл. 10.02.1999 ; опубл. 22.08.2000 ; НПК 112/231.

12. Пат. 5152236 США, МПК D 05 B 57/26. Bobbin holding structure / Hirose Tokuzo (Японія); Hirose Manufacturing Co., Ltd. − № 626288 ; заявл. 12.12.1990 ; опубл. 06.10.1992 ; НПК 112/231.

13. Пат. 4676178 США, МПК D 05 B 57/08. Rotary loop taker and bobbin case with magnetic repulsive force therebetween / Hirose Tokuzo (Японія). − № 717294 ; заявл. 28.03.1985 ; опубл. 30.06.1987 ; НПК 112/231.

14. Пат. 4665850 США, МПК D 05 B 57/08. Rotary hook assembly / Shimizu Hiromitsu (Японія); Tokuzo Hirose. − № 688141 ; заявл. 31.12.1984 ; опубл. 19.05.1987 ; НПК 112/231.

15. Пат. 5351636 США, МПК D 05 B 57/16. Fully rotating hook for a lockstitch sewing machine / Hirose

Tokuzo (Японія); Hirose Manufacturing Co., Ltd. − №84519 ; заявл. 01.07.1993 ; опубл. 04.10.1994 ; НПК 112/231.

16. Исаков Б.В. Нанесение полимерных покрытий на детали машин / Б.В. Исаков, С.С. Эпель // Швейная промышленность. − 1970. − № 6. − С. 18-19.

17. Исаков Б.В. Исследования возможности ремонта челнока / Б.В. Исаков // Швейная промышленность. − 1969. − № 3. − С. 28-29.

18. Пат. 5651323 США, МПК D 05 B 57/16. Hook assembly with coated surfaces for sewing machine / Hirose Tokuzo, Nakamura Kiyoshi (Японія); Hirose Manufacturing Co., Ltd. − № 390481 ; заявл. 17.12.1995 ; опубл. 29.07.1997 ; НПК 112/231.

19. Пат. 8112476 (Японія), МПК D 05 B 57/14. Inner kettle of full rotation kettle / Hirose Tokuzo (Японія); Hirose Manufacturing Co., Ltd. − № 246592 ; заявл. 12.10.1994 ; опубл. 07.04.1996 ; НПК 112/231.

20. Пат. 5413058 США, МПК D 05 B 57/26. Inner bobbin case holder of a fully rotating hook / Hirose Tokuzo, Nakamura Kiyoshi (Японія); Hirose Manufacturing Co., Ltd. − № 131657 ; заявл. 05.10.1993 ; опубл. 09.05.1995 ; НПК 112/231.

21. Пат. 5076182 США, МПК D 05 B 57/16. Rotary hook / Hirose Tokuzo, Shimizu Hiromitsu (Японія); Hirose Manufacturing Co., Ltd. − № 576120 ; заявл. 29.08.1990 ; опубл. 31.12.1991 ; НПК 112/228.

22. Пат. 4858543 США, МПК D 05 B 57/26. Plastic bobbin basket with needle guard plate / Badillo; Paul (США); Bakron Corp.− № 165260 ; заявл. 07.03.1988 ; опубл. 22.08.1989 ; НПК 112/231.

23. Пат. 4577572 США, МПК D 05 B 57/08. Fully rotating hook for a lock stitch sewing machine / Hirose Tokuzo (Японія); Hirose Manufacturing Co., Ltd. − № 591194 ; заявл. 16.03.1984 ; опубл. 25.03.1986 ; НПК 112/231.

24. Пат. 4671196 США, МПК D 05 B 57/08. Fully rotating hook for a lock stitch sewing machine / Hirose Tokuzo (Японія); Hirose Manufacturing Co., Ltd. − № 782942 ; заявл. 02.10.1985 ; опубл. 09.06.1987 ; НПК 112/228.

25. Нацвлишвили Р.С. Исследование ротационных челночных механизмов обувных машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. Наук : 021 / Грузинский политехнический ин-т. им. В.И. Ленина / Р. С. Нацвлишвили. − Тбилиси, 1968. – 26 с.

26. Пат. 4638750 США, МПК D 05 B 57/08. Sewing machine loop taker attaching construction / Mikuni Yoshio (Японія); Maruzen Sewing Machine Co., Ltd. − № 790645 ; заявл. 23.10.1985 ; опубл. 27.01.1987 ; НПК 112/230.

27. Пат. 5351636 США, МПК D 05 B 57/16. Fully rotating hook for a lockstitch sewing machine / Hirose Tokuzo (Японія); Hirose Manufacturing Co., Ltd. − № 84519 ; заявл. 01.07.1993; опубл. 04.10.1994 ; НПК 112/231.

28. Гусейнов Г.Г. Повышение долговечности деталей швейных машин на основе совершенствования узлов машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. Наук : спец. 01.02.06 “Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры” / Г. Г. Гусейнов. – Баку, 1993. – 23 с.

29. Пат. 2250015 ФРГ, МПК D 05 B 71/02 Greiferschmierung für zuklisch arbeitend Nähmaschinen / Tölle Günter (ФРГ). − заявл. 12.10.72 ; опубл. 9.02.78, НПК 112/228.

30. Пат. 4970975 США, МПК D 05 B 57/00. Rotary looptaker / Ando Ryuzo, Toratani Kousaku, Sato Masamichi, Nakashima Nobuyoshi, Hanya Yosiyasu (Японія); Brother Kogyo Kabushiki Kaisha. − № 356345 ; заявл. 24.04.1989 ; опубл. 20.11.1990 ; НПК 112/228.

31. Рачок В.В. Влияние масел различной вязкости на работу челнока машин 97 класса / В.В. Рачок // Машиностроение для легкой промышленности. − 1971. − № 11. − С. 14−18.

32. Гурович В.А. Исследования влияния смазочных масел на скорость изнашивания деталей швейных машин / В.А. Гурович // Автоматизация процессов вышивания и сборки швейных изделий : сб. научных работ. М., 1987. − С. 72−77.

33. Гаркунов Н. В. Триботехника / Н. В. Гаркунов. − М. : Машиностроение, 1983. – 424 с.

34. Данилов В.В. Смазка швейных машин с использованием медьсодержащей присадки МКФ−18У / В.В. Д анилов, Н.Е. Денисова, А.М. Павлова, М.С. Носов, В.Н. Быстрое // Изв. вузов. Технол. легк. пром-сти. − 1989. − 32. − № 1. − С. 93–95.

35. Данилов В.В. Об использовании смазочных материалов с медьсодержащей присадкой в узлах трения швейных машин / В.В. Данилов, Н.Е. Денисова // Долговеч. трущ. деталей машин. − 1990. − № 6. − С. 183–186.

36. Литвинов А.Н. Исследование температурного режима в трибосопряжениях при наличии покрытия на контактирующих телах / А.Н. Литвинов, Н.Е. Денисова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2008. – № 3. – С. 121–129.

Рецензія/Peer review : 19.4.2016 р. Надрукована/Printed : 6.6.2016 р.
Рецензент: д. т. н., проф. Сорокатий Р.В.

УДК 621.01

Р.В. АМБАРЦУМЯНЦ, А.А. ЧИЖ, С.В. ТУТАЕВ
Одесская национальная академия пищевых технологий

СИЛОВОЙ АНАЛИЗ ПЛАНЕТАРНО-РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА С ПАССИВНЫМИ СВЯЗЯМИ

В работе изложен метод силового исследования планетарно-рычажного механизма. Установлены признаки статической неопределимости и предлагается выделить кинематическую цепь из состава механизма таким образом, чтобы оставшиеся кинематические цепи или отдельные звенья были бы статически определимыми. Для раскрытия статической неопределимости использован метод сил. Рассматриваются последовательно основная, эквивалентная системы, единичное и грузовое состояние статически неопределимой кинематической цепи. На основании грузового состояния рассматриваемой кинематической цепи составляется система уравнений совместной деформации (уравнения перемещений) в форме канонических уравнений, с помощью которых определяются значения ряд неизвестных, позволяющих раскрыть статическую неопределенность. Показано, что после раскрытия статической неопределенности силовое исследование оставшейся части механизма легко реализуется изложенными в учебниках и технической литературе методами.

Ключевые слова: механизм, статическая неопределимость, уравнение статики, единичное и грузовое состояние, метод сил.

R.V. AMBARTSUMYANTS, A.O. CHIZH, S.V. TUTAIEV
Odessa national academy of food technologies

FORCE ANALYSIS OF THE PLANETARY LINKAGE MECHANISM WITH PASSIVE CONNECTION

Criteria of the static indeterminateness have been described. We suggest to pick the kinematic chain out from the mechanism in such a way that the residual kinematic chains of its separate links were statically definable. The force method has been used for description of the static indeterminateness. The main, as well as the equivalent system, unit and loaded state of the static indeterminate kinematic chain were studied in serious. A set of equations of the deformation (displacement equations) is composed considering the loaded state of the kinematic chain. By using these equations, the values of several unknown variables were defined that allow to solve the static indeterminateness. It has been shown that after resolving the static indeterminateness the force analysis of the residual part of the mechanism can be easily performed by known methods described in textbooks and technical literature.

Keywords: mechanism, statics vagueness, statics, basic and equivalent systems, unit and load condition, force method.

Для повышения жесткости механических устройств, перераспределения потока передаваемой мощности на подпотоки, с целью существенного уменьшения нагрузки на отдельные элементы, вводят в их состав, так называемые, пассивные связи [1–3]. При кинематическом исследовании таких механизмов пассивные связи исключаются из состава механизма, поскольку они не влияют на его кинематику, что недопустимо при их динамическом исследовании.

Одной из основных задач динамики является силовое исследование механизмов методом кинетостатики [1, 2, 4 и др.]. Как правило, задача решается путем выделения статически определимых кинематических цепей и их силового исследования, использованием уравнения равновесия статики [1, 2, 4 и др.]. Однако в механизмах с пассивными связями выделение статически определимых цепей невозможно, что не позволяет решить такую задачу лишь при помощи уравнений статики. Например, в работе [5] решена задача кинематического синтеза двухколесного планетарно-рычажного механизма для воспроизведения заданной передаточной функции. Для обеспечения динамического уравновешивания механизма, позволяющего существенно повысить производственные скорости, в состав механизма введены пассивные связи в виде дополнительных сателлитов и шатунов, геометрические размеры которых тождественны с размерами основных его звеньев (рис. 1).

Ведущим звеном механизма является водило H, а ведомым – звено 5, приводимое в движение тремя шатунами 2, 3 и 4.

Согласно существующей методике кинетостатики [1, 2, 4] для определения реакций в кинематических парах любого механизма необходимо из его состава выделить группы Ассура. В рассматриваемом механизме такие группы возможно выделить, если из схемы исключить два сателлита, например, 1’, 1” с соответствующими шатунами 3 и 4 (см. рис. 1). Такое исключение, как выше отмечалось, возможно при исследовании его кинематики и невозможно при исследовании динамики и, в частности, при силовом анализе. Следовательно, для определения реакций в кинематических парах необходимо рассмотреть равновесное состояние кинематической цепи из звеньев 2-3-4-5 (рис. 2), в которой ввиду равномерного расположения концов поводков 2, 3 и 4 на ведомом звене 5, последнее представлено в виде равностороннего треугольника *DEG*, в котором $OD=OE=DG=r$.

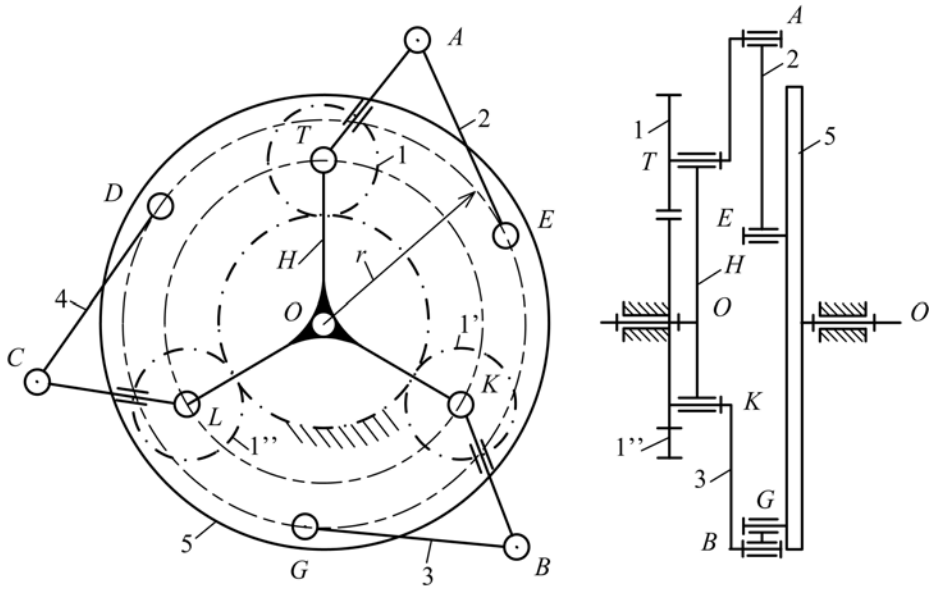


Рис. 1. Кинематическая схема динамически уравновешенного планетарно-рычажного механизма в двух проекциях

Если реакции в кинематических парах A, B, C этой цепи найдены, то каждый из сателлитов механизма становится статически определимым, что позволяет определить также реакции в шарнирных соединениях сателлитов 1, 1', 1'' с водилом. Принимая во внимание, что на водило действует уравновешивающая сила или уравновешивающий момент (в зависимости от способа передачи к нему движения) из статического равновесия водила можно найти указанные величины и опорную реакцию. Таким образом, решение задачи силового исследования представленного механизма заключается в решении задачи силового исследования цепи из звеньев 2-3-4-5, являющейся статически неопределимой.

Целью работы является разработка метода силового исследования планетарно-рычажного механизма, представленного на рис. 1.

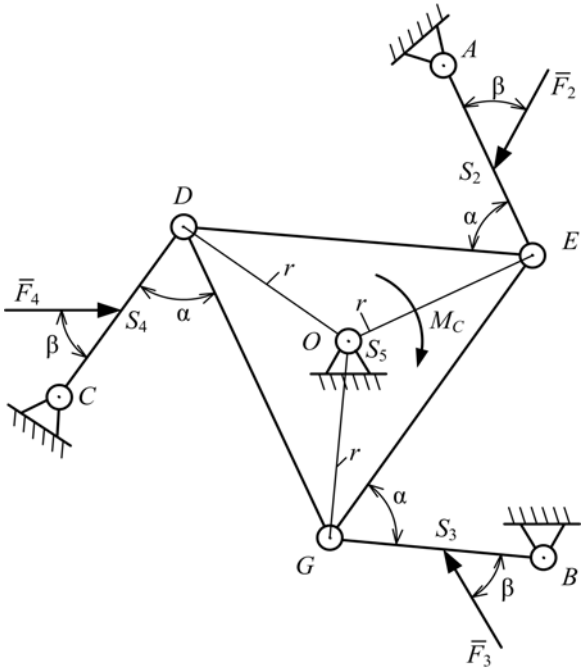


Рис. 2. Кинематическая цепь, выделенная из состава механизма

На геометрию механизма наложены следующие ограничения: длины поводков (звеньев) *AE*, *BG* и *CD* соответственно равны $l_2 = l_3 = l_4 = l$, центры шарниров *D*, *E*, *G* на ведомом звене расположены равномерно на окружности, радиуса r; линии, соединяющие центры шарниров *D*, *E*, *G*, образуют равносторонний треугольник; длины $l_{AT} = l_{KB} = l_{CL}$ звеньев *AT*, *KB*, *LC* и их положения относительно водила, определяемые углом α одинаковые; радиус водила *H* равен межцентровому расстоянию между сателлитами (например, 1) и неподвижным центральным колесом. На ведомом звене 5 действует суммарный момент M_C от внешних сил и сил инерции. На поводках, в точках S_2, S_3, S_4 действуют силы $\overline{F}_2$, $\overline{F}_3$, $\overline{F}_4$, как результирующие всех внешних сил и сил инерции. Угол α определяет положение поводков относительно звена 5, а углы $\beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta$ направление сил $\overline{F}_2$, $\overline{F}_3$, $\overline{F}_4$ относительно продольных осей соответствующих поводков.

Принимаем, что оси вращательных кинематических пар строго параллельны, что позволяет рассмотреть плоскую версию решения поставленной задачи.

Поскольку для каждого звена в плоскости можно составить три уравнения равновесия статики, а в каждой из вращательных кинематических пар по две неизвестные [1, 2] (модуль реакции и направление), то алгебраическая разность

$$k = 3n - 2P_1 = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 7 = -2 . \quad (1)$$

Здесь n=4 − число звеньев цепи, P_1=7 − число вращательных кинематических пар.

Отрицательное значение k показывает, что представленная на рис. 2 цепь дважды статически неопределима и решить задачу использованием только уравнений статики невозможно.

Раскроем статическую неопределимость кинематической цепи по методу сил [6]. Отбросим две

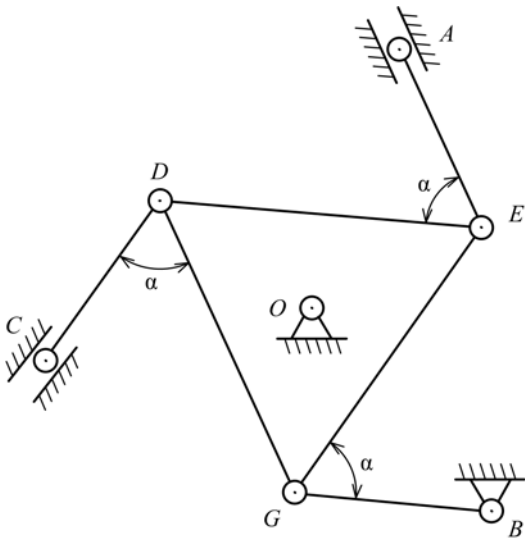


Рис. 3. Основная система (ОС)

лишние связи в шарнирах *A* и *C*. В результате такого преобразования получим статически определимую основную систему (ОС) (рис. 3).

Заменим действие отброшенных связей реакциями $\bar{X}_1$, $\bar{X}_2$ в шарнирах *A* и *C*, соответственно, и приложим заданные внешние силы $\bar{F}_2$, $\bar{F}_3$, $\bar{F}_4$ на кинематическую цепь. Это позволяет получить так называемую эквивалентную систему (ЭС) (рис. 4).

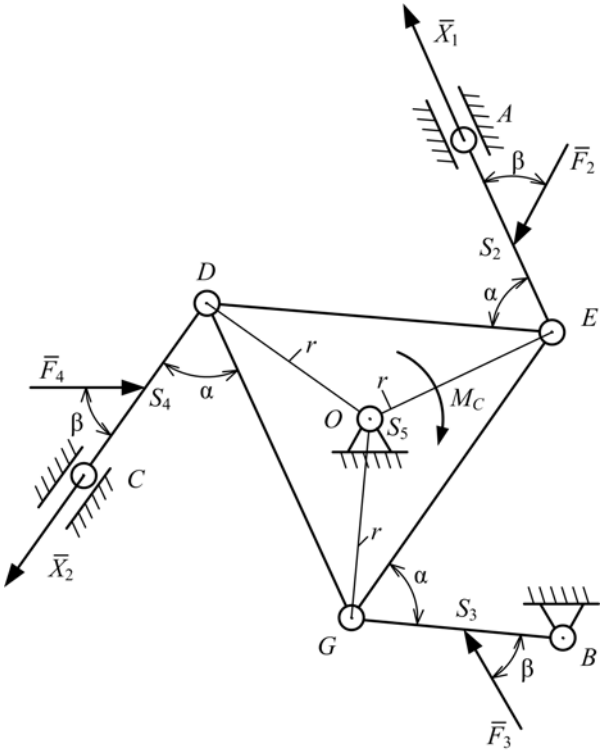


Рис. 4. Эквивалентная система (ЭС)

Записываем уравнения совместности деформаций (уравнения перемещений) в форме канонических уравнений [6]. При этом принимаем во внимание, что перемещения центров шарниров *A*, *C* как в (ОС), так и (ЭС) вдоль поводков *AE* и *CD* соответственно должны быть невозможными. Имеем:

$$\left.\begin{aligned}\delta_{11}\bar{X}_1+\delta_{12}\bar{X}_2+\Delta_{1F}=0\\ \delta_{21}\bar{X}_1+\delta_{22}\bar{X}_2+\Delta_{2F}=0\end{aligned}\right\}, \qquad (2)$$

где δ_{11} − удельное перемещение центра шарнира *A* вдоль продольной оси *AE,* вызванное силой $\bar{X}_1=1$;

δ_{12} − удельное перемещение центра шарнира *A* вдоль продольной оси *AE,* вызванное силой $\bar{X}_2=1$;

Δ_{iF} − грузовое перемещение центра шарнира *A* вдоль продольной оси поводка *AE*, возникающее силами $\bar{F}_2, \bar{F}_3, \bar{F}_4$, и моментом M_C.

Для определения удельного перемещения δ_{11}, рассмотрим единичное состояние цепи при $\bar{X}_1=1$ (рис. 5).

Удельное перемещение определяется произведением $\delta_{11}=N_1\times N_1$. На основании формулы Верещагина [6] запишем

$$\Delta_i=\frac{A_N N_i(x_c)}{EA}, \qquad (3)$$

где A_N − площадь эпюры N_i продольной силы;

$N_i(x_c)$ −значение продольной силы от второй эпюры, взятое под центром тяжести (x_c) первой эпюры; *i*=1,2;

EA −жесткость поводков.

Удельное перемещение

$$\delta_{11}=N_1\times N_1=\frac{1}{EA}\left[\sum A_{N1}\cdot N_1(x_c)\right]=\frac{1}{EA}\left[1\cdot l\cdot 1+(-1)\cdot l\cdot(-1)\right]=\frac{2}{EA}1\cdot l\cdot 1=\frac{2l}{EA}. \qquad (4)$$

Аналогичным образом составляем единичное состояние при $\bar{X}_2=1$ и строим эпюру N_2 (рис. 6).

Находим, пропуская промежуточные операции аналогичные при получении выражения (4), удельные перемещения:

$$\delta_{22}=N_2\times N_2=\frac{2}{EA}1\cdot l\cdot 1=\frac{2l}{EA}, \qquad (5)$$

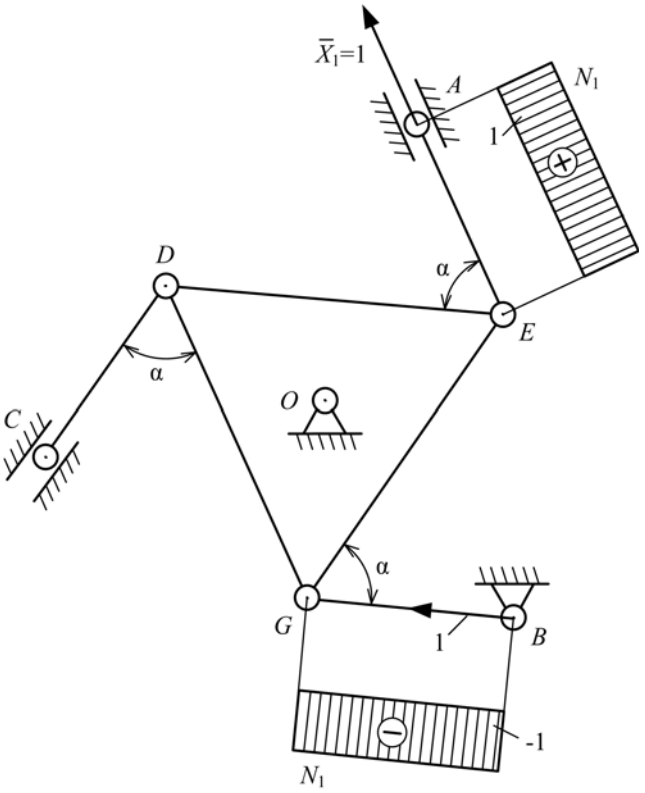


Рис. 5. Единичное состояние цепи при $\overline{X}_1 = 1$ с эпюрой продольной силы N_1

$$\delta_{12} = \delta_{21} = N_1 \times N_2 = \frac{1}{EA} 1 \cdot l \cdot 1 = \frac{l}{EA}. \quad (6)$$

Для дальнейших расчетов составляем расчетную схему грузового состояния (рис. 7).

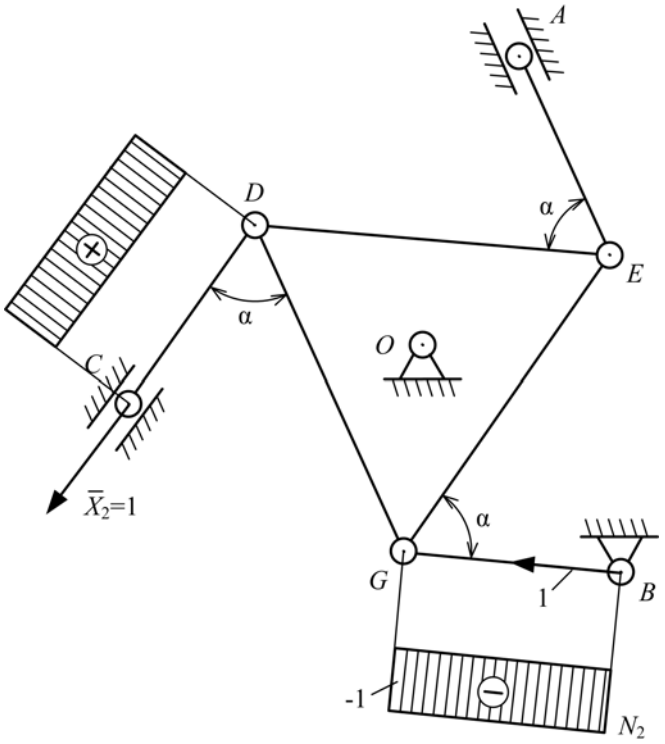


Рис. 6. Единичное состояние цепи при $\overline{X}_2 = 1$ с эпюрой продольной силы N_2

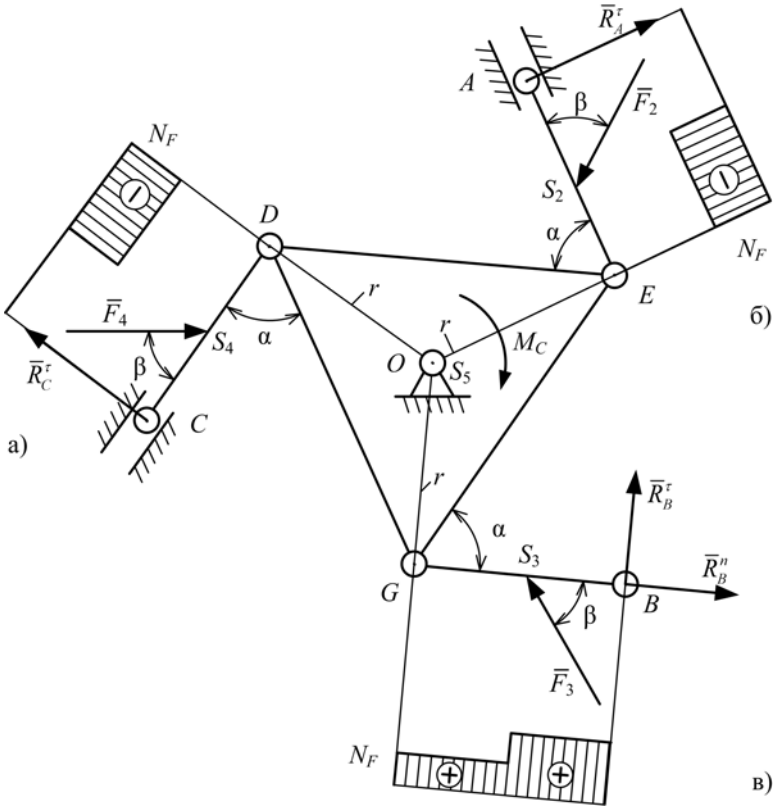


Рис. 7. Грузовое состояние цепи с эпюрами продольных сил: для поводков *DC* – а), *AE* – б), *GB* – в)

Обозначим $\bar{R}_A^t$ и $\bar{R}_C^t$ составляющие реакции в шарнирах *A* и *C*, соответственно, направив их перпендикулярно к продольным осям соответствующих поводков. Реакцию в шарнире *B* разложим на составляющие $\bar{R}_B^t$– перпендикулярно к продольной оси поводка *GB* и $\bar{R}_B^n$– по продольной оси этого же поводка (см. рис. 7). Составляющие названных реакций находим из уравнения равновесия моментов поводков *DC*, *AE*, и *GB* относительно центров шарниров *D*, *E* и *G* соответственно. Имеем:

$$R_A^t = k_2 F_2 \sin\beta; \qquad R_C^t = k_3 F_3 \sin\beta; \qquad R_B^t = k_2 F_2 \sin\beta. \tag{7}$$

где $k_2 = {l_{S2}}/{l}$; $k_3 = {l_{S3}}/{l}$; $k_4 = {l_{S4}}/{l}$.

Для определения составляющей реакции $\bar{R}_B^n$ воспользуемся уравнением равновесия моментов грузового состояния цепи относительно центра шарнира *O*. Для облегчения нахождения плеч сил $\bar{R}_A^t$, $\bar{R}_C^t$, $\bar{R}_B^t$, $\bar{R}_B^n$, а также сил $\bar{F}_2$, $\bar{F}_3$, $\bar{F}_4$ их переносим в соответствующие центры шарниров *E*, *D* и *G* звена 5. Тогда для нормальной реакции в шарнире *B* находим

$$R_B^n = {M_C}/{r\sin(\alpha+30)} + (F_2+F_3+F_4)\cos\beta + \left[(1-k_2)F_2 + (1-k_3)F_3 + (1-k_4)F_4\right]\sin\beta ctg(\alpha+30). \tag{8}$$

После определения указанных составляющих, строим эпюры продольных сил поводков (см. рис. 7).

Для определения неизвестных $\bar{X}_1$, $\bar{X}_2$ из системы уравнений (2), принимаем во внимание, что удельные перемещения δ_{11}, $\delta_{12} = \delta_{21}$, δ_{12} известны и определяются выражениями (4), (5), (6). Тогда, используя грузовое состояние, находим грузовые перемещения:

$$\Delta_{1F} = N_F \times N_1, \Delta_{2F} = N_F \times N_2, \tag{9}$$

где N_F – эпюра поперечной силы соответствующего поводка.

Из системы уравнений (2) находим:

$$\bar{X}_1 = -\frac{\begin{vmatrix} \Delta_{1F} & \delta_{12} \\ \Delta_{2F} & \delta_{22} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} \\ \delta_{21} & \delta_{22} \end{vmatrix}}, \tag{12}$$

$$\bar{X}_{2.} = -\frac{\begin{vmatrix} \delta_{11}\Delta_{1F} \\ \delta_{21}\Delta_{2F} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \delta_{11}\delta_{12} \\ \delta_{21}\delta_{22} \end{vmatrix}}. \quad (13)$$

Таким образом, статическая неопределимость раскрыта.

После нахождения реакций в шарнирах *A* и *C*, используя выражение (10), уточняем значение реакции $\bar{R}_B^n$, т.к. появились новые силы $\bar{X}_1$, $\bar{X}_2$, которые отсутствовали в данном выражении.

Реакции в шарнирах *E*, *D*, *G* определим из условия равновесия сил соответствующих поводков. Для определения полной реакции в шарнире *O* составляем уравнение равновесие сил звена *EDG* либо в векторной форме, либо в проекциях.

После того, как силовое исследование кинематической цепи выполнено, рассматриваем равновесие каждого сателлита в отдельности, поскольку они являются уже статически определимыми. После этого легко определить опорную реакцию водила и уравновешивающий момент или силу действующие на него.

Выводы

1. Введение пассивных связей в состав любого механизма всегда приводит к статической неопределимости при динамическом исследовании, причем степень неопределимости прямолинейно связано с количеством пассивных связей.
2. Существующие в настоящее время учебной и технической литературе методы силового исследования механизмов не применимы к механизмам с пассивными связями.
3. Для силового исследования механизмов с пассивными связями необходимо из его состава выделить статически неопределимую кинематическую цепь таким образом, чтобы остальные цепи или отдельные звенья были статически определимыми.
4. Статическую неопределимость кинематических цепей можно раскрыть методом сил.

Литература

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин : учеб. для втузов / Артоболевский И.И. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит, 1988. – 640 с.
2. Кожевников С. Н. Теория механизмов и машин : учеб. пособие для студ. вузов / Кожевников С. Н. – М. : Машиностроение, 1969. – 584 с.
3. Кожевников С. Н. Основание структурного синтеза механизмов / Кожевников С. Н. – К. : Наукова думка, 1979. – 232 с.
4. Амбарцумянц Р. В. Обобщенный метод кинетостатики сложных плоских кинематических групп / Р. В. Амбарцумянц // Теория механизмов и машин. – Харьков, 1973. – Вып. 14. – С. 29–52.
5. Амбарцумянц Р. В. Синтез динамически уравновешенных двухколесных механизмов / Р. В. Амбарцумянц, С. В. Тутаев // Труды Одесского политехнического университета. – 2005. – Вып. 2(24). – С. 19–22.
6. Федосьев И. И. Сопротивление материалов / Федосьев И. И. – М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат.-лит., 1970. – 544 с.

Рецензія/Peer review : 22.4.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф., Гладушняк А. К.

УДК 621.01

В.О. ХАРЖЕВСЬКИЙ
Хмельницький національний університет

КІНЕМАТИЧНИЙ СИНТЕЗ ВАЖІЛЬНИХ ВОСЬМИЛАНКОВИХ МЕХАНІЗМІВ ІЗ ЗУПИНКОЮ НА БАЗІ ТОЧОК РОЗПРЯМЛЕННЯ 5-ГО ПОРЯДКУ

Розглядається питання синтезу важільних восьмиланкових механізмів із зупинкою вихідної ланки, що побудовані на основі прямолінійно-напрямних механізмів з використанням точок розпрямлення 5-го порядку та приєднаною структурною групою II класу 3-го або 5-го виду. Приєднання до механізму додаткового шатуна та кривошипа, що приймається за вхідну ланку, дозволяє створити нерівномірність в обертанні базового кривошипа та значно збільшити тривалість зупинки вихідної ланки порівняно з шестиланковими механізмами, за незмінної точності. Наведено результати у вигляді довідкових карт.

Ключові слова: важільні механізми, механізми із зупинкою, кінематичний синтез, кінематична геометрія, точки розпрямлення 5-го порядку

V.O. KHARZHEVSKYI
Khmelnytskyi National University

KINEMATIC SYNTHESIS OF EIGHT-LINK DWELL LINKAGE MECHANISMS ON THE BASIS OF 5TH ORDER STRAIGHTENING POINTS

The paper is dedicated to the synthesis of the eight-link dwell linkage mechanisms on the basis of straight-line linkage using 5th order straightening points, with structural group of the II class of 3rd or 5th type. Joining of the additional coupler and crank to the basic mechanism enables to create uneven motion of the basic crank of the mechanism and to increase the duration of the dwell of the output link in comparison with six-link linkage mechanisms, with the same exactitude of the dwell. The kinematic synthesis procedure was carried out and the results are shown in the article.

Keywords: linkage mechanisms, dwell mechanisms, kinematic synthesis, kinematic geometry, 5th order straightening points.

Важливою задачею при проектуванні сучасних машин, особливо машин-автоматів, є синтез циклових механізмів, що забезпечують періодичну зупинку вихідної ланки підчас неперервного обертового рух вхідної ланки, відповідно до заданої циклограми роботи машини. Для цього, як відомо [1-3], можуть використовуватись різні типи механізмів: кулачкові, мальтійські, механізми неповнозубих коліс тощо. При певному співвідношенні між розмірами ланок, зупинку вихідної ланки можна забезпечити також за допомогою важільних механізмів, що мають перед іншими механізмами ряд суттєвих переваг, які зумовлені наявністю лише нижчих кінематичних пар у їх складі та геометричним замиканням ланок. Зокрема, такі механізми забезпечують більшу надійність, довговічність, більші робочі швидкості машин та значно більшу навантажувальну здатність. Важільні механізми із зупинкою вихідної ланки успішно використовуються у сучасному машинобудуванні, наведемо деякі приклади [1–3]: механізм перекидача у хлібопекарських подових печах, механізм притискного повзуна кривошипного преса глибокої витяжки, в сучасних основов'язальних машинах шарнірні механізми застосовують для забезпечення періодичної зупинки петлетвірних органів на певних кутах повороту головного вала машини, а також в багатьох інших машинах.

Синтез таких механізмів представляє собою складну науково-технічну задачу. Існує два напрямки щодо їх проектування: першим напрямком є використання алгебраїчних методів Чебишева [1–3] з використанням методів найкращого наближення функцій, що отримали розвиток, зокрема, в роботах Кіницького [2], Гассманна [5]; другим напрямком є використання теоретичних положень кінематичної геометрії, що розроблені та отримали розвиток, зокрема, в роботах Бурместера, Бейера, Ліхтенхельдта, Геронімуса, Черкудінова [1], МакКарті, Іна [6], Уанга [7].

Метою даної роботи є проведення синтезу важільних восьмиланкових механізмів методами кінематичної геометрії з використанням точок розпрямлення 5-го порядку, що дозволяє проектувати механізми з тривалішими ділянками наближення порівняно з шестиланковими механізмами за незмінної точності.

Синтез механізмів методами кінематичної геометрії передбачає пошук у шатунній площині механізмів певних особливих точок – кратних вузлів інтерполяції, якими є, зокрема, точки Болла, Бурместера, Чебишева, точки розпрямлення 4-го порядку [3]. В даній роботі синтез таких механізмів було проведено з використанням точок розпрямлення 5-го порядку, методика синтезу яких описана автором в роботі [4]. Якщо прийняти таку особливу точку за шатунну, це дозволить спроектувати прямолінійно-напрямний механізм: на шатунній кривій отримаємо ділянку наближено постійної кривизни. Якщо до такого механізму приєднати структурну групу *4-5* II класу 3-го або 5-го видів, отримаємо механізм із зупинкою вихідної ланки *5*, тривалість якої буде визначатись часом перебування шатунної точки *D* на ділянці наближення $D'D''$ (рис. 1). Величина цієї зупинки буде визначатись кутом α_Σ, що відповідає куту повороту кривошипа *1* підчас зупинки вихідної ланки *5* механізму.

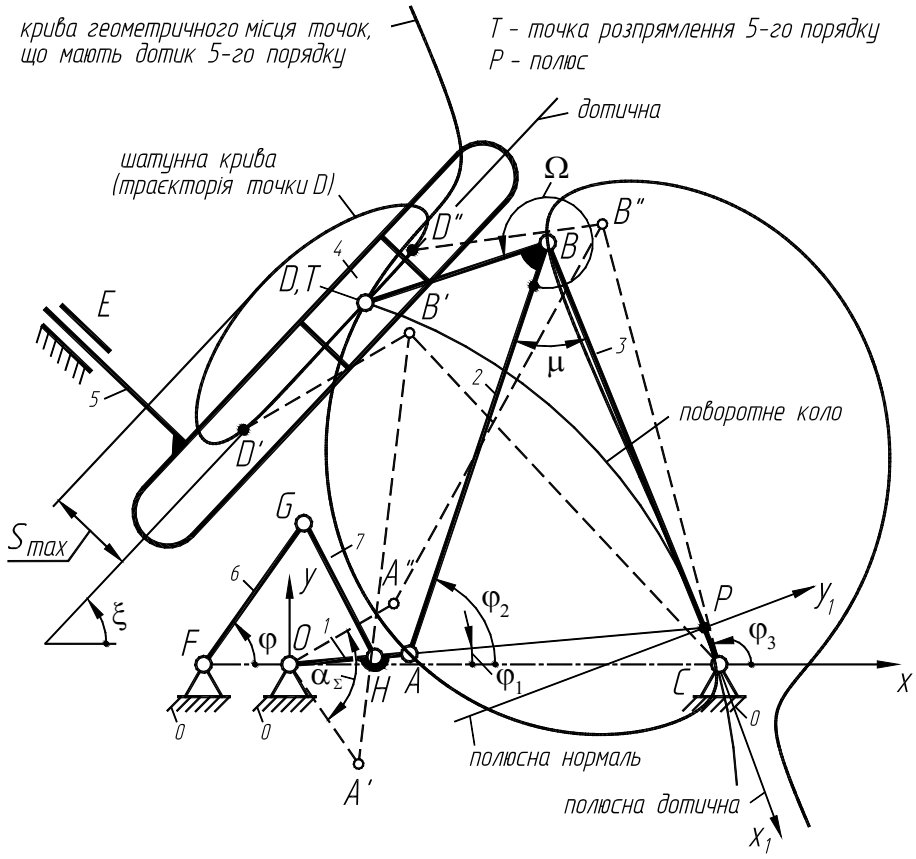


Рис. 1. Важільний восьмиланковий механізм із зупинкою вихідної ланки

Якщо до базового шестиланкового механізму *OABCDE* приєднати додатково кривошип *6* та шатун *7* і за вхідну ланку прийняти ланку *6* ($\omega_6 = \text{const}$), то кривошип базового механізму *1* отримає нерівномірність в обертанні, що дозволить відповідно збільшити або зменшити час перебування шатунної точки *D* механізму на ділянці наближення та відповідно змінити тривалість зупинки вихідної ланки *5* механізму за незмінної точності наближення. Однак в роботі [3] проводилось дослідження лише механізмів, що синтезовані з використанням точок Болла та точок розпрямлення 4-го порядку.

В даній роботі проведено синтез таких механізмів з використанням точок розпрямлення 5-го порядку, які визначені за методикою синтезу, описаною автором у [4], та визначаються у загальному вигляді як перетин поворотного кола (кола перегинів) з кривою геометричного місця точок з дотиком 5-го порядку зі своїми дотичними колами. Рівняння поворотного кола в даному положенні шатунної площини механізму [1]:

$$\omega^2\left(x^2+y^2\right)-\left(x_0''x+y_0''y\right)=0, \tag{1}$$

де ω – кутова швидкість обертання шатунної площини; x_0'', y_0'' – прискорення полюса *P* миттєвого обертання шатунної площини механізму. Рівняння кривої геометричного місця точок з дотиком 5-го порядку [4]:

$$\begin{aligned}&\omega^3\left(x^2+y^2\right)\left[x_0^V x+y_0^V y-5\left(\omega\dddot{\omega}+2\dot{\omega}\ddot{\omega}-2\dot{\omega}\omega^3\right)\left(x^2+y^2\right)\right]+\\&+\left[5\omega\left[\left(\dddot{\omega}-6\omega^2\dot{\omega}\right)\left(x^2+y^2\right)+\left(y_0^{IV}x-x_0^{IV}y\right)\right]+10\left[n_3\left(x^2+y^2\right)+n_1x-n_2y+n_4\right]\right]\times\\&\times\left[\omega^3\left(x^2+y^2\right)-\omega\left(x_0''x+y_0''y\right)\right]=0,\end{aligned} \tag{2}$$

де коефіцієнти n_1, n_2, n_3 та n_4, визначаються наступним чином [4]:

$$\begin{aligned}&n_1=\left(\ddot{\omega}-\omega^3\right)y_0''-3\omega\dot{\omega}x_0''+\dot{\omega}y_0'''-\omega^2x_0'''; \; n_3=3\omega^3\ddot{\omega}^2\left(\ddot{\omega}-\omega^3\right);\\&n_2=\left(\ddot{\omega}-\omega^3\right)x_0''+3\omega\dot{\omega}y_0''+\dot{\omega}x_0'''+\omega^2y_0'''; \; n_4=x_0''x_0'''+y_0''y_0'''.\end{aligned} \tag{3}$$

Якщо відповідно до рекомендацій [1] прийняти кутову швидкість шатунної площини сталою та рівною одиниці, координати точки розпрямлення 5-го порядку у системі координат x_1Py_1 будуть визначатись наступним чином:

$$x_T = \frac{-y_0'' x_0^V y_0^V}{\left(x_0^V\right)^2 + \left(y_0^V\right)^2}; y_T = \frac{-y_0''\left(x_0^V\right)^2}{\left(x_0^V\right)^2 + \left(y_0^V\right)^2}, \quad (4)$$

де y_0'', x_0^V, y_0^V – відповідно прискорення та похідні 5-го порядку від переміщення полюса *P* миттєвого обертання шатунної площини *ABD* механізму. Використовуючи числовий метод визначення величини інтервалу наближення з використання безрозмірного коефіцієнта граничної швидкості вихідної ланки [3], було визначено тривалості зупинок вихідних ланок спроектованих механізмів. Результати проведених досліджень наведено на рис. 2, де прийнято наступні позначення: $r = l_{OA}, b = l_{AB}, c = l_{BC}, r_2 = l_{FG}, b_2 = l_{GH}, c_2 = l_{OH}$. Відстань між нерухомими шарнірами $l_{OC} = 1, l_{OF} = 0{,}2$.

Довжина другого плеча шатуна $k = l_{BD}$ та кут його злому Ω визначаються положенням шатунної точки *D* механізму відповідно до координат знайденої точки розпрямлення 5-го порядку. Ці та інші параметри механізмів, зокрема величину максимального ходу вихідної ланки $S_{\max}$ точність наближення *E*, можна визначити за методикою, наведеною у [3].

Як показали результати проведених досліджень (рис. 2), запропоновані механізми здатні забезпечувати зупинку вихідної ланки у більш широких межах, ніж важільні шестиланкові механізми.

Досліджувані механізми забезпечують різні закони руху вихідної ланки, тому очевидно, що швидкість переходу вихідної ланки цих механізмів з фази вистою до фази робочого ходу, і навпаки, є різною. Якщо вихідна ланка повільно набирає швидкість після проходження фази зупинки, це призводить до збільшення швидкостей та прискорень в період робочого ходу, тобто кінематичні характеристики таких механізмів будуть гіршими. Для визначення таких механізмів, в роботі [3] запропоновано критерій сповільненості виходу ланки з фази зупинки k_v. В результаті проведених розрахунків визначено області існування механізмів з рекомендованими значенням цього критерію $(k_v < 1{,}7)$, такі механізми показані на рис. 2 контурними лініями.

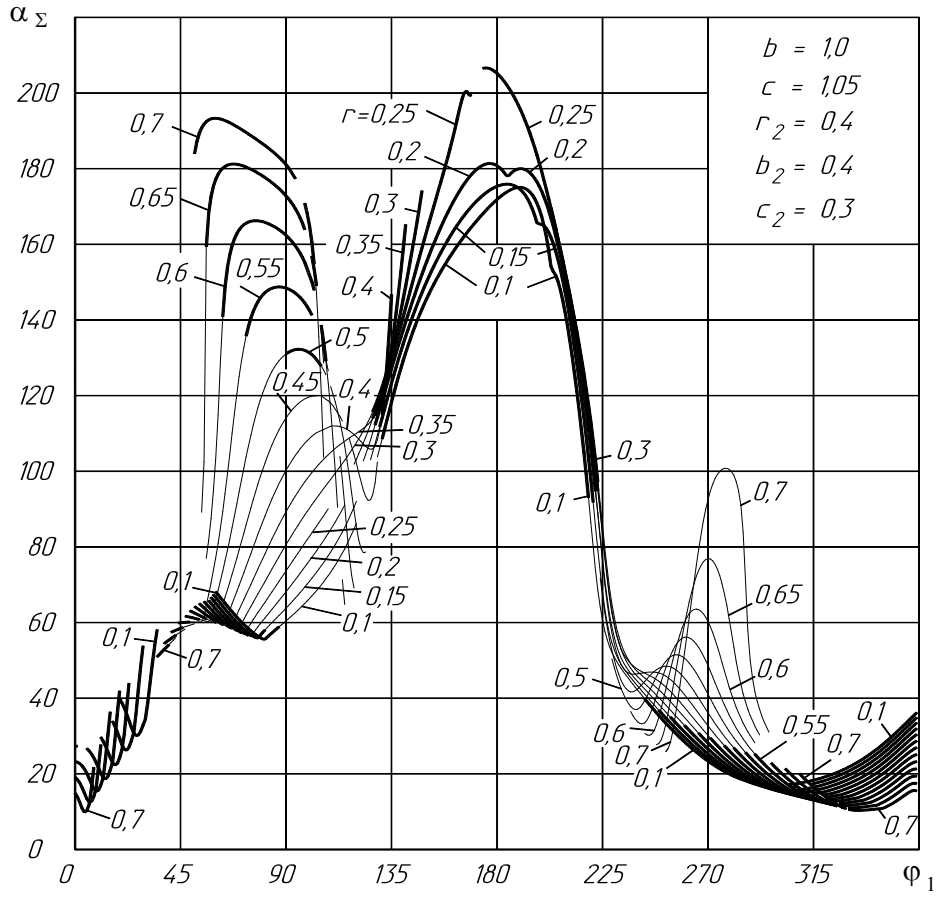


Рис. 2. Довідкова карта попереднього синтезу восьмиланкових механізмів із зупинкою вихідної ланки (залежність тривалості зупинки, для різних значень довжин базового кривошипа 1)

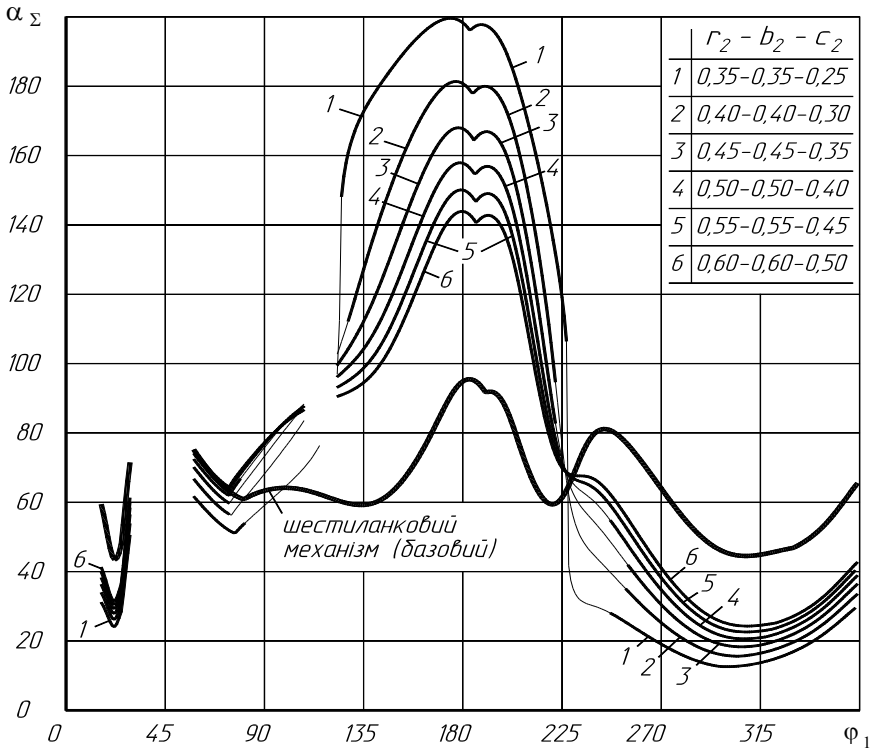


Рис. 3. Довідкова карта попереднього синтезу восьмиланкових механізмів із зупинкою вихідної ланки (залежність тривалості зупинки, для різних значень довжин ланок r_2,b_2,c_2)

На рис. 3 показано діаграму зміни тривалості зупинки вихідної ланки для восьмиланкових механізмів з різними параметрами базового двокривошипного механізму, а саме: кривошипа $r_2 = l_{FG}$, шатуна $b_2 = l_{GH}$ та коромисла $c_2 = l_{OH}$. На рис .3 контурною лінією показано також діаграму тривалості зупинки, яку забезпечує базовий шестиланковий механізм *OABCD.* Так само, як і на рис. 2, тонкими лініями показано механізми, що мають незадовільні значення критерію сповільненості виходу ланки з фази зупинки k_v. Як видно з наведених діаграм, використання восьмиланкових механізмів дозволяє забезпечувати зупинки вихідної ланки значної тривалості, порівняно з шестиланковими механізмами, причому з незмінною точністю зупинки.

Таким чином, у роботі проведено кінематичний синтез та дослідження важільних восьмиланкових механізмів, що забезпечують періодичну зупинку вихідної ланки, наведено деякі результати у вигляді довідкових діаграм. Подальші дослідження планується продовжити у напрямку проведення оптимізаційного синтезу таких механізмів, а також їх кінематичного та кінетостатичного аналізу.

Література

1. Артоболевский И. И. Синтез плоских механизмов / И. И. Артоболевский, Н. И Левитский, С. А. Черкудинов. – М. : Физматгиз, 1959. – 1084 с.

2. Киницкий Я.Т. Шарнирные механизмы Чебышева с выстоем выходного звена / Я. Т. Киницкий. – К. : Вища школа, 1990. – 232 с.

3. Харжевський В.О. Синтез важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки методами кінематичної геометрії : монографія / В.О. Харжевський. – Хмельницький : РВЦ ХНУ, 2015. – 223 с.

4. Харжевський В.О. Метод синтезу важільних прямолінійно-напрямних механізмів з використанням точок розпрямлення 5-го порядку / В.О. Харжевський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 5 (229). – С. 62–67.

5. Gassmann V. Synthese von Geradführungen mit ebenen Viergelenkgetrieben / Gassmann V. – Hamburg : Universität der Bundeswehr Diss., 2000. – 102 p.

6. Yin L. A General Method for Synthesizing Straight-Line Linkage with Ball and Burmester Points / L. Yin, J. Han, J. Huang, T. Yang // Applied Mechanics and Materials. – 2012. – Vols 215-216. – P. 138–141.

7. Wang D. Kinematic Differential Geometry and Saddle Synthesis of Linkages / Wang D.,Wang W. – John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd., 2015. – 450 p.

Рецензія/Peer review : 24.5.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Кіницький Я.Т.

УДК 519.6+539.4

О.А. ПАСІЧНИК
Хмельницький національний університет

ТЕХНОЛОГІЇ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ

В роботі проаналізовано сучасний стан технологій комп'ютерного проектування та актуальні тенденції щодо моделювання напружено-деформованого стану. Наведені можливі напрямки адаптації універсальних систем комп'ютерного проектування щодо вирішення спеціалізованих задач.

Ключові слова: технології комп'ютерного проектування, комп'ютерне моделювання, моделювання напружено-деформованого стану.

O.A. PASICHNYK
Khmelnytsky National University

TECHNOLOGY COMPUTER DESIGN AND MODELLING THE STRESS-STRAIN STATE

This paper analyzes the current state of technology computer-aided design and current trends in modelling of stress-strain state. These possible directions for universal adaptation of computer-aided design to solve specialized problems.

Keywords: technology computer-aided design, computer modeling, simulation stress-strain state.

Вступ

При сучасному рівні та можливостях технології реальним є освоєння виробництва практично будь-яких виробів. В таких умовах темпи технічного прогресу визначаються темпами розробки нових конструкторських рішень. Серед різноманітних шляхів підвищення якості та продуктивності проектно-конструкторської діяльності найбільш ефективним є автоматизація на основі сучасних засобів обчислювальної техніки. Автоматизоване проектування (computer-aided design – CAD) представляє собою технологію, яка полягає в використанні комп'ютерних систем для полегшення створення, зміни, аналізу та оптимізації систем. Основна функція CAD-систем – визначення геометрії конструкції. Для вирішення цієї задачі зазвичай використовують системи розробки робочих креслень та геометричного моделювання. Іншою складовою систем автоматизованого проектування є CAE-системи. Автоматизоване конструювання (computer-aided engineering – CAE) – це технологія, яка полягає у використанні комп'ютерних систем для аналізу геометрії CAD, моделювання та вивчення поведінки об'єкту для вдосконалення та оптимізації його конструкції. Природна потреба в оперативній, узгодженій взаємодії CAD та CAE-систем призвела до їх об'єднання з формуванням CAx-додатків.

Найбільш поширеною розрахунковою задачею є розрахунок напружень, деформацій та переміщень. Об'єктивність цієї ситуації пов'язана з тією обставиною що будь-яка деталь повинна без руйнувань виконувати своє функціональне призначення під зовнішнім впливом. Методи опору матеріалів, головним завданням яких, є вирішення саме питань розрахунків на міцність, дозволяють отримати результати для обмеженого кола розрахункових ситуацій, що стосуються в першу чергу пружних задач для тіл простої конфігурації. Задля задоволення потреб інженерної практики в умовах розвитку відповідних математичних засад та з появою інформаційних систем, що поєднують комп'ютерну техніки та необхідне програмне забезпечення, широке застосування отримали методи та методики комп'ютерного моделювання.

Основна частина

Комп'ютерні моделі стали буденним інструментом математичного моделювання та застосовуються в техніці, фізиці, хімії, біології, економіці, метеорології, інших науках й прикладних задачах в різноманітних областях радіоелектроніки, машинобудування, автомобілебудування тощо [1].

Комп'ютерне моделювання є одним з ефективних методів вивчення складних систем. Комп'ютерні моделі є простішими та зручнішими внаслідок можливості проводити обчислювальні експерименти.

Комп'ютерне моделювання надає можливість розширити коло досліджуваних, візуалізувати об'єкти довільної природи, досліджувати процеси в динаміці, керуючи їх тривалістю, здійснювати багаторазові випробування початкової моделі, отримувати різноманітні характеристики об'єкту в числовому або (та) графічному вигляді, знаходити оптимальне проектне рішення без виготовлення дослідних зразків, проводити дослідження без ризику негативних наслідків для здоров'я людини або (та) навколишнього середовища [1].

Основними етапами комп'ютерного моделювання є постановка задачі та її аналіз, побудова інформаційної моделі, розробка методу й алгоритму реалізації комп'ютерної моделі, розробка комп'ютерної моделі, проведення експерименту [1].

При комп'ютерному моделюванні використовуються метод скінчених елементів, метод скінчених різниць, метод скінчених об'ємів, метод вузлових потенціалів тощо [1]:

Все більш широке коло предметів та явищ стають об'єктом комп'ютерної симуляції з широким впровадженням практично в усі сфери інженерної діяльності з одночасним розширенням кола користувачів CAD-, CAE-, CAx-додатків [2].

Комп'ютерне моделювання, в частині застосування спеціалізованих CAE-додатків або інтегрованих

CAx-(CAD+CAE)-систем, охоплює як все більш широкий та зростаючий набір вирішуваних задач (статичний розрахунок на міцність, розрахунок частот власних коливань, розрахунок ударних та динамічних навантажень, тощо) та й застосування для суттєво зростаючого кола об'єктів проектування в різних сферах людської діяльності.

Масове розповсюдження CAD (Computer Aided Design)-систем як базової технології просторового моделювання природньо сприяло переходу на комп'ютерний аналіз та проектування з використанням інтегрованих додатків [2]. Певно, найбільш характерним прикладом ефективності зазначеного підходу є широке розповсюдження системи SolidWorks у поєднанні з комплексом розрахункових модулів, й, зокрема SolidWorks Simulation.

Модуль SolidWorks Simulation, інтегрований у систему просторового моделювання SolidWorks, реалізує скінченно елементний аналіз. Цей пакет позиціонується виробником як інструмент інженерного аналізу, необхідний конструкторові у повсякденній діяльності. Технічні причини в тому, що "досконалому" проектуванню й розрахунку на міцність зазнає лише незначна частка деталей і агрегатів. Міцність і довговічність значною мірою залежать від досвідченості та умінь конструктора.

Програми аналізу міцність на базі методу скінчених елементів дозволяють із достатньою оперативністю оцінити виріб. Реалізація розрахункових програм у рамках систем геометричного моделювання, що стали звичайним інструментом конструктора.

Можливість аналізу наявної моделі як деталі в робочих умовах – одна з головних переваг інструмента проектування SolidWorks. Знання основ Simulation допомагає інженерові спрогнозувати поведінку його деталі при реальних навантаженнях, а, головне, допоможе знизити масу виробу без втрати міцності.

Початковим етапом при застосуванні SolidWorks Simulationдля розрахунків наявної моделі (наприклад деталі, наведеної на рис. 1) є визначення типу вирішуваної задачі, або, за термінологією SolidWorks Simulation, дослідження. В SolidWorks Simulation реалізовано статичний аналіз, частотній аналіз, втрата стійкості, термічний аналіз, випробування на ударне навантаження, розрахунок на втому, нелінійний аналіз, лінійна динаміка, проектування сосудів під тиском, дослідження підмоделі, що охоплює суттєву частину повсякденних потреб конструктора-проектувальника.

Вхідними даними при рішенні розрахункових завдань аналізу окрім тривимірної моделі з розмірами є умови роботи (умови закріплення, умови навантаження тощо) та розміри сітки скінчених елементів. Таким чином, проектувальник для моделі у випадку статичного аналізу повинен призначити матеріал, задати закріплення (рис. 2) та навантаження (рис. 3).

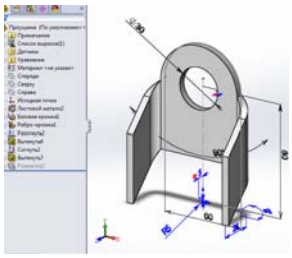


Рис. 1. Об'ємна модель деталі

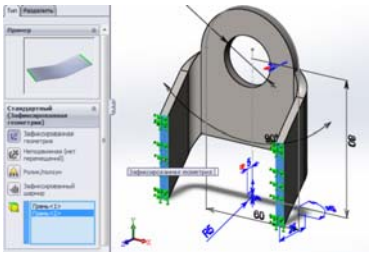


Рис. 2. Призначення закріплення

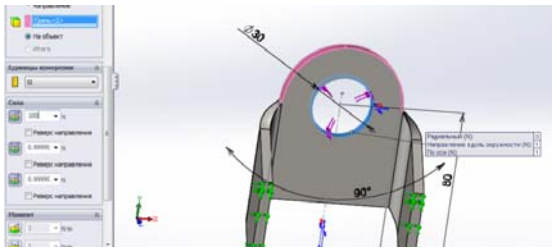
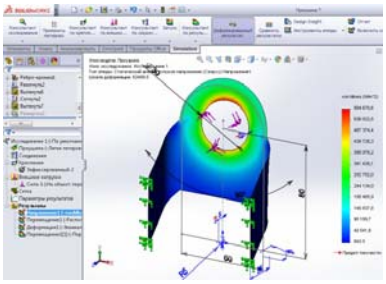


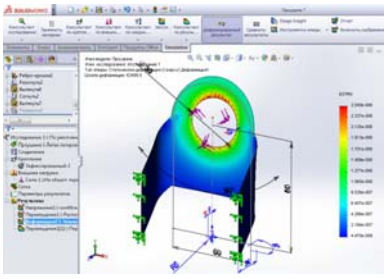
Рис. 3. Прикладання навантаження

В подальшому необхідно сформувати сітку скінчених елементів. Проектувальнику пропонується сітка зі скінчених елементів у вигляді масиву тетраедрів для яких він може змінювати лише їх розмір у певному діапазоні.

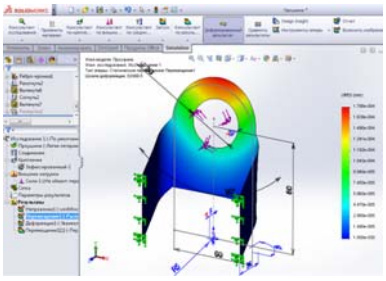
Після запуску та завершення розрахунків у дереві моделі з'являються відповідні вкладки. SolidWorks Simulation дозволяє побудувати поля напружень (рис. 4, *а*), деформацій (рис. 4, *б*) та переміщень (рис. 4, *в*).



***а* – поле напружень;**



***б* – поле деформацій;**



***в* – поле переміщень**

Рис. 4. Результати розрахунків при статичному аналізі в SolidWorks Simulation:

Можливим напрямком автоматизації розрахункових задач є створення гібридних систем, що поєднують власні програмні розробки з використанням існуючого програмне забезпечення як інструменту

для створення геометричної моделі об’єкту проектування у поєднанні з можливостями розрахункових модулів. Саме такий підхід реалізований в роботах [3, 4] при створенні елементів системи автоматизовано проектування зварних балок. Структура системи має лінійну форму і складається з шести модулів (рис. 5).

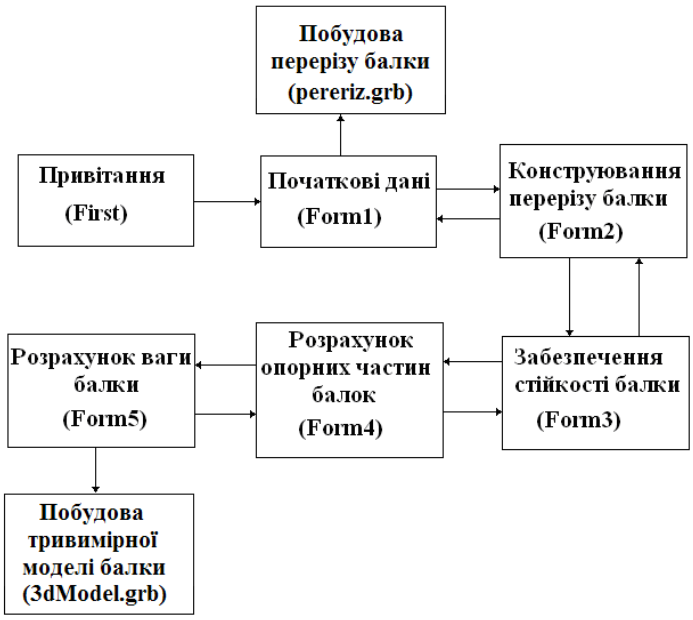


Рис. 5. Структура модулів системи

Програмний продукт реалізований як windows-додаток, що містить початкове вікно та форми, які забезпечують зручне введення початкових даних на всіх етапах розрахунку (рис. 6–9).

Рис. 6. Форма «Початкові дані»

Рис. 7. Форма «Конструювання перерізу балки»

Рис. 8. Форма «Забезпечення стійкості балки»

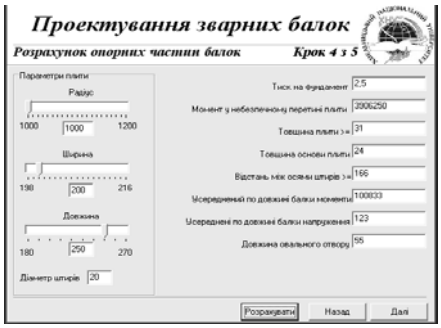


Рис. 9. Форма «Розрахунок опорних частин балок»

Програмний додаток забезпечує розрахунок усіх характеристик зварної балки включно з опорними частинами балки та ваговими параметрами конструкції.

В роботі [3] як середовище геометричного моделювання використовується система T-Flex (рис. 10). В роботі [4] враховуючи сучасний стан програмного забезпечення САПР та засобів розробки програмного забезпечення, для реалізації задачі автоматизованого проектування зварних балок було обрано шлях формування власного розрахункового модуля у поєднанні з потужною CAD-CAE-системою SolidWorks, тобто формування додатка для SolidWorks. На основі математично-алгоритмічного забезпечення розроблена блок-схема програми, яка реалізована за допомогою мови проектування Microsoft Visual C++. Результатом роботи програми є побудова тривимірної моделі зварної балки в середовищі SolidWorks (рис. 11).

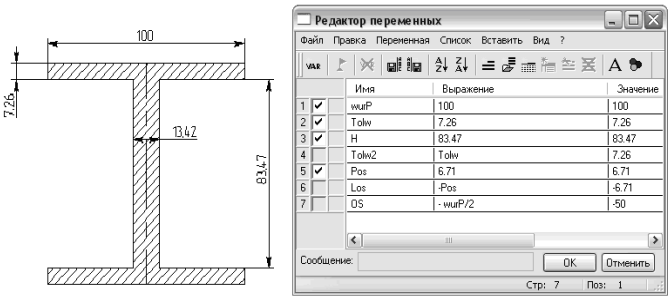


Рис. 10. Представлення у середовищі T-Flex

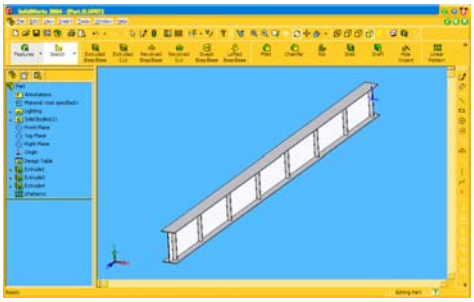


Рис. 11. Тривимірна модель в SolidWorks

Застосування систем комп'ютерного моделювання загалом, та систем автоматизованого проектування зокрема, створює широкі можливості щодо запровадження високоефективних методів та методик.

Прикладні задачі оптимального проектування формулюють як задачі пошуку таких значень невідомих параметрів системи, які забезпечують найменше (або найбільше) значення вибраного критерію оптимальності в області допустимих проектних рішень. Як приклад в роботі [5] проаналізовано застосування ітераційних методів при проектуванні зварних балок з метою покращення їх економічних показників й для вирішення задачі визначення параметрів поперечного перерізу зварної балки запропоновано використовувати метод золотого перерізу, метод Ньютона, метод Хорд.

Наведені приклади поєднання універсальних систем автоматизованого проектування з власними програмними модулями демонструють можливості ефективного застосування технологій комп'ютерного проектування для конкретних об'єктів, й, у першу чергу, для задач пов'язаних з моделюванням напружено деформованого стану.

Висновки

В роботі проаналізовано сучасний стан технологій комп'ютерного проектування та актуальні тенденції щодо моделювання напружено-деформованого стану. Наведені можливі напрямки адаптації універсальних систем автоматизованого проектування щодо вирішення спеціалізованих задач.

Література

1. Компьютерное моделирование [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://ru.wikipedia.org/wiki/Компьютерное_моделирование.htm – (17.03.2016).

2. SolidWorks2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / [Алямовский А.А. и др.]. – СПб : БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с. : ил.

3. Дищин Р.О. Система автоматизованого проектування зварних балок / Р.О. Дищин, О.А. Пасічник // Збірник наукових праць за матеріалами другої всеукраїнської науково-технічної конференції "Актуальні проблеми комп'ютерних технологій 2008". – Хмельницький : ХНУ, 2008. – Т. 1. – С. 82–85.

4. Школьник Ю.В. Розробка САПР зварних балок з використанням системи SolidWorks та мови об'єктно-орієнованого програмування Microsoft Visual C++ / Ю.В. Школьник, О.А. Пасічник // Збірник наукових праць факультету прикладної математики та комп'ютерних технологій Хмельницького національного університету. – Хмельницький : ХНУ, 2010. – С. 90–93.

5. Школьник Ю.В. Дослідження ітераційних методів при проектування зварних балок / Ю.В. Школьник, О.А. Пасічник // Збірник наукових праць за матеріалами п'ятої всеукраїнської науково-технічної конференції "Актуальні проблеми комп'ютерних технологій 2011". – Хмельницький : ХНУ, 2011. – Т. 2. – С. 212–217.

Рецензія/Peer review : 11.5.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф., Сорокатий Р.В.

УДК 621.74

Р.Д. ІСКОВИЧ-ЛОТОЦЬКИЙ, В.П. МІСЬКОВ, Я.В. ІВАНЧУК
Вінницький національний технічний університет

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ІНЕРЦІЙНОГО ВІБРОПРЕС-МОЛОТА З ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЮ СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ ГІДРОІМПУЛЬСНОГО ПРИВОДА ДЛЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗАГОТОВОК З ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

У статті представлена удосконалена математична модель робочих процесів інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування. Наведено спрощені динамічні моделі, на основі яких складено системи рівнянь, що дозволяють спрогнозувати зусилля і амплітуду на виконавчому органі (вібростолі). Також представлено результати експериментального дослідження, які підтверджують адекватність розроблених моделей.

Ключові слова: електрогідравлічна система керування, математичне моделювання, експериментальне дослідження, корисні вібрації.

R.D. ISKOVICH-LOTOTSKIY, V.P. MISKOV, Y.V. IVANCHUK
Vinnytsia National Technical University

MATHEMATICAL MODELLING WORKING PROCESSES OF INERTIAL VIBRO-HAMMER WITH ELECTRO HYDRAULIC SYSTEM CONTROL BY PULSE DRIVE FOR FORMING PREFORMS FROM POWDER MATERIALS

The article presents an improved mathematical model working processes of inertial vibro-hammer with electro hydraulic control system. Is a simplified dynamic model on the basis of which is made up of the system, allowing to predict the force and amplitude in the executive body (vibrating table production). Experimental results are also presented, which confirm the adequacy of the developed models.

Key words: electro hydraulic control system, mathematical modelling, experimental investigation, useful vibration.

Постановка проблеми. Питання щодо математичного моделювання робочих процесів інерційного вібропрес-молота не одноразово розглядались у роботах [1–7]. Однак через складність такої системи виникає необхідність її спрощення шляхом прийняття ряду припущень та розгляду її окремих складових не залежно одна від одної, що дозволить отримати результат максимально наближений експериментальним дослідженням, який можна буде використовувати під час проектування подібного технологічного обладнання чи процесу.

Актуальність дослідження полягає у необхідності теоретичного дослідження взаємодії відомого вібраційного обладнання з новими система керування для їх подальшого інтегрування у виробничий процес.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Математичне моделювання робочих процесів у інерційному вібропрес-молоті з електрогідравлічною системою керування дає можливість оцінити вплив електрогідравлічної системи керування на робочі параметри інерційного вібропрес-молота, порівняти їх з відомими та знайти шляхи їх використання у різних технологічних процесах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, математичне моделювання інерційного вібропрес-молота проводилось лише для гідравлічної системи керування, а для електрогідравлічною системи керування через її складність та відсутність необхідного обладнання не проводилось.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Дана стаття присвячується математичному моделюванню робочих процесів інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування, дослідженню основних технологічних параметрів та їх впливу на роботоздатність обладнання.

Загальнонаукове значення, полягає у теоретичному дослідженні робочих процесів інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода методами математичного моделювання з метою визначення ефективних робочих параметрів для формоутворення заготовок з порошкових матеріалів.

Викладення основного матеріалу

Розробка динамічної моделі інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода є продовженням робіт [1, 2, 6, 7], що проводилась на основі структурно-розрахункової схеми (рис. 1).

На рис. 1 прийняті такі позначення: $Q_н$ – подача гідронасоса; $F_{тех}$ – технологічне зусилля; $F_{ем}$ – зусилля, що його розвиває електромагніт; $f_п$ $m_п$, $y_п$ – відповідно, площа поперечного перерізу, маса та переміщення поршня виконавчого гідроциліндра; $f_з$, $m_з$, $y_з$ – відповідно, площа поперечного перерізу, маса та переміщення золотника; $m_{ем}$, $y_{ем}$ – маса та переміщення якоря електромагніта; W_a – об'єм гідроакумулятора; W_a – об'єм виконавчого гідроциліндра; l_1, l_2, l_3, f_1, f_2, f_3 – відповідні довжини та площі поперечних перерізів гідроліній; $k_п$ – жорсткість пружин; m_c – маса стола, на якому знаходиться заготовка; m_m, y_m – маса та переміщення траверси; $m_{заг}$ – маса заготовки; $Д_1$ – давач переміщення; $Д_2$ – давач тиску; *БК* – блок керування.

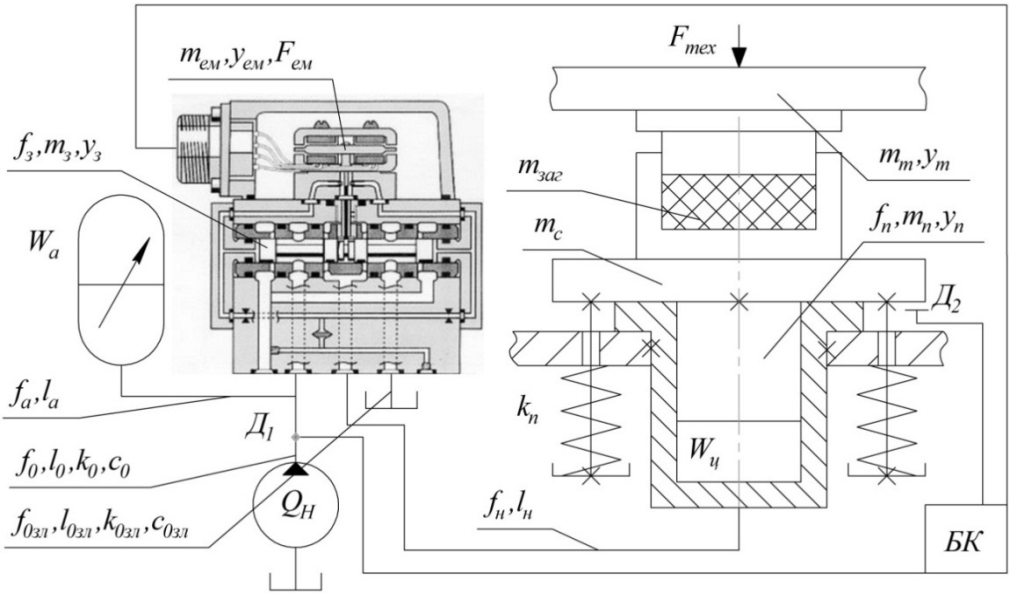


Рис. 1. Структурно-розрахункова схема інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування

Динамічна модель інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода під час керування «за тиском» відповідає багатомасовій динамічній моделі ІВПМ–16 з ГІТ [3]. Однак для розв'язання конкретних задач багатомасову динамічну модель ІВПМ можна спростити (з урахуванням особливостей його роботи) до тримасової динамічної моделі взаємодії виконавчих ланок ІВПМ (рис. 2), розв'язком якої є система трьох диференціальних рівнянь другого порядку (1).

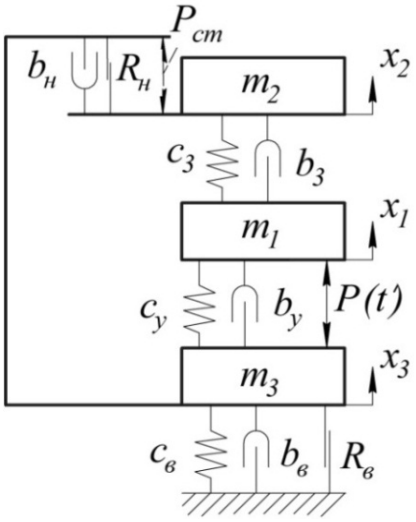


Рис. 2. Тримасова динамічна модель взаємодії виконавчих ланок ІВПМ

На рис. 2 прийняті такі позначення: m_1 – маса робочої ланки ІВПМ, що враховує маси поршня, стола, контейнера прес-форми і заготовки; m_2 – маса рухомої поперечини, що враховує маси змінних інерційних вантажів і пуансона; m_3 – маса верхньої і нижньої поперечин ІВПМ, що складають масу станини; $P_{ст}$ – додаткове статичне притискання рухомої траверси; c_y – жорсткість пружин повернення; c_3 – умовна жорсткість заготовки; $c_в$, $b_в$, $R_в$ – відповідно, еквівалентні жорсткість, коефіцієнт в'язкого демпфування і сила сухого тертя в обоймах віброізолятора; $b_н$ – коефіцієнт в'язкого демпфування в ущільненнях штока; b_y – коефіцієнт в'язкого демпфування в ущільненнях плунжера головного приводу; b_3 – коефіцієнт в'язкого демпфування заготовки під час тертя об стінки контейнера прес-форми; $P(t')$ – зовнішня продукувальна сила; x_3, x_2, x_1 – відповідні переміщення мас m_1, m_2, m_3; $R_н$ – сила сухого тертя в напрямних рухомої поперечини.

$$\begin{cases} m_1\ddot{x}_1 + b_3(\dot{x}_1-\dot{x}_2) + b_y(\dot{x}_1-\dot{x}_3) + c_3(x_1-x_2) + c_y(x_1-x_2) = P(t'); \\ m_2\ddot{x}_2 + b_3(\dot{x}_2-\dot{x}_1) + b_н(\dot{x}_2-\dot{x}_3) + c_3(x_2-x_1) + P_{ст} = 0; \\ m_3\ddot{x}_3 + b_в\dot{x}_3 + b_н(\dot{x}_3-\dot{x}_2) + b_y(\dot{x}_3-\dot{x}_1) + c_в x_3 + c_y(x_3-x_1) - P_{ст} = -P(t'). \end{cases} \quad (1)$$

На основі структурно-розрахункової схеми (рис. 1), тримасової динамічної моделі взаємодії виконавчих ланок ІВПМ (рис. 2) та низки припущень побудована тримасова динамічна модель – золотник–плунжер (маса якого подана сумою мас плунжера, заготовки, стола та нижньої частини прес-форми)–траверса (рис. 3,а), в якій гідравлічна ланка подана у вигляді в'язко-пружної моделі енергоносія, складеної з паралельно з'єднаних безінерційних пружного k_0 та дисипативного c_0 елементів (тіло Кельвіна-Фохта) [1, 2, 4].

Розглядаючи тримасову динамічну модель (рис. 3,а), слід зауважити, що переміщення золотника електрогідравлічного розподільника (*ЕГР*) залежить від сигналу з *БК*, який є функцією від тиску *F(p)* під час керування «за тиском» та функцією часу *F(t)* під час керування «за частотою», і в заданому діапазоні його технологічних параметрів спрацьовує автоматично, а його маса не впливає на режим роботи вібраційного обладнання, тому масою золотника можна знехтувати, що дозволяє тримасову динамічну модель інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода подати двомасовою, яка зображена на рисунку 3,б.

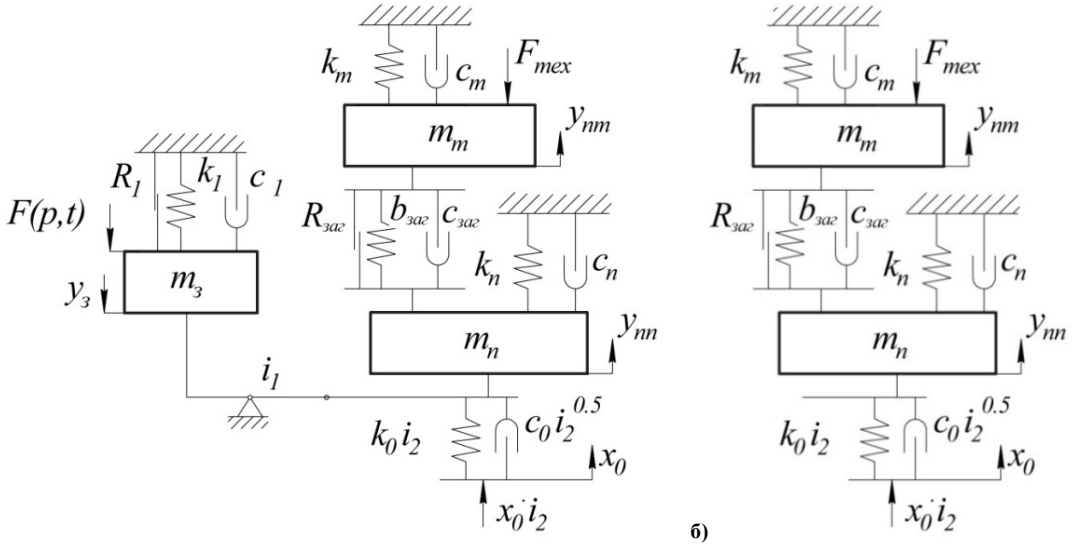


Рис. 3. Спрощені тримасова а) та двомасова б) динамічні моделі інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода

На рис. 3 прийняті такі позначення: $R_{заг}$ – коефіцієнт, який враховує сухе тертя; $b_{заг}$ – коефіцієнт бокового в'язкого тертя; $c_{заг}$ – коефіцієнт, який характеризує навантаження заготовки; $R_{заг}$ – постійна складова сухого тертя в заготовці; c_n – коефіцієнт в'язкого опору у виконавчому гідроциліндрі; k_m, c_m – жорсткість та в'язкість допоміжної гідравлічної системи; i_1, i_2 – передаточне відношення, що залежать від площ поперечних перерізів каналів гідросистеми.

Під час розробки динамічної та математичної моделей інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода прийнято низку припущень: фізичні параметри гідравлічної ланки (зведений модуль пружності, густина, динамічна в'язкість) постійні на всіх фазах робочого циклу; через малу довжину гідроканалів у вібропрес-молоті з електрогідравлічною системою керування хвильовими процесами можна знехтувати; коефіцієнти витрат через відповідні перерізи є сталими величинами; термодинамічний процес в гідросистемі – ізотермічний; зміна тиску в керівних порожнинах внаслідок малого їх об'єму відбувається миттєво; витоки рідини через золотникові перекриття і зазори між поверхнями напрямних частин та спряженими з ними поверхнями малі в порівнянні з потоками під час комутації розподільних елементів і у рівняннях витрат не враховуються.

На підставі викладених міркувань і прийнятої системи припущень динамічні моделі прямого та зворотного ходів ланок інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода (рис. 4), шляхом зведення гідравлічної ланки приводу до його рухомих ланок, подані у вигляді моделей прямого та зворотного ходів (2, 3).

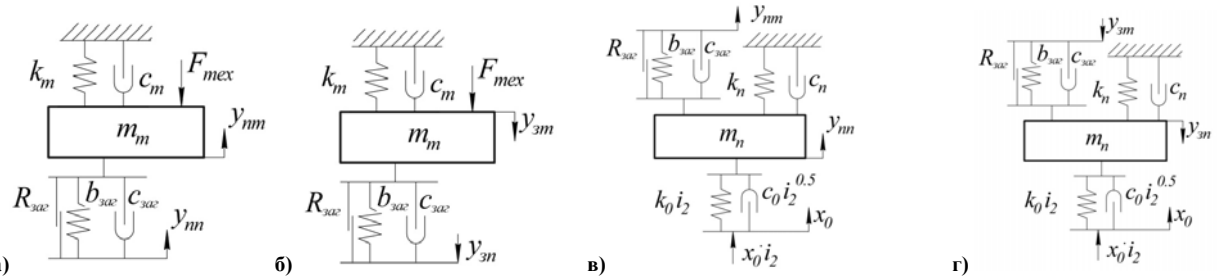


Рис. 4. Спрощені динамічні моделі інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсним приводом для: а), в) – прямого; б), г) – зворотного ходу

Для прямого ходу:

$$\begin{cases} m_n\ddot{y}_{nn} = k_0 i_2(x_0 - y_{nn}) - k_n y_{nn} - c_0 i_2^{0.5}(\dot{x}_0 - \dot{y}_{nn}) - c_n\dot{y}_{nn} - b_{заг}(y_{nn} - y_{nm}) - c_{заг}(\dot{y}_{nn} - \dot{y}_{nm}) - R_{заг}\,\mathrm{sing}(\dot{y}_{nn} - \dot{y}_{nm}); \\ m_m\ddot{y}_{nm} - k_m y_{nm} - c_m\dot{y}_{nm} - b_{заг}(y_{nn} - y_{nm}) - c_{заг}(\dot{y}_{nn} - \dot{y}_{nm}) - R_{заг}\,\mathrm{sing}(\dot{y}_{nn} - \dot{y}_{nm}) - F_{mex} = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Для зворотного ходу:

$$\begin{cases} m_n\ddot{y}_{nn} = k_n y_{3n} - k_0 i_2(x_0 - y_{3n}) - c_0 i_2^{0.5}(\dot{x}_0 - \dot{y}_{зп}) - c_n\dot{y}_{зп} - b_{заг}(y_{зп} - y_{зт}) - c_{заг}(\dot{y}_{зп} - \dot{y}_{зт}) - R_{заг}\,\mathrm{sing}(\dot{y}_{зп} - \dot{y}_{зт}); \\ m_m\ddot{y}_{зт} = k_m y_{зт} + F_{mex} - c_m\dot{y}_{зт} - b_{заг}(y_{зп} - y_{зт}) - c_{заг}(\dot{y}_{зп} - \dot{y}_{зт}) - R_{заг}\,\mathrm{sing}(\dot{y}_{зп} - \dot{y}_{зт}). \end{cases} \quad (3)$$

Вихідні математичні моделі (2, 3), складені на основі структурно-розрахункової схеми інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода (рис. 3), його двомасової динамічної моделі (рис. 5,б) та принципу Д'Аламбера за методикою, розробленою Р. Д.

Ісковичем-Лотоцьким, Р. Р. Обертюхом та ін. [3, 4, 6, 7].

Також на основі загальноприйнятих залежностей (законів), що враховують динаміку руху, розроблено математичні моделі, які можуть бути використанні під час проектного розрахунку відповідного вібраційного обладнання, що зведено до систем рівнянь, які описують фазу підняття (4) і опускання (5) поршня виконавчого гідроциліндра з урахуванням зміни тиску у напірній гідролінії.

Фаза підняття поршня виконавчого гідроциліндра описується системою

$$\begin{cases} m\dfrac{d^2y}{dt^2} = p_ц f_ц - F_{тех} - k_п y_п - \beta\dfrac{dy}{dt}; \\ \beta W_н \dfrac{dp_н}{dt} = Q_н - k\pi f_э \dfrac{t^4 k_2 U^2}{6\omega m}\dfrac{l_ш \delta}{l_я}\sqrt{\dfrac{2p_н - p_ц}{\rho}}; \\ \beta W_\Sigma \dfrac{dp_ц}{dt} = k\pi f_э \dfrac{t^4 k_2 U^2}{6\omega m}\dfrac{l_ш \delta}{l_я}\sqrt{\dfrac{2p_н - p_ц}{\rho}} - F\dfrac{dy}{dt}, \end{cases} \quad (4)$$

де $p_ц$ – тиск у порожнинні виконавчого гідроциліндра, β – податливість системи, яка залежить від значення тиску p; k – коефіцієнт витрат рідини через розподілювач; $p_ц$ і $p_н$ – відповідно, тиск у напірній гідролінії і у порожнині виконавчого гідроциліндра; ρ – густина мастила; δ – зазор між магнітами; $l_я$ – довжина якоря; $l_ш$ – довжина штовхача; k_2 – постійний коефіцієнт, що враховує зміну напруги; m – маса якоря; ω – число витків обмотки; U – сигнал на вході в ЕМП; t – час, $W_н$ – об'єм напірної гідролінії, W_Σ – об'єм гідросистеми.

Фаза опускання поршня виконавчого гідроциліндра описується системою

$$\begin{cases} m\dfrac{d^2y}{dt^2} = F_{тех} + k_п y_п - \alpha\dfrac{dy}{dt} - p_ц f_ц; \\ \beta W_ц \dfrac{dp_ц}{dt} = f\dfrac{dy}{dt} - k\pi f_э \dfrac{t^4 k_2 U^2}{6\omega m}\dfrac{l_ш \delta}{l_я}\sqrt{\dfrac{2p_ц}{\rho}}. \end{cases} \quad (5)$$

Дослідження систем рівнянь 4, 5 виконано на ПК за допомогою прикладної програми MATLAB Simulink. За результатами дослідження розроблених математичних моделей шляхом варіювання початкових даних отримано графіки залежностей зміни в часі переміщень виконавчого гідроциліндра $y_ц(t)$ та зміни тиску $p_н(t)$ у напірній гідролінії (рис. 5).

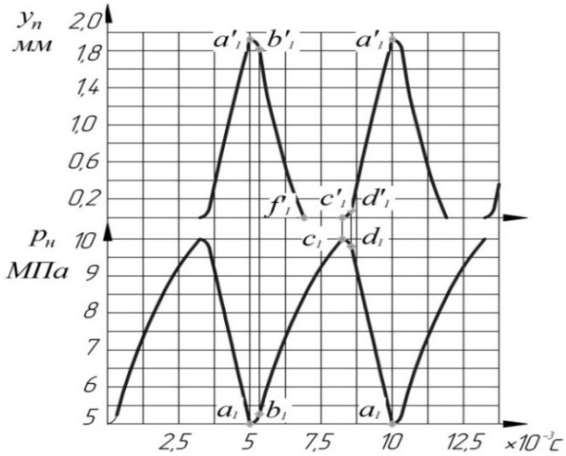
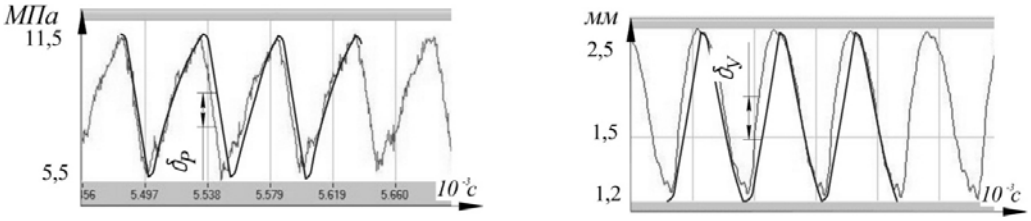


Рис. 5. Графіки зміни тиску у напірній гідролінії $p_н(t)$ та переміщення поршня виконавчого гідроциліндра $y_ц(t)$ з частотою $\nu = 20$ Гц, скважністю 65%, $p_в$ = 10 МПа, $p_э$= 5 МПа, QH=1,1·10-3 м3/с

В результати експериментальних досліджень були отримані осцилограми зміни тиску і переміщення вібростола [5], що дозволило їх порівняти з теоретичними дослідженнями (рис. 5). Після детального дослідження та порівняння експериментальних і розрахункових даних було встановлено, що різнобіжність між показниками теоретичних і експериментальних досліджень не перевищує 10% (рис. 6), що підтверджує адекватність розроблених математичних моделей і дозволяє використати отримані математичні моделі для проектного розрахунку інерційних вібропрес-молотів з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода.



а) б)

Рис. 6. Графік порівняння експериментальних і теоретичних даних на частоті 20 Гц, скважності 65%, для: а) тиску; б) переміщення, де δ_p і δ_y – відповідно, різниця між теоретичними і експериментальними даними тиску і частоти

Висновки

В статті описано процес побудови динамічної моделі інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування, для цього багатомасову динамічну модель ІВПМ подано у вигляді тримасової динамічної моделі взаємодії виконавчих ланок ІВПМ, розв'язком якої є система трьох диференціальних рівнянь другого порядку. Було представлено динамічні моделі прямого та зворотного ходів ланок інерційного вібропрес-молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного привода, а їх розв'язок подано у вигляді моделей прямого та зворотного ходів. Також складено системи рівнянь, які описують фазу підняття і опускання поршня виконавчого гідроциліндра, що дозволило провести дослідження даних на ПК за допомогою прикладної програми MATLAB Simulink. Отримані результати математичного дослідження були порівнянні з експериментальними даними, які підтвердили адекватність розроблених моделей. В подальшому дані математичні моделі можуть бути використанні для проектного розрахунку вібропресового обладнання з електрогідравлічною системою керування.

Література

1. Іскович-Лотоцький Р. Д. Динамічна та математична моделі вібропрес-молота з електрогідравлічним керуванням / Р. Д. Іскович-Лотоцький, В. П. Міськов, А. В. Слабкий // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів : Львівська політехніка, 2014. – № 48. – С. 3–10. – ISSN 0320-6947

2. Іскович-Лотоцький Р. Д. Математичне моделювання динамічних процесів вібропрес-молота з електрогідравлічним керуванням для формоутворення порошкових матеріалів / Р. Д. Іскович-Лотоцький, В. П. Міськов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький, 2015. – № 2. – С. 17–20. – ISSN 2307-5732

3. Искович-Лотоцкий Р.Д. Основы теории расчета и разработка процессов и оборудования для виброударного прессования заготовок изделий из порошковых материалов : дис. … доктора. техн. наук : 05.03.05. / Искович-Лотоцкий Ростислав Дмитриевич. – М., 1987. – 424 с.

4. Іскович-Лотоцький Р.Д. / Генератори імпульсів тиску для керування гідроімпульсними приводами вібраційних та віброударних технологічних машин : монографія / Іскович-Лотоцький Р.Д., Обертюх Р.Р., Архипчук М.Р. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008 – 171 с.

5. Іскович-Лотоцький Р. Д. Результати експериментального дослідження вібропрес-молота з електрогідравлічним керуванням для формоутворення заготовок порошкових матеріалів / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Р. Р. Обертюх, В. П. Міськов, А. В. Слабкий // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Технічні науки. – Вінниця, 2015. – Випуск 1(89) Том 1. – С. 17–21. – ISSN 2306-756X

6. Іскович-Лотоцький Р. Д. Аналіз використання гідроімпульсних вібророзвантажувальних пристроїв на автомобільному транспорті / Р.Д. Іскович-Лотоцький, Я.В. Іванчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 6. – С. 228–231.

7. 7. Іскович-Лотоцький Р. Д. Основи резонансно-структурної теорії віброударного розвантаження транспортних засобів / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Я. В. Іванчук, Я. П. Веселовський // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2014.

Рецензія/Peer review : 20.5.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сивак І.О.

УДК 678.023.5

О.М. СИНЮК
Хмельницький національний університет

МОДЕЛЬ БУДОВИ НЕДЕФОРМОВАНИХ ПОЛІМЕРІВ СФЕРОЛІТНОЇ СТРУКТУРИ

Отримана математична модель зміни структури полімерів під дією навантаження розтягу, за допомогою якої можна розраховувати поля напружень та деформацій в будь-якій точці сфероліту. Це дозволить передбачати необхідні деформації полімерного матеріалу, які забезпечать витягування сферолітів до заданої довжини, що є важливим при вторинній переробці відходів полімерних матеріалів в готові вироби.

Ключові слова: відходи, полімер, переробка, розщеплення, структура, сфероліт, напруження, деформація.

OLEG SYNYUK
Khmelnytskyi National University

MODEL STRUCTURE UNDEFORMED POLYMER SPHERULITIC STRUCTURE

The resulting mathematical model allows to describe the changes in the structure of polymers under tensile load, which can be used to calculate stress and strain fields at any point in the spherulite. This will provide the necessary deformation of the polymeric material which will provide spherulites stretching to a predetermined length, it is important for recycling waste plastic materials into finished products.

Keywords: waste, polymer processing, cleavage structure, spherulite, stress, strain.

Вступ

Сьогодні проблема переробки відходів полімерних матеріалів знаходить актуальне значення не лише з позицій охорони навколишнього середовища, але й пов'язана з тим, що в умовах дефіциту полімерної сировини пластмасові відходи стають потужним сировинним і енергетичним ресурсом.

Разом з тим вирішення питань, пов'язаних з охороною навколишнього середовища, вимагає значних капітальних вкладень. Вартість обробки та знищення відходів пластмас приблизно в 8 разів перевищує витрати на обробку більшості промислових і майже в три рази – на знищення побутових відходів. Це пов'язано зі специфічними особливостями пластмас, які значно ускладнюють або роблять непридатними відомі методи знищення твердих відходів.

Використання відходів полімерів дозволяє істотно економити первинну сировину (передусім нафту) та електроенергію.

Проблем, пов'язаних з утилізацією полімерних відходів, досить багато. Вони мають свою специфіку, але їх не можна вважати нерозв'язними. Однак рішення неможливо без організації збору, сортування та первинної обробки амортизованих матеріалів і виробів; без розробки системи цін на вторинну сировину, стимулюючих підприємства до їх переробки; без створення ефективних способів переробки вторинної полімерної сировини, а також методів його модифікації з метою підвищення якості; без створення спеціального обладнання для його переробки; без розробки номенклатури виробів, що випускаються із вторинної полімерної

Основний шлях використання відходів пластмас – це їх утилізація, тобто повторне використання. В роботах [1] показано, що капітальні та експлуатаційні витрати за основними способами утилізації відходів не перевищують, а в ряді випадків навіть нижче витрат на їх знищення. Позитивною стороною утилізації є також і те, що виходить додаткова кількість корисних продуктів для різних галузей народного господарства і не відбувається повторного забруднення навколишнього середовища. З цих причин утилізація є не тільки економічно доцільним, а й екологічно найліпшим вирішенням проблеми використання пластмасових відходів.

В статті розглядається вторинна переробка відходів полімерних матеріалів механічним рециклінгом, так як цей спосіб переробки не вимагає дорогого спеціального обладнання і може бути реалізований в будь-якому місці накопичення відходів. Крім того, механічна переробка відходів полімерного матеріалу дозволяє зберігати у відновленому полімері механічні властивості, що близькі до оригінального.

Існуючі сьогодні технології механічної переробки полімеру [2–4] подрібнюють його, що призводить до розриву вуглецевих зв’язків макромолекул, збільшуючи, тим самим, кількість коротких ланцюгів, а це, в свою чергу, створює ефект зменшення молекулярної маси, що знижує експлуатаційні властивості полімеру [5]. Для покращення механічних характеристик полімерний матеріал відновлюють за допомогою хімічних реактивів [6], що потребує залучення додаткових ресурсів і спеціального обладнання, що збільшує витрати на переробку.

В той же час, величезна кількість виробів легкої промисловості (наприклад, одяг, деякі деталі взуття та інше) і не тільки створюються з використанням синтетичних волокон. В цьому сенсі, на нашу думку, становить певний інтерес дослідження процесу розщеплення на волокна попередньо витягнутого полімерного матеріалу.

Розробка технологічного обладнання для розщеплення полімерних відходів на волокна вимагає, у

свою чергу, створення єдиного модельного підходу, який дозволив би простежити за направленими змінами внутрішньої структури полімеру, що приводять до її руйнування при різних видах напружено-деформованого стану, які генеруються технологічними пристроями в процесі переробки полімерних відходів.

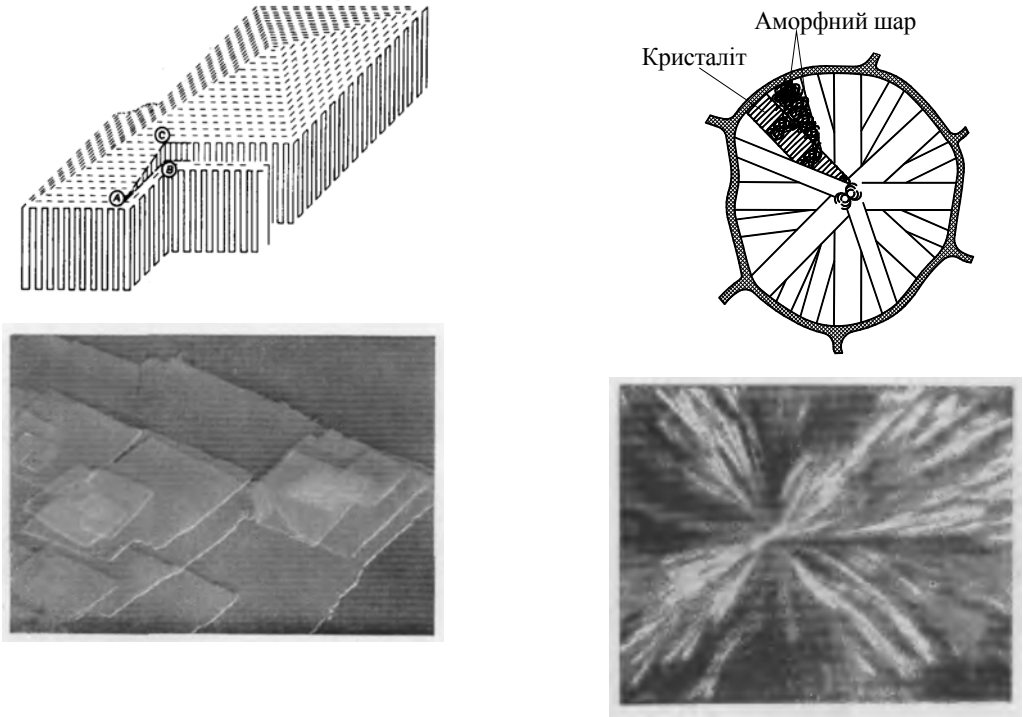
З робіт [7] відомо, що полімер руйнується в першу чергу по границям структурних утворень, тому спочатку слід розглянути основні напрямки у розвитку модельних уявлень про надмолекулярну структуру полімерів.

Аналіз підходів до питання про організацію макроструктури полімеру [7, 8] та враховуючи, що більшість полімерних виробів отримують литтям під тиском (58 % зі всіх виробів), дозволяє сформувати уявлення про будову полімерних матеріалів.

Одним із основних напрямків у розвитку модельних уявлень про структуру полімерів є створення структурно-механічних моделей, які дозволяють на основі представлення структури полімеру у вигляді певної композитної структури при використанні фізико-механічних методів досліджень суцільного анізотропного середовища якісно та кількісно описати процес зміни фізичних і механічних (ефективних) властивостей полімерних матеріалів під дією механічного, температурного, іонізуючого та інших полів.

Багато різних надмолекулярних утворень, що виникають в залежності від умов отримання і переробки полімерів, не дозволяє сьогодні описати в рамках однієї моделі механічні властивості аморфно-кристалічних полімерів. Звідси основна ідея даної роботи – модельна фіксація надмолекулярної структури полімеру, що змінюється при деформації.

Без сумніву найбільш зручним об’єктом для вивчення структурних перетворень, що відбуваються у полімерах при їх деформації, є монокристали (рис. 1 а). Однак, основним і найбільш розповсюдженим структурним утворенням є сферолітна будова (рис. 1 б), яка формується при кристалізації аморфно-кристалічних полімерів.



а б

а - монокристал; б – сфероліт

Рис. 1. Структурна модель будови полімерного матеріалу

Структурна модель сферолітної будови полімеру (див. рис. 1 б) складається з двох взаємозв’язаних моделей, що описують два стана надмолекулярної структури полімерів: до деформації – модель неорієнтованої сферолітної структури, після деформації – модель орієнтованої сферолітної структури полімеру.

В даній роботі розглядається структурна модель стану полімеру до його деформації – модель неорієнтованої сферолітної структури полімеру.

Основна частина. Структура неорієнтованого полімеру сферолітної будови відображає стан полімерного матеріалу, отриманого в результаті його формування в прес-формі.

Модель сферолітної структури полімеру може бути представлено як необмежене пружне ізотропне середовище [9], що складається з сферолітної структури, поміщеної в однорідну аморфну матрицю. При побудові моделі були прийняті такі припущення: сфероліти мають однакову форму (сферичну) та розміри; сфероліти розташовані в кутах просторової решітки [9]; все кристалічне середовище полімеру зосереджене в сферолітах (рис. 2).

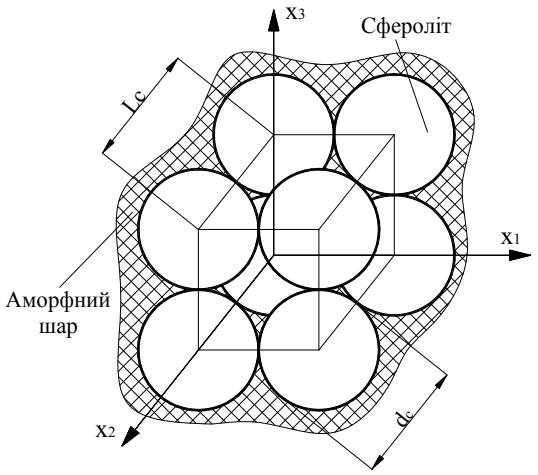


Рис. 2. Модель сферолітної структури полімерного матеріалу

Для побудови теорії ефективних модулів сферолітної структури в першому наближенні першорядне значення мають визначення відносного об'ємного наповнення середовища сферолітами ξ, розмірів сферолітів, що мають форму сфери діаметром d_c; вид упаковки μ і циклічна симетрія в його структурі.

Як характеристику, що визначає ймовірний тип просторової решітки, а також форму і тип сферолітів, будемо використовувати показник ступеня об'ємної кристалічності полімерного матеріалу [10].

$$\chi = \frac{\rho - \rho_a}{\rho_c - \rho_a}, \qquad (1)$$

де ρ – щільність зразка; ρ_a, ρ_c – відповідно, щільність аморфної та кристалічної фази полімеру, знайдені за даними рентгеноструктурного аналізу.

Враховуючи припущення, що вся кристалічна частина полімеру зосереджена в сферолітах, які складаються з ламелярних кристалічних областей, що чергуються, і міжламелярних аморфних прошарків [11–13], можна покласти, що ступінь об'ємної кристалічності χ зв'язана з відносним об'ємом наповнення середовища сферолітами ξ та коефіцієнтом компактності просторової решітки μ [9].

$$\xi = \chi^2 = k^2 \cdot \mu, \qquad (2)$$

де $k = d_c / L_c$ – коефіцієнт щільності упаковки матеріалу сферолітами ($0 \le k \le 1$); L_c – відстань між центрами сферолітів. Коефіцієнт компактності просторової решітки, в кутах якої розташовані сфероліти, визначається її видом. Так, вираз $\mu = \pi/6$ – відповідає найпростішій кубічній решітці; $\mu = \pi/3$ – об'ємноцентрованій кубічній решітці; $\mu = 2\pi/3$ – гранецентрованій кубічній решітці; $\mu = \sqrt{2}\pi/6$ – гексагональній структурі кубічної решітки.

Зрозуміло, що найбільш щільній упаковці сфер, радіусом $d_c/2$, а отже граничному заповненню просторової решітки, відповідає така структура, коли сфери дотикаються одна до іншої, тобто при $d_c = L_c$. В такому випадку $k = 1$, а $\xi = \chi^2 = \mu$.

Задачею даного моделювання сферолітної надмолекулярної структури полімерного матеріалу є визначення ступеня впливу пружних властивостей полімеру і його напружено-деформованого стану на вид просторової решітки і форму та розміри сферолітів, що дасть змогу прогнозувати зміну форми просторової решітки, в кутах якої розташовані сфероліти, та форму і розміри самих сферолітів при будь-якій деформації полімеру сферолітної будови. Отримані в результаті побудови моделі закономірності впливу пружних постійних на форму і розміри сферолітів та на вид їх взаємного розташування можна буде використати при побудові моделі сферолітної структури, що формується в процесі витяжки полімерів.

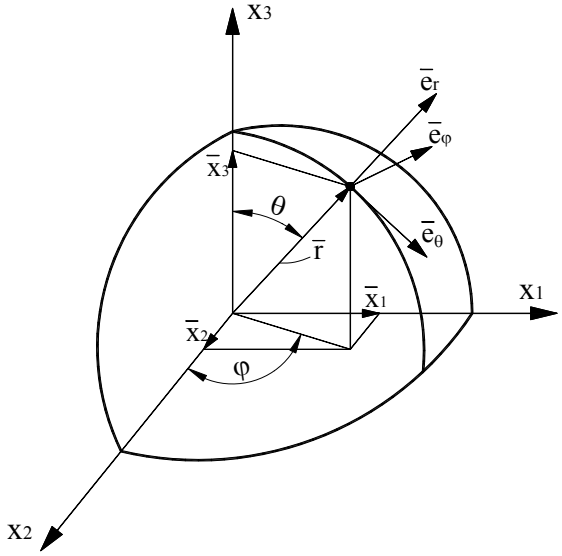


Рис. 3. Схема напружено-деформованого стану сфероліту в структурі полімеру

У зв'язку з викладеним вище розглянемо напружено-деформований стан сферичної кристалічної фази, що знаходиться в ізотропному необмеженому аморфному середовищі, яке піддається розтягу вздовж осі x_3 (рис. 3).

Припустивши, що будова аморфної та кристалічної фази полімеру є ізотропним середовищем, а також, що між сфероліти упаковані в гексагональну решітку і між ними діють невідомі однорідні напруження взаємодії, будемо вирішувати задачу в криволінійній системі координат (q^1, q^2, q^3), що зв'язана з міжфазною границею середовища, а початок координат розташований в центрі сфероліта.

Як відомо з [14] вектори основного локального базису криволінійної системи координат визначаються за формулою:

$$\vec{e}_i = \partial \vec{r} / \partial q^i, \quad i = 1, 2, 3 \qquad (3)$$

і є дотичними до координатних ліній q^i, що проходять через точку $\vec{r} = \vec{r}\left(q^1, q^2, q^3\right)$. Координати q^1, q^2, q^3 однозначно визначають вектор $\vec{r}$ в криволінійній системі координат, а координати x_1, x_2, x_3 однозначно визначають цей вектор в декартовій системі координат (рис. 2). Декартові координати x_i та криволінійні q^i можуть мати різну розмірність, тобто компоненти базису криволінійної та декартової системи координат можуть бути різними.

Для врахування цього необхідно визначити довжини відповідних векторів локального основного базису криволінійної системи координат:

$$H_\nu = \sqrt{\left(\frac{\partial x_1}{\partial q^\nu}\right)^2 + \left(\frac{\partial x_2}{\partial q^\nu}\right)^2 + \left(\frac{\partial x_3}{\partial q^\nu}\right)^2}, \qquad \nu = 1,\ 2,\ 3 \tag{4}$$

і розділити на них ці вектори, тобто:

$$\vec{e}_{(\nu)} = \frac{\vec{e}_\nu}{H_\nu}. \tag{5}$$

Локальний базис з одиничних векторів $\vec{e}_{(\nu)}$ в науковій літературі називають “фізичним” базисом, а його використання є дуже зручним при розв’язуванні фізичних задач.

Так як сфероліт має форму шару, то будемо використовувати сферичну систему координат, яка є окремим випадком криволінійної системи координат. Тоді, положення вектора $\vec{r}$ однозначно будуть визначати сферичні координати r, θ, φ. З рис. 2 визначимо декартові координати x_1, x_2, x_3 вектора $\vec{r}$ через сферичні координати r, θ, φ.

$$x_1 = r \cdot \sin\theta \cdot \sin\varphi,\ x_2 = r \cdot \sin\theta \cdot \cos\varphi,\ x_3 = r \cdot \cos\theta, \tag{6}$$

при цьому $0 \le r < \infty$, $0 \le \theta \le \pi$, $0 \le \varphi \le 2\pi$.

Використовуючи рівняння (3) та вирази (6), розкладемо одиничні вектори сферичної системи координат за ортами декартової системи координат.

$$\begin{aligned} \vec{e}_r &= \sin\theta\sin\varphi \cdot \vec{e}_1 + \sin\theta\cos\varphi \cdot \vec{e}_2 + \cos\theta \cdot \vec{e}_3, \\ \vec{e}_\theta &= r \cdot \cos\theta\sin\varphi \cdot \vec{e}_1 + r \cdot \cos\theta\cos\varphi \cdot \vec{e}_2 - r\sin\theta \cdot \vec{e}_3, \\ \vec{e}_\varphi &= r \cdot \sin\theta\cos\varphi \cdot \vec{e}_1 - r \cdot \sin\theta\sin\varphi \cdot \vec{e}_2 + 0 \cdot \vec{e}_3. \end{aligned} \tag{7}$$

Приведемо розмірність компонентів базису криволінійної системи координат до розмірності вектору $\vec{r}$ (або до розмірності базису декартових координат), тобто до одиниці. Для цього розділимо одиничні вектори сферичної системи координат на їх довжини (параметри Ламе $H_\nu (\nu = 1,2,3)$), що визначаються з рівняння (4). В результаті система (7) перепишеться таким чином:

$$\begin{aligned} \vec{e}_{(r)} &= \sin\theta\sin\varphi \cdot \vec{e}_1 + \sin\theta\cos\varphi \cdot \vec{e}_2 + \cos\theta \cdot \vec{e}_3, \\ \vec{e}_{(\theta)} &= \cos\theta\sin\varphi \cdot \vec{e}_1 + \cos\theta\cos\varphi \cdot \vec{e}_2 - \sin\theta \cdot \vec{e}_3, \\ \vec{e}_{(\varphi)} &= \cos\varphi \cdot \vec{e}_1 - \sin\varphi \cdot \vec{e}_2 + 0 \cdot \vec{e}_3, \end{aligned} \tag{8}$$

де $e_{(\nu)} (\nu = 1,2,3)$ – приведений або “фізичний” базис. В подальшому дужки, що стоять біля індексу, будемо опускати.

Отже, ортогональна матриця переходу від декартового базису до сферичного запишеться таким чином:

$$\begin{aligned} \vec{e}_r &= a_{11} \cdot \vec{e}_1 + a_{12} \cdot \vec{e}_2 + a_{13} \cdot \vec{e}_3, \\ \vec{e}_\theta &= a_{21} \cdot \vec{e}_1 + a_{22} \cdot \vec{e}_2 + a_{23} \cdot \vec{e}_3, \\ \vec{e}_\varphi &= a_{31} \cdot \vec{e}_1 + a_{32} \cdot \vec{e}_2 + a_{33} \cdot \vec{e}_3, \end{aligned} \tag{9}$$

де a_{ij} – компоненти ортогональної матриці переходу від декартового базису до сферичного:

$$\begin{aligned} &a_{11} = \sin\theta\sin\varphi, && a_{12} = \sin\theta\cos\varphi, && a_{13} = \cos\theta, \\ &a_{21} = \cos\theta\sin\varphi, && a_{22} = \cos\theta\cos\varphi, && a_{23} = -\sin\theta, \\ &a_{31} = \cos\varphi, && a_{32} = -\sin\varphi, && a_{33} = 0. \end{aligned} \tag{10}$$

Зворотне перетворення здійснюється за такими рівняннями:

$$\begin{aligned} \vec{e}_1 &= a_{11} \cdot \vec{e}_r + a_{21} \cdot \vec{e}_\theta + a_{31} \cdot \vec{e}_\varphi, \\ \vec{e}_2 &= a_{12} \cdot \vec{e}_r + a_{22} \cdot \vec{e}_\theta + a_{32} \cdot \vec{e}_\varphi, \\ \vec{e}_3 &= a_{13} \cdot \vec{e}_r + a_{23} \cdot \vec{e}_\theta + a_{33} \cdot \vec{e}_\varphi. \end{aligned} \tag{11}$$

Для визначення пружних властивостей (модуля пружності та коефіцієнта Пуасона) в напрямку осі витягування полімеру (осі x_3) розглянемо випадок повздовжнього розтягу неорієнтованої сферолітної будови.

Під час розтягу в сфероліті виникає напружений стан, що згідно з діадним представленням [9, 15]

можна записати в такому вигляді:

$$\mathbf{T}=\vec{e}_x\vec{e}_x\sigma_{xx}+\vec{e}_y\vec{e}_y\sigma_{yy}+\vec{e}_z\vec{e}_z\sigma_{zz}+\left(\vec{e}_x\vec{e}_y+\vec{e}_y\vec{e}_x\right)\cdot\sigma_{xy}+\left(\vec{e}_y\vec{e}_z+\vec{e}_z\vec{e}_y\right)\cdot\sigma_{yz}+\left(\vec{e}_z\vec{e}_x+\vec{e}_x\vec{e}_z\right)\cdot\sigma_{zx}, \quad (12)$$

де $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z$ – одиничні орти декартової системи координат; $\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}$ – нормальні напруження, що діють на площадках, перпендикулярних до відповідних осей системи координат; $\sigma_{xy}, \sigma_{yz}, \sigma_{zx}$ – тангенціальні (дотичні) напруження, що діють на тих же площадках.

Зорієнтуємо осі координат таким чином, щоб на площадках елементарного об'єму, обмеженого сферичною поверхнею, тангенціальні напруження були відсутні. Тоді рівняння (12) перепишеться таким чином:

$$\mathbf{T}=\vec{e}_1\vec{e}_1\sigma_1+\vec{e}_2\vec{e}_2\sigma_2+\vec{e}_3\vec{e}_3\sigma_3, \quad (13)$$

де $\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3$ – одиничні орти декартової системи координат x_1, x_2, x_3; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – напруження на головних площадках, перпендикулярних до відповідних осей системи координат x_1, x_2, x_3.

Представимо кожне головне напруження як добуток середнього напруження $\hat{\sigma}_3$, що діє на сфероліт вздовж осі x_3, та невідомих постійних σ^{o}, що характеризують рівень напружень однорідної взаємодії і рівень напружень на головних площадках.

$$\mathbf{T}^{\mathbf{c}}=\left(\vec{e}_1\vec{e}_1\sigma_1^{\text{o}}+\vec{e}_2\vec{e}_2\sigma_2^{\text{o}}+\vec{e}_3\vec{e}_3\sigma_3^{\text{o}}\right)\hat{\sigma}_3, \quad (14)$$

Напруження однорідної взаємодії між сферолітами виникають в результаті зміни напружено-деформованого стану сферолітів.

В сферичних координатах (6) тензор напружень (14) можна виразити таким чином [9]:

$$\mathbf{T}^{\mathbf{c}}=\left(\vec{e}_r\vec{e}_r\sigma_r^{\text{o}}+\vec{e}_\theta\vec{e}_\theta\sigma_\theta^{\text{o}}+\vec{e}_\varphi\vec{e}_\varphi\sigma_\varphi^{\text{o}}+\left(\vec{e}_r\vec{e}_\theta+\vec{e}_\theta\vec{e}_r\right)\cdot\sigma_{r\theta}^{\text{o}}\right)\hat{\sigma}_3, \quad (15)$$

Невідомі постійні σ^{o} в сферичних координатах виразимо через декартові підстановкою виразів (11) в рівняння (14)

$$\begin{aligned}\mathbf{T}^{\mathbf{c}}=&\Big[\vec{e}_r\vec{e}_r\left(a_{11}^2\sigma_1^{\text{o}}+a_{12}^2\sigma_2^{\text{o}}+a_{13}^2\sigma_3^{\text{o}}\right)+\vec{e}_\theta\vec{e}_\theta\left(a_{21}^2\sigma_1^{\text{o}}+a_{22}^2\sigma_2^{\text{o}}+a_{23}^2\sigma_3^{\text{o}}\right)+\vec{e}_\varphi\vec{e}_\varphi\left(a_{31}^2\sigma_1^{\text{o}}+a_{32}^2\sigma_2^{\text{o}}+a_{33}^2\sigma_3^{\text{o}}\right)+\\&+\left(\vec{e}_r\vec{e}_\theta+\vec{e}_\theta\vec{e}_r\right)\cdot\left(a_{11}a_{21}\sigma_1^{\text{o}}+a_{12}a_{22}\sigma_2^{\text{o}}+a_{13}a_{23}\sigma_3^{\text{o}}\right)+\left(\vec{e}_r\vec{e}_\varphi+\vec{e}_\varphi\vec{e}_r\right)\cdot\left(a_{11}a_{31}\sigma_1^{\text{o}}+a_{12}a_{32}\sigma_2^{\text{o}}+a_{13}a_{33}\sigma_3^{\text{o}}\right)+\\&+\left(\vec{e}_\theta\vec{e}_\varphi+\vec{e}_\varphi\vec{e}_\theta\right)\cdot\left(a_{21}a_{31}\sigma_1^{\text{o}}+a_{22}a_{32}\sigma_2^{\text{o}}+a_{23}a_{33}\sigma_3^{\text{o}}\right)\Big]\cdot\hat{\sigma}_3.\end{aligned} \quad (16)$$

Вище було припущено, що сфероліти утворюють гексагональну просторову решітку. В мікроструктурі, що відповідає гексагональній упаковці, пружні властивості не залежать від обраного напрямку (є ізотропними), тому в прийнятому наближенні спрямуємо вісь x_3 так, щоб напружений стан сферолітів не залежав від кута φ. У цьому випадку приймемо, що кут $\varphi=0$, і з врахуванням виразів (10) отримаємо:

$$\mathbf{T}^{\mathbf{c}}=\left[\vec{e}_r\vec{e}_r\left(a_{23}^2\sigma_2^{\text{o}}+a_{22}^2\sigma_3^{\text{o}}\right)+\vec{e}_\theta\vec{e}_\theta\left(a_{22}^2\sigma_2^{\text{o}}+a_{23}^2\sigma_3^{\text{o}}\right)+\vec{e}_\varphi\vec{e}_\varphi\sigma_1^{\text{o}}+\left(\vec{e}_r\vec{e}_\theta+\vec{e}_\theta\vec{e}_r\right)\cdot\left(\sigma_3^{\text{o}}-\sigma_2^{\text{o}}\right)\cdot a_{22}a_{23}\right]\cdot\hat{\sigma}_3. \quad (17)$$

Порівнявши отриманий вираз (17) з рівнянням (15) визначимо невідомі компоненти тензора напружень сфероліту:

$$\sigma_r^c=\left(a_{23}^2\sigma_2^{\text{o}}+a_{22}^2\sigma_3^{\text{o}}\right)\cdot\hat{\sigma}_3,\quad \sigma_\theta^c=\left(a_{22}^2\sigma_2^{\text{o}}+a_{23}^2\sigma_3^{\text{o}}\right)\cdot\hat{\sigma}_3,\quad \sigma_\varphi^c=\sigma_1^{\text{o}}\cdot\hat{\sigma}_3,\quad \sigma_{r\theta}^{\text{c}}=\left(\sigma_3^{\text{o}}-\sigma_2^{\text{o}}\right)\cdot a_{22}a_{23}\cdot\hat{\sigma}_3. \quad (18)$$

Згідно до рішення задачі теорії пружності про вісесиметричний напружено-деформований стан сфери [9, 15, 16] невідомі компоненти тензора напружень сфероліту визначимо наступним чином:

$$\begin{aligned}\sigma_r^c&=-2\cdot E_c\cdot A_0-\frac{2\cdot E_c}{1+\nu_c}\cdot\left(3\cdot A_2\cdot\nu_c\cdot r^2-B_2\right)\cdot P_2(\cos\theta),\\\sigma_{r\theta}^c&=\left(\frac{E_c}{1+\nu_c}\cdot\left(A_2\cdot(2\nu_c+7)\cdot r^2+B_2\right)\right)\cdot\frac{dP_2(\cos\theta)}{d\theta},\\\sigma_\theta^c&=-2E_c\cdot A_0-\frac{2E_c}{1+\nu_c}\left(3A_2\cdot r^2(7+\nu_c)+2B_2\right)\cdot P_2(\cos\theta)-\frac{E_c}{1+\nu_c}\left(A_2\cdot r^2(7-4\nu_c)+B_2\right)\cdot\frac{dP_2(\cos\theta)}{d\theta}ctg\theta,\\\sigma_\varphi^c&=-2E_c\cdot A_0-\frac{E_c}{1+\nu_c}\left(30\cdot A_2\cdot\nu_c\cdot r^2-2B_2\right)\cdot P_2(\cos\theta)+\frac{E_c}{1+\nu_c}\left(A_2\cdot r^2(7-4\nu_c)+B_2\right)\cdot\frac{dP_2(\cos\theta)}{d\theta}ctg\theta.\end{aligned} \quad (19)$$

де E_c – модуль пружності сфероліту; ν_c – коефіцієнт Пуасона сфероліту; $P_0(\cos\theta)$, $P_1(\cos\theta)$, $P_2(\cos\theta)$ – поліноми Лежандра першого роду нульового, першого та другого порядку; A_0, A_1, A_2, B_2 – невідомі постійні, які знаходяться з граничних умов; r – радіус-вектор точки об'єму сфероліту.

Компоненти вектора переміщень для сфероліта виразимо в сферичній системі координат:

$$\mathbf{u}^{\mathbf{c}}=\vec{\mathbf{e}}_r u_r^{\text{c}}+\vec{\mathbf{e}}_\theta u_\theta^{\text{c}}+\vec{\mathbf{e}}_\varphi u_\varphi^{\text{c}}. \quad (20)$$

Невідомі компоненти вектора переміщень сфероліту визначимо наступним чином:

$$u_r^c = A_0 \cdot r \cdot (-2)(1-2\nu_c) \cdot P_0(\cos\theta) + \left(A_1 \cdot r^2 \cdot 2 \cdot (-1+4\nu_c) + B_1\right) \cdot P_1(\cos\theta) +$$
$$+\left(A_2 \cdot r^3 \cdot 3 \cdot 4\nu_c + 2B_2 \cdot r\right) \cdot P_2(\cos\theta) = -2 \cdot (1-2\nu_c) \cdot A_0 \cdot r + 2 \cdot \left(A_2 \cdot r^3 \cdot 6\nu_c + B_2 \cdot r\right) \cdot P_2(\cos\theta),$$

$$u_\theta^c = \left(A_0 \cdot r \cdot (5-4\nu_c) + B_0 \cdot r^{-1}\right) \cdot \frac{dP_0(\cos\theta)}{d\theta} + \left(A_1 \cdot r^2 \cdot (6-4\nu_c) + B_1\right) \cdot \frac{dP_1(\cos\theta)}{d\theta} +$$
$$+\left(A_2 \cdot r^3 \cdot (7-4\nu_c) + B_2 \cdot r\right) \cdot \frac{dP_2(\cos\theta)}{d\theta} = \left(A_2 \cdot r^3 \cdot (7-4\nu_c) + B_2 \cdot r\right) \cdot \frac{dP_2(\cos\theta)}{d\theta}, \quad (21)$$

$$u_\varphi^c = 0.$$

Згідно до [9, 15] компоненти напруження в кожній точці аморфної фази полімерного матеріалу можна представити таким чином:

$$\sigma_r^м = \frac{1}{3} \cdot Q + \frac{2 \cdot E_м}{1+\nu_м} \cdot \frac{D_0}{r^3} + \left(\frac{2 \cdot E_м}{1+\nu_м} \cdot \left(\frac{6 \cdot D_2}{r^5} - \frac{C_2}{r^3} \cdot (10-2\nu_м)\right) + \frac{2}{3} \cdot Q\right) \cdot P_2(\cos\theta),$$
$$\sigma_{r\theta}^м = \left(\frac{2 \cdot E_м}{r^3} \cdot C_2 - \frac{4 \cdot E_м}{1+\nu_м} \cdot \frac{D_2}{r^5} + \frac{1}{3}Q\right) \cdot \frac{dP_2(\cos\theta)}{d\theta},$$
$$\sigma_\theta^м = \frac{2}{3}Q - \frac{E_м}{1+\nu_м}\frac{D_0}{r^3} - \left(\frac{2E_м}{1+\nu_м}\frac{C_2}{r^3}(1-2\nu_м) - \frac{9E_м}{1+\nu_м}\frac{D_2}{r^5} - \frac{2}{3}Q\right) \cdot P_2(\cos\theta) -$$
$$-\left(2E_м \cdot \frac{C_2}{r^3} \cdot \frac{1-2\nu_м}{1+\nu_м} + \frac{E_м}{1+\nu_м} \cdot \frac{D_2}{r^5}\right) \cdot \frac{dP_2(\cos\theta)}{d\theta} \cdot ctg\theta, \quad (22)$$
$$\sigma_\varphi^м = -\frac{E_м}{1+\nu_м}\frac{D_0}{r^3} + \frac{E_м}{1+\nu_м}\left(\frac{C_2}{r^3}(10-20\nu_м) - \frac{3D_2}{r^5}\right) \cdot P_2(\cos\theta) +$$
$$+\frac{E_м}{1+\nu_м}\left(\frac{C_2}{r^3} \cdot (2-4\nu_м) + \frac{D_2}{r^5}\right) \cdot \frac{dP_2(\cos\theta)}{d\theta} \cdot ctg\theta.$$

де $E_м$ – модуль пружності аморфної матриці; $\nu_м$ – коефіцієнт Пуасона аморфної матриці; Q – однорідне напруження взаємодії сферолітів; $P_0(\cos\theta)$, $P_2(\cos\theta)$ – поліноми Лежандра першого роду нульового та другого порядку; D_0, D_2, C_2 – невідомі постійні, які знаходяться з граничних умов; r – радіус-вектор точки об'єму сфероліту.

З системи рівнянь (22) видно, що напруження, що виникають в певній точці аморфної матриці, зменшуються із віддаленням від початку системи координат. Це пояснюється тим, що деформуючись сфероліт здійснює певний вплив на аморфну фазу полімеру, яка складається з прохідних мікрофібрил, що з'єднують сфероліти. І чим більша відстань від сфероліту до точки аморфної фази полімеру, тим менший вплив на неї здійснює деформація даного сфероліту.

Компоненти вектора переміщень для аморфної фази представимо так:

$$\mathbf{u}^м = \vec{\mathbf{e}}_r u_r^м + \vec{\mathbf{e}}_\theta u_\theta^м + \vec{\mathbf{e}}_\varphi u_\varphi^м. \quad (23)$$

Компоненти переміщення в кожній точці аморфної фази полімерного матеріалу можна представити таким чином:

$$u_r^м = \frac{1-2\nu_м}{E_м} \cdot \frac{Q \cdot r}{3} - \frac{D_0}{r^2} + \left(\frac{C_2}{r^2} \cdot (10-8\nu_м) + \frac{2(1+\nu_м)}{E_м} \cdot \frac{Q \cdot r}{3} - \frac{3D_2}{r^4}\right) \cdot P_2(\cos\theta),$$
$$u_\theta^м = \left((1-2\nu_м) \cdot \frac{2C_2}{r^2} + \frac{1+\nu_м}{E_м} \cdot \frac{Q \cdot r}{3} + \frac{D_2}{r^4}\right) \cdot \frac{dP_2(\cos\theta)}{d\theta}, \quad (24)$$
$$u_\varphi^м = 0.$$

Невідомі постійні A_0, A_2, B_2, D_0, D_2, C_2 можна визначити з умов ідеального контакту поверхонь сфероліту та аморфної матриці, що мають місце у випадку дотику сферолітів, тобто при $r = L_c/2 = a$:

$$u_\theta^м = u_\theta^c;\ u_r^м = u_r^c;\ \sigma_r^м = \sigma_r^c;\ \sigma_\theta^м = \sigma_\theta^c;\ \sigma_{r\theta}^м = \sigma_{r\theta}^c. \quad (25)$$

Таким чином, вирішуючи системи рівнянь (21)–(24) можна визначати поле напружень та деформацій сферолітів в будь-який момент часу при одноосьовому витягуванні полімерного матеріалу.

В рівняння систем (22) та (24) входить однорідне напруження взаємодії сферолітів Q, якого немає в рівняннях систем (21) та (23). Це пояснюється тим, що сфероліти здійснюють вплив один на інший через аморфну фазу, що їх оточує. В результаті чого в аморфній матриці виникає додаткове напруження, що викликане взаємодією між сферолітами, через вплив на полімерний матеріал певного навантаження.

Висновки. В результаті проведених теоретичних досліджень була отримана математично модель будови недеформованих полімерів сферолітної структури, за допомогою якої можна розраховувати поля напружень та деформацій в будь-якій точці сфероліту. Це дозволить визначати необхідні деформації полімерного матеріалу, які необхідно створювати перероблюючим обладнанням для забезпечення заданої довжини витягнення сферолітів, що є надзвичайно важливим при вторинній переробці відходів полімерних матеріалів в готові вироби.

В подальших дослідженнях передбачається проведення експериментальних досліджень витягнення сферолітів вздовж напрямку деформації полімерного матеріалу та порівняння отриманих результатів з прогнозованими за допомогою математичної моделі, представленої в даній статті, деформаціями сферолітів.

Література

1. Мантия Ф. Ла. Вторичная переработка пластмасс / Ф. Ла Мантия (ред.) ; пер. с англ. / под. ред. Г.Е. Зайкова. – СПб : Профессия, 2006. – 400 с.

2. Місяць В.П. Моделювання процесів руйнування полімерних матеріалів при подрібненні / В.П. Місяць, О.П. Бурмістенков, О.З. Гладчук // Вісник КНУТД. – 2007. – № 3. – С. 40–45.

3. Скиба М.Є. Моделювання процесу подрібнення композиційних матеріалів з використанням методу скінчених елементів / М.Є. Скиба, Ю.Б. Михайлівський, Г.С. Головко // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2003. – № 6. – С. 7–11.

4. Гуменюк О.Б. Еколого-економічні аспекти використання відходів полімерних матеріалів, шляхом розробки і впровадження високоефективних технологій їх подрібнення / О.Б. Гуменюк, М.Є. Скиба // Вісник Технологічного університету Поділля. – 1998. – № 4. – С. 112–114.

5. Оссвальд Т.А. Литье пластмасс под давлением / Т.А. Оссвальд, Л.-Ш. Тунг, П.Дж. Грэманн ; под ред. Э. Л. Калинчева. – СПб : Профессия, 2006. – 712 с.

6. Мандзюк І. А. Розвиток наукових основ технологій рециклінгу полімерних відходів у матеріали і деталі взуття та інші вироби легкої промисловості : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.18 / І. А. Мандзюк ; В.о. Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. – К. : Б.в., 2012. – 40 с.

7. Марихин В. А. Надмолекулярная структура полимеров / В. А. Марихин, Л. П. Мясникова. – Л. : Химия, 1997. – 240 с.

8. Вундерлих Б. Физика макромолекул: кристаллическая структура, морфология, дефекты / Б. Вундерлих. – М. : Мир, 1976. – 624 с.

9. Ванин Г. А. Микро-механика композиционных материалов / Г. А. Ванин. – Киев : Накова думка, 1985. – 304 с.

10. Кострицкий В.В. Структурно-механическая модель аморфно-кристаллических полимеров / В.В. Кострицкий // Механика композитних материалов. – Рига : Зинатне, 1990. – № 4. – С. 585–593.

11. Bondi A. On the predistability of the high-frequency elastic modulus of semicrystalline polymers as function of crystallinety / A. Bondi // J. Polymer Sci. – 1967. – P. 83–87.

12. Каргин В. А. Краткие очерки по физико-химии полимеров / В. А. Каргин, Г. А. Слонимский. – М. : Химия, 1967. – 231 с.

13. Матвеев Ю. И. Химическое строение и физические свойства полимеров / Ю. И. Матвеев, А. А. Аскадский. – М. : Химия, 1983. – 248 с.

14. Разумова М. А. Основи векторного і тензорного аналізу: навчальний посібник / М. А. Разумова, В. М. Хотяїнцев. – К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2011. – 216 с.

15. Лурье А. И. Теория упругости / А. И. Лурье. – М. : Наука, 1970. – 940 с.

16. Снеддон И. Н. Классическая теория упругости / И. Н. Снеддон, Д. С. Берри ; под. ред. Э. И. Григолюка. – М. : Мосгорсоннархоз, 1961. – 220 с.

Рецензія/Peer review : 13.5.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф.. Диха О.В.

УДК 678.027.37

А.Я. КАРВАЦКИЙ, Т.В. ЛАЗАРЕВ, А.Ю. ПЕДЧЕНКО
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕССА ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ УГЛЕРОДНОЙ ПРОДУКЦИИ

Проведены экспериментальные исследования процесса формования крупногабаритной углеродной продукции методом экструзии на промышленном прессовом инструменте. Определены основные технологические параметры и показатели процесса экструзии (давление, электрическая мощность нагревателей, температура в различных зонах прессового инструмента) и исследовано их цикличное изменение во время проведения кампании. Получено изменение температурного поля поверхностей и внутреннего выходного сечения заготовок во время их формования.

Ключевые слова: углеродная масса, электродные заготовки, экструзия, формование, прессование, экспериментальные исследования.

A. KARVATSKII, T. LAZARIEV, A. PEDCHENKO
National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE THERMAL STATE OF INDUSTRIAL PRESS FOR CARBON PRODUCTS FORMING

Carbon materials can be different depending on their physical properties and spheres of usage. Electrode and carbon products are used in aggregates of ferrous and non-ferrous metallurgy and chemical industry. High requirements are set for their mechanical and thermal hardness, electrical conductivity and chemical inertness. Pressing through the forming matrix is one of the main methods of formation of large carbon products. Carbon material is pushed to the cylinder where it is pressed. After that carbon mass goes through the forming matrix with the power 60 MN, where it is sized. Experimental research of the formation process of large carbon products in industrial pressing equipment is held. Basic technological parameters and values of extrusion process (pressure, electrical power of heaters, temperature in different areas of pressing equipment) are defined and their cyclic changes during the process are investigated. Changes in temperature field of surfaces and outlet section of carbon mass was obtained and analyzed.

Keywords: carbon mass, electrode blanks, extrusion, forming, pressing, experimental research.

Введение

Углеродные и углеродосодержащие материалы, различаются по своим физическим свойствам и областями применения. В черной и цветной металлургии, а также химической промышленности, используются электродные и углеродные изделия. К ним предъявляются высокие требования по механической и термической прочности, электропроводности, а также химической инертности. Для повышения производительности и мощности производства, используются крупногабаритные углеродные изделия.

Один из наиболее распространённых способов формования крупногабаритной углеродной продукции –прессование через формующую матрицу (мундштук) или экструзия. Углеродистая масса подается в массной цилиндр, где уплотняется плунжером пресса, а затем усилием около 60 МН проталкивается через мундштук, тем самым заготовке придаётся соответствующие геометрическая форма и размеры. Полученные заготовки являются полуфабрикатом, требующим дальнейшей высокотемпературной обработки в специализированных печах [1–3]. Будущие свойства конечного продукта закладываются еще на этапе формования, поэтому общенаучной проблемой является совершенствование процессов и оборудования для формования углеродных изделий. Нерешенной частью научной проблемы есть экспериментальное изучение теплового состояния промышленного прессового инструмента во время технологического процесса экструзии.

Целью данной статьи является представление результатов экспериментальных исследований параметров и характеристик, а также теплового состояния промышленного прессового инструмента во время кампании формования крупногабаритных углеродных заготовок.

Изложение основного материала

Прессовый инструмент, схематично представлен на рис. 1. Основными его конструктивными элементами являются массной цилиндр, плунжер и мундштук, в котором происходит процесс формования.

Массной цилиндр представляет собой теплоизолированную цилиндрическую камеру с электрическим нагревателем, расположенным по всей его поверхности. Он является неподвижной частью прессового инструмента, поэтому имеет вспомогательные системы, которые позволяют заполнять его углеродной массой [4].

Конструкция мундштука предусматривает возможность его замены и реализует две зоны деформирования: заходную и калибрующую. В заходной зоне происходит значительное деформирования массы и переход от круглого профиля к прямоугольному, который соответствует геометрии заготовки, а в калибрующей – формируется конечный профиль изделия. Для создания необходимого уровня температуры поверхности мундштука и массы используются два основных нагревателя: в заходной и калибрующей

частях, а также четыре вспомогательных, которые расположены в углах прямоугольного выходного отверстия.

Гидравлическая система пресса развивает усилие до 62 МН, которое передается плунжером к массе. Подпрессовка проводится при 20 ±2 МПа, а рекомендуемый диапазон самого прессования составляет 2–6 МПа.

Режим прессования и температурный режим процесса контролируется современной электронно-измерительной аппаратурой, а регулирование осуществляется автоматически и оператором.

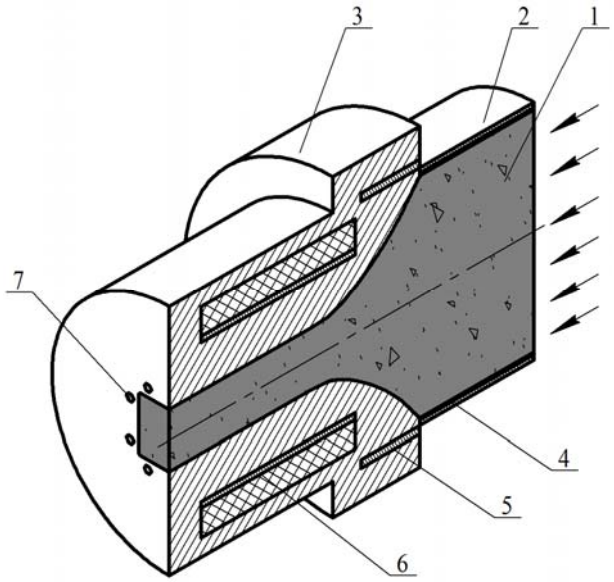


Рис. 1. Схема прессового инструмента для формования углеродной массы методом экструзии: 1 – углеродная масса; 2 – массной цилиндр; 3 – мундштук; 4 – нагреватель массного цилиндра, 5 – нагреватель заходной части мундштука; 6 – нагреватель калибрующей части мундштука; 7 – дополнительные нагреватели

Формования углеродных изделий методом экструзии состоит из следующих основных операций:

- заполнения массного цилиндра массой;
- разогрев массы до определенной температуры;
- подпрессовка;
- прессование и маркировка изделий;
- отрезка заготовки определенной длины;
- охлаждение;
- производственный контроль качества изделия.

Подпрессовка – это операция уплотнения массы при закрытом выходном отверстии мундштука запорной плитой. Во время подпрессовки достигается высокая степень уплотнения массы, что влияет на характер ее движения через мундштук, это дает возможность получать заготовки с высокой плотностью и однородностью.

Во время прессования, масса выдавливается через мундштук под действием плунжера. Ее движение характеризуется слоистой структурой: в массном цилиндре – слои движутся параллельно друг другу, а в мундштуке – центральные несколько опережают периферийные. Такое расслоение возникает в следствии того, что материал в центре проходит меньший путь, чем периферийный, а также из-за взаимодействия стенок мундштука с массой. Кроме того, во время движения твердый наполнитель, который имеет неправильную форму гранул, переориентируется таким образом, чтобы максимальный размер частиц был обращён по направлению прессования материала. Указанные особенности приводят к образованию характерной для прессования через мундштук структуру заготовки, что отличается выраженной анизотропией свойств в перпендикулярном к оси изделия направлению [3, 5, 6].

Для получения безбраковых высококачественных углеродных изделий решающим фактором является выдержка технологического регламента, включающая поддержание определенных диапазонов температуры в различных частях прессового инструмента, величины давления и скорости прессования. Регламент прессования определяется экспериментальным путем на основании анализа возникновения бракованных изделий.

Чаще всего брак проявляется как трещины и задиры в теле заготовок. При наличии указанных дефектов в изделии, оно отбраковывается и не идет на дальнейшую термическую обработку, а измельчается и используется как составная наполнителя иной продукции, что приводит к дополнительным затратам энергетических и материальных ресурсов.

Причины, приводящие к образованию дефектов в заготовках, связанны как с составом углеродистой массы, а именно с содержанием связующего и крупностью частиц наполнителя, так и с температурным режимом прессового инструмента. Указанные факторы тесно связаны между собой и влияют друг на друга

[5, 6]. Так, при высоком содержания связующего в массе, для эффективного формирования необходимых несколько более низкие температуры прессового инструмента, из-за повышенной пластичности и вероятности деформации и искажения формы изделия. С другой стороны, перегрев или недогрев поверхности мундштука приводит к градиенту скорости в зонах контакта с массой и образованию трещин, как в продольном, так и поперечном направлениях. Поэтому бездефектное прессование основывается на балансе между реологическими свойствами композитной углеродистой массы и тепловым режимом прессового инструмента, который достигается благодаря опыту технолога и оператора производства.

Для формирования заготовок используют разные по своей рецептуре углеродные массы. Они состоят из связующего (пеки различного происхождения) и наполнителя (углеродный сыпучий материал – антрацит, кокс, термообработанное углеродное сырье и т.д.), которые смешиваются до высокой степени однородности. Рецептура, а именно содержание связующего и гранулометрический состав наполнителя, определяет технологический режим прессования [7].

Исследование физических процессов на промышленном оборудования и в реальных условиях производства требует разработки специальной программы исследований и соответствующего измерительного оборудования. Сложности при проведенные экспериментальных исследований заключаются в необходимости выполнения измерений таким образом, чтобы минимизировать их влияние на процесс и получать максимально полную и разностороннюю картину физических явлений [8].

Для проведения экспериментальных исследований выбрана кампания прессования углеродистой массы, характеристики которой представлены в табл. 1.

Таблица 1

Состав углеродной массы на экспериментальной кампании прессования

Содержание связующего, %	Наполнитель	
	Составная наполнителя	Содержание, %
27,6±2	Графитированное углеродное сырьё, фракция (0–10) мм	70
	Графитированное углеродное сырьё, фракция (0–0,05) мм	30

Для указанной углеродной массы технологический процесс проводится при технологическом регламенте, приведенном в табл. 2.

Таблица 2

Технологический регламент для экспериментальной кампании прессования

Параметр	Значение
Температура в массном цилиндре, ºС	105–120
Температура в заходной части мундштука, ºС	115–150
Температура в калибрующей части мундштука, ºС	115–150
Давление подпрессовки, МПа	20±2
Длительность подпрессовки, мин.	3–5
Давление прессования, МПа	2–6, макс. 9
Скорость прессования, м/мин.	0,7–1,0

Штатное измерительное оборудование на прессовом инструменте включает: ваттметры для всех электрических нагревателей (погрешность измерения ±0,1 %); электронный датчик давления (погрешность измерения ±0,5–1 %); хромель-алюмелевые термопары (погрешность измерения ±1,5 ºС) [9, 10]. Схема размещения штатных термопар в корпусе мундштука показана на рис. 2.

Продолжительность кампании прессования составляет более 10 суток. Она начинается с завершением подготовки необходимого количества массы, параллельно с этим происходит разогрев прессового инструмента. Далее масса загружается в массной цилиндр, подпрессовывается и формуется в заготовки – это один этап прессования. Данный цикл продолжается в зависимости от потребностей и плана производства.

Экспериментальные исследования проведены для четырех этапов в середине кампании прессования, то есть для четырех загрузок массного цилиндра. Результаты исследований можно представить в виде усредненных зависимостей измеряемых величин от безразмерного времени, отражающий полный этап прессования (рис. 3–5, серым цветом показан период прессования заготовок).

Дополнительно к сбору и анализу показателей штатного измерительного оборудования проведена серия натурных исследований теплового состояния оборудования с использованием специализированных измерительных средств. Исследования проведены с применением тепловизора Testo 875 (погрешность ±2 ºС), пирометра Agema ThermoPoint 62 (погрешность ±1 ºС) и контактных термометрических датчиков на основе хромель-алюмелевых термопар (погрешность ±2 ºС).

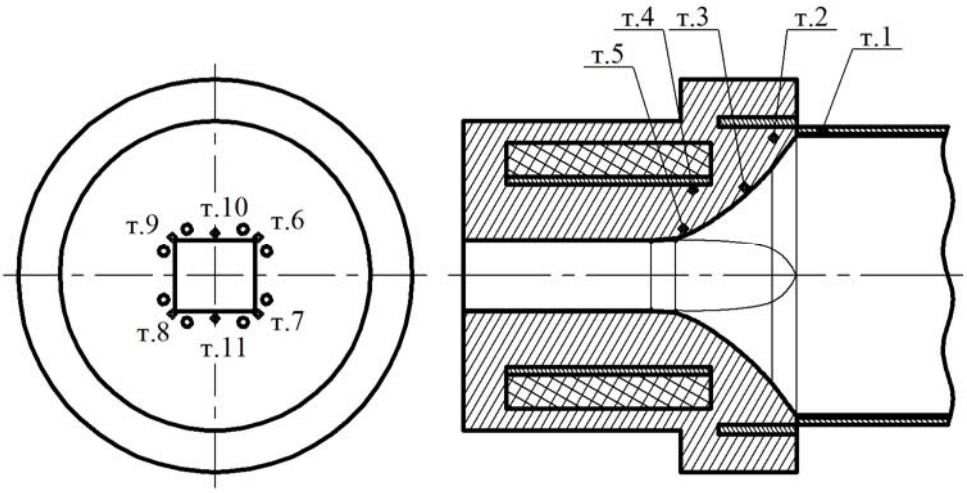


Рис. 2. Схема размещения штатных термометрических датчиков в корпусе мундштука: т.1–т.11 – нумерация штатных термометрических датчиков

Для анализа температуры массы, находящейся в массном цилиндре, исследованы температуры ее поверхности после загрузки и до начала подпрессовки. На рис. 6 представлена термограмма поверхности массы.

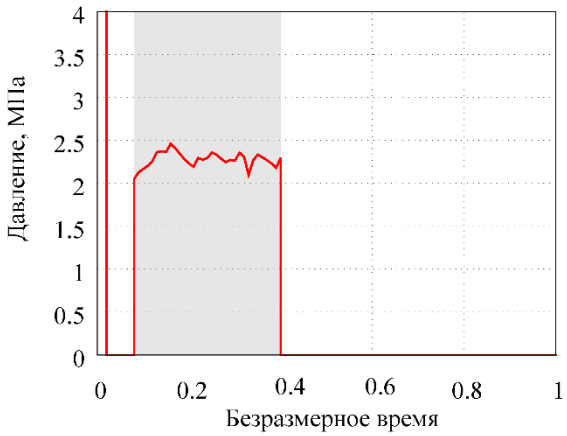


Рис. 3. Регламент этапа прессования в безразмерной форме по времени (давление прессования)

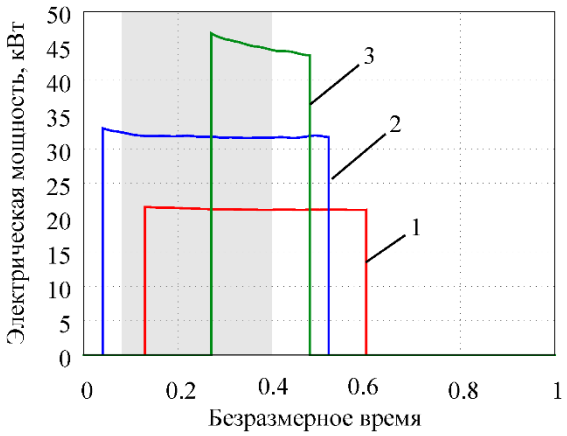


Рис. 4. Регламент этапа прессования в безразмерной форме по времени (электрическая мощность): 1 – мощность нагревателя массного цилиндра; 2 – мощность нагревателя заходной части мундштука; 3 – мощность нагревателя калибрующей части мундштука

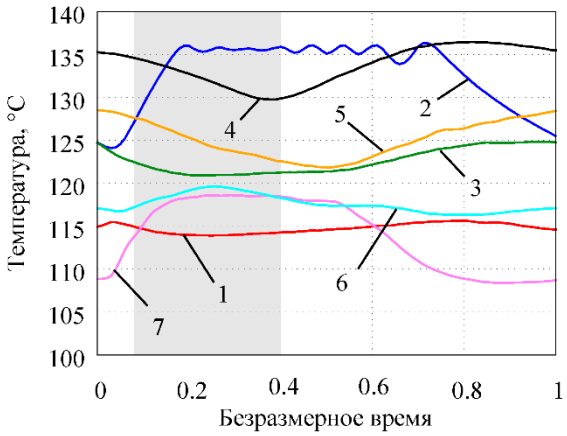


Рис. 5. Регламент этапа прессования в безразмерной форме по времени (температура штатных точек измерения): 1 – т. 1; 2 – т. 2; 3 – т. 3; 4 – т. 4; 5 – т. 5; 6 – т. 6–9; 7 – т. 10, 11

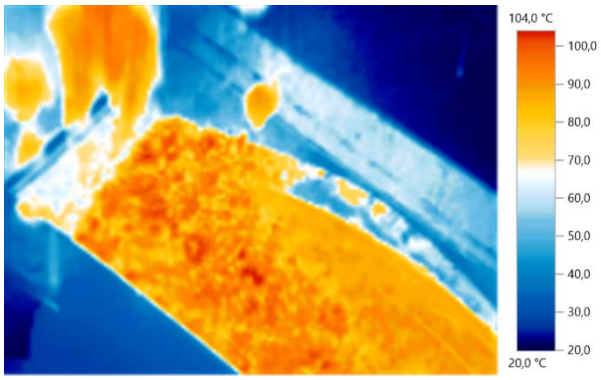


Рис. 6. Термограмма поверхности массы в массном цилиндре

Распределение температуры по поверхности материала в массном цилиндре характеризуется средним значением 91 ºС и максимальным 104 ºС. Указанные величины дают оценочное представление о

температуре в массном цилиндре из-за наличия интенсивного теплообмена с окружающим воздухом.

Измерение температуры внутренней поверхности массного цилиндра проведено через 40 мин после завершения этапа прессования. Температура, измеренная с помощью пирометра, представлена на рис. 7.

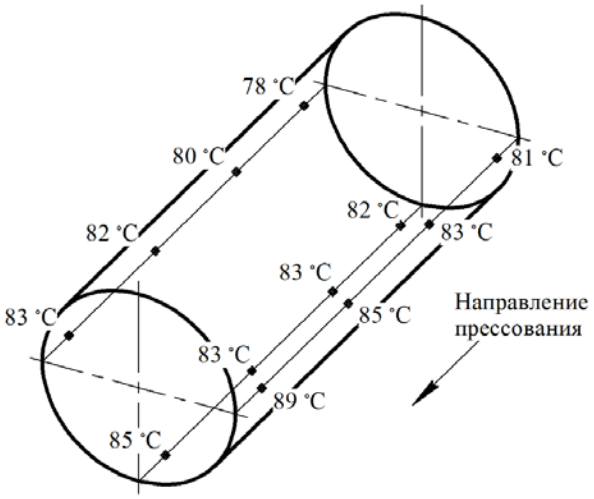


Рис. 7. Температура внутренней поверхности массного цилиндра

Определено, что при данных условиях температура меняется в среднем в диапазоне 80–86 ºС от плунжера к мундштуку, соответственно. Неравномерность температуры в радиальном направлении составляет ± 2 º С.

С использованием тепловизора и пирометра по разработанной схеме измерения (рис. 8), определены температуры боковых поверхностей заготовок во время прессования. На рис. 9 показаны усредненные данные изменения температуры правой, левой и верхней поверхностей заготовок во время экструзии углеродной продукции. На рис. 10 приведена термограмма в момент прессования заготовки.

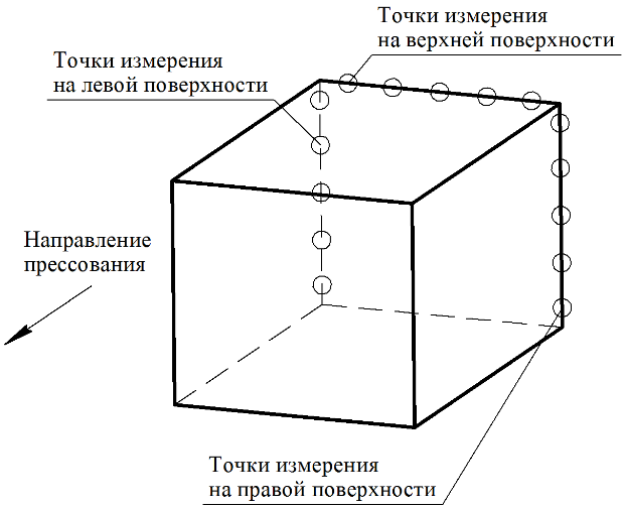


Рис. 8. Схема экспериментального определения температуры боковых поверхностей заготовки

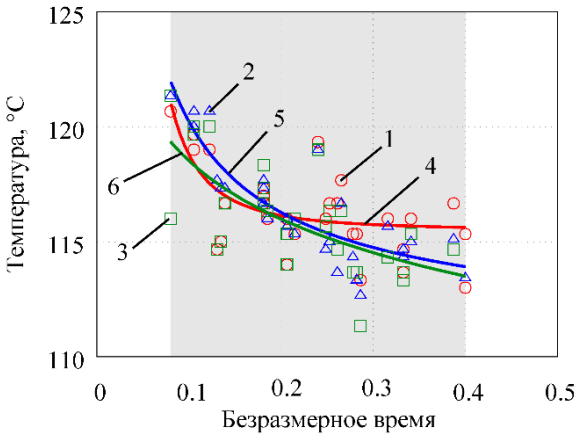


Рис. 9. Изменение осредненной температуры на поверхностях заготовок: экспериментальные значения: 1 – верхняя поверхность; 2 – левая поверхность; 3 – правая поверхность; аппроксимирующая зависимость: 4 – верхняя поверхность; 5 – левая поверхность; 6 – правая поверхность

Из представленных данных видно, что в течение этапа прессования температура боковых поверхностей заготовки снижается в диапазоне от 121 ±2 ºС до 114 ±2 ºС. При этом верх заготовки охлаждается менее интенсивно.

Для отрезания заготовок используют нож с водяным охлаждением, результат его воздействия на термическое состояние массы выражается в локальных зонах более низкой температурой в местах среза (рис. 11). Ввиду этого, для определения распределения температуры по сечению заготовки необходимо проводить измерения в точках, углубленных в массу. Для решения данной задачи разработана схема измерения, которая предусматривает быструю и одновременную установку термометрических датчиков на глубину 50 мм в тело заготовки (рис. 12, а).

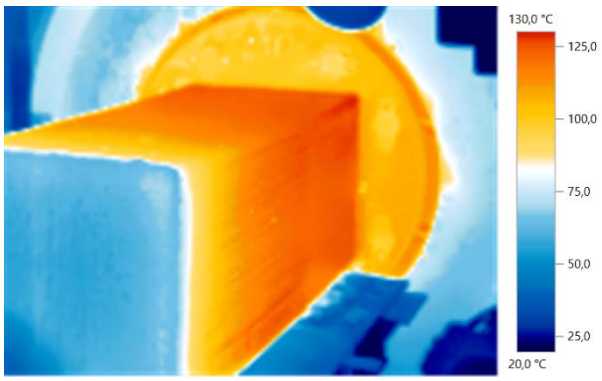


Рис. 10. Температурное поле поверхности заготовки в момент прессования

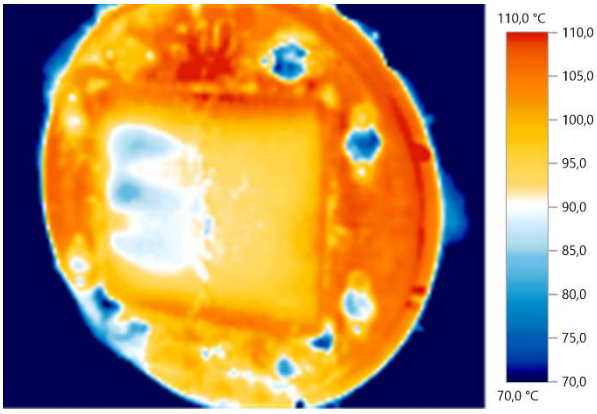


Рис. 11. Температурное поле среза заготовки

Усреднённые температурные поля выходного сечения заготовки в различные моменты прессования показаны на рис. 12, б –г.

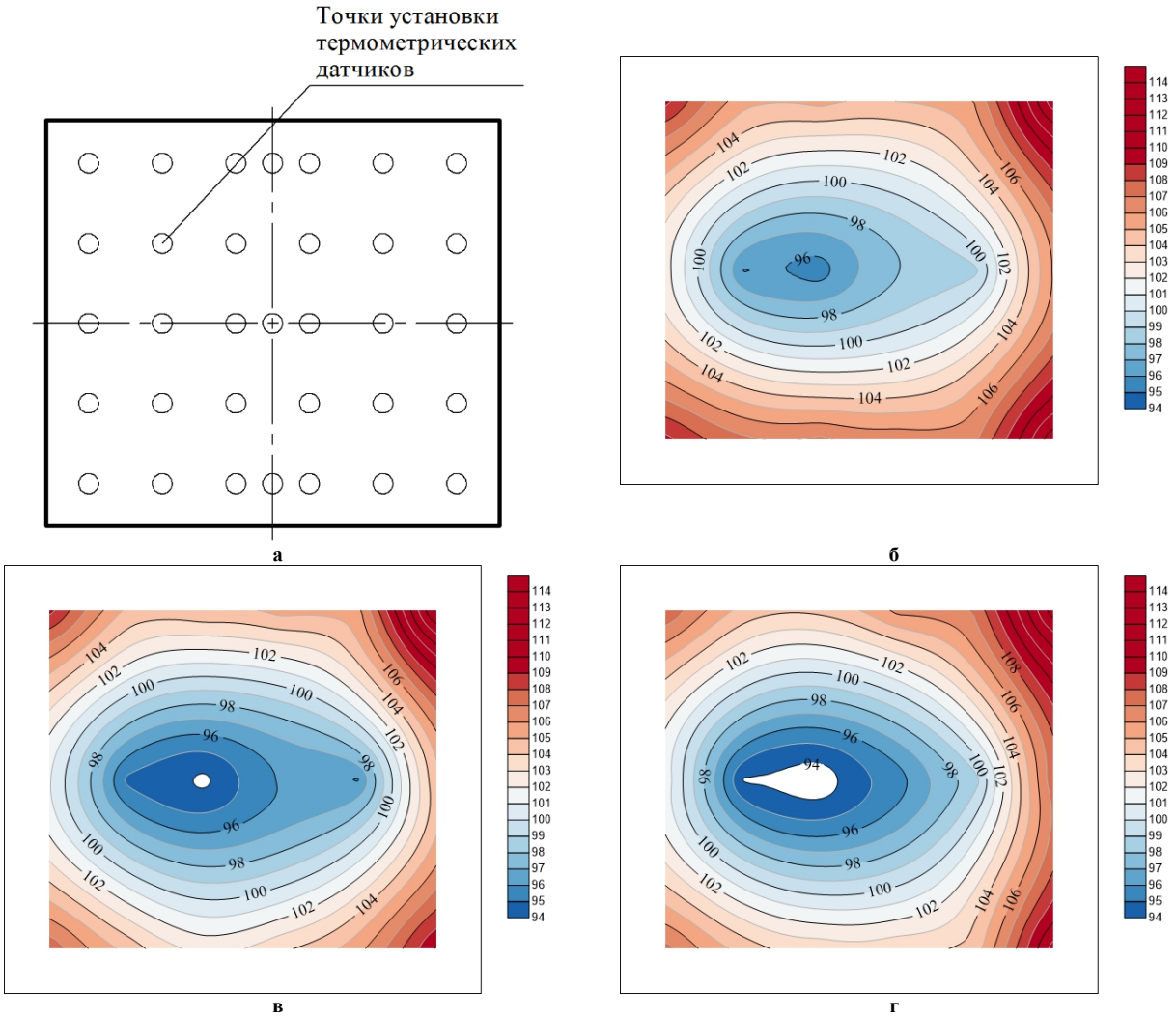


Рис. 12. Распределение температуры по выходному сечению заготовки: а – схема установки термометрических датчиков; температурное поле выходного сечения заготовки в разные моменты времени на этапе прессования: б – 0,1; в – 0,2; г – 0,4

Усредненные значения температуры центра выходного сечения заготовки представлены на рис. 13.

Полученные экспериментальные данные показывают определенную несимметричность температурного поля в выходном сечении заготовки, что может быть связано с разной интенсивностью работы дополнительных нагревателей. Однако, учитывая скоротечность процесса формования и высокое значение теплоемкости углеродистой массы (c_p = 1750 Дж/(кг·К)) можно утверждать, что температура центра заготовки соответствует температуре массы в массном цилиндре. Таким образом, среднее значение данной температуры на этапе прессования составляет 95–99 º С.

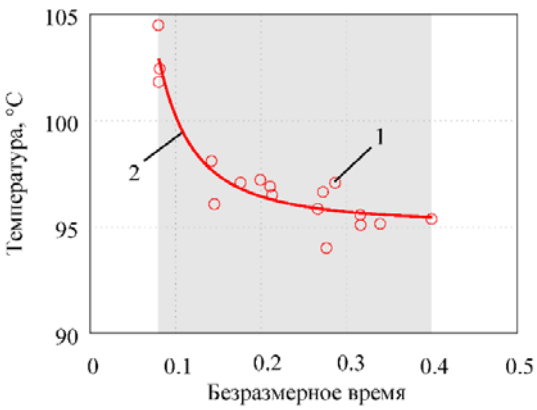


Рис. 13. Изменение во времени осредненной температуры центра заготовки:
1 – экспериментальные значения; 2 – аппроксимирующая зависимость

Выводы

В результате проведенных экспериментальных исследований температурного состояния прессового инструмента и углеродной массы установлено, что процесс формования в промышленном прессе имеет выраженный циклический характер, который можно представить в виде зависимостей усредненных измеренных величин от безразмерного времени, отражающий полный этап прессования изделий.

Проведенные исследования распределения температуры поверхностей и внутреннего выходного сечения прессуемой массы позволяют сделать вывод, что на протяжении этапа прессования температура различных частей мундштука изменяется на уровне 5–10 ºС. Соответственно, за счет теплообмена и несоответствия работы нагревателей, имеет место охлаждение углеродной массы при её формовании. Определено, что поверхности изделий охлаждаются на 9 ºС (от 122 ºС до 113 ºС), а тело заготовки на 7 ºС (от 103 ºС до 96 ºС). Кроме того, установлено наличие несимметричности температурного поля изделий, что связано с работой нагревателей прессового инструмента, которая проявляется в массном цилиндре и в выходном сечении заготовки.

Данные явления указывают на нерациональность выбора режима прессования и повышенную вероятность получения бракованных изделий, обусловливают необходимость проведения дальнейших исследований.

Литература

1. Sang-Min Lee Bulk graphite: materials and manufacturing process / Sang-Min Lee, Dong-Su Kang and Jea-Seung Roh // Carbon Letters. – 2015. – Vol. 16, № 3. – P. 135–146. URL: http://dx.doi.org/10.5714/CL.2015.16.3.135

2. Jäger H. Carbon, 4. Industrial Carbons. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry / H. Jäger, W. Frohs, M. Banek, et. all. – Wiley, 2010. – 40 p. URL: 10.1002/14356007.n05_n03

3. Фиалков А. С. Процессы и аппараты производства порошковых углеграфитовых материалов / А. С. Фиалков. – М. : Аспект Пресс, 2008. – 687 с. – ISBN 978-5-7567-0490-7.

4. Лазарев Т. В. Математическая модель процесса экструзии вязко-пластичной углеродной массы / Т. В. Лазарев, А. Я. Карвацкий, С. В. Лелека, А. Ю. Педченко // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков : НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 31–37.

5. Dickinson J. M. Observations concerning the determination of porosities in graphites / J.M. Dickinson, J.W. Shore // Carbon. – 1968. – Vol. 6, Iss. 6. – P. 937–941. URL: http://dx.doi.org/10.1016/0008-6223(68)90077-8.

6. Bhatia G. Physical characteristics of extruded carbon mixes / G. Bhatia // Journal of Materials Science. – 1976. – № 11(7). – P. 1375–1377. URL: http://doi.org/10.1007/BF00545165

7. Уразлина О. Ю. Исследование физических свойств термоантрацита при высокотемпературной прокалке антрацита / О. Ю. Уразлина, М. М. Гасик, М. И. Гасик // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2004. – № 4. – С. 17–20.

8. Карвацький А. Я. Теоретичні та експериментальні дослідження теплоелектричного та механічного стану високотемпературних агрегатів / А. Я. Карвацький, Є. М. Панов, С. В. Кутузов та ін. — К. : НТУУ «КПІ», 2012. — 352 с.

9. Essential Readings in Light Metals: Electrode Technology for Aluminum Production, Volume 4 / ed. by A. Tomsett, J. Johnson. – John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2013. – 1210 p. URL: 10.1002/9781118647745

10. Панов Е. Н. Комплекс сбора данных для высокотемпературных промышленных агрегатов / Е. Н. Панов, С. В. Лелека, М. В. Коржик // ПиКАД. – 2005. – № 2. – С. 28–30.

Рецензія/Peer review : 7.5.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Стаття прорецензована редакційною колегією

УДК: 620.92:338.45

Л.В. НАКАШИДЗЕ, Т.В. ГІЛЬОРМЕ
Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Проведення маркетингового комунікаційного обґрунтування використання інноваційних технологій, що є метою даної роботи, дозволить виявити шляхи широкомасштабного впровадження. Результатом етапу синтезу механізму є побудова структурно-логічної моделі механізму маркетингового просування енергозберігаючих технологій та технологій використання енергії альтернативних джерел.

Ключові слова: альтернативні джерела енергії, системи інтегрованих маркетингових комунікацій, методика аналізу ієрархій.

L. V NAKASHYDZE, T. V GIL'ORME
Dnepropetrovsk National University named after Oles Gonchar

RESEARCH OF MODEL IMPLEMENTATION OF TECHNOLOGIES USING ALTERNATIVE ENERGY SOURCES

Introduction of innovative technologies using alternative energy sources is possible at presence of a clear marketing mechanism. One of the promising directions of energy use alternative energy sources is the development and implementation of energy active fences. The main purpose of implementation of the developed technical solution is providing energy directly to the object. Compared with common building envelope (passive), energy active fences allow obtaining, transforming, accumulating and redistributing regulated energy. Holding of marketing communicational study innovative technologies will identify ways of large-scale implementation. This is the purpose of this paper.

The most effective marketing promotion is a complex influence – integrated marketing communications. Choosing effective means to promote technologies of using alternative energy sources does not solve the problem of synergistic effect campaign promoting energy-efficient technologies to the market. It is necessary to create an institutional mechanism to ensure information and communication promotion of these technologies, that is management organizational structure of promotion and management decisions in a system of this structure. The main criteria for the success of projects of energy saving technologies are allocated by means of expert assessment for each company individually, depending on the stage of its life cycle. The result of phase of synthesis mechanism is structural-logical model of the mechanism of marketing promotion of energy-saving technologies and technologies for the use of alternative energy sources. With the formation of the integrated marketing communications promotion consumer behaviour must be taken into account.

Conducting research allowed: to build the scheme of levels of choosing the optimal information and communication means to promote energy saving technologies based on the analytic hierarchy; to formalize a system of integrated marketing communications of promotion of energy efficiency measures; to determine the principle model of integrated marketing communications; to offer economic expediency evaluation on principles and Cronbach's and Gleser's methods that allows to determine the revenue growth through the introduction of the system. The criteria for successful energy efficiency projects, in our view, are: reducing energy consumption enterprises, increase energy efficiency, increase company's energy security.

Keywords: alternative energy systems, integrated marketing communications, methods of analysis of hierarchies.

Вступ

Необхідність врахування економного підходу до використання енергоносіїв у різних галузях (промисловість, житлово-комунальний комплекс, сільське господарство та ін.) сприяє розробці більш енергоефективних технологій. Такими технологіями, у першу чергу, є ті, що використовують енергію альтернативних джерел. Їх впровадження є багатогранною проблемою. Це не тільки вирішення технічних та технологічних аспектів, наприклад перетворювання енергії сонячного випромінювання, енергії вітрового потенціалу, використання теплової енергії вентиляційних викидів в теплову та електричну енергію, яка надається споживачам. Це одночасне вирішення проблем сталого енергетичного розвитку, енергетичних проблем об'єктів соціальної інфраструктури, екологічних аспектів енергетики, економічних питань (зокрема питання маркетингового просування) та ін.

Енергетичні питання в Україні проводиться за напрямом, який представлений в документі «Енергетична стратегія України на період до 2030 р.». Відповідно до цього документа використання енергії альтернативних джерел є важливим для покращення енергетичної безпеки та скорочення негативного впливу енергетики на стан навколишнього середовища. Цей напрям є значним на національному рівні, але також має міжнародний вимір: допомогти у покращенні енергетичної безпеки в Європі та боротися зі зміною клімату [1].

Для підвищення ефективності впровадження існуючих технічних рішень, в першу чергу технологій перетворювання енергії альтернативних джерел, на даний час виникла необхідність розробки чітких економічних механізмів їх реалізації. Але успішність впровадження, функціонування розроблених технічних засобів базується на наявному енергетичному потенціалі.

Відповідно до даних, опублікованих у документі [2], станом на лютий 2015 р. річний технічно досяжний енергетичний потенціал відновлюваних джерел енергії України становив 68,6 млн т нафтового еквіваленту. В одиницях умовного палива це дорівнює 98 млн т. Цього буде достатньо, щоб замінити приблизно половину загального енергоспоживання України сьогодні.

Таким чином, при впровадженні інноваційних технологій використання енергії альтернативних джерел актуальними є дослідження з визначення особливостей маркетингових аспектів. Їх впровадження призведе до модернізації та підвищення ефективності роботи існуючих потужностей електроенергетики та

теплоенергетики, підвищення енергоефективності використання природних ресурсів, скороченню оперативних витрат, підвищенню продуктивність функціонування систем енергозабезпечення, підвищенню надійності енергетичних систем, підвищенню безпеки.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. На даний час в літературних джерелах наявна інформація стосовно розробки та впровадження технологій використання енергії альтернативних джерел, що стосується багатьох аспектів цієї проблеми. Так, в [3] розглядаються питання, що стосуються правових та нормативно-технічних питань. Для виконання вимог нормативно-технічної бази пропонується такий комплекс заходів:

- модернізація всіх промислових об'єктів в частині енерготехнологічної реструктуризації виробничого процесу на основі боротьби з витратами енергії;
- комбінування технологічних процесів та інтеграція різних виробництв;
- створення комплексного керування системами, які використовують енергію;
- створення системи безперервного контролю за виконанням всіх норм, правил, характеристик обладнання та ін.

У роботі [4] виділено три типи стимулювання впровадження технологій енергогенерування, заснованих на використанні енергії альтернативних джерел, тобто енергозберігаючих заходів: адміністративний (закони, стандарти, норми, методики); економічний; інформаційний.

Важливим аспектом даного дослідження є рекомендація з інтенсифікації передпроектних робіт. Результатом такого підходу є підвищення ефективності проведення енергозберігаючих заходів. Наприклад, систематичні вимірювання теплотехнічних показників будівель можуть бути одним зі шляхів економії енергоресурсів.

Тільки комплексний підхід дозволить визначити основні напрями підвищення енергетичної ефективності. Відповідно до [5] такими напрямами є:

- реконструкція існуючих котелень, переведення мазутних та вугільних котелень на інший вид палива;
- пошук оптимальних галузей використання двигунів внутрішнього згоряння;
- впровадження конденсаційних котлів для опалення малоповерхових споруд;
- створення газогенераторних установок різної потужності
- створення та впровадження перспективних теплових насосів різного типу та потужностей;
- вдосконалення обладнання для використання геотермальної енергії;
- пошук оптимальних конструкції та систем використання сонячної енергії (опалення та гаряче водозабезпечення з традиційними системами теплозабезпечення, пасивні системи опалення, та ін.);
- впровадження систем електроспоживання при використанні сонячної енергії;
- підвищення ефективності використання енергії біомаси;
- вирішення питань доцільності використання вторинних енергоресурсів.

Цей перелік не є повним, він тільки демонструє наявність великої кількості нових та вдосконалених енерготехнологій. Їх впровадження сприяє підвищенню надійності теплозабезпечення, підвищення економічності та стабільності екологічного стану довкілля.

У статті [6] розглядаються перспективи впровадження фотоелектричних панелей, які використовують сонячну енергію, для забезпечення електричною енергією будинків у Бангладеші.

У роботі [7] запропоновано напрямки в проектуванні систем енергопостачання з альтернативними джерелами, що дозволить підвищити ефективність їх функціонування. Основним із запропонованих напрямків є створення біогазових установок.

У [8] підкреслюється, що для зниження потреби на енергозабезпечення споруд розроблений ряд підходів і сучасних технічних рішень. Наприклад:

- зниження тепловтрат майже на 80 % за рахунок застосування примусової вентиляції з рекуперацією тепла при подачі припливного повітря через ґрунтовий теплообмінник і забезпечення герметичності будівлі;
- застосування енергозберігаючих вікон та зовнішніх дверей, що дозволяє знизити втрату тепла до 20–25%;
- використання «пасивної» зовнішньої теплоізоляції призводить до скорочення тепловтрати майже на 40%;
- теплоізоляція дахів збільшеним шаром теплоізоляції дозволила скоротити втрати тепла на 35%;
- збільшення товщини шару теплоізоляції підлоги на ґрунті дозволило зменшити тепловтрати майже на 35%;
- застосування конструктивних рішень, у яких відсутні містки холоду, дозволили зменшити втрати тепла більш ніж на 50%.

У роботі [9] представлено економічне обґрунтування раціональності використання енергії альтернативних джерел у умовах забрудненості та зменшення кількості викопного пального. Розглядається комплексний підхід до впровадження технологій використання енергії сонячного випромінювання, вітрового потенціалу, біомаси та ін.

У [10] проведено аналіз деяких архітектурних особливостей споруд, які мають важливе значення для застосування і використання сонячних енергетичних систем. У ньому розглядаються всі аспекти

можливого застосування і використання цих систем в такого роду об'єктів. Можливості застосування і використання сонячної енергії систем розглядаються на основі запропонованої реконструйованої формі дошкільних установ в місті Ніш, Сербія. У даній роботі надано класифікацію інтегрованих сонячних систем і будівельно-інтегрованих фотоелектричних (BIPV) технологій.

Технологія для зниження витрат на утримання будинку представлена в роботі [11]. Експеримент базувався у приміщенні Baruch College Нью-Йорка. Ефективність методу перевірена за допомогою динамічного моделювання з використанням чисельної моделі тематичного дослідження, калібрований за допомогою реальних даних моніторингу, зібраних на будівлі. Результати показують, що для обраного тематичного дослідження, метод забезпечує оптимальну роботу будівлі енергії, які дозволяють знизити вимоги первинної енергії для вентиляції і кондиціонування, освітлення, кімнатної електроенергії, а також допоміжного джерела живлення приблизно на 21 %.

Одним з перспективних напрямків використання енергії альтернативних джерел є розробка і впровадження енергоактивних огороджень. Ідея використання енергоактивних огороджень [12] є результатом пошуку авторами статті шляхів найбільш економічних способів енергозбереження, енергозабезпечення та рекуперації енергетичних потоків об'єктів цивільного та промислового призначення. Основна мета впровадження розробленого технічного рішення є забезпечення виробництва енергії безпосередньо на об'єкті. Енергоактивні огородження призначені для забезпечення теплового захисту споруди [13, 14], крім того, сприяють заміщенню певної частини традиційних енергоносіїв, сприймаючи і перетворюючи енергію альтернативних джерел (сонячного випромінювання, тепла навколишнього середовища, теплових потоків вентиляційних скидів і т.п.). У порівнянні з поширеними огороджувальними конструкціями (пасивними), енергоактивні огородження дозволяють регульовано отримувати, перетворювати, перерозподіляти і акумулювати енергію. Їх використання забезпечує позитивний енергетичний баланс між надходженням енергії від сонячного випромінювання і навколишнього середовища і її втратами.

У [13, 14] показано, що енергоактивні огородження мають вигляд панелей, стін або покриттів та суміщають функції як пасивних, так і активних елементів споруди.

Окрім запобігання зміни мікроклімату споруди від негативного впливу довкілля, енергоактивні огородження можуть також одночасно виконувати функції прямого регульованого перетворення енергії довкілля та сонячного випромінювання в теплову, електричну енергію, транспортування, акумулювання, підводу/відводу та випромінювання теплової енергії. Ці функції реалізуються введенням у конструкцію огородження енергосприймальних прошарків та елементів, каналів транспортування теплоносія, зон акумулювання енергії.

Розроблено кілька варіантів [13, 14] конструктивного виконання енергоактивних огороджень:

- енергоактивні огородження з поворотними теплопоглинальних елементами;
- енергоактивні огородження, що запобігають перегріванню споруди;
- енергоактивні огородження з ізольованими секціями;
- енергоактивні огородження «бетонний колектор».

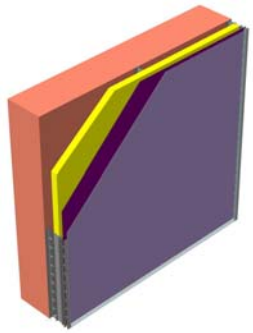


Рис. 1. Варіант виконання стінового енергоактивного огородження з додатковим повітряним прошарком

На рис. 1 представлено загальний вигляд стінового енергоактивного огородження з додатковим повітряним прошарком.

На рис. 2 представлено геліопрофіль, який використовується, як енергоактивний елемент даху або стіни. Геліопрофіль поєднує в собі будівельний матеріал та теплогенерувальний виріб, який перетворює енергію сонячного випромінювання і тепло повітря (у т. ч. вентиляційного) в теплову енергію теплоносіїв рідинного та повітряного контурів системи кліматизації будівлі.

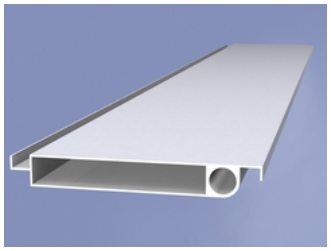


Рис. 2. Геліопрофіль, як варіант конструктивного виконання енергоактивного огородження

Концепція побудови енергоактивних огороджень обумовлює те, що підхід до побудови енергоактивних огороджень повинен бути системним [15], що дозволяє комплексно врахувати:

- вплив структури енергоактивних огороджень та особливостей їх розміщення на архітектурну форму споруд;
- теплоенергетичний вплив зовнішнього клімату на форму, розмір та тепловий баланс об’єктів;
- вплив теплового навантаження на систему кліматизації приміщень.

Такий підхід є універсальним для всіх видів споруд з енергоактивними огородженнями. Конструктивні, ландшафтно-містобудівні та об'ємно-планувальні рішення повинні забезпечувати надходження найбільшої кількості енергії до енергосприймальних елементів споруди та раціональний її перерозподіл – орієнтацію енергосприймальних елементів з урахуванням сонячних і переважаючих вітрових потоків, використання екранувальних властивостей природних і штучних об'єктів для перерозподілу та концентрації потоків енергії. Це сприяє вибору таких технічних рішень систем енергозабезпечення з

енергоактивними огородженнями, що відповідають задачам мінімізації витрат енергії на забезпечення мікроклімату, електро- та теплопостачання.

Енергосприймальна панель енергоактивного огородження [12] повинна бути виготовленою із матеріалів, механічні, теплові та хімічні властивості яких задовольняють вимогам експлуатації.

В енергетичному балансі споруд основна кількість енергії доводиться на теплову. Тому при заміні традиційних енергоносіїв енергією альтернативних джерел безпосереднє перетворення її в теплоту має істотно більший енергетичний ефект в порівнянні з перетворенням в електричну енергію і реалізується за допомогою досить нескладних і недорогих технічних пристроїв. Тому при розробці варіантів конструктивного виконання енергоактивних огороджень використаний підхід, який полягає в тому, що найбільший сенс має отримання тепла, невисокий потенціал якого цілком достатній для гарячого водопостачання та низькотемпературного опалення.

Модернізація житлового фонду України з використанням систем енергозабезпечення на базі альтернативних джерел, в тому числі з енергоактивними огородженнями дозволить зменшити в загальному енергетичному балансі України споживання викопного палива більш ніж на 10 %. Використання запропонованих маркетингових комунікацій для широкомасштабного впровадження інноваційних технологій енергозабезпечення сприятиме:

- формуванню принципово нового підходу до вирішення проблеми модернізації та реновації енергетичного комплексу держави;
- системному широкомасштабному впровадженню енергозберігаючих технологій;
- зниженню споживання органічного палива і зменшення викидів «парникових» газів;
- підвищенню ефективності використання традиційних енергоносіїв, а також диверсифікації енергобалансу країни за рахунок використання альтернативних джерел енергії;
- поліпшенню стану навколишнього середовища, умов і безпеки проживання населення України.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є проведення маркетингового обґрунтування впровадження інноваційних технологій для зменшення використання енергоносіїв, зокрема використання енергії альтернативних джерел (енергія сонячного випромінювання, рекуперoване тепло вентиляційних викидів, тепло навколишнього середовища та ін.).

Для досягнення поставленої мети були поставлені такі завдання:

- побудувати схему рівнів вибору оптимального інформаційно-комунікаційного засобу просування енергозберігаючих технологій на засадах методу аналізу ієрархій;
- формалізувати систему інтегрованих маркетингових комунікацій просування енергозберігаючих заходів (СІМК);
- визначити принципову модель системи інтегрованих маркетингових комунікацій просування енергозберігаючих заходів;
- оцінити економічну доцільність СІМК на засадах методики Кронбаха та Глезера (Cronbach & Gleser).

Інтегровані маркетингові комунікації, як ефективний засіб маркетингового просування технологій використання енергії альтернативних джерел. Найбільш ефективним маркетинговим просуванням є комплексний вплив – інтегровані маркетингові комунікації. Рівень відповідності комунікаційних засобів та бажань споживачів повинен виступати критерієм вибору ефективності засобів [16]. Але проаналізувати всі аспекти впливу засобів маркетингового просування на споживачів проектів енергозберігаючих технологій є проблематично, насамперед через великий масив вхідних даних та недостатність інформації, яка дозволить створити інформаційно-комунікаційний простір. У таких випадках система оцінки ефективності запровадження заходів енергозбереження, його інформаційно-комунікаційна складова. Пропонуємо розділити систему оцінки ефективності комунікаційних засобів, виділити самостійні ієрархічні підсистеми на засадах методу аналізу ієрархій [17]. При цьому потрібно побудувати 4 рівня критеріїв вибору оптимального комунікаційного засобу просування:

- перший – тип споживача (*A*);
- другий – економічні показники можливостей споживача (*B*);
- третій – доступні для сприйняття засоби просування (*C*);
- четвертий – інструменти, що забезпечують безпосередній вплив на споживача (*D*).

На сприйняття засобів просування (запровадження) заходів з енергозбереження, тобто використання технологій перетворювання енергії альтернативних джерел, споживачем впливають різноманітні чинники, які нерівнозначні, що створюють множину альтернативних рішень.

Множина інформаційно-комунікаційних засобів (альтернативні рішення) просування енергозберігаючих технологій підприємства S_{IK} складається з елементів чотирьох підмножин на засадах методу аналізу ієрархій Т. Сааті:

$$S_{IK} = A \cup B \cup C \cup D, \quad (1)$$

де *A* – множина типів споживачів;

B – множина економічних показників можливостей споживача;

C – множина доступних для сприйняття засобів просування;

D – множина інструментів, що забезпечують безпосередній вплив на споживача.

На підставі аналізу множинні факторів, що впливають на відношення споживачі к засобам просування технологій використання енергії альтернативних джерел та енергозберігаючих заходів, необхідно знати максимальний попит на такий інформаційно-комунікаційний засіб, що дозволить забезпечити максимальну ступень досягнення його комунікації.

Використання розробленої методики аналізу ієрархій при впровадженні технологій використання енергії альтернативних джерел. Методика аналізу ієрархій дозволяє будувати розгалужені ієрархічні структури. Запропонована авторами структура представлена на рис. 3.

Перший рівень визначається типом споживача відповідно до його активності споживати інформацію у маркетингових комунікаціях. Пропонується класифікувати його на активного (самостійно замається пошуком інформації та здійснює зворотний зв'язок комунікаційного впливу на процес споживання та просування) та пасивного – інформація щодо просування впливає у випадковій формі. При цьому з позиції розвитку підвищення інтерактивності комунікації, необхідно приділити більше зусиль для пасивного споживача.

Другий рівень визначається критерієм – економічні показники можливості споживача. Для того, щоб визначати ці ключові критерії можливостей, пропонується використати методику, яка включає розрахунок внутрішніх та зовнішніх загроз на прийняття рішення – стратегічний аналіз (маркетингові методи PEST-аналіз та SNW-аналіз).

PEST-аналіз – простий і зручний метод для аналізу макросередовища (зовнішнього середовища) підприємства [17]. Методика PEST-аналізу часто використовується для оцінки ключових ринкових тенденцій галузі, а результати PEST-аналізу можна використовувати для визначення списку загроз і можливостей при складанні SWOT-аналізу компанії. PEST-аналіз є інструментом довгострокового стратегічного планування і складається на 3–5 років вперед, з щорічним оновленням даних. Може бути виконаний у вигляді матриці з 4 квадрантів або в табличній формі. При цьому особливу роль у формуванні економічних показників можливостей споживача щодо заходів з енергозбереження відводиться «Економічним факторам». Обґрунтовано, що при аналізі даної групи факторів необхідно проводити визначення ключових параметрів, що характеризують стан можливості споживачів до споживання: зміна курсів валют; зміна рівня безробіття; зміна рівня інфляції; зміна наявного доходу на душу населення. У якості альтернатив можуть виступати сегменти по рівню доходу та освіти, що у подальшому буде визначати якість сприйняття засобів просування енергозберігаючих технологій.

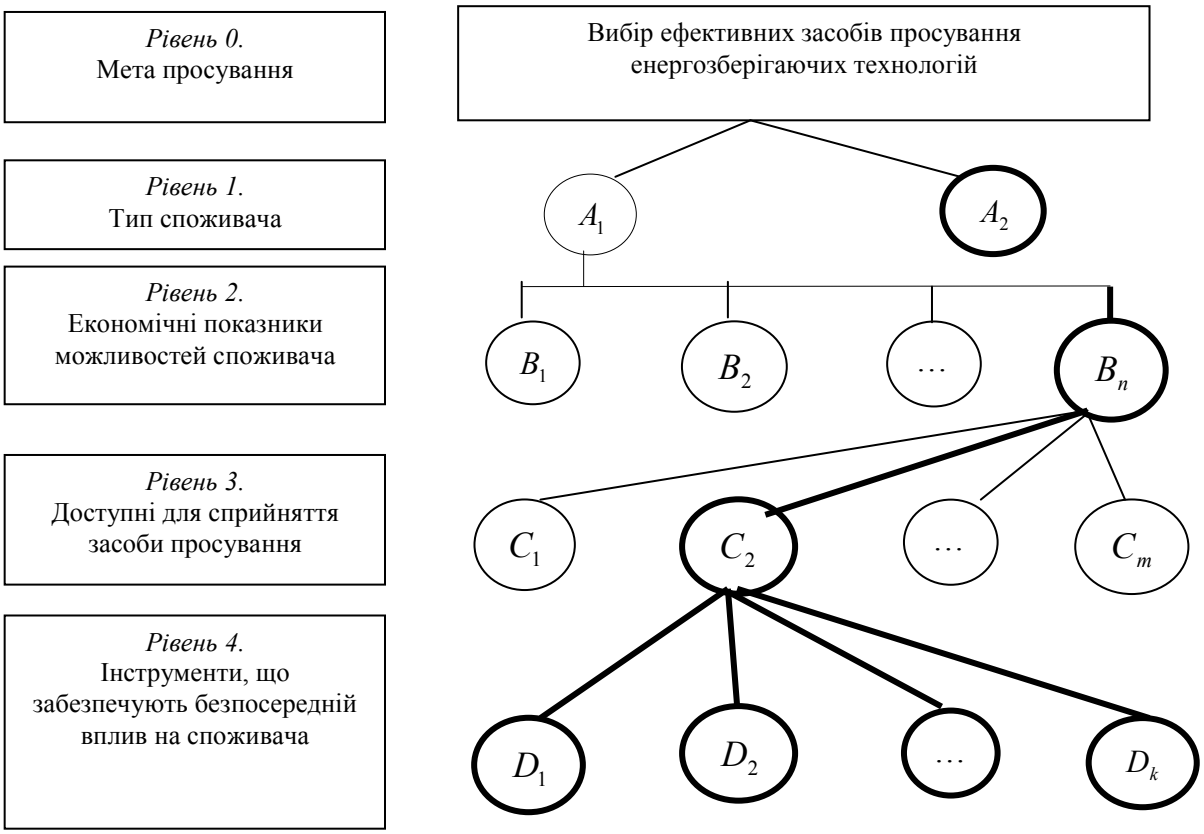


Рис. 3. Схема рівнів вибору оптимального інформаційно-комунікаційного засобу просування енергозберігаючих технологій на засадах методу аналізу ієрархій

Завдання нової стратегії розвитку – використання активу для нейтралізації і усунення пасиву. Ступінь вагомості параметрів внутрішнього середовища діяльності туристичної фірми було оцінено експертами за 10-бальною шкалою.

Третій рівень визначає критерій доступності для сприйняття засобів просування – знань про

енергозберігаючі технології та ступенем довіри до них.

Четвертий рівень – це критерії інструментів, які забезпечують безпосередній вплив на споживача (альтернативні засоби просування).

Обґрунтування вибору на кожному рівні повинно визначатися за допомогою експертної матриці Т. Сааті, наприклад критерії «Економічні можливості споживача» визначається за правилом попарного порівняння:

$$\begin{cases} B_1 = 2B_2, B_1 = 5B_3 \\ 2B_2 = 5B_3 \vee B_2 = 5/2B_3 \rightarrow \\ B_3 = 2/5B_2 \end{cases} \tag{2}$$

$$\frac{B_2}{B_3} = \frac{5}{2}, \frac{B_3}{B_2} = \frac{2}{5}.$$

,

де B_i – i-е значення порівняльного фактора.

Інші критерії рівнів 1-2, 4 визначаються за допомогою такого порівняння. Після розрахунків за формулою 2, будується матриця попарних порівнянь у табличному вигляді. Потім, для подальшого складання скалярного ланцюга, визначається той фактор, який отримує максимальну кількість балів у «Матриці попарних порівнянь».

Але вибір ефективного засобу просування технологій використання енергії альтернативних джерел, тобто енергоефективних технологій, не вирішує задачу синергетичного ефекту компанії просування енергозберігаючих технологій на ринок. Для цього необхідно створити організаційний механізм інформаційно-комунікаційного забезпечення просування цих технологій, тобто організаційну структуру управління процесом просування та управлінських рішень у системі цієї структури.

При цьому існують зовнішні загрози вибору оптимального інформаційно-комунікаційного засобу просування енергозберігаючих технологій D, як потенційні (D^p), і реальні (D^r) (за результати PEST-аналіз). Після запровадження інтегрованих маркетингових комунікацій просування енергозберігаючих заходів (їх формування здійснюється після вибору оптимального інформаційно-комунікаційного засобу просування енергозберігаючих технологій – S_{IK}^{opt}) виникають множини управлінських рішень (U): необхідних (U^n) та рекомендованих (U^{rec}), щодо забезпечення достатнього рівня інформаційно-комунікаційного підтримки заходів з енергозбереження.

Тоді систему інтегрованих маркетингових комунікацій просування енергозберігаючих заходів (СІМК) у формальному вигляді можна описати таким чином:

$$CIMK = \{T, S_{IK\,t}, S^{opt}{}_{IK_t}, D_t^{\,p}, D_t^{\,r}, U_t^{\,n}, U_t^{\,rec}\}, \tag{3}$$

де T – множина моментів часу t;

S_{IK_t} – множина інформаційно-комунікаційних засобів (альтернативні рішення) просування енергозберігаючих технологій підприємства в момент часу t;

$S_{IK_t}^{opt}$ – множина оптимального інформаційно-комунікаційного засобу просування енергозберігаючих технологій в момент часу t;

$D_t^{\,p}$, $D_t^{\,r}$ – множини відповідних реальних і потенційних загроз вибору оптимального інформаційно-комунікаційного засобу просування енергозберігаючих технологій t;

$U_t^{\,n}$, $U_t^{\,rec}$ – множини відповідно необхідних та рекомендованих управлінських рішень щодо забезпечення достатнього рівня інформаційно-комунікаційного підтримки заходів з енергозбереження в момент часу t.

Враховуючи інформацію, яка надходить на входи системи інтегрованих маркетингових комунікацій щодо просуванню енергозберігаючих заходів (СІМК), а також реакцію цієї системи на отриману інформацію, функціонування даної системи пропонується описати таким чином (рис. 4).

При запровадженні системи інтегрованих маркетингових комунікацій щодо просуванню енергозберігаючих заходів необхідно розрахувати економічну доцільність. Пропонується при оцінюванні економічної доцільності розглянутих підходів, визначити показник валідності (характеристика, яка відображає здатність отримувати результати, що відповідають поставленій меті, та обґрунтовує адекватність рішень, які приймаються). За основу для розрахунку раціональності використання системи інтегрованих маркетингових комунікацій просування енергозберігаючих заходів пропонується використати методику Кронбаха та Глезера (Cronbach & Gleser) [18], при цьому відкоригована (із урахуванням особливості даного механізму) аналітична формула має вигляд:

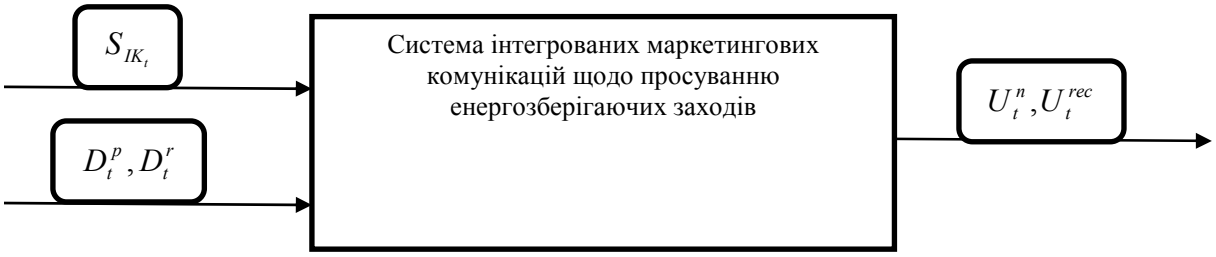


Рис. 4. Принципова модель системи інтегрованих маркетингових комунікацій просування енергозберігаючих заходів

$$\Delta P = IP_e \times T \times SD_y \times R_{xy} Z_x - C \times IP_в , \quad (4)$$

де ΔP – зростання прибутку за рахунок впровадження системи (тис. грн.);

IPe – кількість проектів інноваційних енергозберігаючих технологій, які були запровадженні за допомогою даної системи (од.);

T – тривалість діючих проектів (р.);

SD_y – стандартне відхилення критерію успішності, що визначає існуючі відмінності між успішними та неуспішними проектами у прибутку, які вони приносять підприємству (тис. грн.);

R_{xy} – коефіцієнт критеріальної валідності системи;

Z_x – середнє стандартизоване значення головного критерію успішності проектів; C – витрати на провадження системи (тис. грн.);

IP_b – кількість проектів, які були оцінені (од.).

Визначено, що, критеріями успішності проектів інноваційних енергозберігаючих технологій є: зменшення енерговитрат підприємства $C_e \rightarrow \min$ збільшення енергоефективності $E_n \rightarrow \max$ збільшення енергобезпеки підприємства $S_e \rightarrow \max$.

Головний критерій успішності проектів енергозберігаючих технологій обирається за допомогою експертної оцінки для кожного підприємства окремо, залежно від стадії життєвого циклу суб'єкта господарювання.

Використання структурно-логістичної моделі механізму маркетингового просування технологій використання енергії альтернативних джерел. При формуванні системи інтегрованих маркетингових комунікацій просування (СІМК) енергозберігаючих заходів необхідно враховувати поведінку споживачів. При цьому, авторами визначено, що для формалізації невідомих, особливо стійких параметрів споживачів, таких як стереотипи, можливо застосувати теорії штучних нейронних мереж.

Структура вхідних нейронів – рецепторів формується у вигляді багатовимірного вектору, що складається з декількох, включно до п'яти, диспозиційних якостей та властивостей особистості споживачів, які визначаються під час психологічної фази.

При цьому рівень розвитку сучасних програмних продуктів надає широкі можливості щодо застосування на практиці завдання кластеризації за допомогою самоорганізаційних карт Кохонена. Одним з найбільш відомих є Automated Neural Networks (SANN), що реалізований у програмному середовищі STATISTICA. Цей інструмент надає можливість автоматичного нейромережевого пошуку, що, у свою чергу, дає можливість користувачу вирішувати завдання, уникаючи технології «спроб та помилок». Завдяки цьому, використання SANN є можливим для фахівців без глибоких теоретичних знань у сфері штучного інтелекту.

Висновки. Проведенні дослідження дозволили:

- побудувати схему рівнів вибору оптимального інформаційно-комунікаційного засобу просування енергозберігаючих технологій на засадах методу аналізу ієрархій, що включає 4 рівня критеріїв (тип споживача; економічні показники можливостей споживача; доступні для сприйняття засоби просування; інструменти, що забезпечують безпосередній вплив на споживача) та дозволяє здійснити вибір оптимального комунікаційного засобу просування альтернативних джерел енергії;
- формалізувати систему інтегрованих маркетингових комунікацій просування енергозберігаючих заходів (СІМК) є множиною: інформаційно-комунікаційних засобів просування енергозберігаючих технологій підприємства, відповідних реальних і потенційних загроз вибору; необхідних та рекомендованих управлінських рішень щодо забезпечення достатнього рівня інформаційно-комунікаційного підтримки заходів з енергозбереження;
- визначити принципу модель системи інтегрованих маркетингових комунікацій просування енергозберігаючих заходів дозволило сформувати систему, яка аналізує її реакцію на отриману інформацію щодо просування енергозберігаючих заходів (СІМК);
- запропонувати оцінку економічної доцільності СІМК на засадах методики Кронбаха та Глезера (Cronbach & Gleser) дозволяє визначити зростання прибутку за рахунок впровадження системи, при цьому критеріями успішності проектів з енергозбереження є: зменшення енерговитрат підприємства, збільшення енергоефективності, збільшення енергобезпеки підприємства.

Література

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. : розпорядження Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 1071-р. (1071-2013-р)

2. REMAP – 2030. Перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні до 2030 року : інформаційний матеріал. – 2015. – 57 с.

3. Романюк В.Н. Основы эффективного энергоиспользования на производственных предприятиях дорожной отрясли / В.Н. Романюк, В.Н. Радкевич, Я.Н. Ковалев. – Минск, 2001. – 286 с.

4. Абєлєшов В. І. Дослідження деяких аспектів підвищення ефективності енергозберігаючих заходів у житлових будинках / В. І. Абєлєшов // Энергосбережение, енергетика, энергоаудит. – 2011. – № 3 (85). – С. 23–29.

5. Гриценко В.И. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях / В.И. Гриценко, Ю.Т. Усманский. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2007. – 120 с.

6. Muhammad Riazul Hamid. Photovoltaic Based Solar Home Systems – Current State of Dissemination in Rural Areas of Bangladesh and Future Prospect // International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. – Vol. 2, Issue 2, February 2013. – P. 745–749.

7. Дудніков С.М. До питань побудови систем енергопостачання споживачів апк з використанням альтернативних джерел / С. М. Дудніков, М. М. Шовкалюк // Энергосбережение, енергетика, энергоаудит. – 2012. – № 05 (99). – С. 56–63.

8. Фирлонг Ш. Как дома стали энергосберегающими? / Ш. Фирлонг [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.muratordom.com.ua/glavnaya-stranitsa/bolee-teplyj-dom-eto-okupaetsya/kak-doma-stali-energosberegayushimi,295_27575.html.

9. Maghear Diana. Romania's energy potential of renewable energies in the context of sustainable development // Annals of the University of Oradea : Economic Science. – 2011. – No 1(2). – pp. 176–180.

10. Nikolić V., Tanić M., Stanković D., Kondić S., Milošević V., Kostić I., Petrov V. I., Pilipetc P. A. Implementation of solar energy systems and power efficiency increase for preschool facilities in city of Niš (Republic of Serbia) // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 4 (19). – С. 21–33.

11. Pisello A. L., Bobker M., Cotana F. A Building Energy Efficiency Optimization Method by Evaluating the Effective Thermal Zones Occupancy // Energies – 2012. – № 5(12). – P. 5257–5278.

12. Патент на корисну модель Україна № 201014333, МПК F24J2/50, E04B1/76. Енергоактивне огородження / В.О. Габринець, Г.І. Зарівняк, С.О. Митрохов, Л.В. Накашидзе. – 25.07.2011, Бюл. № 14.

13. Габринець В.О. Особливості побудови енергоактивних огороджень у складі систем енергозабезпечення на основі ВДЕ / В.О. Габринець, В.Л. Марков, С.О. Митрохов, В.І. Зарівняк, Л.В. Накашидзе // Відновлювана енергетика. – К. : ІВЕ НАН України, 2010. – № 3. – С. 31–34.

14. Габринец В.А. Энергоактивные ограждения в составе систем теплоснабжения, использующих нетрадиционные возобновляемые источники энергии / В.А. Габринец, Л.В. Накашидзе, Г.И. Заривняк, В.Л. Марков, С.А. Митрохов // Перспективні задачі інженерної науки : збірник наукових праць. – Д. : GAUDEAMUS, 2009. – С. 39–44.

15. Габринец В.А. Основные элементы инновационной комплексной системы климатизации, с использованием энергии альтернативных источников / В.А. Габринец, Л.В. Накашидзе // Строительство, материаловедение, машиностроение. Серия: Создание высокотехнологических экокомплексов в Украине на основе концепции сбалансированного (устойчивого) развития : сб. научн. трудов. – Д. : ГВУЗПГАСА, 2013. – Вып. 68. – С. 240–243.

16. Гільорме Т.В. Формування механізму маркетингового просування енергозберігаючих технологій на ринках товарів і послуг України. Маркетингове просування енергозберігаючих технологій використання альтернативних джерел енергії в Україні : монографія / С. О. Смирнов, С. Я. Касян, Л. В. Накашидзе, Т. В. Гільорме. – Дніпропетровськ : «ЛІРА», 2015. – С. 80–111.

17. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Л. Саати ; перевод с англ. В. Г. Вачнадзе. – М. : Радио и связь, 1993. – 316 с.

18. PEST анализ: разбираем подробно [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://powerbranding.ru/biznes-analiz/pest/#fff

Рецензія/Peer review : 20.5.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н, проф. Габрінець В. О.

УДК 621.313

С.М. БОЙКО, О.В. ДОЗОРЕНКО
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
С.Я. ВИШНЕВСЬКИЙ, О.М. НАНАКА
Вінницький національний технічний університет

ОСОБЛИВОСТІ ЗАРЯДУ ТЯГОВИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ В УМОВАХ ПІДЗЕМНИХ ВИРОБОК ЗАЛІЗОРУДНИХ ШАХТ

У статті запропоновано комплекс для дослідження заряду тягових акумуляторних батарей. Багатофункціональний комплекс використовує систему управління для керування видачею потужності в систему електропостачання шахти та на зарядний пристрій тягових акумуляторів. У якості джерела використовується керований асинхронний генератор з вимірювальним блоком параметрів навколишнього середовища. Запропонований комплекс рекомендується до використання в системах електропостачання шахт для підвищення рівня автономності живлення освітлювальної мережі та для заряду тягових акумуляторів.

Ключові слова: системи електропостачання, багатофункціональний комплекс, система управління, асинхронний генератор, освітлювальна мережа шахт, тягові акумулятори

S.M. BOYKO, O.V. DOZORENKO
Kremenchuk National University named after Michael Ostrogradskiy
S.Y. VYSHNEVSKY, O.M. NANAKA
Vinnytsia National Technical University

FEATURES OF CHARGING TRACTION BATTERIES IN CONDITION OF EXCAVATIONS IRON ORE MINES

The complex to explore charging traction batteries was represented in this article. Multifunctional complex uses manage system to control the delivery of electrical power in the mine and to the charger of traction batteries. As a source of power used controlled asynchronous generator with the unit of measurement of environmental parameters. The complex is recommended to use in systems of power supply of mines to improve the autonomy power supply of lighting network and for charging traction batteries.

Keywords: power systems, multifunctional complex, control system, an asynchronous generator, lighting network of mines, traction batteries.

Вступ

За даними досліджень, підвищення ефективності транспортування корисних копалин, є реальною можливістю зниження їх собівартості. Особливо тих, що добуваються підземним способом. Між тим, останнім часом було розроблено декілька експериментальних зразків сучасних типів електровозів, як акумуляторних, так і контактно-акумуляторних. У даній роботі пропонується використання вітроенергетичного комплексу в умовах підземних виробок залізорудних шахт для заряду тягових акумуляторних батарей.

Мета роботи. Дослідження способу заряду тягових акумуляторних батарей за допомогою вітроенергетичного комплексу в умовах підземних виробок залізорудних шахт.

Матеріал і результати досліджень

Зважаючи на те, що швидкість висхідного потоку вентиляції в підземних виробках шахт – 5…15 м/с цілодобово з постійним напрямом, то такої швидкості потоку повітря достатньо для генерації певного обсягу електричної енергії вітроустановкою.

Оскільки потужність, яку виробляє вітрова установка залежить не лише від швидкості вітру, але і від площі, яку описують лопаті вітрового колеса. Цю площу у ВЕУ з вертикальною віссю обертання можна змінювати не лише через діаметр, але і через висоту лопаті. Це дозволяє досягти необхідної розрахункової потужності вітрового колеса при проектуванні [1–5].

Вітроустановка може розташовуватися на ділянці, що знаходиться на розгалуженні двох квершлагів [6–9]. Спряження квершлагів – місце, де два квершлаги поєднуються в один. Дане місце в залізорудних шахтах має свої особливості: швидкість руху вентиляційного потоку 8…15 м/с; достатньо простору.

Швидкість вентиляційних потоків у цьому місці за правилами безпеки вентиляції шахт становить від 5 до 15 м/с.

На рис. 1 зображена структурна схема вітроенергетичного комплексу, на якій зображені наступні елементи: ВК – вітрове колесо; АГ – асинхронний генератор; БК – блок конденсаторів; БЗК – блок збуджуючих конденсаторів; КК – керований комутатор; СУ – система управління; БД – блок датчиків; ШОМ – шахтна освітлювальна мережа; КЗАБ – контролер заряду акумуляторної батареї; АКБ – акумуляторна батарея; ЕГ – електромагнітне гальмо; ВБНС – вимірювальний блок навколишнього середовища.

Принцип роботи даної системи полягає в тому, що лопаті вітрового колеса приймають кінетичну енергію вентиляційних висхідних потоків шахти. Після цього оберти передаються на генератор, який перетворює отриману механічну енергію в електричну. Електроенергія з генератора прямує до блоку зарядного пристрою, який, в свою чергу, заряджає тягову акумуляторну батарею. Також генерована потужність може передаватися в шахтну освітлювальну мережу. Перевагами використання такої схеми є:

простота будови, розповсюджені електротехнічні пристрої та відносно невелика вартість.

Схема працює наступним чином. Після запуску системи управління (СУ) мікропроцесорний блок розблоковує електромагнітне гальмо (ЕГ). Вітроколесо (ВК) починає обертатися під тиском повітряних мас і установка переходить в автоматичний режим. Під дією обертання вітроколесо приводить у рух асинхронний генератор (АГ), до якого під'єднана батарея збуджуючих конденсаторів (БЗК). Асинхронний генератор генерує змінний електричний струм на шахтну освітлювальну мережу (ШОМ) та зарядний пристрій (ЗП). Зарядний пристрій заряджає тягові акумуляторні батареї (АКБ). Інформація з блоку датчиків (БД), що показує вихідні параметри асинхронного генератора, вимірювального блоку навколишнього середовища (ВБНС) та контролеру заряду акумуляторної батареї (КЗАБ) подається в систему управління. За необхідності система управління подає сигнал до керованих комутаторів КК1, КК2, КК3.

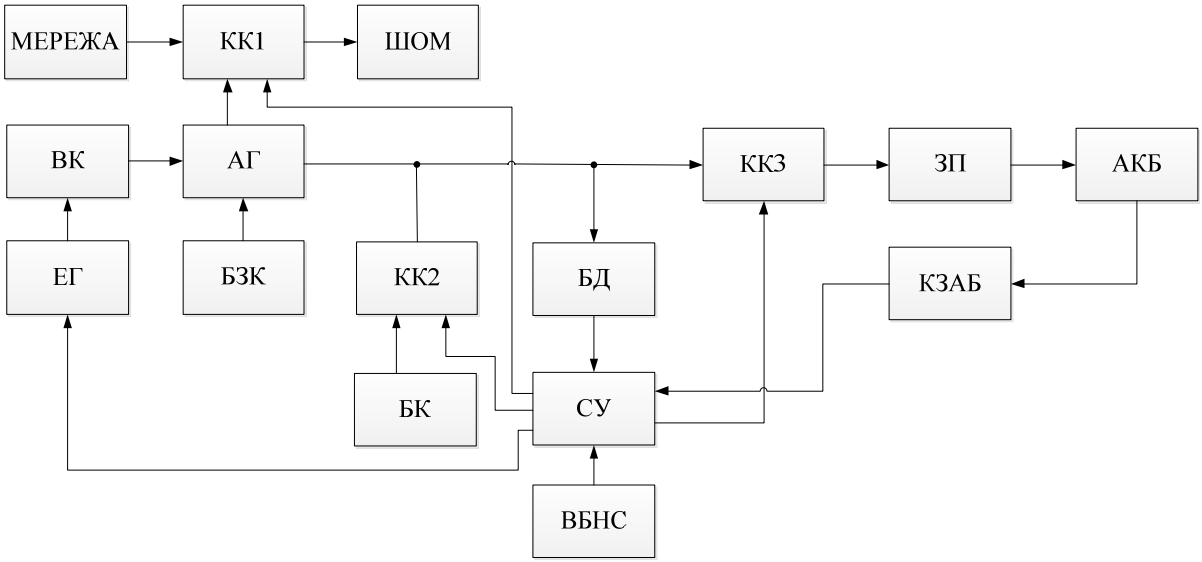


Рис. 1. Структурна схема вітроенергетичного комплексу

Визначаємо середню витрату потужності за повний час заряду за формулою:

$$\overline{P_{\Sigma}} = \frac{\sum_{i=1}^{11} P_i}{t_{п.з.}} = \frac{9398}{11} = 854 Вт.$$

Тоді кількість батарей, які одночасно може заряджати зарядний пристрій:

$$n = \frac{P_{зар.пр.}}{\overline{P_{\Sigma}}} = \frac{4000}{854} = 4,68 \text{ ШТ.}$$

Але зважаючи на те, що в першій годині заряду P1=1333Вт, то

$$n = \frac{4000}{1333} = 3,00075 \approx 3 \text{ ШТ.}$$

Виходячи з розрахунків розроблений алгоритм способу заряду тягових акумуляторних батарей в діючих підземних виробках залізорудних шахт (рис. 2).

Згідно алгоритму, якщо вироблена генератором потужність рівна потужності заряду батарей, то зарядний пристрій заряджає три акумуляторні батареї Якщо ж вироблена потужність більша за потужність заряду батарей, то підключається ще одна акумуляторна батарея. І навпаки, якщо вироблена потужність менша за потужність заряду, то відбувається відключення одної батареї, а залишки електроенергії віддаються в шахтну освітлювальну мережу.

Користуючись таким способом заряду тягових акумуляторних батарей одночасно можна заряджати не одну, а декілька батарей. Перевагою даного способу є те, що електровозу не обов'язково заїжджати до зарядної станції, а є можливість змінювати тягові акумуляторні батареї в процесі технологічного циклу. Також при аварії в мережі вітроенергетичний комплекс може повністю віддавати генеровану потужність для аварійного освітлення шахтної освітлювальної мережі [9, 10].

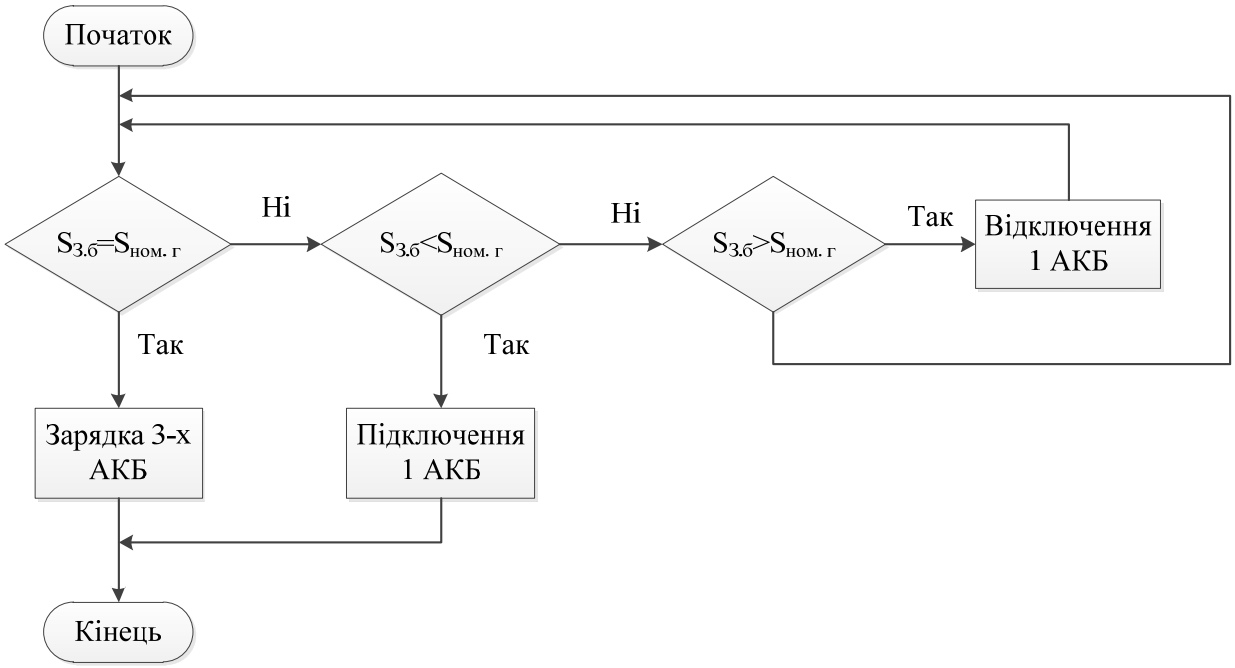


Рис. 2. Алгоритм заряду тягових акумуляторних батарей

Висновки

Аналіз можливостей застосування контактно-акумуляторних електровозів підтверджує актуальність використання вітроенергетичного комплексу для заряду тягових акумуляторних батарей.

Розроблений алгоритм способу заряду тягових акумуляторних батарей, з використанням вітроенергетичного комплексу, дає можливість заряджати одночасно три акумуляторні батареї, контролюючи їх рівень заряду, що, в свою чергу, підвищує енергоефективність системи.

Література

1. Шефтер Я. И. Изобретателю о ветродвигателях и ветроустановках / Шефтер Я. И., Рождественский И. В. – М. : Издательство министерства народного хозяйства, 1957. – С. 14 – 21.

2. Шефтер Я. И. Использование энергии ветра / Шефтер Я. И. – М. : Энергоатомиздат, 1983.

3. Безркуких П.П. Об экономической эффективности нетрадиционной ветроэнергетики / П.П. Безркуких // Энергетическое строительство. – 1992. – № 1. – С. 9–12.

4. Васильев Ю. С. Екология использования возбновляемых энерегоисточников / Васильев Ю. С., Хрисанов Н. И. – Л. : ЛГУ, 1991.

5. Азарян А.А. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів, їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв / Азарян А.А., Вілкул Ю.Г. – Кривий Ріг : Мінерал, 2006. – 219 с.

6. Мокін Б. І. До питання вибору вітрових двигунів і електричних генераторів вітрових електричних станцій / Б.І. Мокін, О.Б. Мокін, О.А. Жуков // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – № 6. – С. 52–62.

7. Ушаков К.З. Аэрология горных предприятий / Ушаков К.З., Бурчаков А.С., Пучков Л.А., Медведев И.И. – М. : Недра, 1987.

8. Сінчук І.О. Відновлювані та альтернативні джерела енергії : навчальний посібник / І.О. Сінчук, С.М. Бойко, О.Є. Мельник. – Кременчук : Вид-во ПП Щербатих О.В., 2015. – 270 с.

9. Сінчук О.М. Електромеханічний комплекс вітроенергетичної установки для використання в підземних виробках залізорудних шахт / О.М. Сінчук, С.М. Бойко // Восточно-европейский журнал передовых технологий – Харків, 2013. – № 1/8 (67). – С. 13–21.

10. Праховник А. В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения / А. В. Праховник. – К. : Освіта України, 2007. — 464 с.

Рецензія/Peer review : 9.5.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф.. Синчук О.М.

УДК 621.313

С.М. БОЙКО, В.С. ДЕМКІВ
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
С.Я. ВИШНЕВСЬКИЙ, О.М. НАНАКА
Вінницький національний технічний університет

ЛАБОРАТОРНО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОНОМНИХ СОНЯЧНИХ МІНІЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

У статті запропоновано лабораторно-дослідницький комплекс для дослідження автономних сонячних мініелектростанцій. На лабораторному стенді є можливість проводити дослідження впливу навколишнього середовища на енергетичні характеристики автономної енергетичної установки. Комплекс реалізований на базі комбінованих аналогових та комп'ютеризованих цифрових вимірювальних систем. Він дозволяє оцінити електротехнічні характеристики різних типів сонячних елементів, їх роботу з різними типами навантажень та здійснювати фіксацію характеристик енергетичної установки. Запропонований лабораторний стенд рекомендується для використання під час підготовки спеціалістів електроенергетичних спеціальностей та для проведення наукових досліджень.

Ключові слова: лабораторно-дослідницький комплекс, комп'ютеризовані системи, енергетичні установки, автономні сонячні мініелектростанції, електротехнічні характеристики.

S.M. BOYKO, V.S. DEMKIV
Kremenchuk National University named after Michael Ostrogradskiy
S.Y. VYSHNEVSKY, O.M. NANAKA
Vinnytsia National Technical University

LABORATORY COMPLEX FOR RESEARCH AUTONOMOUS MINI SOLAR POWER PLANT

In the article was represented the research of laboratory complex for exploration autonomous mini solar power plants. We have the possibility to research the influence of environment with energy characteristics of autonomous power plant. The complex has been realized on the base of combined analogue and digital computerized measuring systems. It was allowed to evaluate the electrical characteristics of different types of solar elements; they can work with different types of loads and get fixation of power plant characteristics. The proposed laboratory bench is recommended for the preparation specialists and for the scientific research in the energy branch.

Keywords: laboratory and research complex, computerized systems, power plants, autonomy mini solar power plants, electrical characteristics.

Вступ

Останнім часом в енергетиці України широко впроваджується сонячна енергетика. Завдяки цьому, з'являється можливість розробляти та застосовувати нові системи з використанням сонячних міні електростанцій. Завдання їх розробки, стає все більш актуальним у зв'язку з розвитком енергетики і, як наслідок, посиленням вимог до надійності енергосистем [1, 2].

В свою чергу, системний підхід до вирішення цього питання є не можливим без глибокого теоретичного та практичного опрацювання технічних рішень, та підготовки кваліфікованих фахівців.

При цьому, розуміння процесів, володіння методами їх реалізації, орієнтування у різноманітті технічних засобів, ставить перед викладачами завдання: розробки відповідного лабораторного обладнання, яке повинне бути інструментом для підвищення ефективності опанування студентами теоретичних положень та набуття практичних навичок в експлуатації таких систем [3].

Метою роботи є аналіз функціональних можливостей запропонованого портативного лабораторно-дослідницького комплексу, для дослідження характеристик автономних джерел електричної енергії на базі сонячних мініелектростанцій.

Матеріал і результати досліджень

За результатами аналізу було виявлено, що існуючі лабораторно-дослідницькі комплекси, для дослідження характеристик автономних джерел електричної енергії на базі сонячних елементів, в першу чергу мають функціональні можливості по дослідженню існуючих типів елементів та енергетичних характеристик автономних енергетичних систем. Дослідження, як правило проводиться в лабораторних умовах, тому вплив навколишнього середовища на енергетичні характеристики автономної енергетичної установки в цілому та на сонячні елементи зокрема, не розглядається, опираючись на досвід попередніх досліджень. Таким чином, задля виконання поставленої мети з дослідження енергетичних характеристик сонячних елементів було запропоновано лабораторно-дослідницький комплекс з дослідження сонячних елементів, структурна схема якого наведена на рис. 1 [2].

Розглянута та обґрунтована можливість впровадження та використання портативного лабораторно-дослідницького комплексу, для дослідження характеристик автономних джерел електричної енергії на базі сонячних мініелектростанцій [4, 5], зовнішній вигляд якого представлений рис. 2.

За допомогою лабораторно-дослідницького комплексу з дослідження сонячних елементів є можливість досліджувати різні типи сонячних елементів; досліджувати зарядні характеристики різних типів акумуляторних батарей; досліджувати режими роботи автономної енергетичної установки на базі сонячних елементів при різних типах навантаження; досліджувати вплив як змінного, так і постійного навантаження

на енергетичні характеристики; досліджувати вплив оточуючого середовища на енергетичні характеристики лабораторно-дослідницького комплексу; реєструвати дані, які фіксуються лабораторно-дослідницькими комплексом. Лабораторно-дослідницький комплекс є блочним, що дає можливість використовувати його портативно, а всі блоки можуть працювати автономно; за допомогою аналогових вимірювальних приладів є можливість контролювати електротехнічні характеристики автономної енергетичної установки, під час її роботи; за допомогою цифрових вимірювальних систем є можливість фіксувати електротехнічні характеристики автономної енергетичної установки, під час її роботи; за допомогою блоку вимірювання елементів є можливість досліджувати вплив температури на енергетичні характеристики сонячних елементів.

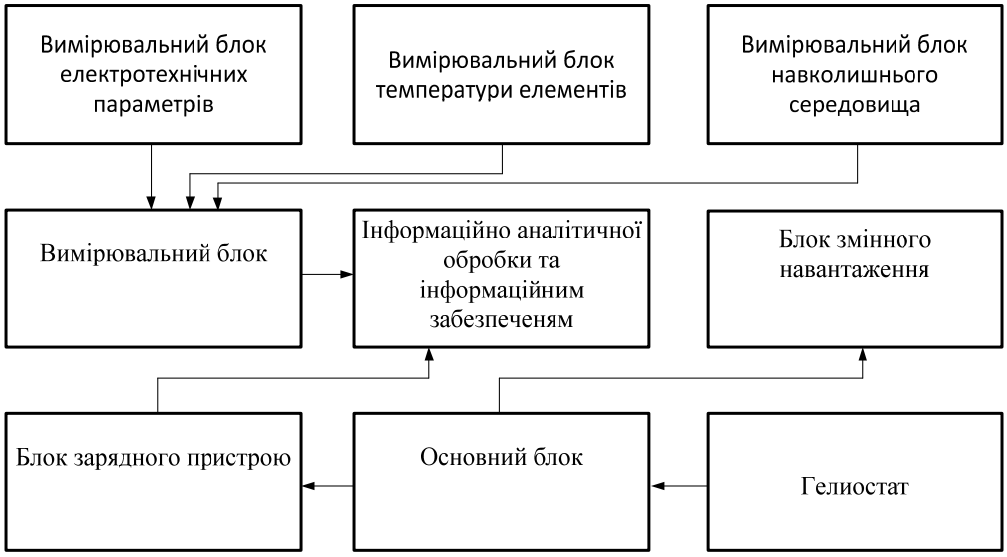


Рис. 1. Структурна схема лабораторно-дослідницького комплексу по дослідженню сонячних елементів

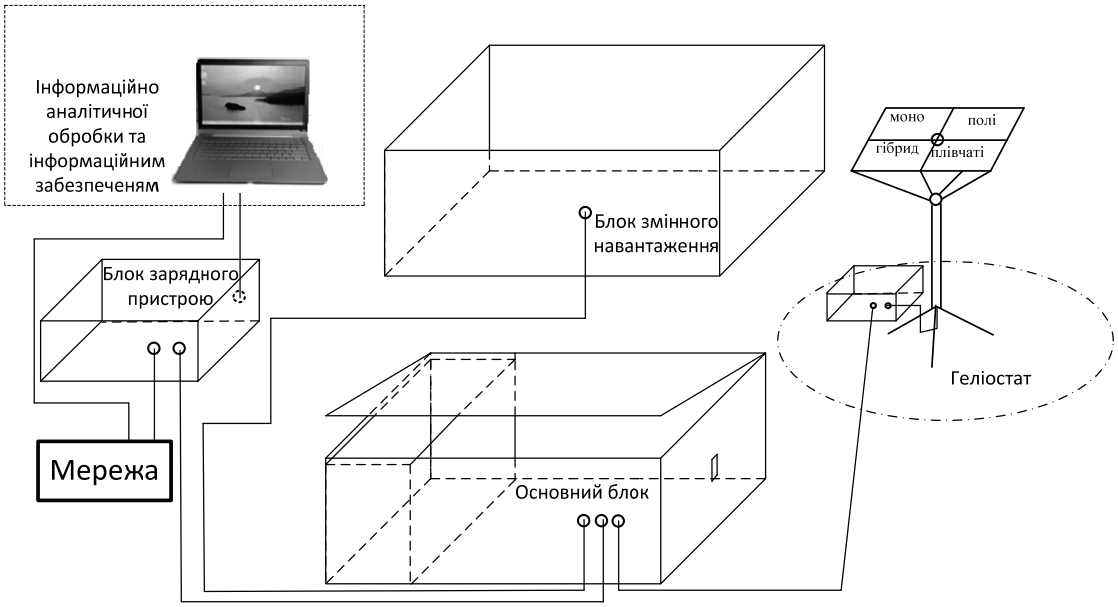


Рис. 2. Зовнішній вигляд портативного лабораторного комплексу

Функціональна схема портативного лабораторного комплексу представлена на рисунку 3. До його складу входять наступні елементи: ВБЕП – вимірювальний блок електричних параметрів; ВБТЕ – вимірювальний блок температури елементів; ВБНС – вимірювальний блок навколишнього середовища; Wifi – internet; ПК – ПК (ноутбук); ПП – погоджуючий пристрій; ЗП – зарядний пристрій; А – аналоговий амперметр для контролю струму в мережі стенду; V – аналоговий вольтметр для контролю напруги в мережі стенду; LV – датчик напруги; М – мережа; КК – керований контактор; LA – датчик струму; блок АКБ – блок акумуляторної батареї (АКБ); QF1, QF3, QF4, QF7, QF2 – автоматичні вимикачі ланцюгів живлення; І – інвертор; К – контролер; блок УСП – блок управління СП (сонячною панеллю); моно СП – монокристалічна СП; полі СП – полікристалічна СП; гібридні СП – гібридні СП; плівчасті СП – плівчасті; SA1, SA2, SA3, SA4, SA6, SA7 – керовані контакти; EL1 EL2 – світлодіоди; L1 – індуктивне навантаження; С – ємнісне навантаження; R2 – радіостанція (RLC).

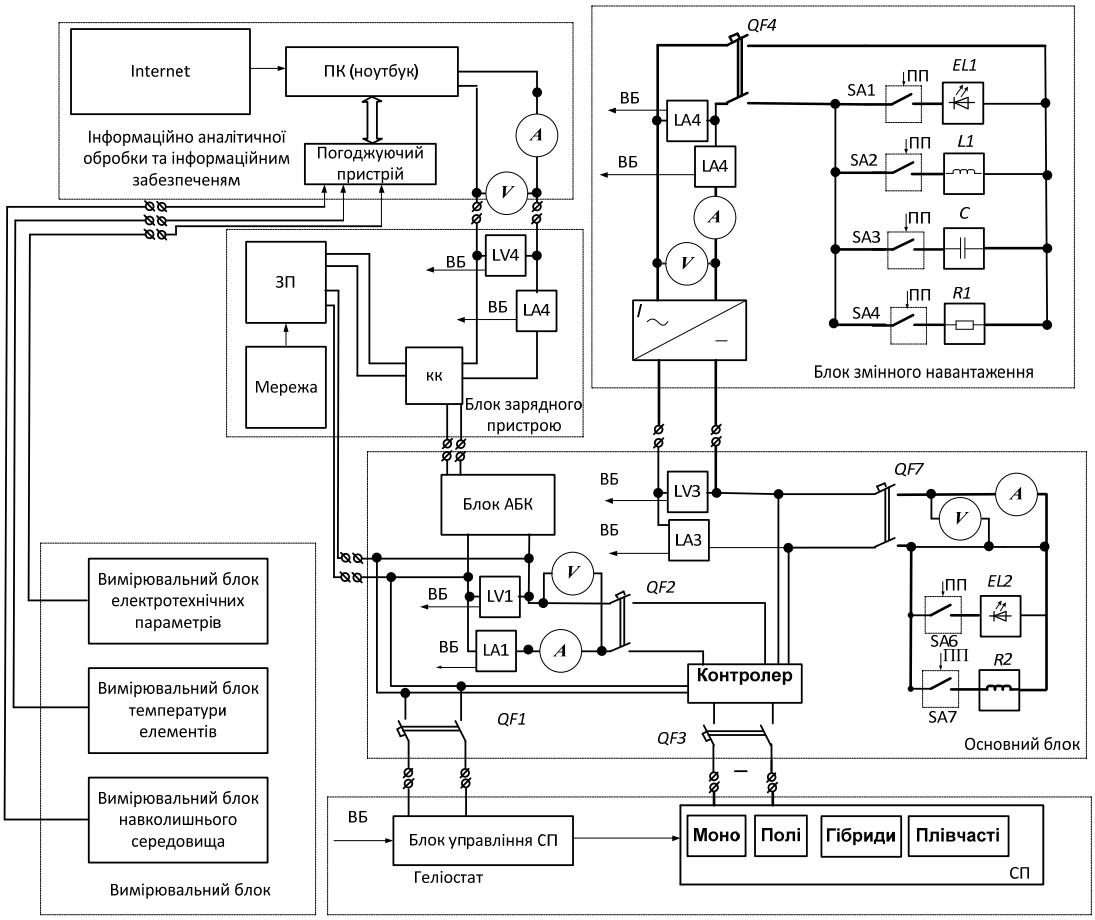


Рис. 3. Функціональна схема портативного лабораторного комплексу

Висновки

За допомогою лабораторно-дослідницького комплексу є можливість дослідження сонячних елементів різних типів, роботу автономної енергетичної системи на різнотипне навантаження, та вплив оточуючого середовища на енергетичну установку на базі сонячних елементів. Лабораторний стенд має можливість для подальшого розвитку у зв'язку з його модульною структурою.

Література

1. Y. Liamets, A. Podchivaline, A. Chevelev, G. Nudelman, J. Zakonjsek, Informational tasks of relay protection, Sydney, Australia, CIGRE SC B5 Colloquium and Meeting. 2003. Report 213.

2. Y. Liamets, D. Kerzhaev, S. Ivanov, A. Podshivalin, J. Zakonjsek, G. Nudelman, Electrical power system conditions hierarchy in methodology of relay protection education, Madrid, Spain, Colloquium SC B5 CIGRE Committee. 2007.

3. Бойко С.М. Лабораторний комплекс для дослідження елементів та пристроїв автономного електрозабезпечення електроприймачів електричної енергії / С.М. Бойко, О.В. Омельченко, С.Я. Вишневський, А.В. Пироженко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 6. – С. 212–216.

4. Бялобржеський О.В. Пристрій для дослідження роботи деяких видів відновлювальних джерел живлення на спільне навантаження / О.В. Бялобржеський, Є.П. Карлик, С.М. Бойко, О.Ю. Давидов // Публікація відомостей. – 10.07.2013. – Бюл. № 13.

5. Сінчук О.М. Лабораторний стенд для дослідження енергетичних характеристик відновлювальних джерел енергії / О.М. Сінчук, Д.А. Михайличенко, С.М. Бойко // Публікація відомостей. – 25.09.2015. – Бюл. № 18.

6. Вісаріонов В.І. Сонячна енергетика / Вісаріонов В.І., Дерюгіна Г.В., Кузнецова В.А., Малінін Н.К. – М. : Изд-во МЭИ, 2008. – 277 с.

7. Фаренбрух А. Солнечные элементы: Теория и эксперимент / Фаренбрух А., Бьюб Р. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 283 с.

8. Бойко С.М. Портативний лабораторно-дослідницький комплекс для дослідження автономних установок на базі сонячних елементів / С.М. Бойко, В.С. Демків // Материали за 11-а международна научна практична конференция «Бъдещето въпроси от света на науката». – София : «Бял ГРАД-БГ»ООД, 2015. – Том 19. Технологии. – С. 44–48.

Рецензія/Peer review : 21.5.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф.. Синчук О.М.

УДК 628.517.4

В.Д. РУДЬ, Н.А. ХРИСТИНЕЦЬ
Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ВІБРАЦІЙНОЇ СЕГРЕГАЦІЇ У ФОРМУВАННІ ГРАДІЄНТНОЇ СТРУКТУРИ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

В роботі розглянуто аналітичну модель формування градієнтного матеріалу в процесі вібросегрегації з урахуванням динамічних та енергетичних характеристик на вібростенді з двома дебалансними збудниками. Розрахунки основних параметрів, коефіцієнтів моделі та оцінювання точності чисельних розрахунків виконані за допомогою технології C++Builder.

Ключові слова: градієнтний матеріал, вібраційне формування, вібростенд, моделювання

V.D. RUD, N.A. KHRISTINETS
Lutsk National Technical University

METHOD VIBRATORY SEGREGATION RESEARCH IN THE FORMATION OF GRADIENT POWDER MATERIALS

The goal is to create an analytical model of gradient material during vibration segregation. The modelling was based on the dynamic characteristics of vibration and energy with two debalance pathogens. For mathematical behaviours mixture used experimental design theory and stochastic methods. Powered symmetrical composition rotatable uniformplan second order. Evaluation formulated a set system parameters, which, in turn, factors experiment. The main factor is selected, characterizing the powder mixture before the formation of vibration; function stand characteristics affecting the process and function of vibration parameters the operating mode of the system. This calculation of basic parameters and coefficients. Studied and experimentally confirmed effect parameters and characteristics of powder mixtures of vibration machines for separation process powder materials. The accuracy of verified numerical calculations using computer technologies C ++ Builder.

Keywords: vibration segregation, powder mixture, vibration machines, mathematical behaviours mixture.

Вступ

Виробництво матеріалів на основі металевих порошків та гранул є одним із важливих напрямків розвитку порошкової металургії. Особливої уваги заслуговують матеріали з неоднорідними фізико-хімічними та технологічними характеристиками по об'єму виробів, тобто, матеріали градієнтної структури. Вони мають широке практичне призначення і застосовуються при виготовленні фільтрувальних, фрикційних, інструментальних, композиційних та інших матеріалів. Досягнення їх неоднорідих, а інколи і унікальних експлуатаційних характеристик відбувається завдяки економічно-вигідним, енерго- та матеріало-ощадним технологічним процесам. Методи вібраційного формування таких градієнтних матеріалів заслуговують детального теоретичного і експериментального дослідження. Важливим практичним завданням формування градієнтного матеріалу є побудова моделі поведінки суміші під дією вібрації. Процес сегрегації порошкових сумішей дозволяє вирішити цю проблему засобами вібраційної техніки та отримати нові підходи до створення високоякісних матеріалів.

Експериментальна частина

З аналізу останніх досліджень у галузі матеріалознавства, на поведінку часток сипкого середовища мають вплив ряд факторів. З точки зору гранулометричного складу і фізико-хімічних характеристик порошків, найпершим важливим аспектом поведінки є маса і густина матеріалу [1]. Тому, саме ці характеристики були використані у аналітичних дослідженнях і плануванні експериментальної частини. Відомо, що при розташуванні тіла з масою M і густиною ρ в сипкому середовищі (m, ρ), під дією вібрації тіло переміщається. Характер руху тіла обумовлюється фізико-механічними, геометричними параметрами твердого тіла і параметрами коливань: частотою, амплітудою, напрямком коливань. Сила тертя не перешкоджає руху тіла вниз під дією сили тяжіння. У працях багатьох вітчизняних та зарубіжних авторів, таких як Б.М. Радовский, О.Ф. Іткін, Д.В. Савелов, І.І. Блехман, згадані приклади руху тіла масою M описані як «занурення металевої гайки», «рух стальної кулі», «ефект бразильського горіха» тощо. Закономірності поведінки часток під дією вібрації досліджені в основному теоретично. Значна частина цих досліджень спрямована на подолання ефекту сегрегації в сипких середовищах [2]. Проте, дослідження і експериментальне підтвердження впливу сегрегації на процес формування багатошарових градієнтних проникливих матеріалів має не менш важливе значення. Такий метод формування заготовок, що мають у своїй структурі градієнт фізико-механічних властивостей є актуальним при створенні високоефективних композиційних матеріалів.

Серед методів аналітичного дослідження вібраційного формування порошкових сумішей виділяють переважно три напрями: комп'ютерне моделювання, математичний апарат (у якому зазвичай використано стохастичні методи моделювання) та теорія планування експерименту.

Теоретичне дослідження поведінки суміші порошків, що знаходиться в циліндричному контейнері-змішувачі, в загальному випадку подано за диференціальними рівняннями Колмогорова [3]. Досліджуючи дискретні стани S_1, S_2, S_3, враховано те, що трансформація системи з одного стану в інший може бути реалізована в будь-який час і може бути представлена, як імовірність pi(t) того, що в проміжок часу t

система S буде знаходитися у стані Si (i=1,2,3). Ці дослідження наближено описують процес поведінки часток під дією вібрації і тому можуть бути використані лише у якості прогнозування їх стану.

В роботі [4] для математичної моделі поведінки суміші використано теорію планування експерименту. Побудовано симетричний композиційний ротатабельний уніформплан другого порядку. Сформульована множина оцінювальних параметрів системи, яка є, в свою чергу, факторами експерименту (табл. 1):

Таблиця 1

Множина оцінюваних параметрів поведінки системи

Фактори експерименту		Оцінювальні параметри системи
X_{11}	y_{11}	насипна щільність, ρ
	y_{12}	співвідношення мас дисперсних сумішей у загальній масі, Сп
	y_{13}	фактор форми часток, F
	y_{14}	гранулометричний склад порошку, h
X_{21}	Y_{21}	амплітуда коливань, A
	Y_{22}	частота коливань, ω
	y_{23}	загальна маса несучого тіла, M
	y_{24}	маса і-го ротора збудника, m_i
	y_{25}	ексцентриситет і-го ротора збудника, ε_i
X_{31}	y_{31}	час роботи машини, t

Фактор X_{11} – функція, що характеризує порошкову суміш до початку вібраційного формування. Вхідні параметри даної функції: насипна щільність порошку; співвідношення мас дисперсних сумішей; фактор форми часток та гранулометричний склад порошку.

Фактор X_{21} – функція характеристик стенду, що впливають на процес. Вхідні параметри даної функції зумовлені особливістю вібраційного стенду і тому, в якості вхідних параметрів вибрані: амплітуда та частота коливань, загальна маса несучого тіла та, відповідно, маса і-го ротора збудника і його ексцентриситет.

Фактор X_{31} – функція часу роботи системи.

Дослідження проводились на вібраційному стенді (рис. 1) з плоским характером руху робочого органа та бігармонічними збудниками:

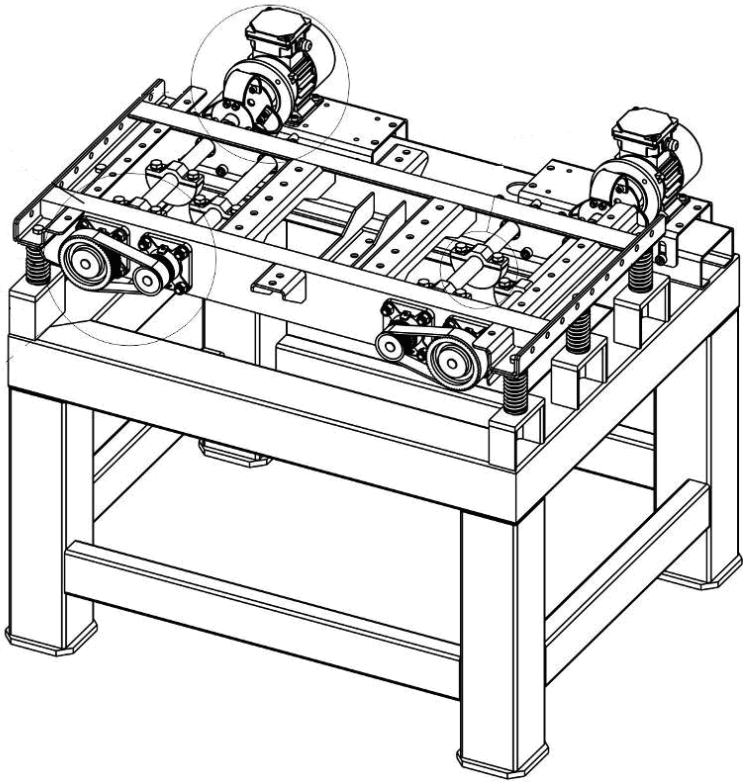


Рис. 1. Експериментальна установка для вібраційного формування порошкових сумішей

Вихідними параметрами для отримання заготовки є порошки титану, заліза, порошків сталі, а також

мінеральних порошків сапоніту фракцій 0,1…+0,063 мм. У якості пробного експерименту було вибрано саме сапоніт з різним гранулометричним складом. Сапоніт являє собою мінерал з підкласу шаруватих силікатів, групи монтморилоніту, хімічний склад – NaMg3[AlSi3O10](OH)2.4H2O, середня густина 3,1 г/см³. Він володіє високими адсорбційними іонообмінними, каталітичними та фільтраційними властивостями. Сапоніт є перспективним природним сорбентом і широко використовується для виготовлення різного роду фільтруючих матеріалів. У роботі розглядали сапонітову глину Ташківського родовища (Аграрне товариство з обмеженою відповідальністю «ВЕЛЕС» 30014, Україна, Хмельницька область, Славутський район, с. Ташки).

В роботі [5] досліджено залежності амплітуди горизонтальних і вертикальних коливань від відстані до роторів збудника. Виявлено, що при зменшенні цієї відстані відбувається пропорційне збільшення амплітуд. Тобто, у якості фактора X_{21} вибрано числову характеристику зміни амплітуди [7-13,8] мм.

Величину X_{31} вибрано з діапазону часової характеристики процесу сегрегації [0-20] сек.

Рівні варіювання кожного з факторів визначені згідно таблиці 2.

Таблиця 2

Параметри розрахункових позицій для моделі планування експерименту

Фактори експерименту
Основний рівень (X_{i0})
Інтервали варіювання (ΔX_i)
Верхній рівень $(x_i = +1)$
Нижній рівень $(x_i = -1)$
Зіркова точка $+\alpha\ (x_i = +1.682)$
Зіркова точка $-\alpha\ (x_i = -1.682)$

Метою проведення експерименту було дослідження величини $F(X_1,X_2,X_3)$ – коефіцієнт неоднорідності суміші. Дана величина є критерієм [6] оцінки нерівномірності розподілення фракцій сипкого матеріалу у монокомпонентних і полікомпонентних сумішах.

$$V_c = \frac{100}{\bar{c}}\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(c_i - \bar{c}\right)^2},$$

де $\bar{c}$ – середнє арифметичне значення концентрації ключового компоненту в пробах (%); c_i – значення концентрації ключового компонента в і-тій пробі; n – число проаналізованих проб.

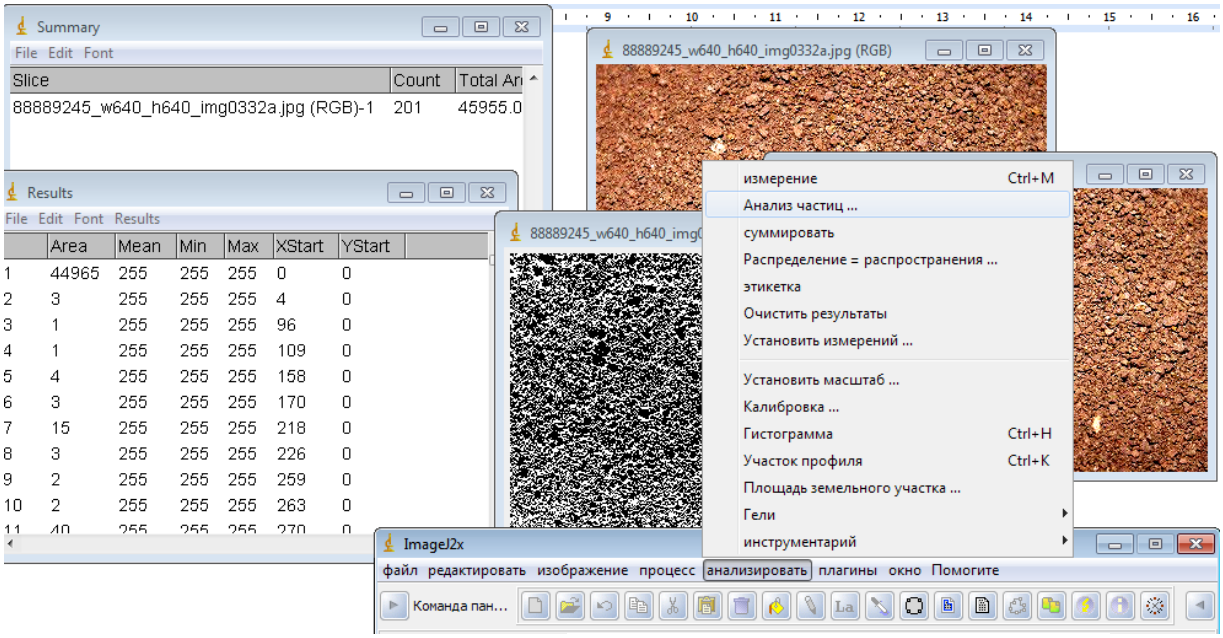


Рис. 2. Використання програмного комплексу ImageJ2x для аналізу часток за растровим зображенням

На несучому тілі експериментальної установки (рис. 1) передбачено кріплення для робочого органа (форми) у вигляді сталевої плити розмірами 400x500 мм, на якій закріплено скляний контейнер розмірами 200x300x20 мм. Форму наповнили сумішшю порошку сапоніту фракціями 0,1 мм та 0,04 мм у процентному співвідношенні 25/75% відповідно. Для визначення коефіцієнту неоднорідності, заповнений об'єм контейнера умовно розбили (промаркували) на три представницькі елементи (елементарні об'єми), у

кожному з яких фіксувалося значення концентрації ключового компоненту c_i. Фіксування проводилось за допомогою цифрової фотокамери Canon PowerShot SX60 HS, закріпленої на штативі на відстані 1 м від центру скляного контейнера. Обробка експериментальних даних велась за допомогою програмного забезпечення ImageJ2x. Стек у кількості 3-5 почасово-зв'язних зображень підлягали аналізу (рис. 2) з подальшим визначенням величини концентрації ключового компоненту (крупної фракції сапоніту) у загальному об'ємі суміші. Використані значення використані для визначення коефіцієнту неоднорідності суміші для подальшого його використання у формуванні моделі поведінки часток.

Для автоматизації процесу побудови та аналізу математичної моделі було використано комп'ютерне моделювання. На базі експериментальних даних було розроблено C++Builder проект. Користувацький інтерфейс програми (головна форма) і кожен елемент має просту і зручну навігацію (рис. 3), кожна вкладка (пункт меню) забезпечує перехід на відповідну підлеглу форму для визначення.

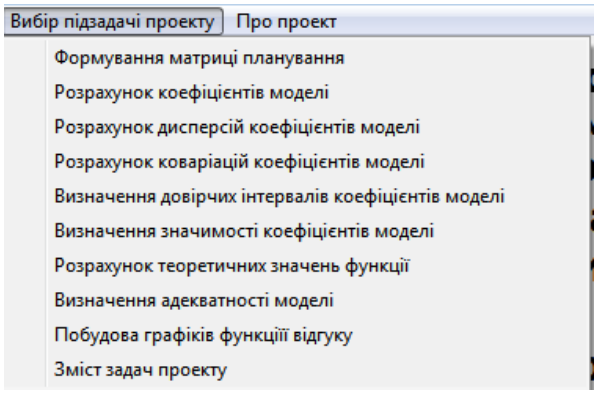


Рис. 3. Навігація C++Builder програми для аналітичного дослідження процесу вібросегрегації

В результаті повного аналізу експериментальних даних було визначено усі характеристики моделі, в тому числі довірчі інтервали та коефіцієнти (рис. 4, рис. 5). Визначивши довірчі інтервали коефіцієнтів моделі, перевірили їх значимість. Отриману модель перевірено на адекватність. Ця перевірка здійснювалась за критерієм Фішера.

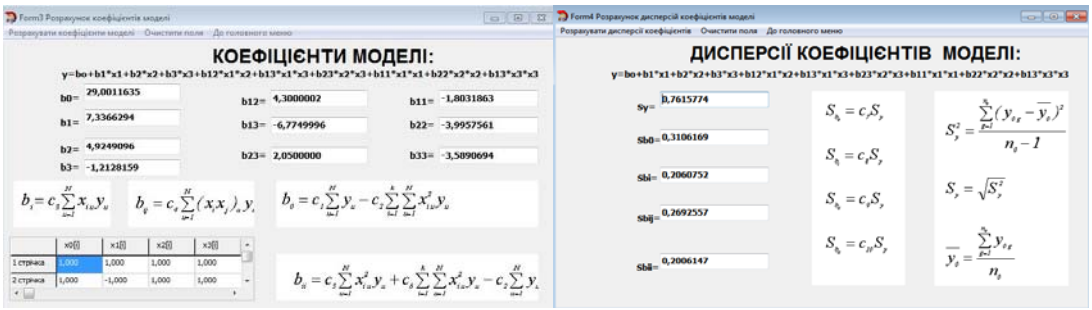


Рис. 4. Визначені коефіцієнти та дисперсії коефіцієнтів моделі

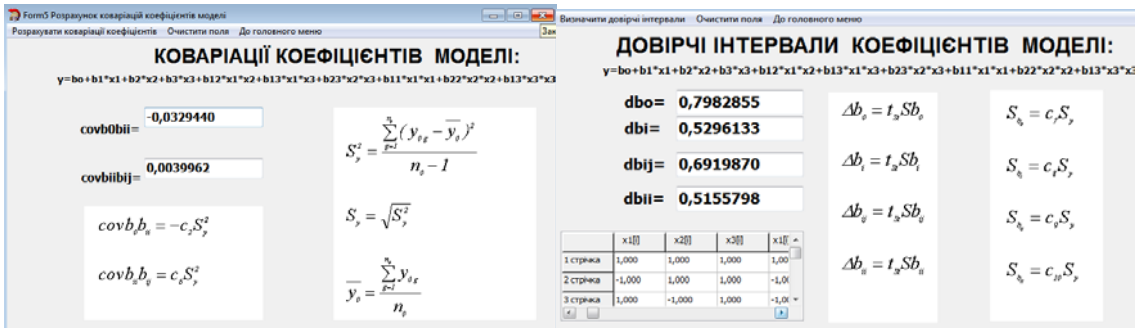


Рис. 5. Визначені коваріації коефіцієнтів та довірчі інтервали коефіцієнтів моделі

У роботі передбачено побудову графіків функції відгуку за різних значень вхідних факторів (рис. 6).

Рис. 6. Графіки функції відгуку для моделі

Висновки

Підвищення ефективності експериментальних досліджень стосовно вирішення задач матеріалознавства і технологічних процесів обробки порошкових матеріалів успішно вирішуються методами математичного планування. Це дозволяє отримувати унікальні експлуатаційні характеристики заготовок з порошкових матеріалів з використанням оптимальних параметрів вібраційних установок.

Література

1. Вибрации в технике : справочник : в 6 т. Т.2. Колебание нелинейных механических систем / [сост. Челомей В.Н. ; ред. Блехман И.И.]. – М. : Машиностроение, 1979. – 351 с.

2. Радовский Б.С. Сегрегация асфальтобетонных смесей и методы борьбы с ней в США / Б.С. Радовский // Дорожная техника. – 2007. – № 7. – С. 26–40.

3. Рудь В.Д. Модель поведінки часток сипкого середовища під дією вібраційної сегрегації / В.Д. Рудь, Н.А. Христинець, М.І. Колядинський // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво : міжвузівський збірник. – Луцьк : Видавництво ЛНТУ, 2011. – № 7. – С. 99–103.

4. Христинець Н.А. C++ Builder проект аналізу експериментальних даних за симетричним композиційним ротатабельним уніформ планом другого порядку / Н.А. Христинець, П.А. Пех, О.П. Прокопчук // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво : міжвузівський збірник. – Луцьк : Видавництво Луцького НТУ, 2015. – № 18. – С. 77–82.

5. Силивонюк А.В. Експериментальне дослідження перехідних процесів вібраційних машин з дебалансними збудниками, що самосинхронізуються / А.В. Силивонюк // Сільськогосподарські машини : збірник наукових статей. – 2013. – № 25. – С. 122–131.

6. Аппараты для смешения сыпучих материалов : монография / [Ю.И. Макаров]. – Москва : Машиностроение, 1973. – 216 с.

Рецензія/Peer review : 7.5.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., професор Пальчевський Б.О.

UDC 621

D. WÓJCICKA-MIGASIUK, A. URZĘDOWSKI
Politechnika Lubelska, Wydział Podstaw Techniki, Lublin

ANALYSIS OF DEMAND, LOSS AND PROFITS OF ENERGY IN PASSIVE BUILDING WITH THERMAL IMAGING TECHNOLOGY

Passive construction standards were developed in 1996 in Darmstadt, Germany, and are in force today. The key to obtain a high thermal comfort with low energy consumption is to provide building energy efficiency. A significant reduction in demand for energy, in particular for heating, provides a very good thermal insulation of the overall heat transfer coefficient
U≤0,15 W/m²K, with a maximum elimination of thermal bridges.

Passive building should be characterized by extremely low demand for thermal energy ratio, maximum 15 kWh/m²/year. Obtaining such a low result may not be at the expense of growth in energy use for other purposes - preparation of hot tap water, electricity in household, lighting - total may not exceed 120 kWh/m²/year.

The total heat gains in heating zone are the sum of the monthly heat gains from solar radiation through windows, doors or glazed surfaces and monthly internal heat gains. Also take into account obtaining of renewable energy sources for lighting rooms.

To meet the requirements of passive houses, these buildings must have: compact lump, very good thermal insulation, energy efficient windows and doors, passive preheating of fresh air, efficient heat recovery from exhaust air and be equipment in energy-efficient household appliances.

Passive buildings are an alternative to energy-intensive buildings posed in traditional technology, simultaneously providing a very high comfort.

Keywords: thermal imaging, passive buildings, heat losses, heat gains.

Д. ВУЙЦІЦКА-МІГАСІУК, А. УРЗЕДОВСКІ
Люблінська політехніка, Польща

АНАЛІЗ ПОПИТУ, ВТРАТИ І ПРИБУТКУ ЕНЕРГІЇ В БУДІВЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ ПАСИВНОГО ТЕПЛОБАЧЕННЯ

Пасивні будівельні стандарти були розроблені в 1996 році в Дармштадті, Німеччина, і застосовуються до сьогодні для того, щоб отримати високий тепловий комфорт з низьким споживанням енергії, щоб забезпечити так звану енергоефективність будівель. Значне зниження попиту на енергоносії, зокрема, для опалення, забезпечує дуже хорошу ізоляцію коефіцієнта теплопередачі U≤0,15 Вт / м²К, з максимальним усуненням теплових мостів.

Пасивна будівля повинна характеризуватися вкрай низьким попитом на теплове відношення енергії максимум 15 кВт·год/м2/рік. Отримання такого низького результату не може бути за рахунок зростання споживання енергії для інших цілей – приготування гарячої водопровідної води, електрики, домашнє господарство, освітлення – загальне число не може перевищувати 120 кВт·год/м2/рік. Загальний приріст теплової енергії в зоні нагріву – сума щомісячних доходів тепла від сонячної радіації через вікна, двері або засклені поверхні і щомісячних внутрішніх теплопритоків. Також беруть до уваги використання поновлюваних джерел енергії для освітлення приміщень.

Для того, щоб відповідати вимогам пасивних будинків, ці будівлі повинні бути в основному компактними, мати дуже хорошу теплоізоляцію, енергозберігаючі вікна та двері, пасивний підігрів свіжого повітря, ефективної рекуперації тепла з відпрацьованого повітря і обладнання в енергоефективних побутових приладів. Пасивні будинки є альтернативою енергоємних будівель, поставлених в традиційній технології, забезпечуючи при цьому дуже високий рівень комфорту.

Ключові слова: технологія теплобачення, пасивні будинки, теплові втрати, приріст тепла.

Introduction. Passive construction standards were developed in 1996 in Darmstadt, Germany and are in force today. Passive building should be characterized by extremely low demand for thermal energy, the maximum ratio 15 kWh/m^2/year. Obtaining such a low result may not be at the expense of growth in energy use for other purposes - preparation of hot tap water, electricity in household, lighting - total may not exceed 120 kWh/m^2/year [1].

To meet the requirements of passive houses, buildings must be characterized by: compact lump, very good thermal insulation, southern orientation and taking into account the woodlots, energy efficient windows and doors, air tightness of the building envelope, passive preheating of fresh air, efficient heat recovery from exhaust air and be equipment in energy-efficient household appliances [2].

Due to the rigors of energy in passive construction envelope must meet high standards for heat transfer coefficient and tightness of convection air. It is very important that the various elements forming the outer shell of the building: roof, walls, foundations were selected and taken to the places of their connections are not produced leaks allowing air convection or thermal bridging. Divisions of external passive buildings should therefore ensure continuity of thermal insulation and coating ensures tightness.

The formation of thermal bridges is unacceptable in passive houses and their consequences are very serious: the greater heat loss, the threat of the formation of mold, the danger of water vapour surface condensation, risk of adverse health effects (eg. allergies), greater loss of heat energy, local cooling sensation. Thermal bridges can be avoided by using a basic principle: the continuity of the thermal insulation must be maintained. The most common method that allows for the analysis of heat loss in the building walls, is to perform research using the thermal imaging camera [3].

Table 1

Requirements for passive houses, developed by the Passive House Institute in Darmstat

Nr	Criterion	Range
1	The annual demand for thermal energy to heat the building	≤15 kWh/m^2·year
2	The tightness of the building for air infiltration n50	≤0,6 l/h
3	The annual consumption of primary energy to meet all the energy home requirement	≤120 kWh/ m^2·year
4	Heating load	≤10 W/m^2
5	The frequency of overheating of the surface in the summer	≤10%
6	The efficiency of mechanical ventilation intake-exhaust heat recovery	≥75%
7	The average heat transfer coefficient of walls	≤0,15 W/m^{2}K
8	The average heat transfer coefficient of windows	≤0,8 W/m^{2}K
9	The value of the total energy transmittance for glazing	≥55%
10	No thermal bridges	Ψ ≤ 0,01 W/mK

Characterization and analysis of heat loss in buildings. Thermal bridges can be generally characterized as locally limited areas in the building walls with high heat permeability, compared with adjacent surfaces. Increased thermal diffusion involves magnification energy loss from the building and, consequently, increase operating costs. Lowering the temperature on the inner surface of the walls is related with the risk of a fungal attack. In place of thermal bridges can also be observed the formation of condensation of water vapor and the related occurrence number of other destructive processes, damaging the walls, in particular layer of the coating and finishing.

Places where thermal bridge occurrence are mostly construction nodes and all the structural external connections, made of different materials. The most common are: contact floor on the ground with the foundation wall, slab with the outer wall, the rear seat windows and doors or roof connection with a knee wall. Also balcony slabs, joists protruding from the outer walls and other supporting structures, eg. places mounting location of the steel railings or supports satellite dishes [4].

The study was performed by thermal imaging camera Flir T440bx. The effects of errors in implementing the actual building walls are shown in the pictures below. Fig. 1 shows a situation where as a result of manufacturing defects, during warming building dormitory no. 4 Lublin University of Technology came to occurrence a number of thermal bridges in place of fastening anchors restraining polystyrene boards to the wall. This is a typical error during warming of the building. Point Sp1 has a temperature 6.6°C, while point Sp2 only 4.9°C. This situation is unacceptable in passive buildings. The continuity of thermal insulation, without thermal bridging point, can be provide by polyethylene pins for wool and polystyrene insulation, which penetrate into the thermal material. The resulting blind recess are matching by the wheel of the same material as the insulation layer [4]. At Fig. 1 it is clearly visible image on the thermal bridges, formed around the window. The temperature difference between the blue point (12.2°C) and a red triangle (3.8°C) is 8.4°C.

Fig. 1. Facade of the building after renovation, made by thermal imaging camera

At Fig. 2, there is thermal bridge in the house corner, which is the result of bad made the ceiling above the ground floor the wall system. Between points Sp1 and Sp2 temperature difference is 3°C, to the point t=13,6ºC Sp1 and Sp2 for t=16,6ºC. As a result of long-lasting moisture and a large temperature difference in the corners of the

kitchen there is moisture, resulting in a black mold spot. Founded situation requires immediate intervention and absolute removal of both effect and causes mold. Molds are carcinogenic, allergenic and the increasing symptoms of upper respiratory tract [5].

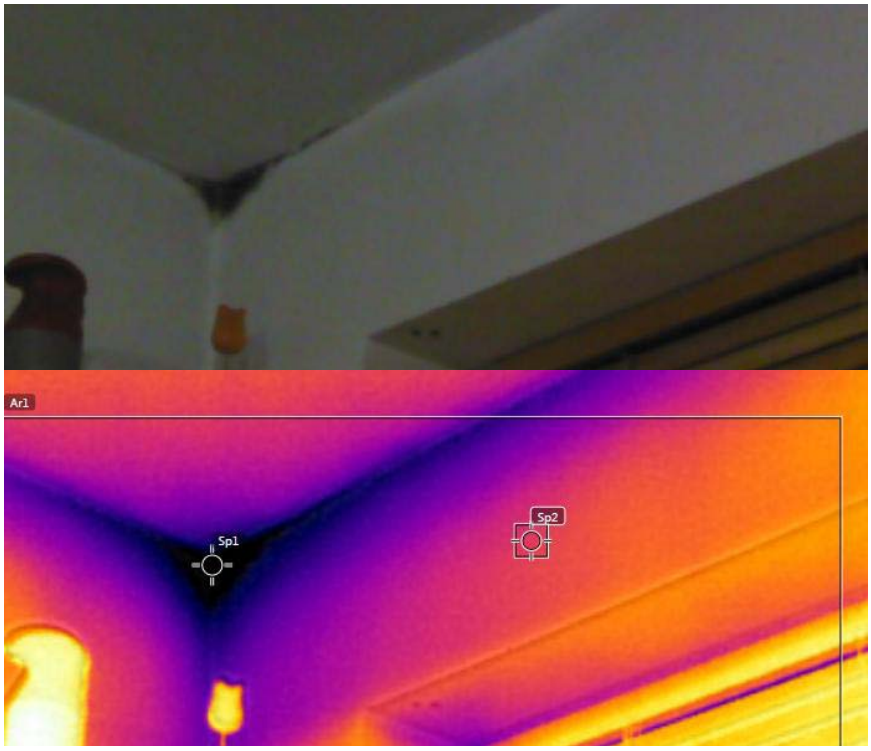


Fig. 2. Mould in the corner of the room

One of the common mistakes, as a result of which creates a thermal bridge is bad performance of the base of the building and lack of thermal insulation. Fig. 3 shows the temperature points Sp1, Sp2, Sp3 is sequentially equal 1.2ºC, -0.1ºC, -1.0ºC. The building is not built on basement but built on traditional foundations. Can be seen clearly the lack of thermal insulation and energy losses due to errors in design and implementation.

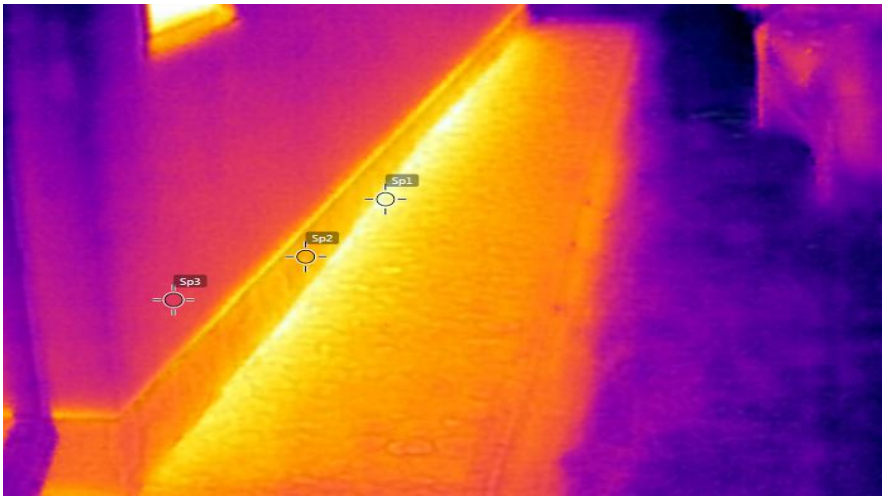


Fig. 3. Thermal bridge, which is the result of poorly made thermal insulation base

Discussio

Over the last few years and in connection with the dynamics that accompany development of the industry of building technologies, there is available on the market, more and more solutions that meet the criteria and requirements for passive buildings. Almost every major manufacturer of materials for building or warming walls provides solutions to achieve walls coefficients of external U≤0,15W/m^{2}K. Many manufacturers, including leading Polish company specializes in energy-efficient and low energy solutions.

As examples of solutions available on the market, thanks to the external partition can reach the required, low heat transfer coefficient U, are:

- ceramic hollow Porotherm 38 DRYFIX, and 15 cm styrofoam λ=0,04 [W/mK] or 12 cm styrofoam λ=0,03 [W/mK], factor U=0,15 [W/m^{2}K];
- slot block keramzite 24 cm heat mortar and 20 cm styrofoam EPS 80-036 (FS 15), factor U=0,1408

[W/m^{2}K];

- aerated concrete (800) 24 cm (adhesive or heat-insulating mortar) and 18 cm styrofoam TERMONIUM PLUS facade λ=0,03 [W/mK], factor U=0,1471 [W/m^{2}K];
- ceramic hollow Max 29 cm, styrofoam TERMONIUM PLUS facade λ=0,031 [W/mK] 18 cm, block of porous bricks 11,5 cm, factor U=0,1434 [W/m^{2}K].

However, the only system on the market, the use of which provides almost complete tightness of the construction, is produced by the Polish company IZODOM 2000. This system offers components fully compatible with each other: the wall elements, the foundation slab and panels for thermal insulation of roofs.

Bringing the walls in the system IZODOM Poland 2000 is based on the construction of concrete or reinforced concrete structures directly on site. Instead of the traditional prefabricated formwork boards or shuttering panels are used Neopor moulder, which has a very low coefficient of heat conduction ratio of 0,032W/mK. Formwork is arranged with fittings for all walls, taking into account the architecture of the building. The basic structural element of the wall is hollow Super King Blok MC 1/45. Walls are concreted to floor height and after setting the laid concrete formwork elements are not removed but remain in the wall and take on the role of thermal insulation.

Conclusions

To avoid heat losses at the intersection of vertical baffle the foundation of the building, which is shown in Fig. 3, one of the solutions used in the building may be a passive application of the foundation slab connected to the wall elements. The slab is used in passive construction instead of traditional walls and continuous footings. It is poured at the construction site concrete slab, reinforced reinforcement distributed or conventional steel bars. To implement it used are the basic elements of formwork produced by Izodom in order to obtain a variety of shapes consistent with the project object. The heat transfer coefficient of such a foundation can be up to 0,09W/m^{2}K. A thick layer of heat insulation under the building protects against the penetration of frost into the building, freezing and deformation of the surface. The advantages of this solution include: a significant reduction in construction time for 2-3 business foundation, perfect protection against moisture and heat, monolithic element provides stability, reducing the time of earthworks.

The analysis can be concluded that there are solutions which allows construction of a house with an extremely low demand for thermal energy. Both the choice of thermal insulation materials and technology of the partitions have a significant effect on heat loss in the building. Passive houses are an alternative to energy-intensive buildings posed in traditional technology, while providing a very high comfort.

References

1. Wójcicka-Migasiuk D., Analiza wymiany ciepła w ścianach słonecznych, Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin, 2008.
2. Feist W., Podstawy budownictwa pasywnego, Polski Instytut Budownictwa Pasywnego, Gdańsk, 2006.
3. Urzędowski A., Wójcicka-Migasiuk D., Visual analysis of heat transport in unique object, Advances in science and technology research journal, 2015.
4. Królczyk B., Budownictwo energooszczędne i pasywne: identyfikacja problemu, Kunke Poligrafia, Poznań, 2013.
5. Ślusarek J., Wilk-Słomka B., Procesy termiczne w przegrodach budowlanych o złożonej strukturze, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2010.

Рецензія/Peer review : 18.5.2016 р. Надрукована/Printed : 8.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф.. Параска Г.Б.

UCD 699

ANETA DUDA, KLAUDIUSZ LENIK
Lublin University of Technology

THE USE OF COMPUTER SUPPORT FOR REGISTRATION AND EVALUATION PROCESS OF FRICTION

The paper presents the possibility of using computer support registration and evaluation of processes of friction. It was discussed the construction and operation of the modernized machine Amsler and describes work rules and the scope of the measurements and registration for the specified parameters of friction and wear of friction pairs.

Keywords: computer support, conditions of friction, wear, Amsler's machine.

АНЕТА ДУДА, КЛАВДИЙ ЛЕНИК
Люблинский технический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ И ОЦЕНКИ ПРОЦЕССА ТРЕНИЕМ

В статье представлены возможности использования регистрации и оценки процессов трения компьютерной поддержки. Об этом шла речь на строительство и эксплуатацию модернизированной машины Амслера и описывает правила работы и объем измерений и регистрации для заданных параметров трения и износа пар трения.

Ключевые слова: компьютерная поддержка, условия трения, износа, машина Амслера.

INTRODUCTION
Computer support in registration and evaluation process of friction

The evaluation of abrasive wear resistance of eutectic materials were carried out on the upgraded Amsler's machine. It is equipped with a measuring system - computer- aided recording [4] with computer support. Designed measuring stand of microprocessor recorder X-Yi Y - t was installed on the machine (Fig. 1).

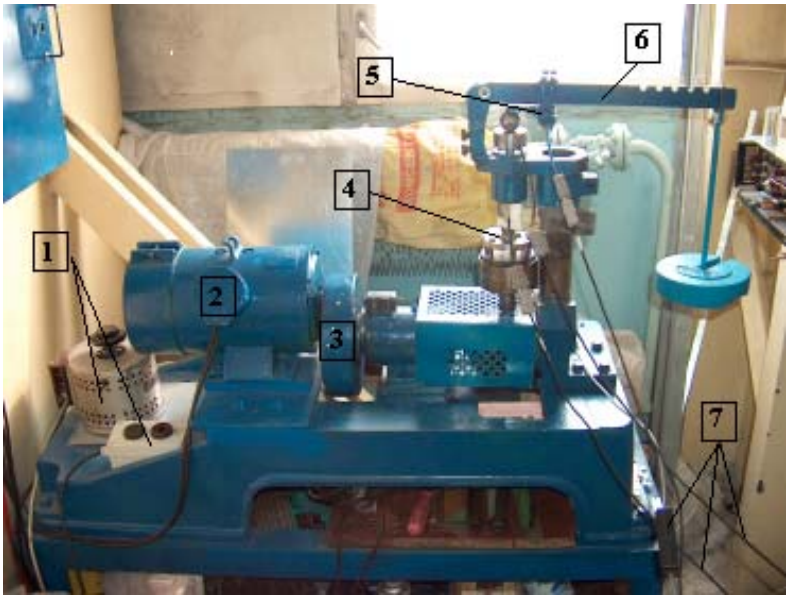


Fig. 1. General view of the modernized Amsler's machine: 1 – power and control; 2 – electric motor; 3 –planetary gear; 4 – head test of friction torque sensor; 5 – load force sensor; 6 – loading arrangement; 7 – connection to a capture measuring and recording system
Source: Authors' own elaboration

Figure 2 shows a diagram of the modernized Amsler's machine and the measurement system.

Designed and made head of research of friction torque sensor enables the study of friction process diagram pin - shield (pin of disk). There is a possibility to analyze a single, three or more samples [1].

The register measurement system (Fig. 2) admits monitoring of parameters such as:

- clamping force;
- the relative speed of the pair of friction;
- distance of friction ;
- friction torque;
- size of the linear wear.

Carrying out measurements of the parameters established in the friction is to use a strain gauge measuring and replacement of the mechanical system - the electronic circuit. The drive is realized by a DC motor with adjustable output shaft revolutions [3].

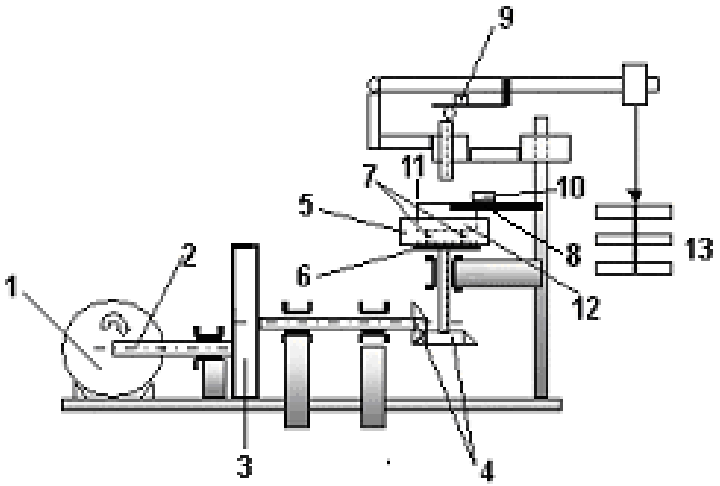


Fig. 2. Diagram of the modernized Amsler's machine and the measurement system: 1 – direct current motor; 2 – main drive wheel; 3 – planetary gear; 4 – bevel drive; 5 – head of research; 6 – counter specimen (shield); 7 – sample (the test material - pin); 8 – frictional torque sensor; 9 – sensor down force; 10 – friction force sensor; 11 – sensor linear wear; 12 – temperature sensors; 13 – load on the pin - shield

The measuring system of the register in which the machine is equipped with modernized Amsler (Figure 1, 2, 3) is equipped with a measuring system - recording with a computer program, and is called the Tribol 1.

The program Tribol 1 is used for measurement recording speed head and seven analog value and convert them into digital data using computer data recording. It has eight measurement channels [2].

Fig. 3. The register measuring system
Source: Authors' own elaboration

Channel 0 cooperates with reluctance digital sensor and is used to measure rotational speed of the head in the range of 15 to 1000 rev / min. Measurement resolution is 0.25 rev / min. The speed range can be increased while increasing the resolution [6].

Channels 1–7 are used to measure and record the current analogue signals with standard values from 4 to 20 mA, may cooperate with sensors and transmitters, of which the output signal is a current of a specified range of values (eg. strain gauges, force, temperature, pressure, flow, or other size).

In the standard version to the next channel assigned to the measurement values of the following values:

- Channel 1 - measurement of the friction torque;
- Channel 2 - measurement of the force on the sample;
- Channel 3 - measurement of linear wear samples;
- Channel 4, 5 and 6 - temperature measurements;
- Channel 8 - not used.

It's possible to change the size measured in these channels after appropriate declaration in the use of measurements [5].

The measured analogue signals are converted to digital signals in 12-bit analogue-to-digital. The performance of measurement is controlled by the internal clock generator built with the measuring device. The number of measurements made in one second reference is a computer program operating measurements by forecasting the duration of the test. Adopted the maximum number of measurement equal to 100 measurements per second in eight channels, and the maximum number of measurement points equal to 2000 each channel.

Measurements, data recording and playback, as well as graphical or tabular presentation of the results of measurements is supervised by special service program "Triprog 1".

The program can perform the following procedure (Fig. 4):

```
¦ MEASUREMENTS ¦
¦ READING FROM DISK ¦
¦ PARAMETERS OF DIAGRAMS¦
¦ GRADUATION ¦
¦  SIMULATION ¦
¦ END OF WORK ¦
```

Each of the procedure has its own functions. The choice of procedures and functions with the arrow keys and press "Enter." Choosing or reference values the program make it easy on-screen messages.

Procedures: GRADUATION and SIMULATION are used to scale the device and testing program.

Functions of procedures MEASUREMENTS (Fig. 5):

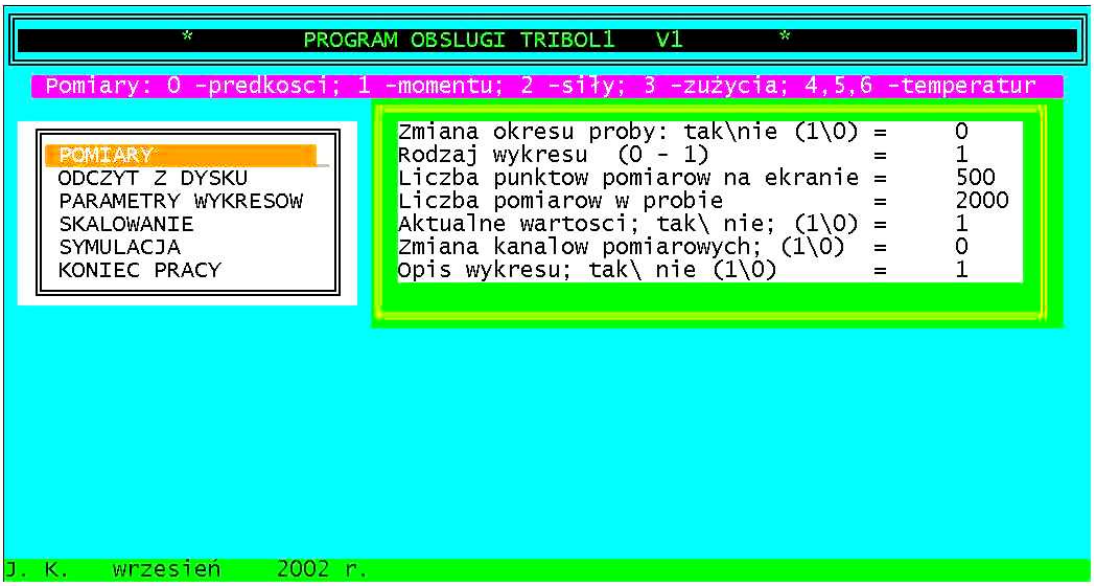


Fig. 4. The procedures carried out by the program Tribol 1
Source: Authors' own elaboration

1) function of "Changing the sample period: yes \ no (1 \ 0)"

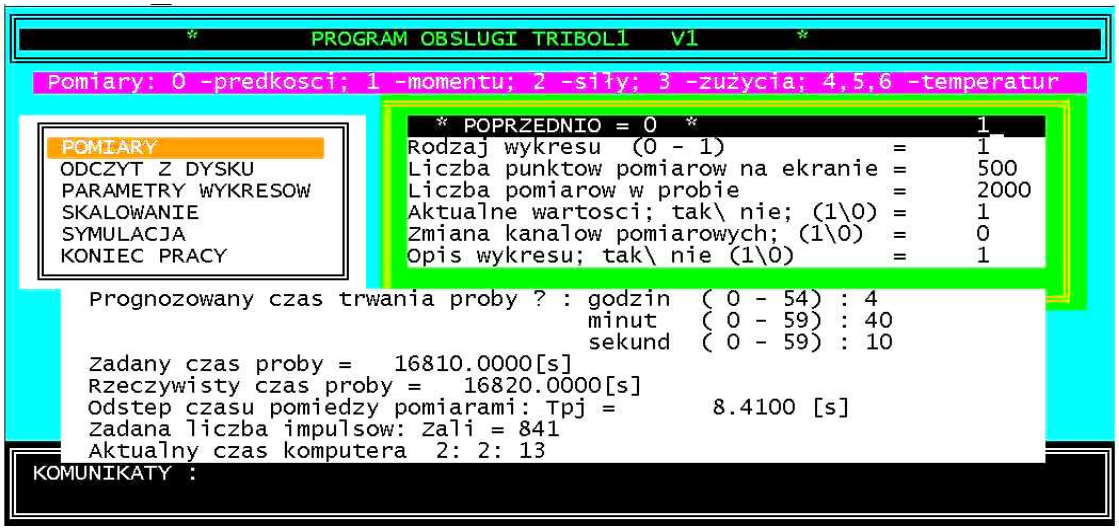


Fig. 5. The size and type of measurements
Source: Authors' own elaboration

After selecting the function of "Change of the sample period," you have to enter the number of hours, minutes and seconds of the projected duration of the test. The computer calculates the specified test time in seconds and takes real time equal to the set, or slightly larger, so as to share it with the rest of the product of the clock period timing and number of measuring points [6].

When the frequency of the clock generator fG = 100 Hz and the maximum number of measurements in a series of equal 2000 accepted the actual minimum sample time is thus 20 seconds. The screen is also visualized the time interval between consecutive measurements (TPJ) and the number of counted pulses to the initiation of measurement (Zali).

Functions of procedures PARAMETERS OF DIAGRAMS (Fig. 6):

1) The function of "Active"

Entering a value 1 in the column with the specified number means that the graph of the measured values in the channel with this number is displayed on the screen. This allows you to display waveforms values from one or more channels on a single graph.

2) The function of „Color"

Entering a number describes the colour of which will be determined chart the course of a given channel. The colour codes show the auxiliary table (Fig. 6).

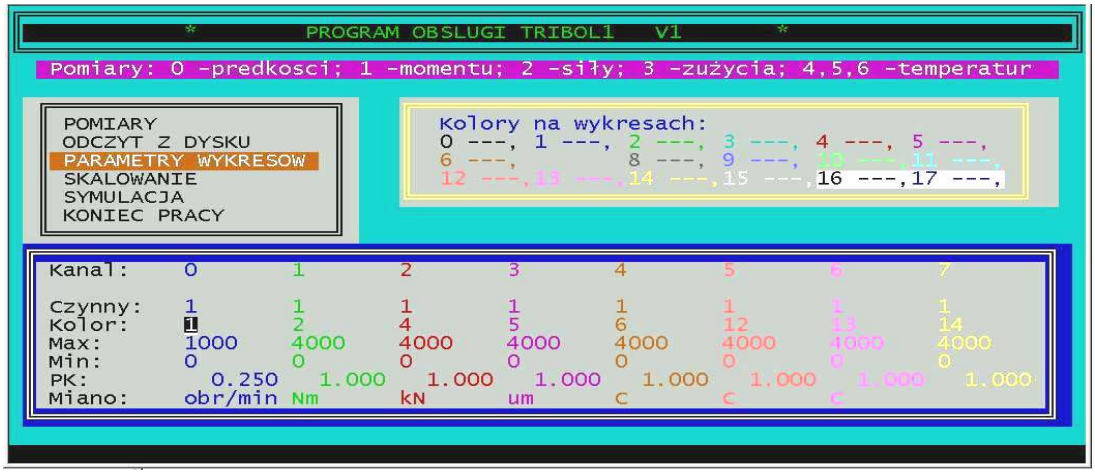


Fig. 6. The parameters of graphs
Source: Authors' own elaboration

3) The function of „Max"

The value of this function defines what the maximum measured value of the channel has to fit on the graph. This feature, together with the "Min" allows you to "stretch the graph vertically." Entered values must be integers in the range from -32768 to + 32768.

4) The function of „Min"

The value of this function defines what the minimum measured value of the channel has to fit on the graph. Entered values must be integers in the range from -32768 to +32768.

CONCLUSION

Discussed in this article and upgraded test stand friction processes on the basis of the Amsler's machine enables practical use in a wide range of loads and conditions of friction (dry, border or other) analysis of the process of sliding friction. This means the possibility of research on consumption [PN-82 / H-04332] specific materials or diffusion layers and protective coatings and technical test piece friction pairs using computer support, as monitoring the process of friction.

Manufactured and used in the research process friction measuring and control system implemented using the program Tribol 1 for obtaining data such as force parameters, the relative speed of the pairs of cutting road friction and wear size line. The resulting data through the use discussed the use computer support for their description and analysis can we get in tabular or already finished graphs variability of parameters studied.

References

1. Dobrzański L. A., Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. WNT, Warszawa 2002.
2. Lenik K., Paszeczko M., Opracowanie nowej rodziny stopów eutektycznych odpornych na zużycie. Prace Naukowe Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn. Nr 87. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. XXV Szkoła Tribologiczna Nr 27 – 2002, s.196–201.
3. Jarzyna W., Bocheński M., Augustyniak M., Aktywne struktury piezoelektryczne w układach regulacji : Active piezoelectric structures in control systems, Przegląd Elektrotechniczny, 2010, vol. 86, nr 4, s. 252–255.
4. Lenik K., Przeciwzużyciowe eutektyczne pokrycia układu Fe-Mn-C-B, Akademia Nauk Urkainy, Instytut Problemów Materiałoznawstwa Euro Świat, Lwów 2004.
5. Szczelek M., Wiśniewski M., Tribologia i Tribotechnika. Wydawnictwo Instytutu Techniki i Eksploatacji, Radom 2000.
6. Lenik K., Paszeczko M., Paszeczko L., Znosostijki ewtektyczni kompozycijni pokryttia systemy Fe-Mn-C-B-Si. Problems of Tribology, № 3 – 2001, s.61–64.
7. Lawrowski Z., Tribologia. Tarcie, zużywanie i smarowanie. PWN, Warszawa 1993.

Рецензія/Peer review : 27.5.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Рецензент/Rewiever: dr. hab. Inz. Elzbieta Kalinowska-Ozgowicz

UCD 699

MAŁGORZATA DZIEWICZKIEWICZ, DOROTA WÓJCICKA-MIGASIUK
Politechnika Lubelska, Polska

ANALYSIS OF HEAT TRANSFER ON THE BASIS OF MULTISPECTRAL IMAGES OF THE ELEMENTS OF CHIMNEYS' STRUCTURE

The article presents an example of the application of non-destructive methods of diagnosing the state of chimneys using thermal imaging equipment and the analysis of the results obtained in such a manner. Thermal imaging studies were conducted on two chimneys of various constructions (brick and steel). The aim of the analysis was to check the exact distribution of the temperature on the surface of the examined objects, assessment of the chimneys' condition and indication of defects in their structure as well as evaluation of their participation in the heat loss of the studied object. The results were the basis for the planning and direction of the repair work of objects and indicated significant usefulness of thermal imaging techniques in the study of objects directly inaccessible.

Key words: heat transfer, multispectral images, infrared camera, visualization methods.

МАЛГОЖАТА ДЗЄВІЧКЄВІЧ, ДОРОТА ВУЙЦІЦКА-МІГАСЮК
Люблінська політехніка, Польща

АНАЛІЗ ТЕПЛОПЕРЕНОСУ НА ОСНОВІ ЗОБРАЖЕННЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ СТРУКТУРИ ДИМАРІВ

У статті наведено приклад з використання неруйнівних методів діагностики стану димових труб з використанням термічного обладнання візуалізації і аналізу результатів, отриманих таким чином. Тепловізійні дослідження були проведені на двох димових трубах різного будівництва (цегли і сталі). Метою аналізу була перевірка точного розподілу температури на поверхні досліджуваного об'єкта, оцінка стану димоходів, із зазначенням дефектів в структурі і оцінці їхньої участі в тепловтрат об'єкта. Отримані результати послужили основою для планування напрямків ремонтних робіт об'єктів і вказують на корисність тепловізійних методів у вивченні недоступних об'єктів безпосередньо.

Ключові слова: теплопередача, багатоспектральні зображення, інфрачервона камера, методи візуалізації.

Introduction

Multispectral imaging is a technique in which for each pixel of the image, the unique spectral signatures of the observed surface are measured, showing the relations between the coefficient of reflectance and the wavelength [1]. Multispectral image comprises a plurality of channels which are a generalization of the channels of primary colours: R (red), G (green) and B (blue) for any spectral ranges. The data obtained from the scan is described by spatial coordinates (x, y) and the wavelength (λ). This type of imaging in English is called Full Spectral Imaging (FSI).

One of the problems standing in the way of practical implementation of FSI is the speed of image registration in several separate channels associated with bands of wavelengths. To register a multi-channel image in a short time (similar for example to the shutter speed of the camera) a matrix system of sensors (e.g. CCD) is required, with a very high sensitivity and speed of operation and the ability to work in a wide spectral range. Depending on the number of channels under consideration, one may distinguish multispectral (several channels, for example, SPOT satellite - 3 channels) and hyperspectral imaging (several dozen or more channels).

The quality of the imaging device depends not only on the number of spectral channels but also on the spatial resolution and its speed. If only high spectral resolution matters and the measurement is intended to refer to the whole light beam reaching the apparatus (without spatial resolution), the use of a multi-channel spectrometer is the most favourable. In contrast, when the data collection may be performed in arbitrarily long time, both sufficient and the most accurate way is to use a classic spectrometer or a monochromator connected to the broadband photometer [6].

Applications of multispectral imaging are very wide and with the progressive development of technology and the availability of thermal imaging cameras - constantly progressing. Thermography in the initial phase was applied mainly by the army, but very quickly it found application in industry, construction, medicine and other fields of science. In the field of geography, it is used to collect geographic information, in particular in the Land Information Systems. Multispectral data enable getting much more complete information about the area than regular satellite photographs based on the examination of the light reflected by different parts of the area, it is possible to draw conclusions on the nature of rocks and the composition and moisture of soil [2].

In the field of meteorology multispectral images enable testing the distribution of water vapour concentration and the temperature distribution of land, water and air masses. With multi-spectral imaging it is possible to identify objects partially hidden, that are not visible in the images of the traditional colour cameras or through direct observation. Additionally, multispectral photographs of forensic evidence or crime scenes allow quick detection of the micro traces of searched organic substances or chemicals.

Material and methods

The study with thermal imaging camera was conducted on two different chimneys (brick and steel) located on the historic building – the house of the Congregation of the Ursuline Sisters in Lublin, in Narutowicza 10. During taking the measurements, air temperature was approximately 1 ° C and partial variable cloudiness occurred.

Before the relevant measurements were carried out, some preparatory work and initial measurements were conducted. The aim of this work was to determine the proper conditions to perform correct measurements taking

into account the position of the investigated objects. Preparatory work before the study consisted of a local vision through which it was possible to determine the location of measuring stations, distribution of measuring stations, performance of test measurements, elaboration of test measurements and adjustments of the measuring stations and measurement conditions. Upon completion of the external inspection of the building and its surroundings and the analysis of the results of preliminary measurements, 5 measurement stations were set. With the infrared camera six different types of images can be generated: multispectral, thermal, thermal fusion, heat penetration, simple digital photograph, picture in picture.

Multispectral images were taken using FLIR infrared camera7440bx with lens FOL 18 mm and resolution of infrared detector 320x240 while the image processing was carried out in Flitr programme. The subjects of the analysis in terms of heat flow were two industrial chimneys made with different techniques. Infrared images were taken in winter at the outside temperature of 1 ° C. An important factor taken into account during the test was the material from which the objects were made. This is a condition necessary to determine the emissivity of the material. The level of emission is within the range from 0.1 to 0.95 (i.e. for a brick chimney it is approximately 0.94). Transmission of radiation also depends on the distance between the camera and the analysed object, which in this study was 5m. The relative air humidity was determined at the level of 50% [5]. For proper display of the objects, a large number of thermal images were made, and arranged in a way that ensures correct readings.

Presentation of the case

Figure 1 shows a thermal image of a infrared camera generated with a report, which is obtained after the test. The image was taken on February 4, 2015 at 10:59. The photo shows stainless steel chimney with a part of the facade. The surfaces have an emissivity of 0.95, which guarantees credibility of the presented temperature distribution on the chimney and on the facade. The pictures were taken from a distance of 5 m. Reflected temperature is 20 ° and it is convergent with the temperature of the external optical system. The air temperature in turn is 0°C and the external transmission of the optical system 1 ° C. The temperature range registered by the camera is in the range of -3 ° C at the coldest spot to 22.1 ° C in the warmest. With the camera used to the tests, the temperature can be measured at any point. In Fig. 1 this point was designated as "Sp1", the temperature in the indicated point is 5.8 ° C.

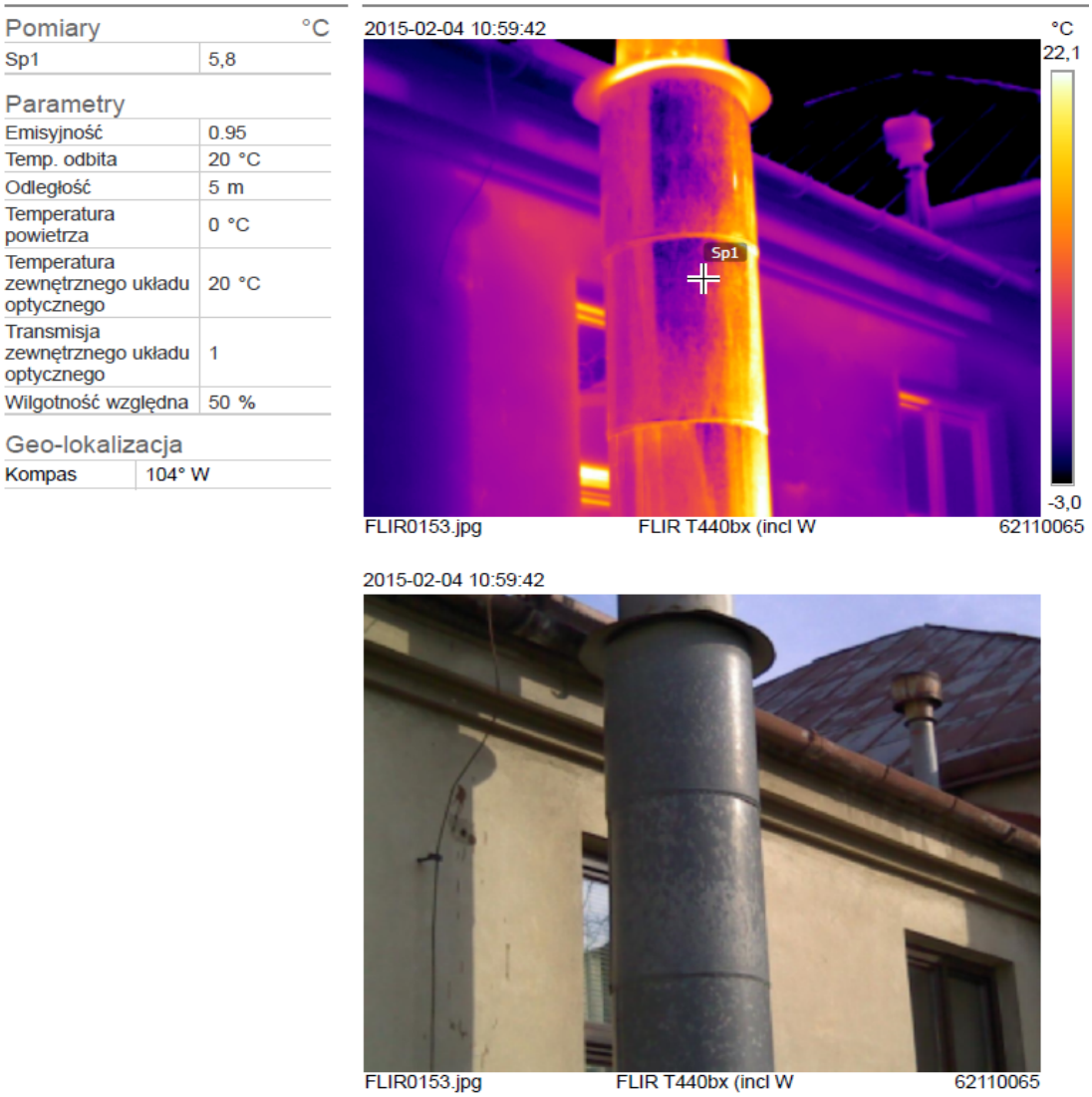


Fig. 1. Report

A place where the temperature is the lowest in Fig.2 is located on the roof on the right side of the image. This is the place where the temperature is -3,3 ° C, and beneath the spout in the chimney which is a place reached by a small amount of the sun's rays. The places marked with ovals are the ones in which measurement errors could possibly occur. Window frames made of plastic, have a higher reflectivity than the surrounding elements, which means that a high value of temperature which was recorded in these areas is the result of reflection of sunlight. It can be inferred from the fact that the right part of the window is still in the shadow of a building and in this place high temperature was not recorded [3].

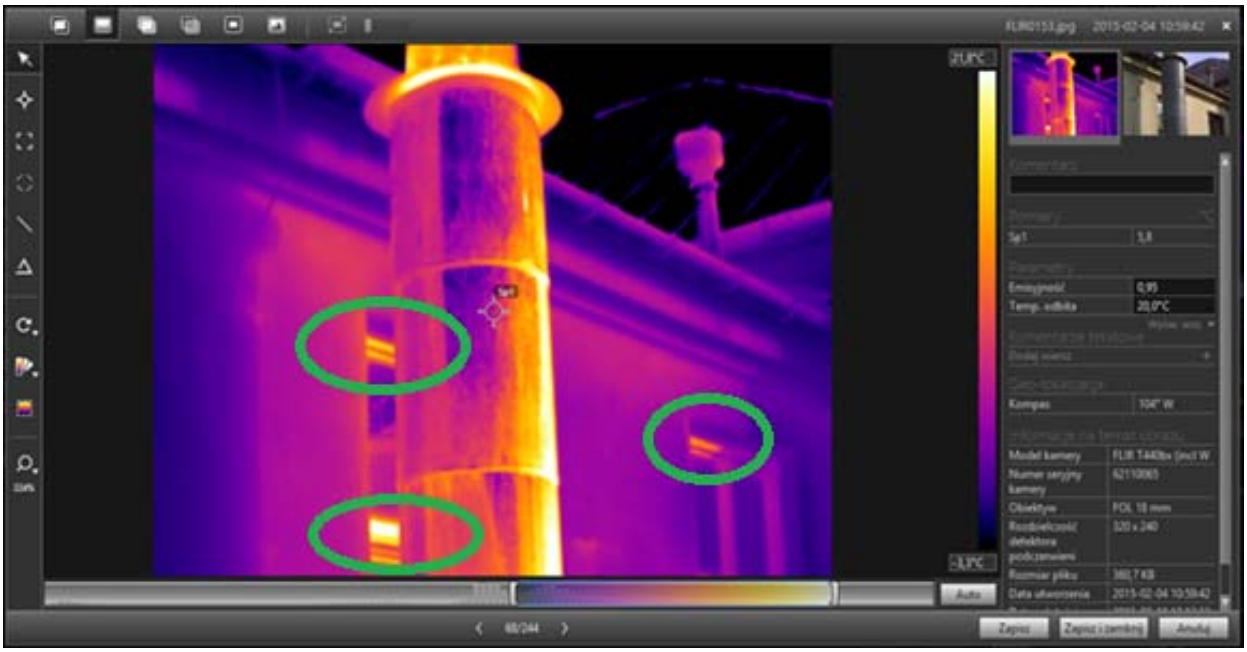


Fig. 2. Multispectral image

Fig. 3 presents thermal fusion which is a combination of digital and thermal image in the desired range of temperatures. These places are marked in green. The emissivity of the picture is the same as in the case of other images and equals 0.95. Reference range of temperature is also similar, ie. from -3.3 ° C to 22.8 ° C. The temperature at the point "Sp1" is 5.8 ° C. The temperature distribution visible on the surface of the chimney is caused by the uneven insulating coating, as well as the diversity of surface reflectivity. In some areas the insulation layer covering the stainless steel chimney is thinner and hence resulting in higher values of the temperature. In addition, these sites have a small heat capacity and heat up in shorter time than properly insulated elements.

Fig. 3. Thermal fusion of the steel chimney

Fig. 4 shows heat transfer. This means that the thermal image presented on the digital image is generated in a temperature range shown on the horizontal scale. The range of variables of temperature and other parameters do

not change. The execution of such a photo only shows positive values in the image, there are no marked places where the temperature is below zero as the selected range of the scale was limited to the values from about 5 to 15 ° C. The function of thermal transmittance allows seeing better the outline of the building of the chimney and its individual elements. The colour was founded to allow presentation of the background of a digital image.

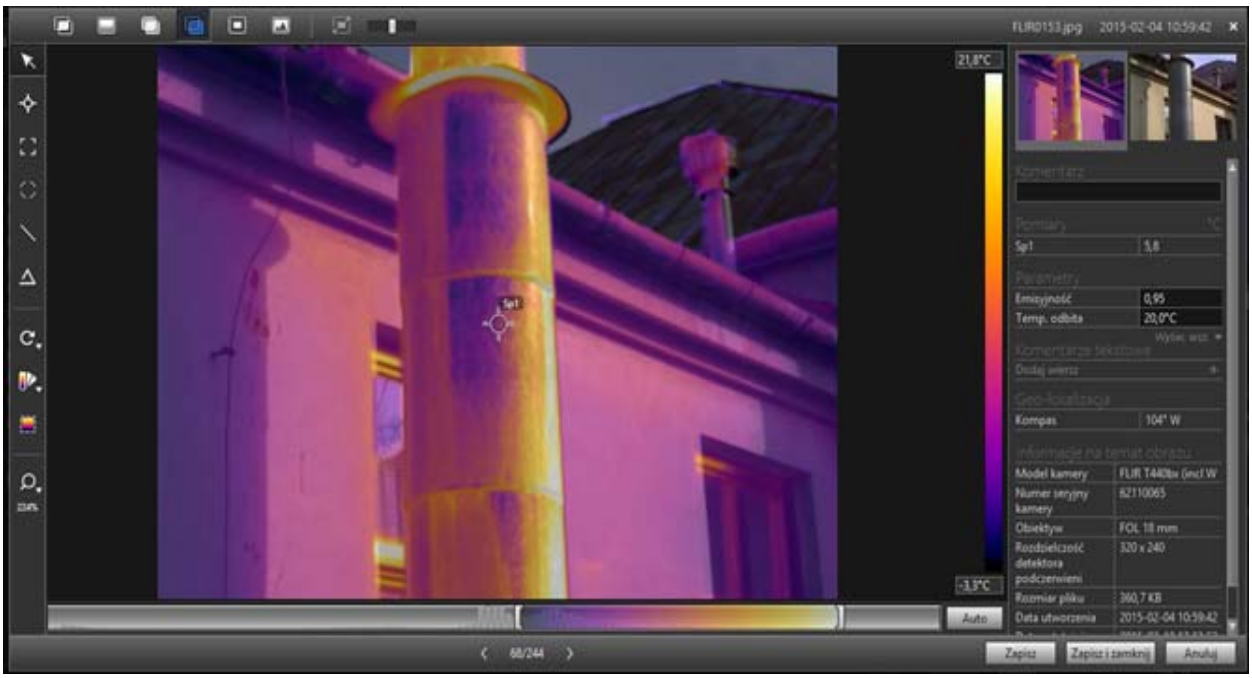


Fig. 4. Heat transfer on the example of steel chimney

Discussion of the results

The next figures show the measurement results in the form of images from the infrared camera of the upper part of the chimney. Fig. 5 presents a view of the finished report generated in the Flir program. These photos were taken on the same day as the previous ones. The picture was taken at 11:03. It was found that the emissivity of the surface is maintained at the standard level of 0.95 so the image accurately reflects the temperature distribution on the surface of the chimney. The distance is 5 m, the angle of the camera, however, changes, resulting in decreased accuracy of the temperature measurement in the selected area. The transmission of the external optical system and the air temperature are not variable. The temperature range changes from -4.3 ° C for the coldest spot to the maximum of 24 ° C. At the test point marked as "Sp1", the temperature is 7.4 ° C. The program prepares a report with two photographs: the first image is a multi-spectral picture; the second one is a simple digital image. The image was taken with the digital zoom. In Fig. 5 there are highly visible changes in the temperature distribution in the spots of the loss of the coating protecting the chimney against rust. The highest temperature occurs in the areas where the coating is missing or is very thin. Metal ladder leading to the top of the chimney located in the shadow of the north side is cooled and has temperature lower than the air temperature measured from the south side. It can be expected that the measurement conducted on the north side would lead to the receipt of different images of temperature distribution [4]. However, due to the location of the chimney, there was no such possibility. It was considered that the differences are predictable and therefore less important.

The thermal fusion in Fig. 6 does not represent the most extreme values. It is a combination of the thermal image with the digital one in the range shown on the horizontal scale, i.e. from approx. 5 to 15 ° C. Reflected temperature is 20 ° C. Like in the case of the other pictures, the lens and the resolution of the infrared detector were not changed. The use of digital zoom in the camera may slightly interfere with the reading of the temperature distribution. In the picture it is not possible to locate the area where the temperature reaches the maximum value of 30.7 ° C - the reason for this may be too long distance from the surface of the image covered by the measurement.

Another image shows the distribution of temperatures on the steel chimney itself, but without the zoom. In the image presented in Fig. 7, the temperature distribution is in the range from -3 to 30.7 ° C. In the selected point "Sp1" the temperature is 8.6 ° C. As in the other cases, on the chimney there are considerable differences in temperature. The colour scale assigned to the temperature values is consistent with the scale of the electromagnetic wavelength of the spectrum deployed. It corresponds also to greyscale in non-colour images. The regions of the lowest temperature in the tested range were those of the maximum density.

Pomiary	°C
Sp1	7,4

Parametry	
Emisyjność	0.95
Temp. odbita	20 °C
Odległość	5 m
Temperatura powietrza	0 °C
Temperatura zewnętrznego układu optycznego	20 °C
Transmisja zewnętrznego układu optycznego	1
Wilgotność względna	50 %

Geo-lokalizacja	
Kompas	95° W

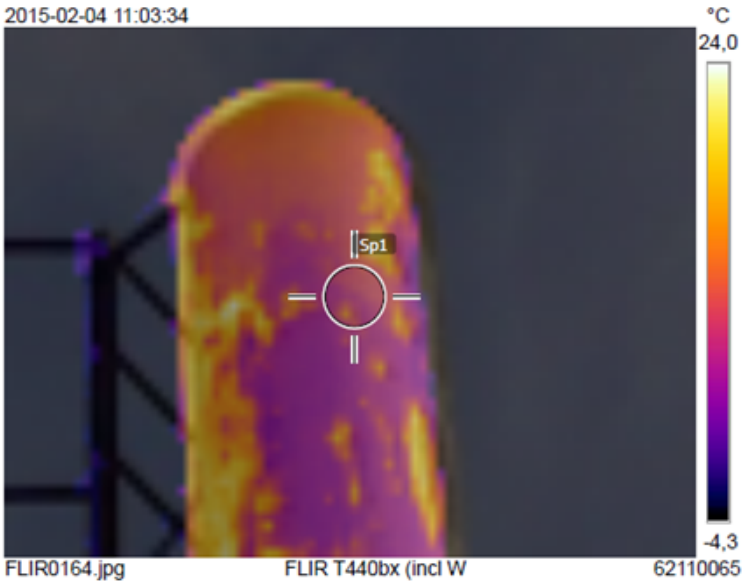


Fig. 5. Photo report of the steel chimney

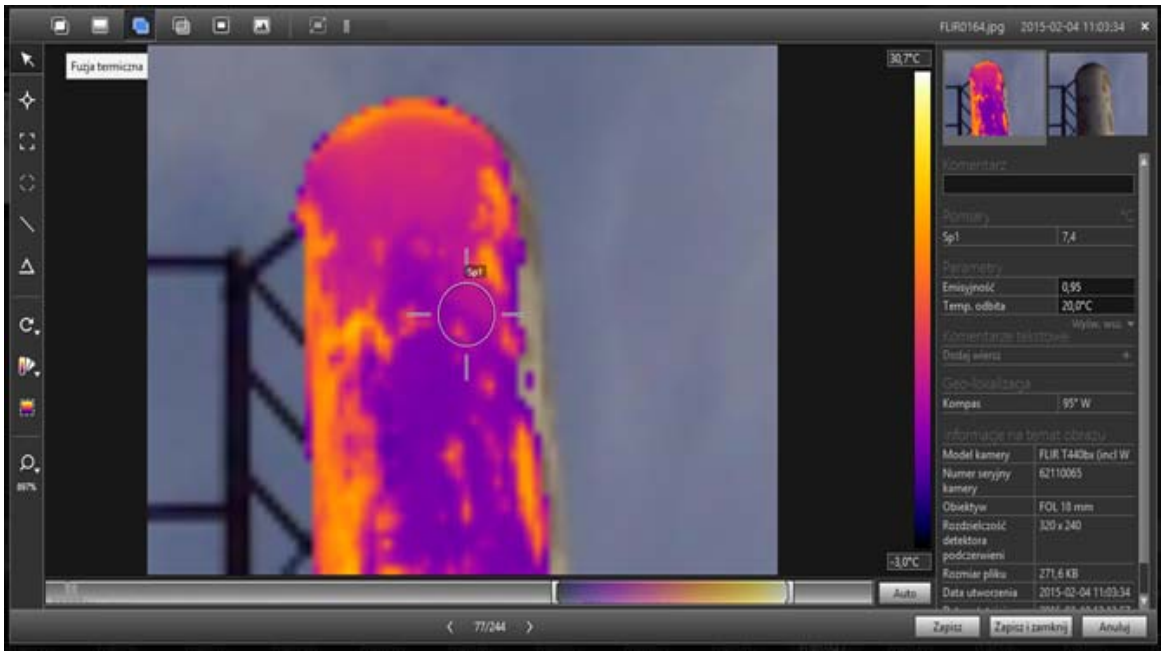


Fig. 6. Thermal fusion of the top of the steel chimney

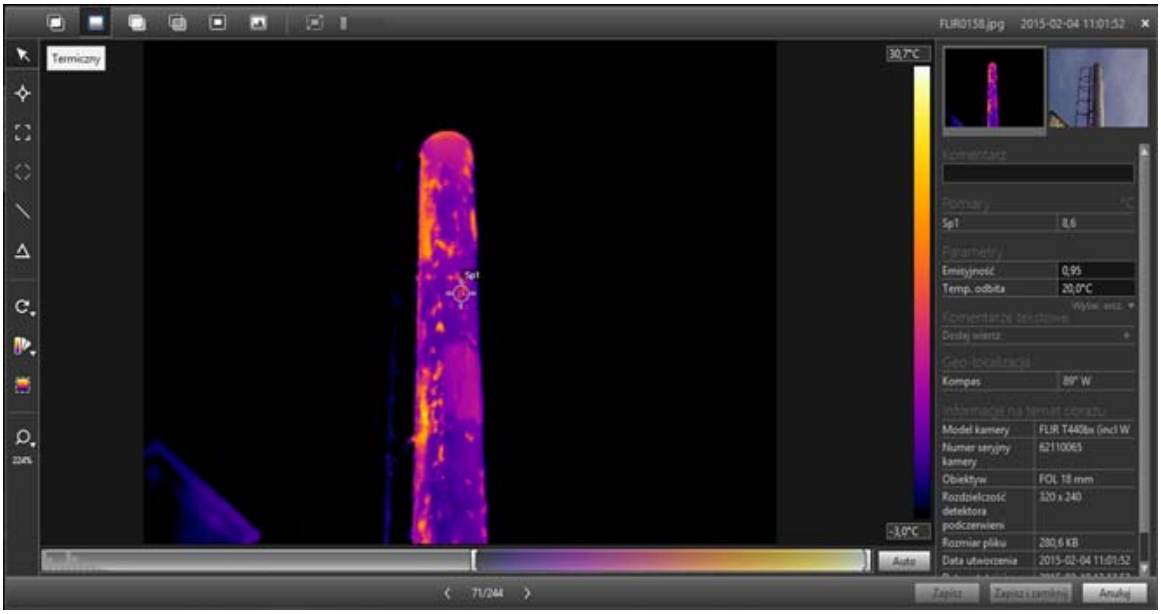
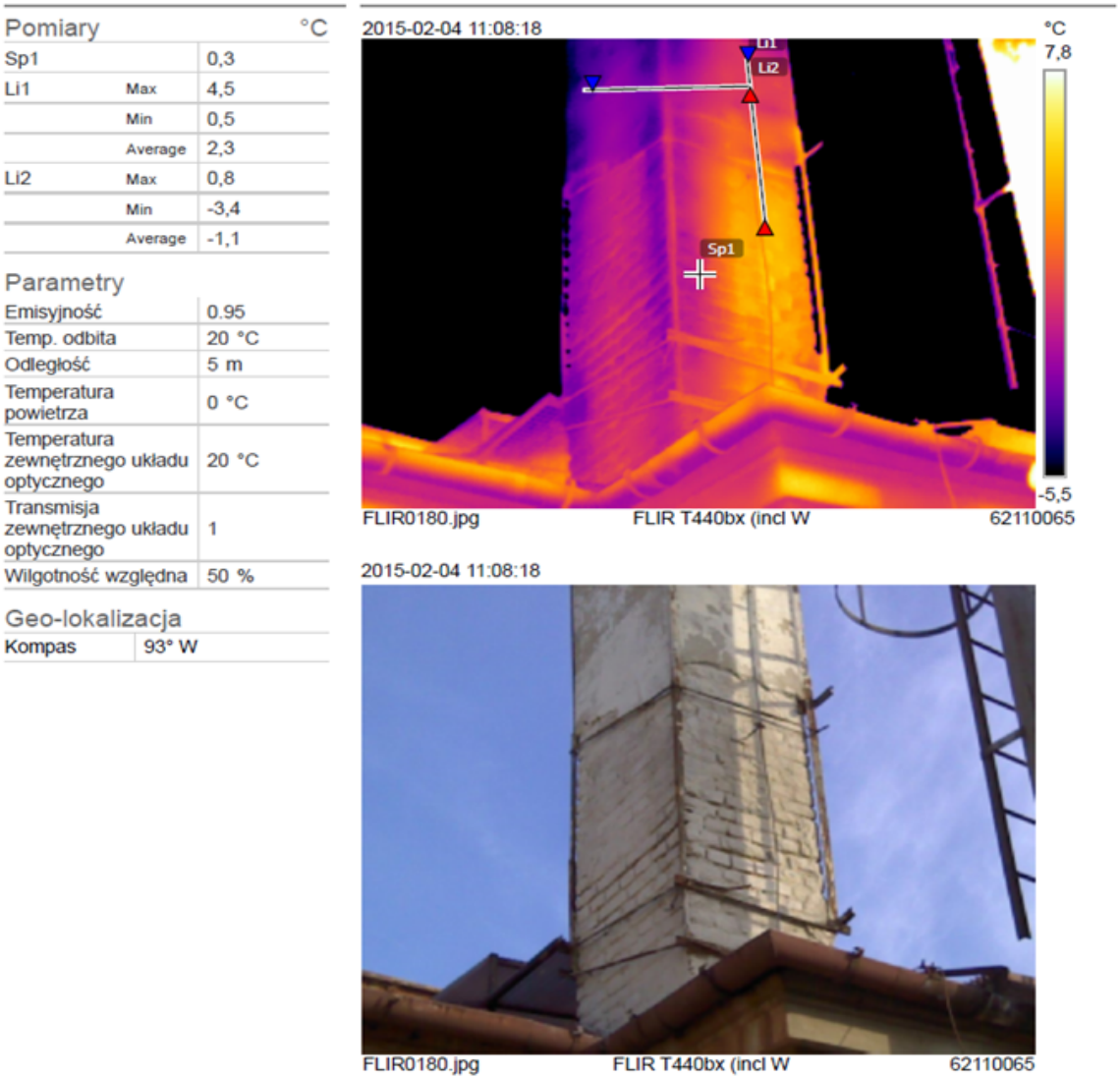


Fig. 7. Thermal image of the steel chimney

Another object of the tests and measurements is a brick chimney located in the same building near the previously described steel chimney. The date of measurements with infrared camera of the brick chimney is February 4, 2015 at 11.08 on the sunny weather. Emissivity, distance, transmission of the external optic system and other parameters remained unchanged. Again, the report of camera test presented in Fig.8 was prepared.



Pomiary		°C
Sp1		0,3
Li1	Max	4,5
	Min	0,5
	Average	2,3
Li2	Max	0,8
	Min	-3,4
	Average	-1,1

Parametry	
Emisyjność	0.95
Temp. odbita	20 °C
Odległość	5 m
Temperatura powietrza	0 °C
Temperatura zewnętrznego układu optycznego	20 °C
Transmisja zewnętrznego układu optycznego	1
Wilgotność względna	50 %

Geo-lokalizacja	
Kompas	93° W

Fig. 8. Report regarding the brick chimney

The report in Fig. 8 shows that the temperature range is from -5.5 to 7.8 ° C. The temperature distribution on the brick chimney is very regular; there are no big differences in temperatures. This can be observed concerning the temperature range in which the amplitude is significantly lower than in the case of the steel chimney. Additionally, the measurement points were marked, in „Sp1" the temperature is 0.3 ° C. Using the camera's capability, linear measurement of the temperature distribution on the surface of the object was made. These lines were successively marked with symbols "Li1" and "Li2." This feature allows for more accurate temperature reading. In the case of "Li1" the temperature was measured at the beginning and at the end of the line, the maximum temperature is 4.5 ° C and the minimum 0.5 ° C while the average temperature in this section is 2.3 ° C. For the "Li2" section, the maximum temperature is 0.8 ° C and minimum -3,4 ° C. The average temperature of this section is -1.1 ° C.

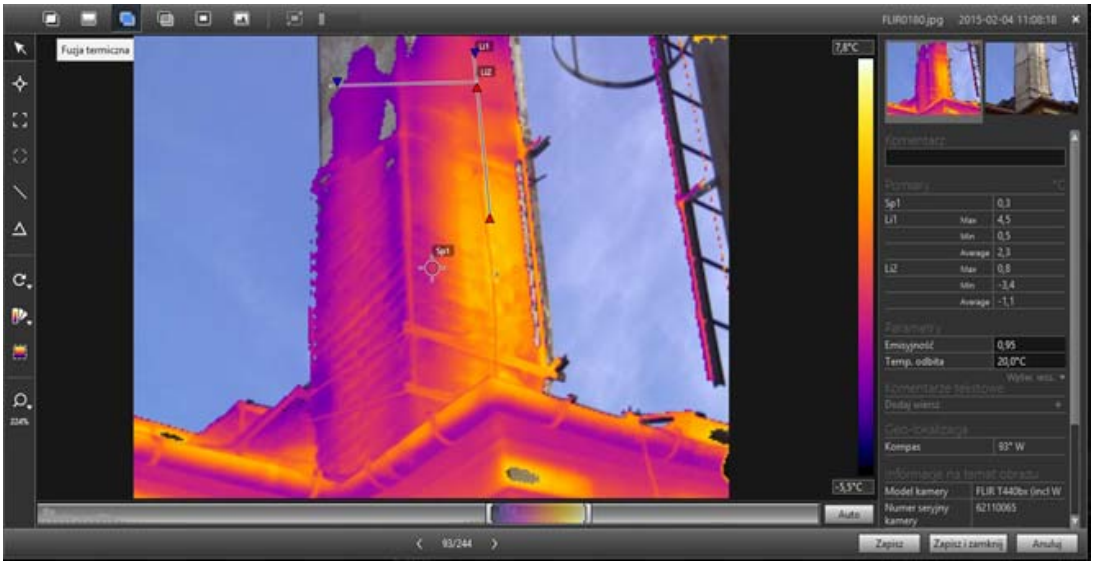


Fig. 9. Thermal fusion of the brick chimney

Figure 9 shows the thermal fusion. In the photo the extremes of temperature are not indicated. It is thus noticeable which areas have the highest and which the lowest temperature. In this photo the highest temperature occurs on the steel chimney that was in that part of the image presented as an ordinary digital image. The lowest temperature is maintained at the left side of the brick chimney. Places marked in yellow are the spots reaches by greater amounts of sunshine.

The heat penetration shown in Fig, 10 has the same temperature range as in the case of the other images relating to the brick chimney. The figure shows also the sections determined by the thermal imaging camera. Under "Sp1", the temperature is 0.3 ° C. In the "Li1" section, the highest temperature recorded was 4.5 ° C, and the lowest was 0.5 ° C. The average temperature for this section was 2.3 ° C. For the "Li2" section, the maximum value recorded was 0.8 ° C while the lowest was -3.4 ° C and the average temperature for the "Li2" section is equal -1.1 ° C.

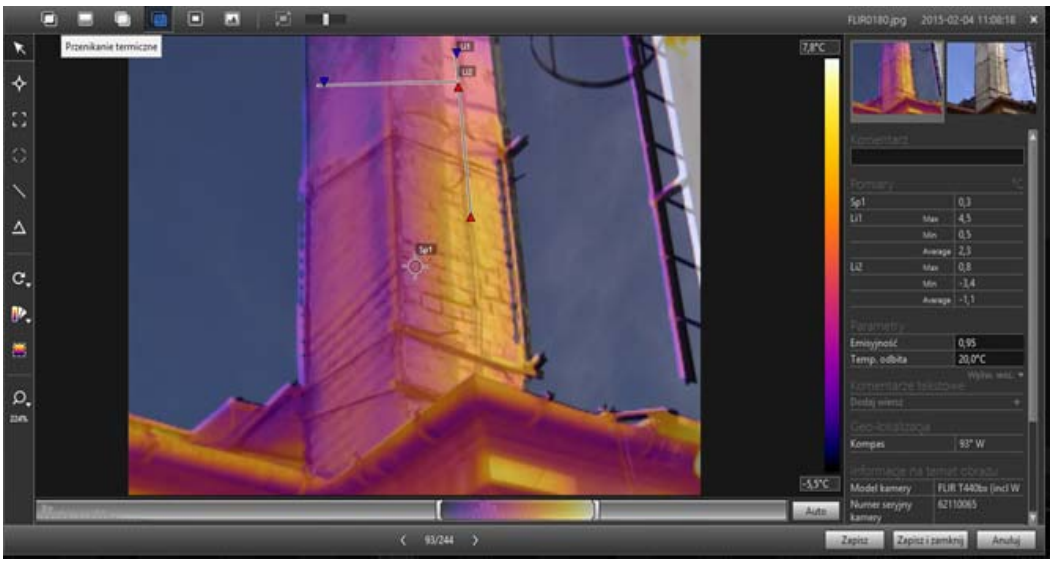


Fig. 10. Heat transfer in the case of the brick chimney

During the performance of the tests 5 measurement stations were used, enabling the correct processing of received measurements. Comparison and analysis of the generated thermal images in terms of temperature

distribution, maximum and minimum values made it possible to determine the general condition of the structure of each of the chimneys. They were determined The places where there are defects and irregularities causing a leak of objects' walls were determined [1].

The studies demonstrated that the brick chimney that was subject to analysis was characterised by proper insulation, the temperature distribution on its surface was regular despite visible cavities in the structure. On the basis of the thermal images could also be concluded that the chimney was not used at the time of measurement. On the second of the analysed chimneys, made of steel, there were observed defects in the surface layer designed to protect the facility against corrosion. In areas of chipping paint there were significant differences in values between the isotherms of up to 27 ° C.

Conclusions

The reasons for any errors of thermal imaging measurement methods during these tests may include an error related to incorrect estimation of the object emissivity. The capabilities of the camera should be also taken into account as it is not always possible to accurately and remotely measure the temperature of the object and to eliminate the influence of an incorrect estimation of emissivity on the measurement accuracy. Another issue that should be taken into consideration is the impact of the ambient radiation reflected by the tested object. The importance of this radiation increases the more, the lower the emissivity of the object is. The measurements are the basis for the beginning of the repairment or safety work of the objects under study. The occurring defects such as cracks and damage to the material were determined, which are not visible in direct observation. The obtained values of the measurement results will feed a database used by the authors to verify the simulation analysis of heat transfer in numerous unique elements of construction objects.

References

1. Albatici R., Tonelli A.M., Chiogna M., A comprehensive experimental approach for the validation of quantitative infrared thermography in the evaluation of building thermal transmittance. Applied Energy, 141(1), 2015, 218–228, http://dx.doi. org/10.1016/j.apenergy.2014.12.035.

2. Kylili A., Fokaides P.A., Christou P., Kalogirou S.A., Infrared thermography (IRT) applications for building diagnostics: A review. Applied Energy, 134(12), 2014, 531–549, http://dx.doi. org/10.1016/j.apenergy.2014.08.005.

3. Lehmann B., Wakili K.G., Frank Th., Collado B.V., Tanner Ch., Effects of individual climatic parameters on the infrared thermography of buildings. Applied Energy, 110(10), 2013, 29–43, http:// dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.03.066.

4. Ohlsson K.E.A., Olofsson T., Quantitative infrared thermography imaging of the density of heat flow rate through a building element surface. Applied Energy, 134(12), 2014, 499–505, http://dx.doi. org/10.1016/j.apenergy.2014.08.058.

5. Urzędowski A., Wójcicka-Migasiuk D., Visual analysis of heat transport in unique object, ADVANCES IN SCIENCE AND TECHNOLOGY RESEARCH JOURNAL - 2015, nr 28, vol. 9, s. 153–159

6. Zou H., Huang F., A novel intelligent fault diagnosis method for electrical equipment using infrared thermography. Infrared Physics and Technology, 73(11), 2015, 29–35, http://dx.doi.org/10.1016/j. infrared.2015.08.019.

7. FLIR System, Inc., User's manual Flir R&D Software 3.3, 2014, 80–84.

Рецензія/Peer review : 14.5.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф.. Параска Г.Б.

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 677.017.8

О.М. ГУЩАК
Львівський інститут економіки і туризму
Б.Д. СЕМАК
Львівська комерційна академія

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЯКОСТІ ПОФАРБУВАНЬ РОСЛИННИМИ ТА КИСЛОТНИМИ БАРВНИКАМИ НА РІЗНОВОЛОКНИСТИХ ПЛАТТЯНИХ ТКАНИНАХ

Як відомо, в текстильному виробництві багатьох зарубіжних країн в останні роки чітко намітилась тенденція зростання обсягів виробництва та розширення асортименту пофарбованих рослинними барвниками текстильних матеріалів одягового та інтер'єрного призначення. Наскільки популярними виявились ці матеріали на зарубіжних ринках текстилю та одягу свідчить той факт, що в деяких європейських країнах при обмежених земельних ресурсах створені спеціалізовані компанії, які займаються вирощуванням елітних видів рослинних барвників текстильного призначення, їх первинною переробкою та фарбуванням ними текстильних матеріалів і виробів.

При цьому, мова йде не про відродження забутих технологічно-рецептурних режимів фарбування текстильних матеріалів рослинними барвниками, а про створення принципово нових видів елітних екологобезпечних текстильних матеріалів і виробів з використанням рослинних барвників замість токсичних марок синтетичних барвників.

Не дивлячись на очевидну доцільність і перспективність використання рослинних барвників у різних підгалузях вітчизняного текстильного виробництва і наявність їх значних запасів в нашій країні (особливо в дикорослій сфері лісового господарства), ці барвники на наших текстильних підприємствах застосовуються ще обмежено.

В даній роботі ми обмежились тільки порівняльною характеристикою якості пофарбувань платтяних вовняних, шовкових і капронових тканин, пофарбованих аналогічними за призначенням рослинними та кислотними барвниками.

Ключові слова: якість пофарбувань, рослинні барвники, найлоколи, світлостійкість пофарбувань, колірна гама, платтяні тканини.

O.M. HUSCHAK
Lviv Institute of Economics and Tourism
B.D. SEMAK
Lviv Academy of Commerce

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE PAINTING QUALITY OF VEGETABLE AND ACIDIC DYES ON DIFFERENT FIBROUS TISSUES

As is known, in the textile industry of many foreign countries in recent years clearly has been a tendency of growth of volumes of production and expand the range colored with vegetable dyes textile materials and interior appointments. How popular were these materials in overseas markets of textiles and clothing is evidenced by the fact that in some European countries with limited land resources created by specialized companies that are engaged in the cultivation of elite vegetable dyes from the textile industry, their primary processing and painting them, textile materials and products.

At the same time, we are not talking about the revival of forgotten technologically prescription modes of dyeing textile materials with natural dyes and the creation of fundamentally new types of ecologically safe textile materials and products using plant-based dyes instead of toxic brands of synthetic dyes. Despite the obvious desirability and prospects of using vegetable dyes in various sub-sectors of the domestic textile production and the availability of their substantial reserves in our country (especially in decorously forestry), these dyes in our textile plants are still limited. In this paper, we included only comparative characteristics of the quality of dyes, a wool, silk and nylon fabrics dyed the same for the purpose of vegetable and acid dyes.

Key words: the quality of dyes, vegetable dyes, nilokai, light fastness, colours, colours, dress fabrics.

Постановка проблеми

Як свідчить аналіз літературних джерел [1, 2, 3] та результатів наших досліджень [4, 5, 6], більш широке використання рослинних барвників у практиці роботи вітчизняного текстильного виробництва визначає:

- проведення всесторонніх комплексних товарознавчих і маркетингових досліджень асортименту, властивостей, рівня якості та безпечності текстильних матеріалів і виробів, пофарбованих рослинними барвниками;
- виявлення та обґрунтування конкурентних переваг цих матеріалів на вітчизняному та зарубіжних ринках;
- комплексної оцінки асортиментної структури і властивостей наявних в Україні рослинних барвників текстильного призначення.

На нашу думку, вже давно назріла потреба проведення державної інвентаризації реальних запасів цих барвників у сферах сільського та лісового господарства а також отримання їх із невикористаних відходів окремих галузей промисловості (харчової, фармацевтичної, деревообробної, меблевої та інших).

Окрім цього, існує потреба в встановленні державної та галузевої статистичної звітності про структури запасів рослинних барвників України та їх промислове використання, як одного із цінних екологічно безпечних видів сировини, яка може бути використана у різних галузях промисловості (текстильній, харчовій, фармацевтичній, парфумерно-косметичній та інших), а також як перспективний об'єкт експорту на зарубіжні ринки.

Більше того, враховуючи великий попит і популярність рослинних барвників текстильного призначення на зарубіжних ринках, представляється доцільним провести поглиблені товарознавчі дослідження їх асортименту та властивостей, а саме:

- виявити серед них найбільш цінні елітні види, які характеризуються унікальними властивостями (атмосферостійкістю, біоцидністю, широтою колірної гами пофарбувань, економічністю заготівлі та вирощування та інші);
- обґрунтувати можливість і економічну доцільність вирощування у сферах вітчизняного сільського та лісового господарства елітних видів рослинних барвників не тільки для потреб текстильного виробництва, але й для експорту, як це прийнято у деяких зарубіжних країнах.

Окрім цього, оскільки деякі рослини-барвники володіють поліфункціональними властивостями (одночасно фарбувальними, лікувальними, харчовими, дубильними, інсектицидними, та іншими), то виникає потреба визначення і обґрунтування їх пріоритетного використання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Судячи з аналізу літературних джерел [1, 2, 3, 7], товарознавчі, матеріалознавчі та технологічні дослідження, які проводяться галузевими науково-дослідними установами і вузами сфери текстильної та легкої промисловості та торгівлі щодо рослинних барвників, націлені в основному на вирішення наступних завдань:

- пошук, заготівлю та використання нових видів рослин-барвників текстильного призначення;
- виявлення переваг і недоліків рослинних барвників текстильного призначення та обґрунтування сфер їх найбільш раціонального використання на вітчизняних текстильних підприємствах;
- обґрунтування рецептурно-технологічних режимів фарбування рослинними барвниками текстильних матеріалів різного цільового призначення, волокнистого складу та способів виробництва;
- дослідження зносостійкості, гігієнічності, безпечності та художньо-естетичного оформлення текстильних матеріалів, пофарбованих рослинними барвниками. Для прикладу, розглянемо деякі із названих робіт.

Автором роботи [1] сформульовані та обґрунтовані теоретично-методологічні основи формування асортименту та якості одягових тканин, пофарбованих різними видами рослинних барвників. Вивчена роль виду рослинного барвника, виду протравлювача, способу протравлювання та виду субстрату у формуванні колірної гами пофарбувань та їх стійкості до дії різних фізико-хімічних чинників (світла, мокрих обробок, хімічних реагентів та підвищеної температури).

В роботі [7] дана порівняльна характеристика якості пофарбувань, отриманих на сорочково-платтяних лляних тканинах деякими видами рослинних і марками активних барвників. Вивчена роль виду рослинного барвника, виду протравлювача та марки активного барвника у формуванні колірної гами пофарбувань та їх атмосферостійкості. Обґрунтована можливість використання рослинних барвників для фарбування ними лляних сорочково-платтяних тканин за холодною технологією.

В роботі [8] доведено перспективність використання рослинних барвників для фарбування текстильних матеріалів. Вказано чинники зменшення застосування синтетичних барвників у майбутньому, наведено основні напрямки й шляхи розширення та необхідності використання рослинних барвників для підвищення екологічної безпеки текстильних матеріалів одягового та інтер'єрного призначення.

В роботі [9] дана характеристика властивостей антимікробних рослинних барвників для фарбування текстильних матеріалів дитячого асортименту. Вивчено хімічний склад і властивості цих барвників (календули, ялівцю та марени фарбувальної) і обґрунтувати доцільність їх використання.

Мета роботи: дати порівняльну характеристику якості пофарбувань на платтяних вовняних, шовкових і капронових тканинах, пофарбованих аналогічними за призначенням рослинними та кислотними барвниками та обґрунтувати доцільність більш широкого використання у вітчизняній текстильній промисловості рослинних барвників.

Викладення основного матеріалу та його авторська трактовка

Об'єктами дослідження при реалізації названої мети служили:

- три варіанти платтяних тканин: чисто вовняна камвольна тканина арт.1144, чисто шовкова тканина арт.11023 і чисто капронова тканина арт.52013;
- для фарбування цих тканин були обрані екстракти із шести видів наступних рослин-барвників: сухої трави гірчака перцевого, сухої трави кермека Гмеліна, сухих ягід глоду, кори черемхи, сухих листків черемхи і кореня ревеню; концентрація названих екстрактів у фарбувальних ваннах встановлювалась в залежності від їх фарбувальної здатності і необхідності досягнення близької насиченості пофарбувань на досліджуваних тканинах;
- досліджувані тканин були пофарбовані також за трьома рецептами найлоколів (торгова марка кислотних барвників, затверджена ДП «Хімтекс» м. Херсон).

Рецептура фарбування досліджуваних тканин наведена в табл. 1, а результати оцінки якості пофарбувань на цих тканинах – в табл. 2, 3, 4.

Таблиця 1

Рецептура фарбування досліджуваних тканин

№ рец.	Назва екстракту рослинного барвника	Концентрація барвника у ванні, г/л	№ рец	Назва найлокола (торгова марка кислотного барвника, затвердженої ДП «Хімтекс» Херсон)	Концентрація барвника у ванні, % від маси тканини
1	Трава гірчака перцевого	25*	1	Найлокол жовтий Е сульфат натрію оцтова кислота	2 10 5
2	Трава кермека Гмеліна	80			
3	Ягоди глоду	130	2	Найлокол оранжевий: Найлокол жовтий Е Найлокол коричневий Е сульфат натрію оцтова кислота	1,9 0,1 10 5
4	Кора черемхи	25			
5	Листя черемхи	60	3	Найлокол коричневий Е сульфат натрію оцтова кислота	2 10 5
6	Корінь ревеню	25			

Для оцінки якості пофарбувань досліджуваних тканин були обрані показники:

- кольору та відтінку пофарбування, визначені візуально за атласом кольорів;
- світлоти, насиченості та колірного тону пофарбувань, визначені спектроколометричним методом при використанні спектрофотометра Пульсар;
- стійкості пофарбувань до дії сонячної радіації, прання, хімічного чищення і прасування, визначені названим спектрофотометричним методом (показниками загального колірного контрасту).

Зупинимось на більш детальному аналізі результатів оцінки якості пофарбувань, отриманих на досліджуваних тканинах, обраними видами рослинних барвників і марками найлоколів (табл. 2, 3, 4)

Таблиця 2

Вплив фарбування платтяних вовняних, шовкових і капронових тканин кислотними і рослинними барвниками на формування колірної гами пофарбувань

№ з/п	Назва тканини та барвника	Характеристика колірної гами пофарбувань				
		візуальна		спектроколометрична		
		колір і відтінок	код за атласом	світло-та,L	насиченість, S	Колірний тон, T
1	2	3	4	5	6	7
1	Вовняна тканина пофарбована:					
	найлоколом жовтим Е	жовтий	020208*)	74,9	89,3	93,7
	найлоколом оранжевим Е	оранжевий	100607	42,9	65,4	44,3
	найлоколом коричневим Е	коричневий	100802	31,0	8,5	56,4
	екстрактом сухої трави **гірчака перцевого**	Коричнево-жовтий	050604	48,1	23,9	75,8
	екстрактом сухої трави **кермека Гмеліна**	Коричневий з оранжевим відтінком	070804	39,8	21,4	63,6
	екстрактом сухих **ягід глоду**	Коричнево-оранжевий	050605	51,4	22,6	71,3
	екстрактом **кори черемхи**	Темно-оранжевий	080705	41,7	31,5	59,9
	екстрактом **листків черемхи**	Жовто-оливковий	040506	51,5	24,8	82,6
	екстрактом **кореня ревеню**	Темний золотистий	020408	56,9	34,3	90,1
2	Шовкова тканина пофарбована:					
	найлоколом жовтим Е	жовтий	010208	79,1	62,2	104,0
	найлоколом оранжевим Е	оранжевий	080506	63,3	38,4	57,6
	найлоколом коричневим Е	коричневий	070902	32,1	9,1	48,4
	екстрактом сухої трави **гірчака перцевого**	Коричнево-жовтий	050504	52,3	23,7	73,8
	екстрактом сухої трави **кермека Гмеліна**	Коричневий з жовтим відтінком	070704	49,9	21,0	65,5
	екстрактом сухих **ягід глоду**	Коричнево-оранжевий	050504	60,4	23,5	74,9
	екстрактом **кори черемхи**	Темно-оранжевий	080704	43,7	28,5	58,4
	екстрактом **листків черемхи**	Світло-бежевий	040404	63,5	19,9	87,3
	екстрактом **кореня ревеню**	Темний золотисто-зеленуватий	020507	52,7	31,9	88,1

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
3	Капронова тканина пофарбована:					
	найлоколом жовтим Е	жовтий	010208	63,4	58,7	103,7
	найлоколом оранжевим Е	оранжевий	080508	48,6	38,9	59,9
	найлоколом коричневим Е	коричневий	171001	26,3	5,8	39,1
	екстрактом сухої трави **гірчака перцевого**	Коричнево-лимонний	030304	59,6	14,6	93,5
	екстрактом сухої трави **кермека Гмеліна**	Бежевий	060403	55,3	13,2	71,3
	екстрактом сухих **ягід глоду**	Світло-бежевий	050203	61,0	5,7	86,7
	екстрактом **кори черемхи**	Оранжево-сіруватий	080503	48,4	19,4	63,7
	екстрактом **листків черемхи**	Лимонний	020304	62,0	12,2	102,6
	екстрактом **кореня ревеню**	Лимонно-жовтий	010207	59,6	29,7	98,5

Примітка *)у позначенні кольорів і відтінків пофарбувань тканин шестизначним кодом перші два знаки відповідають колірному тону (номеру карти атласу), наступні два – номеру відтінку за насиченістю, а останні два – ступеню світлоти.

На основі аналізу даних табл. 2 можна зробити наступні узагальнюючі висновки:

- використання оцінки за атласом кольорів і спектрофотометричної оцінки за світлотою, насиченістю та колірним тоном дозволяє об'єктивно оцінити широту колірної гами пофарбувань на досліджуваних тканинах, отриманих аналогічними за призначенням кислотними та рослинними барвниками;
- обрані види рослинних барвників, на відміну від найлоколів, характеризуються неоднаковою фарбувальною здатністю, що для досягнення заданої насиченості пофарбувань ними вимагає регулювання їх концентрації у фарбувальній ванні (табл. 1);
- показники колірних характеристик пофарбувань досліджуваних тканин (колірного тону, насиченості та світлоти) в основному узгоджуються із кодовими позначеннями кольорів і відтінків цих пофарбувань і свідчать про ширшу колірну гаму пофарбувань, отриманих на цих тканинах обраними рослинними барвниками.

Однією із ключових характеристик якості пофарбувань досліджуваних платтяних тканин безперечно є їх світлостійкість. Тому необхідно було дати порівняльну характеристику стійкості до тривалої дії сонячної радіації пофарбувань, отриманих на досліджуваних тканинах окремими марками найлоколів і окремими видами рослинних барвників. Отримані результати досліджень наведені у табл. 3

Таблиця 3

Вплив фарбування платтяних вовняних, шовкових і капронових тканин кислотними і рослинними барвниками на формування світлостійкості їх пофарбувань

№ з/п	Назва тканини та барвника	Загальний колірний контраст (од. ΔE), після сонячного опромінення,год		
		100	200	300
1	2	3	4	5
1	Вовняна тканина пофарбована:			
	найлоколом жовтим Е	0,7	2,0	2,9
	найлоколом оранжевим Е	1,9	2,2	3,9
	найлоколом коричневим Е	0,9	1,1	2,0
	екстрактом сухої трави **гірчака перцевого**	4,2	5,1	6,3
	екстрактом сухої трави **кермека Гмеліна**	3,7	6,9	11,2
	екстрактом сухих **ягід глоду**	2,5	2,6	2,8
	екстрактом **кори черемхи**	3,5	4,2	5,3
	екстрактом **листків черемхи**	1,4	1,5	1,6
	екстрактом **кореня ревеню**	2,1	11,2	16,1
2	Шовкова тканина пофарбована:			
	найлоколом жовтим Е	0,5	1,1	5,2
	найлоколом оранжевим Е	0,4	0,8	3,4
	найлоколом коричневим Е	0,6	0,7	1,4
	екстрактом сухої трави **гірчака перцевого**	4,2	5,1	6,3
	екстрактом сухої трави **кермека Гмеліна**	4,7	8,2	11,6
	екстрактом сухих **ягід глоду**	2,3	2,5	5,6
	екстрактом **кори черемхи**	4,2	4,9	5,6
	екстрактом **листків черемхи**	1,7	3,3	3,4
	екстрактом **кореня ревеню**	13,9	14,1	15,1

Продовження табл. 3

1	2	3	4	5
3	Капронова тканина пофарбована:			
	найлоколом жовтим Е	2,4	4,8	6,5
	найлоколом оранжевим Е	1,9	4,1	6,8
	найлоколом коричневим Е	1,4	1,7	1,9
	екстрактом сухої трави **гірчака перцевого**	4,2	5,1	6,3
	екстрактом сухої трави **кермека Гмеліна**	3,5	5,2	7,2
	екстрактом сухих **ягід глоду**	6,2	6,8	7,8
	екстрактом **кори черемхи**	4,9	7,9	10,5
	екстрактом **листків черемхи**	2,1	3,5	5,6
	екстрактом **кореня ревеню**	5,5	7,4	8,3

Аналіз даних табл. 3 дозволяє зробити основний і однозначний висновок про те, що отримані на основі обраних нами екстрактів рослинних барвників пофарбування на платтяних вовняних, шовкових і капронових тканих практично мало поступаються за своєю світлостійкістю пофарбуванням на цих тканинах, отриманим аналогічними за призначенням найлоколами.

При цьому виявлено певний вплив окремих екстрактів рослинних барвників і субстрату самих тканин на формування світлостійкості їх пофарбувань. Так, наприклад, на вовняній платтяній тканині найбільш світлостійкі пофарбування досягаються після її фарбування екстрактами листків черемхи і ягід глоду. Наприклад, якщо після 300 год. сонячного опромінення загальний колірний контраст на пофарбованій названими екстрактами тканині становлять відповідно 1,6 і 2,8 од. ΔE , то після фарбування найлоколом жовтим Е і коричневим Е він становить відповідно 2,9 і 2,0 од. ΔE (табл. 3).

Дещо нижчою виявилась світлостійкість пофарбувань при фарбуванні названими барвниками шовкових і особливо капронових тканин. Наприклад, якщо після 300 год. сонячного опромінення загальний контраст на пофарбованій екстрактами листків черемхи та ягід глоду шовкових тканин він становить відповідно 3,4 і 5,6 од. ΔE, то пофарбований найлоколом жовтим Е і коричневим Е він становить 5,2 і 1,4 од. ΔE.

Саму низьку світлостійкість пофарбувань виявлено на вовняних, шовкових і капронових платтяних тканинах після фарбування їх екстрактами кореня ревеню та трави кермека Гмеліна.

Порівнюючи наведені у табл. 3 абсолютні значення показників світлостійкості пофарбувань досліджуваних тканин із нижньою межею знебарвлення пофарбувань текстильних матеріалів під дією світлопогоди, яка оцінюється контрастом 8 од. ΔE або двома балами темної шкали сірих еталонів [10], екстракти листків черемхи, ягід глоду, кори черемхи і трави гірчака перцевого, як і обрані марки найлоколів, гарантують отримання на досліджуваних тканинах світлостійких пофарбувань.

В табл. 4 дана порівняльна характеристика пофарбувань досліджуваних тканин найлоколами та рослинними барвниками до дії прання, хімічного чищення та прасування. При цьому ставилось завдання виявити найбільш перспективні види рослинних барвників, придатних для фарбування платтяних тканин різного волокнистого складу і реальних умов експлуатації. При цьому моделювання реальних умов побутового прання , хімічного чищення та прасування досліджуваних тканин проводилось за раніше описаною методикою [11].

Як видно із аналізу даних табл. 4, стійкість пофарбувань на досліджуваних тканинах залежить не тільки від марки обраного найлоколу і виду рослинного барвника, але й кількості прання, хімічних чищень та тривалості прасування цих тканин. Це дозволяє цілеспрямовано підбирати необхідні види рослинних барвників із врахуванням конкретних умов експлуатації виробів із цих тканин. При цьому виявлені деякі особливості знебарвлювання досліджуваних тканин в процесі їх прання, хімічного чищення та прасування. Передусім в процесі прання стійкість пофарбувань в 2–4 рази знижується більше, ніж при хімічному чищенні цих тканин. Це підтверджує доцільність в процесі експлуатації виробів із досліджуваних тканин використовувати хімічне чищення замість їх повторного прання.

Встановлено, що із 6-и видів обраних для фарбування платтяних тканин рослинних барвників найбільш стійкими до прання виявились екстракти із сухих ягід глоду і сухих листків черемхи. Наприклад, якщо після 10 прання на пофарбованій найлоколом жовтим Е і найлоколом коричневим Е вовняній тканині загальний колірний контраст пофарбування становить відповідно 4,5 і 4,9 од. ΔE, то на пофарбованих екстрактами ягід глоду та листків черемхи вовняної тканини він становить відповідно 6,7 і 6,5 од. ΔE. Ця закономірність зберігається і на шовкових тканинах, пофарбованих названими барвниками.

Більш стійкими до прання, на відміну від вовняних і шовкових тканин, виявились пофарбовані найлоколами і рослинними барвниками капронові тканин. Так, наприклад, якщо після 10 прання загальний колірний контраст на пофарбованих найлоколом жовтим Е і найлоколом коричневим Е капроновій тканині становить відповідно 3,2 і 3,3 од. ΔE, то на пофарбованих екстрактами ягід глоду, листків черемхи і трави гірчака перцевого на капроновій тканині він становить відповідно 6,5; 4,0 і 4,1 од. ΔE. Найменш стійкими до багаторазового прання виявились пофарбування на вовняних, шовкових і капронових тканинах, отриманих екстрактами кореню ревеню, що підтверджує недоцільність його використання для фарбування названих тканин.

Таблиця 4

Вплив фарбування платтяних вовняних, шовкових і капронових тканин кислотними і рослинними барвниками на стійкість їх пофарбувань до прання, хімічного чищення та прасування

№ з/п	Назва тканини та барвника	Загальний колірний контраст (од.ΔE) після дії на пофарбовані тканини:								
		кількості прання			кількості хімічних чищень			тривалості прасувань, с		
		5	10	5	10	5	10	15	20	25
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Вовняна тканина пофарбована:									
	найлоколом жовтим Е	3,3	4,5	1,3	1,8	0,5	1,1	1,7	2,1	2,4
	найлоколом оранжевим Е	4,3	5,9	1,7	2,1	0,9	1,6	2,1	2,6	2,9
	найлоколом коричневим Е	3,9	4,9	1,5	1,9	0,7	1,4	1,9	2,3	2,7
	екстрактом сухої трави **гірчака перцевого**	4,9	7,3	1,1	1,8	0,5	0,9	1,5	1,8	2,1
	екстрактом сухої трави **кермека Гмеліна**	8,9	10,3	1,7	2,4	0,4	0,6	0,8	0,9	1,2
	екстрактом сухих **ягід глоду**	4,9	6,7	0,9	1,4	0,7	1,1	1,7	2,2	2,4
	екстрактом **кори черемхи**	9,1	11,5	1,6	2,3	0,6	0,7	0,9	1,0	1,3
	екстрактом **листків черемхи**	4,7	6,5	1,2	1,6	0,6	1,0	1,6	2,0	2,4
	екстрактом **кореня ревеню**	8,7	10,6	1,5	2,3	0,5	0,7	1,2	1,5	1,8
2	Шовкова тканина пофарбована:									
	найлоколом жовтим Е	2,6	3,1	0,5	0,9	0,7	0,9	2,0	2,8	3,8
	найлоколом оранжевим Е	2,9	3,6	0,9	2,4	2,1	1,6	2,7	3,3	4,4
	найлоколом коричневим Е	2,7	3,4	0,7	2,1	0,9	1,3	2,3	3,1	4,1
	екстрактом сухої трави **гірчака перцевого**	3,6	4,1	1,2	1,6	0,8	0,9	2,0	3,5	5,1
	екстрактом сухої трави **кермека Гмеліна**	3,5	4,9	1,6	2,1	0,8	0,9	2,0	3,2	4,6
	екстрактом сухих **ягід глоду**	2,1	2,9	0,8	0,9	1,2	1,4	2,5	3,5	5,2
	екстрактом **кори черемхи**	4,4	5,7	1,3	1,9	1,4	1,6	2,7	3,5	5,4
	екстрактом **листків черемхи**	2,8	3,5	0,8	1,2	0,9	1,1	2,2	3,1	4,8
	екстрактом **кореня ревеню**	9,1	13,1	1,4	1,9	0,7	1,2	2,6	3,8	5,4
3	Капронова тканина пофарбована:									
	найлоколом жовтим Е	2,8	3,2	1,2	1,4	0,5	0,9	1,2	1,4	1,8
	найлоколом оранжевим Е	3,1	3,5	1,5	1,9	0,9	1,4	1,6	1,8	2,2
	найлоколом коричневим Е	2,9	3,3	1,3	1,7	0,7	1,2	1,4	1,6	2,0
	екстрактом сухої трави **гірчака перцевого**	3,2	4,1	1,2	1,6	0,4	0,9	1,3	2,0	2,1
	екстрактом сухої трави **кермека Гмеліна**	7,6	8,4	1,3	2,3	0,4	0,6	1,7	1,9	2,1
	екстрактом сухих **ягід глоду**	5,9	6,5	0,9	1,2	0,6	1,0	1,4	1,9	2,3
	екстрактом **кори черемхи**	3,2	4,1	1,4	1,9	0,5	0,6	1,2	1,6	2,0
	екстрактом **листків черемхи**	3,2	4,0	1,6	1,8	0,7	1,1	1,6	1,8	2,2
	екстрактом **кореня ревеню**	13,3	15,6	2,7	3,2	0,4	0,6	1,2	1,7	2,1

Оцінюючи стійкість пофарбувань на досліджуваних тканинах до дії багаторазового хімічного чищення слід відзначити, що вона виявилась практично однаковою на вовняних, шовкових і капронових тканинах, пофарбованих обраними найлоколами та екстрактами рослинних барвників (табл. 4).

Більш чутливими виявились пофарбування на досліджуваних тканинах (особливо капронових) до дії тривалого прасування цих тканин. При цьому оптимальною на всіх тканинах виявились тривалість прасування 5–10 с, незалежно від їх волокнистого складу та виду обраного барвника (рослинного чи синтетичного).

Той факт, що стійкість пофарбувань на капронових тканинах, пофарбованих обраними найлоколами та екстрактами рослинних барвників, виявилась значно нижчою, ніж на вовняних і шовкових тканинах, можна пояснити деякою термодеструкцією капронових волокон і їх пожовтінням при тривалому (15–25 с) прасуванні капронових тканин.

Загальні висновки

1. Порівняльна характеристика якості пофарбувань, отриманих на вовняних, шовкових і капронових платтяних тканинах деякими марками найлоколів і видів рослинних барвників дозволяє зробити однозначний висновок про доцільність і перспективність більш широкого використання у вітчизняному текстильному виробництві рослинних барвників текстильного призначення.

2. Запропоновано алгоритм формування якості пофарбувань найлоколами та екстрактами деяких видів рослинних барвників на платтяних тканинах різного волокнистого складу, що дозволило виявити переваги та недоліки цих пофарбувань та обґрунтувати сфери їх оптимального використання.

Література

1. Семак Б.Б. Наукові засади формування ринку рослинної технічної сировини та його окремих сегментів в Україні : монографія / Б.Б. Семак. – Львів : Видавництво Львівської комерційної академії, 2007. – 512 с.

2. Zarkogiani M. Colour and fastness of natural dyes: revival of traditional dyeing technigues / Zarkogiani M., Mikropolou E., Varella E., Tratsaroni E. // Colorat. Technol. – 2011. – 127. – № 1. – P. 18–27.

3. Семак З.М. Фарбування текстильних матеріалів рослинними барвниками : навчальний посібник / З.М. Семак, Б.Б. Семак. – Львів : Світ, 2005. –368 с.

4. Гущак О.М. Вплив виду рослинного барвника та протравлювача на світлостійкість костюмних тканин / О.М. Гущак // Вісник Львівської комерційної академії. – 2015. – № 15. – С.54-59. – (Серія товарознавча).

5. Гущак О.М. Оцінка ролі рослинних барвників у формуванні асортименту та якості екологобезпечного текстилю / О.М. Гущак, Б.Д. Семак // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 5. – Вип. 5. – С. 168–173.

6. Гущак О.М. Використання рослинних барвників для світлостабілізації шовкових і капронових платтяних тканин / О.М. Гущак., Б.Д. Семак // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький : Видавництво Хмельницького національного університету, 2015. – № 6. – С. 119–126.

7. Пахолюк О.В. Товарознавчі аспекти формування асортименту та якості лляних тканин : монографія / О.В. Пахолюк. – Луцьк : Видавництво Луцького національного технічного університету, 2011. – 186 с.

8. Пахолюк О. В. Роль рослинних барвників у підвищенні рівня екологічної безпеки одягових тканин / О.В. Пахолюк // Товарознавчий вісник Луцького національного технічного університету. – 2014. – № 7. – С. 68–75.

9. Доманова О.В. Обґрунтування можливості використання рослинних барвників для дитячого одягу / О.В. Доманова, Ю.М. Кириченко // Научные труды SWorld. – Иваново : Научный мир, 2015. – Выпуск 3 (40). Том 5. – С. 68–72.

10. Галик І.С. Проблеми формування та оцінювання екологічної безпечності текстилю : монографія / І.С. Галик, Б.Д. Семак. – Львів : Видавництво Львівської комерційної академії, 2014. – 488 с.

11. Гущак О.М. Оцінка впливу прання, хімічного чищення та прасування пофарбованих рослинними барвниками платтяних тканин на стійкість їх пофарбувань / О.М. Гущак, Б.Д. Семак // Вісник Львівського інституту економіки і туризму. – Львів : ЛІЕТ, 2016. – № 12. – С. 89–97. – (Серія Товарознавча).

Рецензія/Peer review : 17.5.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Стаття прорецензована редакційною колегією

УДК 675.024.43

В.А. ПАЛАМАР, О.Р. МОКРОУСОВА
Київський національний торговельно-економічний університет
О.А. ОХМАТ
Київський національний університет технологій та дизайну

ТЕРМОСТІЙКІ ВЛАСТИВОСТІ ШКІР, ОТРИМАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДИФІКОВАНОГО МОНТМОРИЛОНІТУ

У статті наведено результати досліджень термічних властивостей шкір, дублення яких виконано з використанням модифікованих дисперсій монтморилоніту та зменшених витратах сполук хрому. Виявлено зміни температури початку термоокислювальної деструкції, втрати маси та енергії активації термодеструкційного процесу. Зменшення швидкості термодеструкції та підвищення енергетичних витрат свідчить про високий рівень стабілізуючої та структуруючої дії мінеральних дисперсій на колаген дерми. Використання для дублення шкір модифікованих дисперсій монтморилоніту дозволяє підвищити термостійкість шкір на 9–14 % при зменшенні витрат сполук хрому для дублення на 17–20 %.

Ключові слова: дублення, дисперсія, модифікація, монтморилоніт, хромовий дубитель, термостійкість, властивості шкір.

V.A. PALAMAR, O.R. MOKROUSOVA
Kiev National University of Trade and Economic
O.A. OKHMAT
Kiev National University of Technology and Design

THERMAL STABILITY OF LEATHER PRODUCED USING MODIFIED MONTMORILLONITE

The purpose of paper was to analyse the thermal properties of the leather, the tanning of which was made with chromium compounds and using modified montmorillonite dispersions. To detect the thermal stability, the sample of leather was used, the tanning of which was made using chrome tanning agents and combined use of chrome tanning agents and modified montmorillonite dispersions. The thermal investigations showed different thermal resistance for chromium montmorillonite tanned leathers and for those tanned with chromium compounds only. The differences manifest in a different starting temperature of thermal oxidative degradation, weight loss rate and the level of activation of thermal destruction process at various stages. The decreased thermal destruction rate and increased energy consumption are observed for the leather tanning with modified dispersions of montmorillonite, which is the evidence of the high stabilizing and structuring action of mineral dispersions on derma collagen. It has been proven that the use of modified dispersions of montmorillonite for leather tanning allows to increase thermal resistance of leathers versus chromium tanning process by 9–14 % and the cumulative thermal effect by 6–9 % with the decreased consumption of chromium compounds for leather tanning by 17–20 %.

Keywords: the tanning, dispersion, modification, montmorillonite, chrome tanning agents, thermal stability, properties of leather.

Вступ

Отримання шкіри з високими експлуатаційними властивостями, стійкої до зовнішніх впливів, високої температури, дії хімічних матеріалів, намокання тощо є результатом стабілізуючої та структуруючої дії колагену дерми різнофункціональних матеріалів, в тому числі, дубильних речовин [1]. З метою отримання шкір з високою гідротермічною стійкістю, необхідність чого пов'язана з технологічними особливостями подальшого використання шкіряних матеріалів у виробництві, наприклад, взуття, одягу, меблів, в шкіряному виробництві широко використовують хромовий спосіб дублення. Враховуючи ефективність застосування для дублення основного сульфату хрому для досягнення високих хімічних та фізико-механічних показників готових шкір, основним недоліком даного способу є негативний вплив на навколишнє середовище. В зв'язку з цим сучасні технологічні розробки спрямовані на удосконалення хромового дублення та вирішення екологічних питань шляхом повної або часткової заміни сполук хрому дубителями іншої природи. Актуальне рішення досягнуто застосуванням хром-модифікованих дисперсій монтморилоніту для дублення шкір, результатом якого є зменшення витрат хромового дубителя, ефективне використання дубильних речовин, зменшення кількості невідпрацьованих сполук хрому у стічних водах, вирішення екологічних проблем та питань ресурсозбереження [1]. При цьому слід вказати на ефективне формування структури дерми, підвищення фізико-механічних та деформаційних характеристик готових шкір.

Постановка завдання дослідження

Відомі наукові дослідження, які направлені на розширення асортименту хімічних матеріалів для шкіряного виробництва [2], підвищення його екологічності та ресурсоощадності шляхом використання для дублення шкір хром-модифікованих дисперсій монтморилоніту [3]. Позитивним щодо використання дисперсій монтморилоніту для дублення шкір є високий рівень формування та ефективний рівень стабілізації структури дерми. Дослідженнями показано, що модифікація дисперсій монтморилоніту лужними пептизаторами та основним сульфатом хрому, дозволяє ефективно використовувати отриману композицію для дублення голини. При цьому суміщення використання для дублення сполук хрому та хром-модифікованих дисперсій монтморилоніту дозволяє покращити на 14 % ступінь поглинання сполук хрому і на 30 % зменшити їх концентрацію у відпрацьованих дубильних рідинах. В результаті запропонованого способу дублення досягається якісне формування структури дерми зі збільшенням площі шкір на 4,2–4,7 %, товщини на 0,9–3,5 %, об'ємного виходу на 17,0–18,0 % та температурі зварювання до рівня 103 °С. При цьому шкіри отримані з використанням хром-модифікованих дисперсій монтморилоніту за показниками хімічного складу та фізико-механічних випробувань відповідають вимогам нормативних документів, характеризуються показниками відносного видовження та межі міцності при розтягування на рівні

показників шкір, отриманих за традиційною технологією, що свідчить про необхідний ступінь структурування дерми шкір [2].

Враховуючи, що ефективність стабілізації та формування структури шкір є результатом виникнення хімічних зв'язків між активними групами колагену дерми та дубильними речовинами, доцільним є вивчення стійкості фіксованої структури дерми до високих температур та оцінки рівня фізико-хімічного перетворення методом термічного аналізу, який, в першу чергу, дає уявлення про термостійкість речовин. Термостійкість обумовлює здатність речовини зберігати незмінною при високих температурах хімічну структуру. Термічну стійкість оцінюють температурою, з якої починається зміна хімічної структури речовини, що обумовлено її властивостями. Початок термодеструкції характеризується температурою, при якій руйнуються найбільш слабкі хімічно зв'язані макромолекули. На практиці, як правило, для оцінки термостійкості аналізують температуру, при якій речовина втрачає 5, 10 або 15 % від початкової маси, яка визначається константою швидкості нагрівання за термогравіметричними кривими залежності втрати маси від температури [4]. Безперечно, ця температура має умовний характер, але вона описує термостійкість різнофункціонального матеріалу та якість стабілізації і формування його структури [5].

Об`єкти та методи дослідження

Метою дослідження є аналіз термостійких властивостей шкір, дублення яких здійснено з використанням модифікованих дисперсій монтморилоніту.

Об'єкт дослідження – фізико-хімічні перетворення структури колагену дерми під дією температури.

Предмет дослідження – показники термодеструкції шкір, дублення яких здійснено з використанням модифікованих дисперсій монтморилоніту.

Методи термічного аналізу служать для дослідження хімічних реакцій, фазових та інших фізико-хімічних перетворень, що відбуваються під впливом тепла в хімічних сполуках або (у разі багатокомпонентних систем) між окремими сполуками, а також у матеріалах на їх основі [6]. Термічні процеси, а саме, хімічні реакції, зміна стану або перетворення фази, супроводжуються завжди значною зміною внутрішньої теплоємності системи. Перетворення супроводжується поглинанням тепла, що вказує на ендотермічне перетворення, або виділення тепла – екзотермічне перетворення.

Такі теплові ефекти можуть бути виявлені методами диференційно-термічного аналізу (DTA) та термогравіметричного аналізу (TGA), сутність якого полягає в оцінці зміни маси зразка залежно від температури. Крива залежності зміни маси від температури називається термогравіметричною кривою або кривою TG. По кривій TG можна визначати термічну стійкість дубленої шкіри. Вказаний показник оцінюється за температурою початку розкладання шкіри T_n, при якій починається втрата маси і крива TG відхиляється від вихідного нульового значення, а також температурою, при якій відбувається втрата маси в одних й тих самих умовах експерименту (швидкість нагріву, середовища тощо). Температура, при якій відбувається повне розкладання зразка, називається кінцевою температурою розкладання $T_к$. За кривою TG також визначають коксовий залишок досліджуваного зразка.

Деривативна термогравіметрія (DTG) реєструє швидкість зміни маси речовини в часі. Крива DTG записується у вигляді ряду піків, положення яких збігається за температурною шкалою зі стадіями кривої TG. За допомогою кривих DTG визначають температурні стадії реакції і температуру, яка характеризує максимальну швидкість реакції. Математичною обробкою кривих TG і DTG розраховують кінетичні параметри процесу деструкції речовини, енергію активації E_a і порядок реакції n.

Початок плавлення зразків шкіри визначають за початком різкого відхилення кривої DTA від базової лінії, а за температуру плавлення приймають температуру, яка характерна для максимуму піку. Для багатьох речовин (полімерів) характерна наявність на кривій DTA в області плавлення не тільки одного, а двох або декількох піків. Це пояснюється наявністю в полімерах кристалітів різного ступеня досконалості, а також поліморфізмом полімеру, тобто його здатністю існувати в декількох кристалічних модифікаціях. За площами піків плавлення визначають питомі теплоти плавлення.

В даній роботі зразки шкіри аналізували у динамічному режимі в середовищі повітря при безперервному нагріванні з певною швидкістю.

Динамічний TGA аналіз зразків шкіри виконували з використанням дериватографа Паулік-Ердеї в інтервалі температур від 20 до 800 °С в атмосфері повітря при одночасному видаленні газоподібних продуктів деструкції при швидкості підвищення температури 10 град/хв. Вага зразків становила 100 мг. Температурні інтервали стадій деструкції оцінювали з диференційних кривих втрати маси (DTG), враховуючи той факт, що площа піка кривої пропорційна втраті маси на відповідній стадії.

В якості термічних характеристик досліджуваних зразків використовували температуру початку (T_n), кінця ($T_к$) та максимальної швидкості процесу деструкції ($DTG_{мак}$). Також визначали постадійну втрату маси зразка при температурі максимальної швидкості процесу деструкції ($\Delta m_{Tмак}$).

Для розділених стадій деструкції та стадій, що лише частково перекриваються, розраховували енергії активації з використанням інтегрального методу Бройдо [7] шляхом лінеаризації залежності – lnln $[W_o/W_o\text{-}W]$ від 100/T для кожної конкретної стадії:

$$(-\ln\ln [W_o/W_o\text{-}W])=E(1000/T)+A,$$

де $[W_o/ W_o - W]$ – миттєва концентрація реагенту, що витрачається; T – відповідна їй температура, К; E – енергія активації процесу, кДж/моль; A – константа, пов`язана з передекспоненційним множником Арреніусівської залежності процесу.

Теплові ефекти розраховували за формулою:

$$K= m\times\Delta H/S \quad [8],$$

де K – калібрувальний коефіцієнт в методі DTA дериватографу, m – маса зразка, що розклалася за

даний момент часу, S – площа під піком кривої DTA, яка визначена за допомогою програми Origin 7.5 за формулою Гауса.

Для виявлення термостійкості шкіри було сформовано наступні варіанти обробок зразків.

Варіант № 1 вважали контрольним. Для контрольної групи дублення зразка голини виконували за типовою технологією [9]. Використовували хромовий дубитель, витрата якого становила 1,5 % Cr_2O_3 від маси голини. Загальна витрата Cr_2O_3 на дублення складала 1,5 % від маси голини.

Варіант № 2 вважали дослідним. Дублення виконували шляхом суміщеного застосовування обробки хромовим дубителем та хром-модифікованою дисперсією монтморилоніту (Cr-ММТ$_{10}$), яку отримували модифікацією натрій-монтморилоніту основним сульфатом хрому у кількості 10 % Cr_2O_3 від маси сухого мінералу. На першій стадії обробки використовували хромовий дубитель з витратою 1,0 % Cr_2O_3 від маси голини. Тривалість перемішування становила 60 хв. На другій стадії до дубильного розчину додавали Cr-ММТ$_{10}$ з витратою 2,5 % від маси сухого мінералу. Загальна витрата Cr_2O_3 на дублення склала 1,25 % від маси голини;

Варіант № 3 вважали дослідним. Аналогічно варіанту обробки 2 дублення виконували суміщено. Для обробки голини на першій стадії дублення використовували хромовий дубитель з витратою 0,25 % Cr_2O_3 від маси голини. Тривалість перемішування становила 60 хв. На другій стадії використовували дисперсію Cr-ММТ$_{20}$, яку отримано модифікацією натрій-монтморилоніту основним сульфатом хрому у кількості 20 % Cr_2O_3 від маси сухого мінералу. Витрата Cr-ММТ$_{20}$ становила 3,0 % від маси сухого мінералу. Загальна витрата Cr_2O_3 на дублення складала 0,85 % від маси голини.

Після процесу дублення, всі зразки були прожировані, висушені у вільному стані, а після зволоження до вологості 26 % та обробки на тянульно-м'якшильній машині, досушені у вільному стані. Далі після кондиціонування виконували дослідження показників фізико-механічних, хімічних властивостей готових шкір за відповідними методиками [10] та термічний аналіз.

Результати та їх обговорення

Результати аналізу хімічного складу зразків та їх фізико-механічних властивостей, що представлено в таблицях 1 та 2, вказує на відповідність всіх зразків вимогам стандарту ДСТУ 2726-94 «Шкіра для верху взуття» як за вмістом вологи, окису хрому, pH хлоркалієвої витяжки, так і за показником межі міцності при розтягненні. Враховуючи, що дублення дослідних зразків (варіант 2 та 3) виконано з використанням хром-модифікованих дисперсій монтморилоніту та при зменшених загальних витратах хромового дубителя на рівні 1,25 % та 0,85 % відповідно, слід вказати на суттєве збільшення вмісту Cr_2O_3 в дослідних шкірах. Якщо для шкір варіанту обробки 2 вміст оксиду хрому на 2,3 % більше порівняно з контролем, то для зразків варіанту 3 зазначене збільшення становить на рівні 20,7 %. При цьому гідротермічна стійкість характеризується в 103–105 °С.

Таблиця 1

Показники хімічного складу зразків шкір

Варіант обробки	Вміст, %				pH хлоркалієвої витяжки
	Волога	Мінеральні речовини*	Голинна речовина*	Cr_2O_3*	
1	13,4	11,6	72,5	4,2	4,1
2	13,9	12,2	67,4	4,3	4,5
3	14,6	11,2	62,3	5,3	4,5
Вимоги стандарту	10-16	–	–	4,3	–

** в перерахунку на абсолютну суху речовину*

Таблиця 2

Показники фізико-механічних випробувань шкір

Варіант	Межа міцності при розтягненні, ×9,8 МПа	Відносне видовження, %				Умовний модуль пружності, Н/м^2	Гідротермічна стійкість, °С	Жорсткість, Н$^{-2}$
		при навантаженні 9,8 МПа	при розриві	залишкове	пружне			
1	2,1	59,5	89,5	63,8	75,8	0,19	103	22,0
2	2,2	57,2	86,5	62,8	73,8	0,19	105	20,1
3	2,0	51,5	83,2	61,0	72,0	0,22	103	22,5
Вимоги стандарту	> 1,8	15-35	–	–	–	–		–

Виявлені особливості хімічного складу вказують на ефективність використання сполук хрому при суміщеному способі дублення та можливість отримання шкір з необхідними показниками якості при зменшених витратах оксиду хрому. Можна передбачити, що використання модифікованих дисперсій монтморилоніту змінює механізм хімічних взаємодій сполук хрому з колагеном дерми через появу додаткових активних центрів у вигляді частинок мінералу з високою поверхневою адсорбційною здатністю.

Особливості хімічних взаємодій підтверджені і термогравіметричним аналізом зразків.

Відомі результати застосування диференційно-термічного аналізу для досліджень змін ступеня кристалічності структури дерми при різній інтенсивності дублення [11, 12].

З хімічних перетворень, що відбуваються в речовинах під впливом підвищеної температури, найбільш суттєвими є різного роду реакції деструкції (деполімеризація, розрив основного ланцюга, розклад бічних радикалів), структурування та окислення. Всі вони відображаються відповідними піками на кривих DTA і DTG. Наприклад, окислення речовини пов'язано з виділенням тепла (екзопік на кривій DTA) і збільшеною втратою маси (максимуми на кривих TG і DTG) [13–15].

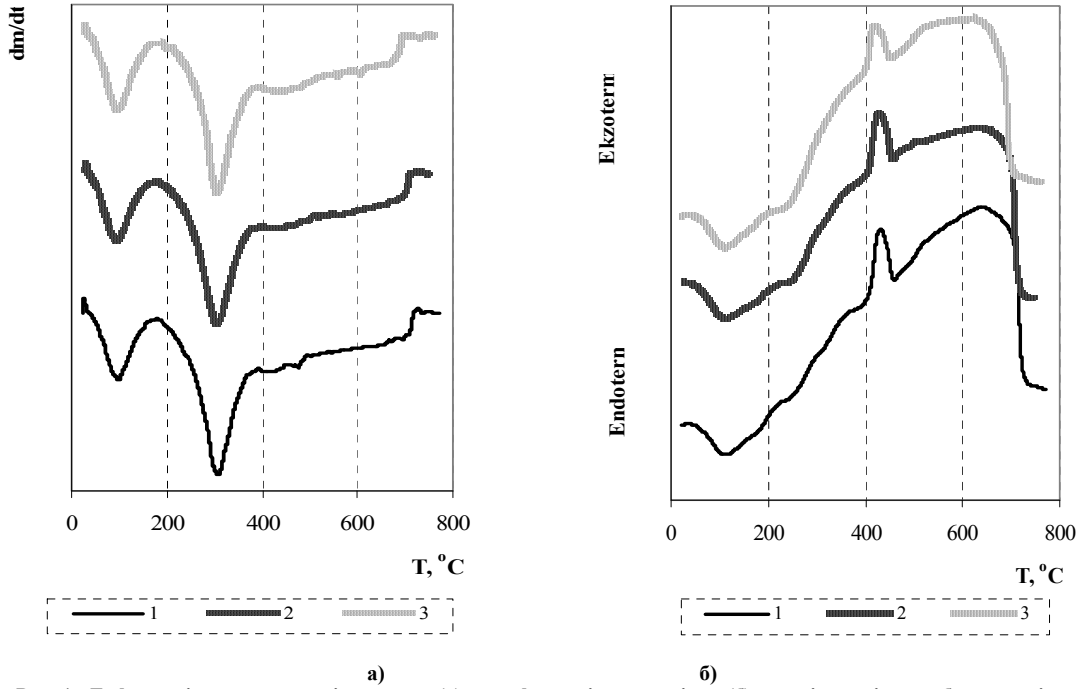


Рис. 1. Диференційна термогравіметрична (а) та диференційна термічна (б) криві зразків видубленої шкіри

Таблиця 3

Стадійна енергія активації, втрата маси зразками, швидкість розкладу зразків та константа швидкості реакції

№	Перша стадія				Друга стадія				Третя стадія			
	$T_п$-$T_к$,°C	Δm, %	E, кДж/ моль	dm/dt мг/хв / $k, хв^{-1}$	$T_п$-$T_к$,°C	Δm, %	E, кДж/ моль	dm/dt мг/хв / $k, хв^{-1}$	$T_п$-$T_к$,°C	Δm, %	E, кДж/ моль	dm/dt мг/хв / $k, хв^{-1}$
1	39-93-134	11,1	113,6	1,67 / 5,94	134-215	3,2	10,8	0,3 / 0,57	215-306-384	39,6	67,6	3,9 / 3,54
2	39-90-125	10,8	113,7	1,72 / 5,94	125-233	5,2	12,4	0,4 / 0,65	233-301-384	36,6	73,0	3,6 / 3,81
3	39-90-120	11,4	115,4	1,91 / 6,04	120-233	5,6	11,8	0,4 / 0,62	233-304-346	28,8	69,6	3,7 / 3,64

№	Четверта стадія				П'ята стадія			
	$T_п$-$T_к$,°C	Δm, %	E, кДж/моль	dm/dt мг/хв / $k, хв^{-1}$	$T_п$-$T_к$,°C	Δm, %	E, кДж/моль	dm/dt мг/хв / $k, хв^{-1}$
1	384-445-532	21,4	41,5	1,5 / 2,17	532-552-720	16,4	49,4	1,0 / 2,58
2	384-440-536	24,3	40,0	1,4 / 2,09	536-550-710	16,0	48,7	1,0 / 2,55
3	346-437-536	29,4	41,0	1,5 / 2,14	536-594-700	15,2	50,0	1,0 / 2,62

За результатами проведених досліджень та отриманих даних термогравіметрії (рис. 1, табл. 3), у ході нагрівання зразків видубленої шкіри в інтервалі температур до 800 °C відбуваються такі зміни: випаровування абсорбційної води від 39 до 134 °C, процес плавлення білкової складової зразка в межах 122–233 °C, втрата кристалізаційної води простежується в межах 215–384 °C, що супроводжується піком на кривій DTG (рис. 1 а) та відповідними ендотермічними піками на кривій DTA (рис. 1 б). При температурі 384–536 ºC починається процес термоокислення і в повністю закінчується процес розкладу руйнуванням вуглецевого каркасу та видаленням коксової маси.

Термодеструкція контрольного зразка 1 (табл. 4), який вміщує 4,2 % хрому (табл. 1), закінчується при 772 °C і представляє собою багатостадійний процес перетворень: спочатку колагенату хрому, а після 400 °C – хромового комплексу з остаточним окисленням проміжних продуктів до оксиду хрому. Як видно,

термодеструкцію зразка 1 можна розділити на чотири основні стадії (рис. 1 а, табл. 3).

Таблиця 4

Показники теплових ендо- та екзотермічних ефектів при деструкції шкіри

№ зразка	Температурний інтервал розділених стадій, °С				ΔН, кДж/кг	ΔН, кДж/кг	ΔН, кДж/кг	ΔН, кДж/кг	Коксовий залишок, %
1	39-119-191	-	192-477-772	192-648-772	267,6	-	-476,8	-166,5	6,8
2	45-103-246	45-165-246	246-477-747	246-647-747	191,1	84,7	-526,3	-134,4	9,5
3	45-113-245	45-182-245	246-458-751	246-624-751	231,5	97,3	-515,9	-154,9	9,3

Аналіз залежностей TG, DTG, DTA для зразка 1 та результати їх обробки (табл. 3, 4) вказують, що перша стадія розпаду зразка в температурному інтервалі 39–134°С пояснюється випаровуванням механічно і адсорбційно зв'язаної води в процесі нагрівання. При цьому зразок втрачає майже 11,0 % маси при максимумі піку 93 °С (табл. 3). На цьому етапі можливі перегрупування хромових комплексів і видалення молекул води з внутрішньої координаційної сфери комплексу металу з утворенням додаткових зв'язків між білком і дубителем. Це припущення підтверджується значною $E_{акт}$ на даній стадії, яка складає 113,6 кДж/моль, а також значним тепловим ендоефектом з поглинанням тепла 267,6 кДж/кг з максимумом піку 119 °С (рис. 1, б, табл. 4). В області температур 134–215 °С не спостерігається значного падіння маси зразка, що вказує на протікання фізичних процесів плавлення аморфних, а потім і кристалічних зон білка та його перехід у в'язкотекучий стан.

Третя стадія термічного процесу для зразка 1 характеризується інтенсивним розпадом в області температур 215–384 °С (табл. 3). Ця стадія відповідає термічним перетворенням поліпептидного ланцюга, руйнуванням координаційних і електровалентних зв'язків основного сульфату хрому з білком. Підтвердженням є $E_{акт}$ розпаду на рівні 67,6 кДж/моль, найбільшою втратою маси за стадію в 39,6 % зі швидкістю 3,9 мг/хв та піком 306 °С.

Дещо менша енергія розриву зв'язків на рівні 41,5 кДж/моль (табл. 3, зразок 1) на четвертій стадії процесу в інтервалі температур 384–532 °С з втратою близько 21,4 % маси та значним тепловим екзоефектом – 476,8 кДж/кг при піку 477 °С, дозволяє припустити, що на цій стадії відбуваються інтенсивні термоокислювальні процеси з виділенням тепла і газоподібних продуктів, термодеструкція полімерного ланцюга з переходом хромового комплексу в більш просту сполуку, наприклад сульфат хрому.

Заключна стадія термоокислювальної деструкції з широким піком 532–720 °С протікає зі значною $E_{акт}$ – 49,4 кДж/моль, втратою маси 16,4 %, з незначною швидкістю та тепловим екзоефектом в 166,5 кДж/кг при температурі піку 648 °С. Це може свідчити про остаточне перетворення проміжних сполук хрому з відповідним газовиділенням, а також руйнуванням і повним згоранням вуглецевого каркасу. Коксовий залишок зразка 1 становить 6,8 % (табл. 4).

Для зразка 2 з вмістом Cr_2O_3 в видубленій шкірі на рівні 4,3 % (табл. 1) термодеструкція закінчується на 25 °С нижче, ніж для зразка 1 (табл. 4), при температурі 747 °С. В своєму складі цей зразок містить менше голинної речовини і більше мінеральних речовин (табл. 1). Його коксовий залишок становить 9,5 %. Як видно із результатів обробки кривих TG, DTG, DTA (табл. 3, 4), в інтервалі температур 39–125 °С перша стадія розпаду ідентична зразку 1, за виключенням втрати маси за стадію, яка зменшується на 2,7 % та теплового ендопіку, який становить 191,1 кДж/кг за стадію.

Друга стадія термічних перетворень для зразка 2 має більш широкий температурний інтервал на рівні 125–233 °С, характеризує процес плавлення аморфних та кристалічних зон білка, а також видалення структурної води, яка міститься в міжпакетному просторі монтморилоніту. Це припущення підтверджується ендопіком при максимумі 165 °С на кривій DTA (рис. 1 б) з поглинанням тепла 84,7 кДж/кг, а також більшою енергією активації цієї стадії (табл. 3).

У порівнянні із контрольним зразком, для шкіри видубленої складом із вмістом монтморилоніту, на третій стадії термодеструкції в інтервалі 233–356 °С, спостерігається збільшення енергії активації на 7 %, зменшення швидкості розкладу зразка та падіння маси за стадію майже на 8 %. Як і у контрольному зразку, в видубленій шкірі зразка 2 на цій стадії проходить деструкція поліпептидного ланцюга і інтенсивне окислення проміжних продуктів. Вище значення $E_{акт}$ (73 кДж/моль) в порівнянні зі зразком 1 свідчить про деяку внутрішню пластифікацію структури колагену монтморилонітом, в результаті чого формується більш пориста структура шкіри.

На четвертій стадії процесу, в інтервалі температур 384–536 °С, спостерігається процес фазоутворення аналогічний контрольному зразку 1 з втратою близько 24,3 % маси та найбільшим тепловим екзоефектом в 526,3 кДж/кг при максимумі піку 477 °С. Ймовірно, на цій стадії можливе виділення «структурованої» води, яка координаційно і хімічно зв’язана з кристалічною граткою мінералу й утворює аквакомплекси з катіонами металів, які входять у структуру монтморилоніту [16, 17].

Остання, п’ята стадія термоокислювальної деструкції зразка 2 в інтервалі 536–710 °С проходить за подібним зразку 1 механізмом, але з дещо меншою енергією розриву зв’язків (48,7 кДж/моль) та меншим тепловим ефектом 134,4 кДж/кг (табл. 3, 4). На цій стадії іде руйнування вуглецевого каркасу та видалення продуктів термодеструкції.

Для зразка 3 аналіз кривих DTG (рис. 1 а, табл. 12) та DTA (рис. 1 б, табл. 4) свідчить, що в температурному інтервалі першої стадії 39–120 °С шкіра втрачає фізично зв’язану воду, а в межах 233–346 °С третьої стадії процесу втрачається хімічно зв’язана кристалізаційна вода з найбільшою швидкістю і втратою маси. В інтервалі температур четвертої стадії 346–536 °С спостерігається зменшення маси зразка,

ймовірно, через видалення низькомолекулярних продуктів окислення шкіри, а при 536–700 °С на кривій DTG (рис. 1 а) спостерігається пік, який можна віднести до втрати маси зразка внаслідок деструкції шкіри.

Криві розпаду для зразка 3 майже не відрізняються від результатів для зразка 2, за виключенням невеликих відмінностей в кількісному відношенні енергії активації першої стадії, яка збільшується до 115,4 кДж/моль із швидкістю 1,91 мг/хв (табл. 3). Теплові ефекти стадій з піками при температурі 113, 182 та 624 °С дещо вищі порівняно зі зразком 2. Тому і сумарний тепловий ефект цього зразка найбільший і складає 1000 кДж/кг (табл. 5), що на 6 % перевищує сумарний тепловий ефект зразка 2, і майже на 9 % – зразка 1. Закінчується процес деструкції зразка 3 при температурі 761 °С з коксовим залишком 9,3 %.

Таблиця 5

Кінетичні параметри та площа під піками при максимальній швидкості деструкції

№ зразка	$T_п$-$T_к$,°С	ΣE, кДж/моль	Σ ΔH, кДж/кг	k*dm/dt при $\Delta m_{Tмак}$	T°C, при $\Delta m_{Tмак}$	y=y0 +(A/(w*sqrt(PI/2)))*exp(-2*((x-xc)/w)^2), R^2= 0,99552
						S, мм^2
1	39-772	282,9	910,9	13,806	309	1970
2	39-747	287,8	936,5	13,716	318	2088
3	39-761	287,8	1000,0	13,468	323	2151

Загальна швидкість втрати маси і швидкість виділення летких продуктів деструкції описують сумарний процес, тому що сума різних хімічних реакцій, це власне і є процес термічної деструкції. Різні хімічні реакції залежать, як правило, від температури, середовища та хімічної будови досліджуваної речовини. Отже, параметри, які необхідні для кількісного опису термічної деструкції, такі як, константа швидкості та порядок реакції, в цьому випадку будуть представляти характеристики, що обумовлені як ефективні параметри і, які відображають суму різних хімічних перетворень [16].

Критерієм оцінки термічної стабільності зразків обрано температури піків DTG кривої (рис. 1 а) та початок зламу TG кривої в інтервалі температур, що відповідають деструкції при 330±10 °С. Враховуючи, що сума константи швидкості реакції прямо залежить від енергії розриву зв'язків та швидкості втрати маси від температури, визначено інтервали, в яких знаходяться піки деструкції та площі під піками за формулою Гауса за допомогою програми Origin 7.5 (табл. 5). Як видно з табл. 5 деструкція контрольного зразка 1 розпочинається при 310 °С. Введення монтморилоніту на стадії дублення підвищують температуру розкладу шкіри, чим обумовлюють підвищення її термостійкості (рис. 2, табл. 5).

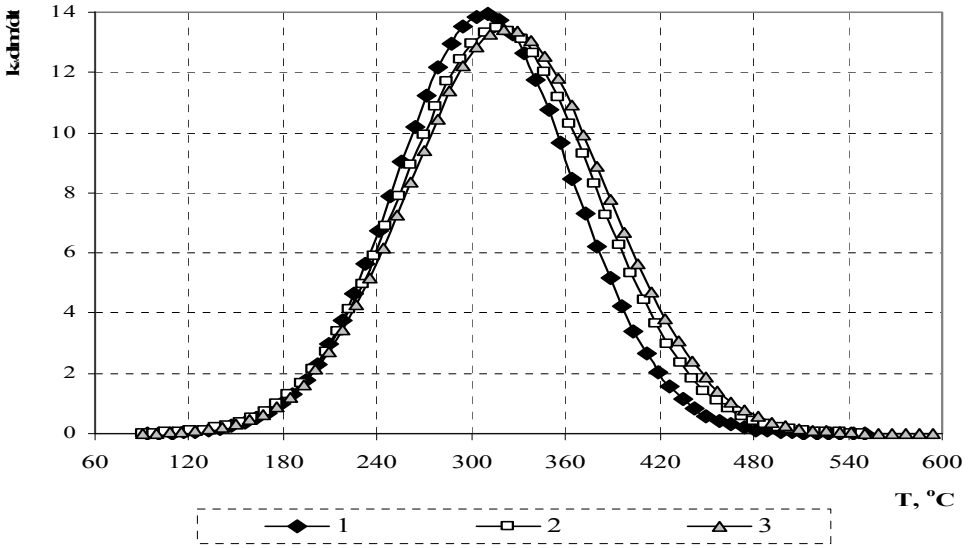


Рис. 2. Залежність хімічних перетворень в структурі шкіри від температури при максимальній швидкості розпаду

Термоаналіз вказує, що для зразка 2, обробка якого включала використання хром-модифікованого монтморилоніту, характерним є підвищена термостійкість шкіри на 9 °С порівняно з контрольним зразком 1, а для зразка 3, обробка якого здійснена найменшою кількістю Cr_2O_3 та з використанням модифікованого монтморилоніту, термостійкість вища на 14 °С. Як видно із площі під піками (рис. 2) сума різних хімічних перетворень для зразків 2 і 3 проходить більш інтенсивно з більшим рівнем енергії, а значить їх структура є більш термостійкою. Показники термоокислювальної деструкції корелюються із фізико-механічними показниками та гідротермічною стійкістю видубленої шкіри (табл. 2). В цілому, можна стверджувати, що використання хром-модифікованих дисперсій монтморилоніту при зменшенні витрат хромового дубителя покращують термічні властивості видубленої шкіри і підвищують температуру початку її деструкції, що є результатом ефективної стабілізуючої дії та якісного формування структури дерми.

Висновки

Робота присвячена дослідженню термостійких властивостей шкір, дублення яких виконано з

використанням модифікованих дисперсій монтморилоніту та зменшених витратах сполук хрому.

Визначено, що використання модифікованих дисперсій монтморилоніту змінює механізм хімічних взаємодій сполук хрому з колагеном дерми через появу додаткових активних центрів частинок мінералу з високою поверхневою адсорбційною здатністю та утриманням зв'язаної води каркасом мінералу.

Підтверджено, що в результаті дії температур відбувається ряд змін, які включають випаровування абсорбційної води, процес плавлення білкової складової, втрату кристалізаційної води та термоокислення, яке закінчується процесом розкладу вуглецевого каркасу та видаленням коксової маси.

Термічні дослідження показали відмінності у рівні термостійкості шкір, дублення яких виконано з використанням модифікованих дисперсій монтморилоніту та традиційного застосування сполук хрому. Зміни проявляються у температурі початку термоокислювальної деструкції, рівні втрати маси та енергії активації термодеструкційного процесу на різних стадіях.

В результаті дублення шкір з використанням модифікованих дисперсій монтморилоніту спостерігається зменшення швидкості термодеструкції та підвищення енергетичних витрат, що свідчить про високий рівень стабілізуючої та структуруючої дії мінеральних дисперсій на колаген дерми. Доведено, що використання для дублення шкір модифікованих дисперсій монтморилоніту дозволяє підвищити термостійкості шкір порівняно з хромоводубленими на 9–14 % при зменшенні витрат сполук хрому на 17–20 %.

Література

1. Інноваційні технології виробництва шкіряних і хутрових матеріалів та виробів : монографія / А. Г. Данилкович, І. М. Грищенко, В. І. Ліщук та ін. ; за ред. А. Г. Данилковича. – К. : Фенікс, 2012. − 344 с.

2. Паламар В. А. Застосування хром-модифікованих дисперсій монтморилоніту для стабілізації колагенової структури дерми / В. А. Паламар, М. О. Марухленко, О. Р. Мокроусова // Східно-європейський журнал передових технологій. – 2015. – № 3. – С. 36–42.

3. Mokrousova O. Resources-saving Chromium Tanning of Leather with the Use of Modified Montmorillonite / O. Mokrousova, V. Palamar, A. Danylkovych // Romania, Revista de Chimie. – Vol. 66. – № 3. – P. 353–357.

4. Михайлик В. А. Дослідження стану води в кислотноактивованих глинистих мінералах методами низькотемпературної ДСК та термогравіметрії / В. А. Михайлик, Ю. Ф. Снєжкін, М. І. Лєбовка, І. І. Марцін, Л. Л. Шпак // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. – 2005. – Т. 3, № 4. – С. 1105–1112.

5. Михайлик В.А. Теплофизические характеристики бентонитовой глины и её Na-замещенной формы (Черкасское месторождение) / В. А. Михайлик, Ю. Ф. Снежкин, Н. В. Дмитренко, Л. И. Воробьев, Т. А. Михайлик, Л. Г. Надел // Промышленная теплотехника. – 2008. – Т. 30, № 4. – С. 72–77.

6. Бабек Я. Экпериментальные методи в химии полимеров / Бабек Я. – М. : Мир, 1983. – Т. 2.– 479 с.

7. Broido A. A simple sensitive graphical method of treating thermogravimetry analyse data / A. Broido // J. Polym. Sci. Part A. – 1969. – Vol. 7, № 2. – P. 1761–1773.

8. Кутянин Г. И. Об уменьшении степени кристалличности структуры коллагена в результате дубления / Г. И. Кутянин, Л. С. Осташенко, Р. С. Уруджев, А. Т. Голубятникова // Изв. ВУЗов. Технол. лёгкой пром. – 1974. – № 2. – С. 60–64.

9. ТМ-7.5-4 «Технологічна методика виробництва шкір різноманітного асортименту для верху взуття і підкладки взуття, галантерейних виробів із шкір великої рогатої худоби та кінських». – К. : ПАТ «Чинбар», 2009. – 11 с.

10. Данилкович А. Г. Практикум по химии и технологи кожи и меха / А. Г. Данилкович, В. И. Чурсин. – М. : ЦНИИКП, 2002. – 413 с.

11. Кутянин Г. И. Исследование термостойкости коллагена дифференциальным термическим и термогравиметрическим методами / Г. И. Кутянин, А. С. Остапенко // Доклады АН СССР. – 1971. – № 4 (200). – С. 912.

12. Топор Н. Д. Термический анализ минералов и неорганических соединений / Н. Д. Топор, Л. П. Огородова, Л. В. Мельчакова. – М. : Из-во МГУ, 1987. – 190 с.

13. Павлова С. А. Термический анализ органических и высокомолекулярных соединений (Методы аналитической химии) / С. А. Павлова, И. В. Журавлева, Ю. И. Толчинский. – М. : Химия, 1983. – 120 с.

14. Коршак В. В. Термостойкие полимеры / В. В. Коршак. – М. : Наука, 1969. – 408 с.

15. Коршак В. В. Технология пластичных масс / В. В. Коршак. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Химия, 1976. – 608 с.

16. Мокроусова О. Р. Формування експлуатаційних властивостей шкіряних матеріалів мінеральними наповнювачами / О. Р. Мокроусова, С. А. Карван, О. П. Козарь // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 2. – С. 82–89.

17. Marukhlenko M. Stabilizing derma collagen structure with modified dispersions of montmorillonite [Електронний ресурс] / M. O. Marukhlenko, V. A. Palamar, O. R. Mokrousova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 111. – № 1. – P. 1–8. – Режим доступу : http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/111/1/012023/meta.

Рецензія/Peer review : 10.5.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Андреєва О. А.

УДК 685.34.013

Т.А. НАДОПТА, Н.С. КРИВЕНЬКА
Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНО-КОМПОЗИЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ШКІРГАЛАНТАРЕЙНИХ ВИРОБІВ

У статті досліджено, що для розробки шкіргалантерейних виробів необхідно у повній мірі враховувати конструктивно-композиційні елементи. Обґрунтовано на основі результатів проведеного анкетування дівчат віком 18–20 років найвагоміші оптимальні показники, які забезпечують раціональність конструкції. Проаналізовано вибір основних показників та встановлено, що сумки повинні відповідати модним тенденціям, бути зручними, елегантними та простими. Показана можливість та доцільність застосування означених показників при проектуванні виробів, що сприятиме підвищенню конкурентоспроможності вітчизняних виробів на ринку.

Ключові слова: проектування шкіргалантерейних виробів, естетичні показники, конструктивні показники, конструкція, якість виробів.

T.A. NADOPTA, N.S. KRIVENKA
Khmelnytsky National University

THE STUDY OF CONSTRUCTIVE AND COMPOSITIONAL ELEMENTS LEATHER PRODUCTS

The article investigates, that it's necessary to develop leather products, fully consider constructive-composite elements. It is reasonably based on the results of survey girls in age 18-20 the most significant of optimal performances, that provide the rationality of the design. During questionnaire development was assessed the weight of indicators and was chosen elements constructive-composite features, that the most attracted attention respondents during selection of products. The study characteristic of aesthetics and constructive indicators was conducted, that in the first place affect consumer choices on the buying leather products, especially bags and backpacks. Choice of key indicators analyzed and installed, that bags must meet fashion trends, to be comfortable, elegant and simple. Possibility and feasibility of use of these indicators during product design, that will help raising competitiveness national products on the market was showed.

Keywords: leather products design, aesthetic performance, structural performance, design, quality products.

Постановка проблеми

Сучасний розвиток вітчизняного шкіргалантерейного сектору легкої промисловості переходить на якісно новий рівень. Проектування шкіргалантерейних виробів відповідно до ергономічних вимог є перспективним напрямком розвитку підприємств легкої промисловості [1]. Висока потреба у продукції та різне призначення вимагають удосконалення методів проектування, технології виготовлення та якості сировини. Одним із напрямків підвищення якості продукції та розширення асортименту моделей шкіргалантерейних виробів є вдосконалення методики художнього проектування та активне використання систем автоматизованого проектування (САПР). Особливу увагу при цьому слід приділити дослідженню вподобань споживачів, адже це істотно впливає на конкурентоспроможність виробів в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблемами підвищення якості та особливостями проектування шкіргалантерейних виробів займалися і продовжують займатися як вітчизняні, так і зарубіжні вчені [2–5]. Аналіз наукової інформації стосовно означених вище задач показав, що основна увага приділяється пошуку нових матеріалів, вивченню їх властивостей, уніфікації основних деталей або окремим аспектам автоматизованого проектування.

Проте дослідження конструктивно-композиційних особливостей конструкцій до теперішнього часу залишається мало вивченим напрямком, котрий вимагає розвитку та розробки відповідних моделей і методики прогнозування.

Формулювання мети дослідження

Мета роботи полягає у досліджені та встановленні системи конструктивно-композиційних елементів шкіргалантерейних виробів, яка б дозволила практично, вже на перших етапах проектування, враховувати уподобання споживачів.

Викладення основного матеріалу

Специфіка процесу проектування конструктивно-композиційних елементів вимагає розробки методів дослідження, автоматизації етапів художнього і конструктивного моделювання, заснованих на методах художнього проектування, тобто в процесі проектування конструктору повинно представлено інформацію про об'єкт проектування, запропоновані варіанти раціональних конструктивних рішень.

Одним з важливих шкіргалантерейних виробів в гардеробі кожної жінки є сумка – це особливий аксесуар, який не просто підкреслює красу, стиль і елегантність образу, а й у деяких випадках – основний елемент ансамблю. Особливо це актуально для дівчат віком 18–20 років, оскільки саме у такому віці формуються смаки та тенденції стилю.

Для визначення пріоритетних напрямків конструктивних характеристик шкіргалантерейних виробів обрано метод анкетування. За допомогою методу анкетування можна з найменшими витратами отримати високий рівень масовості дослідження [6]. Особливістю цього методу можна назвати його анонімність (особистість респондента не фіксується, фіксуються лише його відповіді). Анкетування проводиться в основному у випадках коли необхідно з’ясувати думки людей з певних питань і охопити велику кількість людей за короткий термін.

Особливе значення в соціальних дослідженнях відводиться вибірці. Це обумовлено тим, що об’єкт дослідження найчастіше нараховує сотні, тисячі, десятки або сотні тисяч людей. Всі вони не можуть бути опитані. Тому при підготовці дослідження важливо так сформувати вибірку, щоб вона була і економічною, і

презентабельною, тобто вона має правильно відбивати всі характеристики генеральної сукупності, із якої вона походить. Репрезентативність забезпечується дизайном вибірки (стратегією і процедурами її формування) і розрахунком її мінімального обсягу, який здатний забезпечити необхідну точність результатів. Економічність (ефективність) вибірки пов'язується з вартістю вибіркового дослідження.

Вибірки здійснюються повторним та безповторним методом. При повторному методі кожна вибрана одиниця сукупності повертається після обстеження до сукупності і може бути вибрана знову. При безповторному методі кожна обстежена одиниця не повертається до сукупності і принципово не може бути обстежена повторно. Для проведення досліджень використовували безповоротний метод. Обсяг мінімальної безповторної вибірки було визначено за принципами статистичних досліджень у легкій промисловості [7]. Отже, обсяг мінімальної безповторної вибірки становить 49 респондентів.

При складанні анкет було не тільки оцінено вагомість показників, а й обрано елементи конструктивно-композиційних характеристик, які найбільш привертають увагу респондентів при виборі виробів (ця інформація потрібна для створення нової колекції).

Перелік показників:

*x*1 – *перевага* – сумка, рюкзак, свій варіант.

*x*2 – *форма* – прямокутна, квадратна, овальна, трапецієвидна, свій варіант.

*x*3 – *розмір* – маленька (довжина більшої сторони менше 25 см), середня (25–35 см), велика (більше 35 см).

*x*4 – *кольорова гамма* – яскраво-кислотні, чорно-білі, класичні кольори, модні тенденції.

*x*5 – *структура кольору* – однотонна, комбінована, градієнт, свій варіант.

*x*6 – *матеріал виробу* – натуральна шкіра, штучна шкіра, текстиль.

*x*7 – *матеріал ручок* – шкіра, текстиль, фурнітура.

*x*8 – *опорядження* – декоративні строчки, вишивка, бісер, малюнок фарбою, принт, свій варіант.

*x*9 – *вид і кількість фурнітури.*

За результатами анкетування складено діаграми розподілу характеристик. Нижче наведено результати опитування.

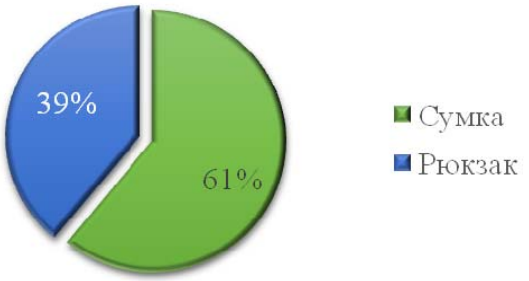


Рис. 1. Співвідношення виробу респондентів між сумкою та рюкзаком

а) для сумки **б) для рюкзака**

Рис. 2. Вибір форми виробу

Як видно з результатів опитування, дівчата віддають більшу перевагу прямокутним формам шкіргалантерейних виробів, що співпадає з напрямком моди.

Результати опитування показують, що зручним для респондентів розміром улюбленого виробу є середній розмір (більша сторона виробу має 25–35 см).

а) для сумки **б) для рюкзака**

Рис. 3. Вибір розміру виробу

а) для сумки **б) для рюкзака**

Рис. 4. Вибір кольорової гами виробу

При проведенні анкетування виявилось, що більшість опитуваних дівчат обирають класичні кольори.

а) для сумки **б) для рюкзака**

Рис. 5. Вибір структури кольору виробу

З результатів видно, що опитувані надають більшу перевагу комбінованій структурі кольору, що співпадає з модними тенденціями.

а) для сумки **б) для рюкзака**

Рис. 6. Вибір матеріалу виробу

Результати показують, що для сумки кращим матеріалом є натуральна шкіра, а для рюкзака – текстиль.

а) для сумки **б) для рюкзака**

Рис. 7. Вибір матеріалу для ручок виробу

Як видно з результатів ручки шкіргалантерейних виробів, за думкою опитаних, повинні бути зі шкіри.

а) для сумки **б) для рюкзака**

Рис. 8. Вибір опорядження виробу

З результатів видно, що кращими видами опорядження виробу є декоративні строчки і принти.

а) для сумки **б) для рюкзака**

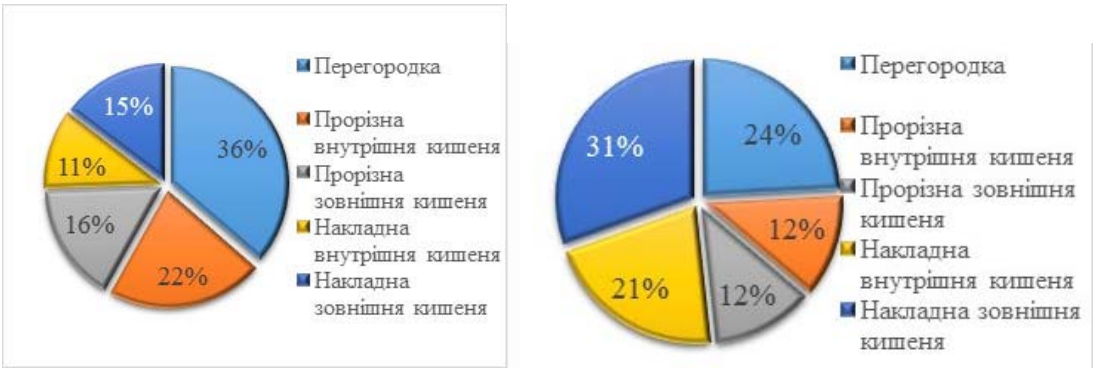
Рис. 9. Вибір фурнітури виробу

Під час вибору фурнітури, опитувані більшу перевагу надали холнітенам і ланцюжкам.

а) для сумки **б) для рюкзака**

Рис. 10. Вибір формостійкості виробу

З діаграми видно, що респонденти надали більшу превагу напівжорстким виробам, що збігається з модними тенденціями.



а) для сумки **б) для рюкзака**

Рис. 11. Вибір деталей для кращої функціональності

а) для сумки **б) для рюкзака**

Рис. 12. Вибір способу закривання виробу

Результати показують, що більшість респондентів обирають вироби на застібці «блискавка».

а) для сумки **б) для рюкзака**

Рис. 13. Вибір способу закривання виробу, що закривається на клапан

Результати анкетування показують, що кращою застібкою для клапана є магніт.

Отже, наведені показники обумовлюють необхідність гармонійного поєднання естетичних та конструктивних показників конструкції, елегантності і відповідного колористичного оформлення, вибору прикрас, якості виготовлення і відповідності моді. На основі отриманих результатів анкетування у подальшому необхідно розробити варіанти конструкцій виробів, інформаційні моделі та рекомендації, що є матеріалом наступних досліджень.

Висновки

1. Проведено дослідження характеристик показників естетичності та конструктивних показників, котрі в першу чергу впливають на вибір споживачів при покупці шкіргалантерейних виробів, зокрема сумок та рюкзаків.

2. Запропоновано систему конструктивно-композиційних елементів, яка дозволяє практично, вже на перших етапах проектування, вирішити питання якості проектованих виробів та звузити межі пошуку правильних рішень при його проектуванні.

Література

1. Пономарева И. В. Анализ функциональных возможностей САПР обуви и кожгалантерейных изделий / И. В.Пономарева, И. И. Мруз // Вісник КНУТД. – 2007. – № 3. – С. 131–134.

2. Фукин В.А. Визуальный» подход к оценке трудоемкости кожгалантерейных изделий / В.А. Фукин, Н. В. Бекк, Л.А. Белова // Кожевенно-обувная промышленность. – 2001. – № 3. – С. 37–38.

3. Бекк Н. В. Автоматизация проектирования кожгалантерейных изделий / Н. В. Бекк, Ю. А. Сумина // Кожевенно-обувная пром-сть. – 1998. – № 5. – С. 35.

4. Гуляшов А. В. Сравнительный анализ методов построения разверток поверхностей кожгалантерейных изделий / А. В. Гуляшов, И. Б. Разин // Кожевенно-обувная промышленность = Shoe-leather-fur-industry : научно-технический и производственный журнал. – 2010. – № 4 (Июль/Авг.). – С. 39–40.

5. Разина Е. В. Проведение антропометрических исследований населения для нужд кожевенно-галантерейной промышленности / Е. В. Разина, В. В. Семенова // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна : периодический научный журнал. – 2008. – № 15. – С. 85–87.

6. Паніна Н.В. Технологія соціологічного дослідження / Н.В. Паніна. – К. : Наукова думка, 1996. – 233 с.

7. Тихомиров В. Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в легкой и текстильной промышленности) / Владимир Борисович Тихомиров. – М. : Легкая индустрия, 1974. – 263 с.

Рецензія/Peer review : 9.5.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Рецензент: к.т.н., проф.. Домбровський А.Б.

УДК 685.34.02

М.І. ІГНАТИШИН, Р.В. РОСУЛ
Мукачівський державний університет
А.Б. ДОМБРОВСЬКИЙ
Хмельницький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ РЕЛАКСАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ ШКІРИ НЕПРЯМИМ МЕТОДОМ

В роботі розглянуто застосування системи нелінійних рівнянь для визначення параметрів реологічної моделі шкіри непрямим методом. Основним результатом даної роботи є перевірка адекватності реологічної моделі системі, що моделюється. Перевірка здійснюється шляхом розрахунку релаксаційних параметрів системи, α_1 та α_2 за умовними даними. Якщо в даному часовому інтервалі система нелінійних рівнянь має розв'язок, то модель адекватно описує систему, якщо ні, – модель необхідно міняти. Розглянута нами реологічна модель, котра адекватно описує систему на ділянках від 0 до 10 секунд. Подальше дослідження передбачає побудову дослідної установки для реалізації описаної вище математичної моделі експерименту.

Ключові слова: реологічна модель, нелінійні рівняння.

M.I. IGNATISHIN, R.V. ROSUL
Mukachevo State University
A.B. DOMBROWSKI
Khmelnytsky National University

DETERMINATION OF RELAXATION SKIN MODEL PARAMETERS RHEOLOGICAL INDIRECT METHOD

In this work the application of non-linear equations to determine the parameters of rheological models leather indirect method. The main result of this work is to verify the adequacy of rheological model system that simulated. Testing is done by calculating the parameters of relaxation and for conventional data. If this time interval system of nonlinear equations has a solution model that adequately describes the system if not - the model should be changed. We examined the rheological model which adequately describes the system in areas from 0 to 10 seconds. Further research involves building a pilot plant for implementing the above-described mathematical model experiment.

Keywords: rheological model nonlinear equation

Вступ

Є матеріали, тканини, біологічні тканини, фізичні системи, що мають пружнов'язкі властивості, тобто проявляють пружні і в'язкі властивості одночасно. Теоретичне та експериментальне дослідження таких систем здійснюють за допомогою реологічних моделей.

В роботі [1], вказано, що теоретичні та експериментальні дослідження закріплення ґрунтів враховують реологічні властивості рідин в каналах ґрунту. В роботі [2] застосовано реологічне моделювання при дослідженні магнітострикційного перетворювача. Ступницький В. В. та Долиняк Я. В [3] розглянули формоутворення поверхонь деталей з конструкційних сталей застосувавши реологічну картину впливу різних чинників на процес.

Ряд авторів досліджують вплив різних факторів на поведінку реологічних систем. Сиромятніков В.Г., Масленнікова Л.Д. та Ануфрієв В.А. розглядають вплив молекулярних взаємодій в сумішах полімерів [5] на реологічну поведінку системи. Масленнікова Л.Д. та Фабуляк Ф.Г. досліджували вплив карбонату кальцію на реологічну течію і молекулярні взаємодії з латексом [6]. Реологічні властивості клейової мастики досліджено в праці [7]. Масленнікова Л.Д. розглянула реологічні особливості в'язких водних систем [8] в присутності карбонату кальцію. Смачило О. В. [9] визначала вплив обробки в органічних розчинниках на механічні характеристики одягових шкір.

Дослідники застосовують різні реологічні схеми, які трансформують в диференціальні рівняння. Розв'язки відповідних диференціальних рівнянь є функціями часу і містять параметри реологічної схеми:

$$\begin{aligned} \varepsilon(t) &= \varepsilon\left(t, E_i, \eta_j\right) \\ \sigma(t) &= \sigma\left(t, E_i, \eta_j\right) \end{aligned} \tag{1}$$

де t – час дослідження процесу, ε – відносна деформація, σ – напруження, E_i – модуль пружності i-го елементу моделі, η_j – текучість j-го елементу моделі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Актуальним є питання експериментального визначення параметрів різноманітних реологічних моделей. Питання це актуальне в різних планах. Наприклад, для однієї і тієї ж системи можна побудувати альтернативні реологічні моделі і перевірити їх на адекватність досліджуваному об'єкту після експериментального визначення релаксаційних характеристик. Цікаво було б визначити зміну релаксаційних характеристик реологічної моделі, наприклад, одягових шкір до і після обробки в органічних розчинниках, а не тільки інтегральний модуль пружності, відносну деформацію та міцність.

Формулювання мети дослідження

Мета дослідження – застосувати математичний апарат розв'язку системи нелінійних рівнянь для визначення релаксаційних параметрів реологічної моделі непрямим методом.

Методи дослідження – побудова реологічної моделі досліджуваного об'єкту та визначення параметрів моделі чисельним методом, що застосовується до розв'язку системи нелінійних рівнянь.

Об'єктом дослідження в'язкопружна реологічна модель одягової шкіри. Предмет дослідження – релаксаційні параметри реологічної моделі.

Викладення основного матеріалу

Сформулюємо задачу знаходження релаксаційних параметрів реологічної моделі в загальному виді. Нехай $1 \le i \le m$, де m – кількість релаксаційних параметрів α_i реологічної моделі, c – параметр, що визначається з початкових умов. Отже, всього невідомих параметрів моделі $q = m + 1$. Ці невідомі, α_i та c, можна знайти як розв'язок системи q нелінійних рівнянь:

$$\begin{cases} \varepsilon(t_1, \alpha_i, c) = \varepsilon(t_1); \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots; \\ \varepsilon(t_k, \alpha_i, c) = \varepsilon(t_k); \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots; \\ \varepsilon(t_q, \alpha_i, c) = \varepsilon(t_q); \end{cases} \tag{2}$$

або

$$\begin{cases} \sigma(t_1, \alpha_i, c) = \sigma(t_1); \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots; \\ \sigma(t_1, \alpha_i, c) = \sigma(t_k); \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots; \\ \sigma(t_1, \alpha_i, c) = \sigma(t_q); \end{cases} \tag{3}$$

де k – номер рівняння $1 \le k \le q$.

Надалі будемо розглядати систему рівнянь (2).

Результати та їх оцінка

Пружні властивості шкіри описуються законом Гука, рис. 1:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \tag{4}$$

а в'язкі властивості – законом Ньютона, рис. 2:

$$\sigma = \eta \cdot \dot{\varepsilon} \tag{5}$$

де $\dot{\varepsilon}$ – похідні по часу від відносної деформації ε.

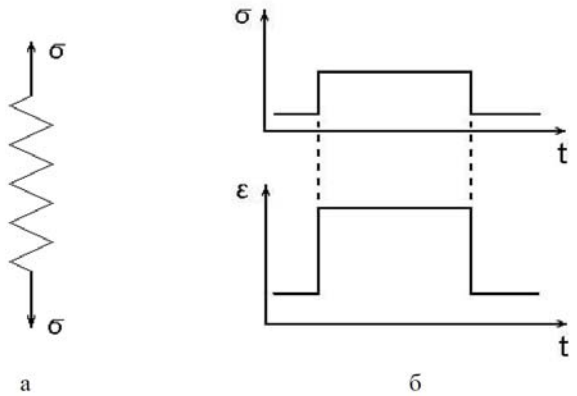


Рис. 1. Реологічна модель пружного елемента
а – модель пружного елемента,
б – деформація пружного елемента ступінчатим навантаженням

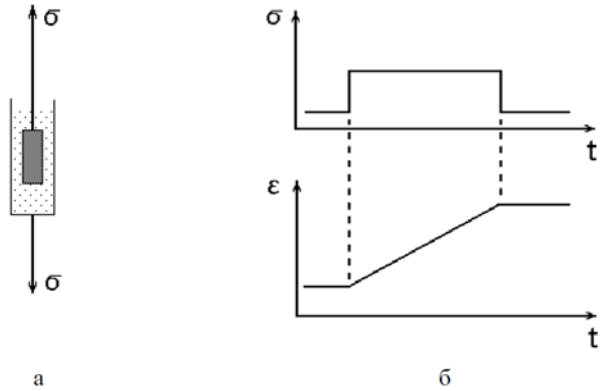


Рис. 2. Реологічна модель в'язкого елемента
а – модель в'язкого елемента
б – деформація в'язкого елемента ступінчатим навантаженням

Розглянемо наступну реологічну модель, рис. 3.

Трансформуємо модель, рис. 3, в диференціальне рівняння, враховуючи, що при паралельному з'єднанні, рис. 4, маємо співвідношення:

$$\begin{cases} \sigma = \sigma_1 + \sigma_2 \ ; \\ \sigma_1 = \eta \cdot \dot{\varepsilon} \ ; \\ \sigma_2 = E \cdot \varepsilon \ ; \end{cases} \tag{6}$$

а при послідовному з'єднанні, рис. 5, маємо співвідношення:

$$\begin{cases} \varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \ ; \\ \sigma = E \cdot \varepsilon_1 \ ; \\ \sigma = \eta \cdot \dot{\varepsilon}_2 \ ; \end{cases} \tag{7}$$

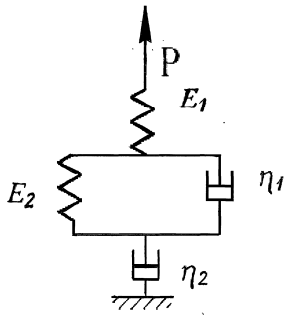


Рис. 3. Реологічна модель шкіри

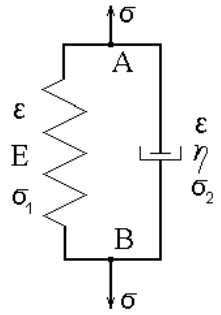


Рис. 4. Модель Фойгта

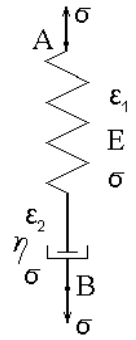


Рис. 5. Модель Максвела

Введемо позначення, що описують реологічну модель, рис. 3:

σ – напруження, що виникає під дією сили P,

ε – відносна деформація, що виникає під дією сили P,

σ_1 – напруження, що виникає в пружному елементі E_1,

ε_1 – відносна деформація, що виникає в пружному елементі E_1,

$\sigma_{x\sigma}$ – напруження, що виникає в пружному елементі E_2,

ε_x – відносна деформація, що виникає в пружному елементі E_2,

$\sigma_{x\eta}$ – напруження, що виникає у в'язкому елементі η_1,

ε_x – відносна деформація, що виникає у в'язкому елементі η_1,

σ_2 – напруження, що виникає у в'язкому елементі η_2,

ε_2 – відносна деформація, що виникає у в'язкому елементі η_2,

Побудуємо співвідношення, що описують реологічну модель, рис. 3:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_x + \varepsilon_2 \tag{8}$$

$$\sigma = \sigma_1 = E_1 \cdot \varepsilon_1 \tag{9}$$

$$\sigma = \sigma_x = \sigma_{x\sigma} + \sigma_{x\eta} = E_2 \cdot \varepsilon_x + \eta_1 \cdot \dot{\varepsilon}_x \tag{10}$$

$$\sigma = \sigma_2 = \eta_2 \cdot \dot{\varepsilon}_2 \tag{11}$$

З формули (8) виключимо ε_1, ε_x, ε_2 для цього знайдемо першу та другу похідні:

$$\dot{\varepsilon}_x = \dot{\varepsilon} - \dot{\varepsilon}_1 - \dot{\varepsilon}_2 , \quad \ddot{\varepsilon}_x = \ddot{\varepsilon} - \ddot{\varepsilon}_1 - \ddot{\varepsilon}_2 \tag{12}$$

$$\dot{\varepsilon}_1 = \frac{1}{E_1} \cdot \dot{\sigma} , \ \dot{\varepsilon}_2 = \frac{1}{\eta_2} \cdot \sigma \tag{13}$$

$$\ddot{\varepsilon}_1 = \frac{1}{E_1} \cdot \ddot{\sigma} , \ \ddot{\varepsilon}_2 = \frac{1}{\eta_2} \cdot \dot{\sigma} \tag{14}$$

Знайдемо першу похідну з співвідношення (10):

$$\dot{\sigma} = E_2 \cdot \dot{\varepsilon}_x + \eta_1 \cdot \ddot{\varepsilon}_x \tag{15}$$

Підставимо (13) та (14) в (12), а потім (12) в (15), спростимо і одержимо диференціальне рівняння, що описує реологічну модель, рис. 3.:

$$\eta_1 \cdot \ddot{\varepsilon} + E_2 \cdot \dot{\varepsilon} = \frac{\eta_1}{E_1} \cdot \ddot{\sigma} + \left(1 + \frac{\eta_1}{\eta_2} + \frac{E_2}{E_1} \right) \cdot \dot{\sigma} + \frac{E_2}{\eta_2} \cdot \sigma \tag{16}$$

При ізометричному експерименті $\varepsilon = const$ рівняння (16) приймає вид:

$$\frac{\eta_1}{E_1} \cdot \ddot{\sigma} + \left(1 + \frac{\eta_1}{\eta_2} + \frac{E_2}{E_1} \right) \cdot \dot{\sigma} + \frac{E_2}{\eta_2} \cdot \sigma = 0 , \tag{17}$$

а при ізотонічному експерименті $\sigma = \sigma_0 = const$ рівняння (16) приймає вид:

$$\ddot{\varepsilon} + \frac{E_2}{\eta_1} \cdot \dot{\varepsilon} - \frac{E_2}{\eta_1 \cdot \eta_2} \cdot \sigma_0 = 0 . \tag{18}$$

Враховуючи початкову умову $\varepsilon(0) = 0$ одержимо розв'язок однорідного диференціального рівняння другого порядку (18):

$$\varepsilon(t) = c \cdot \left[e^{\alpha_1 t} - e^{\alpha_2 t} \right], \tag{19}$$

де

$$\alpha_1 = \frac{E_2}{2\eta_1} \cdot \left(\sqrt{1 + 4 \cdot \frac{\eta_1}{\eta_2} \cdot \frac{\sigma_0}{E_2}} - 1 \right), \tag{20}$$

$$\alpha_2 = -\frac{E_2}{2\eta_1} \cdot \left(\sqrt{1 + 4 \cdot \frac{\eta_1}{\eta_2} \cdot \frac{\sigma_0}{E_2}} + 1 \right), \tag{21}$$

Співвідношення (18), (20) та (21) не містять параметра E_1 реологічної моделі, отже при ізотонічному експерименті його визначити неможливо.

Маємо три невідомі величини c, α_1 та α_2, отже для їх експериментального знаходження потрібно три нелінійні рівняння, що утворюють систему:

$$\begin{cases} c \cdot \left[e^{\alpha_1 t_1} - e^{\alpha_2 t_1} \right] = \varepsilon(t_1), \\ c \cdot \left[e^{\alpha_1 t_2} - e^{\alpha_2 t_2} \right] = \varepsilon(t_2), \\ c \cdot \left[e^{\alpha_1 t_3} - e^{\alpha_2 t_3} \right] = \varepsilon(t_3), \end{cases} \tag{22}$$

де t_1, t_2 та t_3 моменти часу в які визначено значення відносної деформації $\varepsilon(t_1)$, $\varepsilon(t_2)$ та $\varepsilon(t_3)$ при ізотонічному навантаженні σ_0.

Складемо програму для обробки експериментальних даних і непрямого визначення параметрів реологічної моделі, рис. 3, а саме, c, α_1 та α_2, за результатами ізотонічного експерименту. Програма складена в системі MATHCAD.

Початок програми.

<u>Вхідні дані</u> (умовні значення)

$t_1 := 0.1$; $t_2 := 0.2$; $t_2 := 0.3$ (час в секундах),

$\varepsilon_1 := 0.391$; $\varepsilon_2 := 0.658$; $\varepsilon_2 := 0.846$ (відносна деформація в частках)

Орієнтовні значення шуканих параметрів:

$c := 2$; $\alpha_1 := 3$; $\alpha_2 := 4$

Given

$$c \cdot \left(e^{\alpha_1 t_1} - e^{\alpha_2 t_1} \right) = \varepsilon(t_1)$$
$$c \cdot \left(e^{\alpha_1 t_2} - e^{\alpha_2 t_2} \right) = \varepsilon(t_2)$$
$$c \cdot \left(e^{\alpha_1 t_3} - e^{\alpha_2 t_3} \right) = \varepsilon(t_3)$$
$$\varepsilon(t) = c \cdot \left(e^{\alpha_1 t} - e^{\alpha_2 t} \right)$$

$$\begin{pmatrix} c \\ \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{pmatrix} := Find(c, \ \alpha_1, \ \alpha_2) \qquad \begin{pmatrix} c \\ \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0.366 \\ 4.366 \end{pmatrix}$$

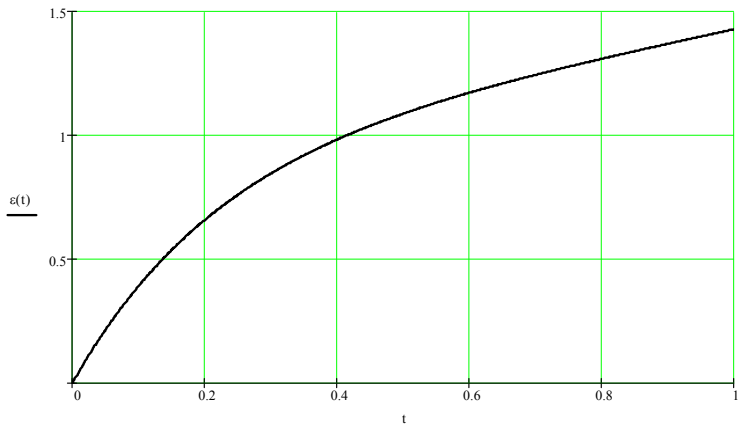


Рис. 6. Зміна відносної деформації реологічної моделі (рис. 3) в часі для інтервалу 0 – 1 с

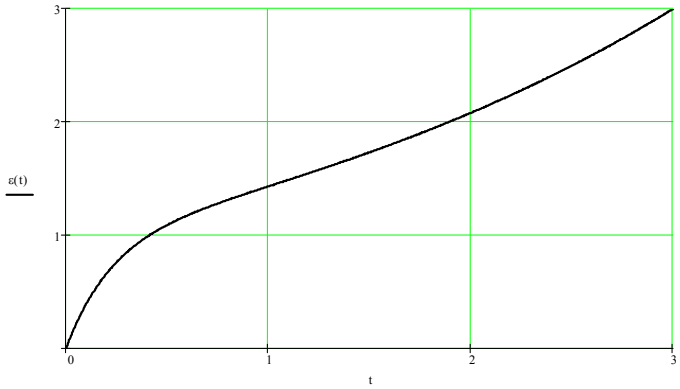


Рис. 7. Зміна відносної деформації реологічної моделі (рис. 3) в часі для інтервалу 0 – 3 с

Фактичні значення шуканих параметрів:

$c = 1$; $\alpha_1 = 0.366$; $\alpha_2 = 4.366$

Кінець програми

Висновки

Основним результатом даної роботи є перевірка адекватності реологічної моделі системі, що моделюється. Перевірка здійснюється шляхом розрахунку релаксаційних параметрів системи, α_1 та α_2 за умовними даними. Якщо в даному часовому інтервалі система нелінійних рівнянь (22) має розв'язок то модель адекватно описує систему, якщо ні, – модель необхідно міняти.

Розглянута нами реологічна модель, рис. 3, адекватно описує систему на ділянках від 0 до 10 секунд.

Подальше дослідження передбачає побудову дослідної установки для реалізації описаної вище математичної моделі експерименту.

Література

1. Бадьора Н.П. Аналіз теоретичних та експериментальних досліджень ін'єкційного закріплення грунтових масивів / Н.П. Бадьора, І.В. Коц // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 2. – С. 46.

2. Шаповалов О.І. Математична модель магнітодинамічного потоку в зоні реологічного переходу магнітострикційного перетворювача / О.І. Шаповалов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 2. – С. 240.

3. Ступницький В.В. Імітаційне реологічне моделювання процесів формоутворення поверхонь деталей з конструкційних сталей / В.В. Ступницький, Я. В. Долиняк // Національний університет "Львівська політехніка". Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2015. – № 49. – С. 9.

4. Сиромятніков В.Г. Вплив молекулярних взаємодій в сумішах полімерів каучук в латексі-полівінілацетат у водному середовищі на реологічну поведінку досліджуваних систем / В.Г. Сиромятніков, Л.Д. Масленнікова, В.А. Ануфрієв // Хім. промисловість України. – 2002. – № 1. – С. 24–26.

5. Осієвська В.В. Реологічні особливості водних дисперсій з використанням карбонату кальцію і водного розчину силікату натрію / В.В. Осієвська, Ф.Г. Фабуляк, Л.Д. Масленнікова // Науковий вісник Миколаївського державного педагогічного ун-ту. – 2000. – № 1. – С. 215–219.

6. Масленнікова Л.Д. Вплив карбонату кальцію на реологічну течію і молекулярні взаємодії з латексом / Л.Д. Масленнікова, Ф.Г. Фабуляк // Наук. вісник Ужгородського держ. ун-ту. – 2001. – № 6. – С. 204–206.

7. Реологічні та ІЧ-спектроскопічні дослідження нової клейової мастики / В.В. Осієвська, А.Є. Мірошніков, Л.Д. Масленнікова, Ф.Г. Фабуляк // Фізика конденсованих високомолекулярних систем: Наукові записки Рівненського держ. гуманіст. ун-ту. – 2000. – № 8. – С. 9–16.

8. Масленнікова Л.Д. Реологічні особливості в'язких водних систем в присутності карбонату кальцію / Л.Д. Масленнікова // V Всеукраїнська конференція "Фундаментальна та професійна підготовка фахівців з фізики" : тези доп. – К. : НПУ ім. М.П.Драгоманова, 2000. – С. 169.

9. Смачило О. В. Матеріалознавчі характеристики одягових шкір після обробки в органічних розчинниках / О. В. Смачило // Технології та дизайн. – 2013. – № 4. – С. 7.

Рецензія/Peer review : 21.5.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф.. Параска Г.Б.

УДК 677.017.8

І.С. ГАЛИК, Б.Д. СЕМАК
Львівська комерційна академія

ТОВАРОЗНАВЧІ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМИ ФОРМУВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ БЕЗПЕЧНОСТІ ТЕКСТИЛЮ І ОДЯГУ

В роботі розглянуто товарознавчі аспекти формування та оцінювання рівня безпечності товарів на прикладі текстильних матеріалів і одягу. Обґрунтовано вплив безпечності товарів на рівень їх якості. Більш ґрунтовно висвітлена хімічна, біологічна, термічна і екологічна безпечність текстильних матеріалів. Надано трактування термінів безпечності, наведені критерії і показники оцінки цих видів безпечності. Показано, що прискорення процесу гармонізації національної системи оцінки відповідності продукції з міжнародною практикою сприятиме гарантуванню безпечності товарів, підвищенню їх якості та конкурентоспроможності, а отже подальшому розвитку вітчизняної промисловості, насиченню споживчого ринку безпечними виробами.

Ключові слова: текстиль, одяг, безпечність, конкурентоспроможність, формування, оцінювання, експортний потенціал, зарубіжні ринки.

I.S. GALYK, B.D. SEMAK
Lviv Academy of Commerce

COMMODITY ASPECTS, FORMATION PROBLEMS AND SAFETY EVALUATION OF TEXTILES AND CLOTHES

Commodity aspects of product safety forming and evaluation on the textile examples and clothing have been reviewed. Product safety impact on their level of quality has been grounded. Chemical, biological, thermal and ecological safety of textiles is thoroughly covered. The interpretation of safety terms has been given. The criteria and indicators for assessing the safety of these species have been shown. It is shown that the acceleration of harmonization process of the products conformity assessment national system with international practices will contribute to guaranteeing product safety, improving quality and competitiveness capacity, and therefore the future of the domestic industry, the consumer market saturation with safe products.

Keywords: textiles, clothing, safety, competitiveness, development, evaluation, export potential, foreign markets.

Вступ

Як свідчить аналіз ситуації на вітчизняному і зарубіжних ринках текстилю і одягу, рівень їх безпечності вважається гарантом не тільки конкурентоспроможності, але й загального успіху на цих ринках. Особливої актуальності вивчення впливу безпечності сировини, технологій виробництва та асортименту текстилю і одягу на здоров'я людини та забруднення довкілля набуває при реалізації Угоди про асоціацію України і ЄС, коли відкриваються широкі можливості збільшення обсягів експорту вітчизняної продукції на європейські ринки.

Разом з тим, питанням формулювання, обґрунтування та стандартизації вимог до рівня безпечності текстилю і одягу, як і інших товарів вітчизняної легкої промисловості, вибору ефективних критеріїв і методів оцінювання безпечності цих товарів в Україні, на відміну від зарубіжних країн, приділяється ще недостатня увага, що суттєво обмежує експортний потенціал підприємств вітчизняної текстильної і легкої промисловості.

Постановка завдання

Як відомо, необхідність реалізації Угоди України із СОТ, Угоди про асоціацію України із ЄС, Угоди про зону вільної торгівлі з ЄС, підготовка до вступу України до ЄС вимагають передусім переорієнтації законодавчо-правової і нормативно-технічної бази промислового виробництва, включаючи текстильну та легку промисловість України. При цьому, першочергового вирішення вимагають товарознавчі аспекти наступних завдань:

- обґрунтування самої категорії безпечності текстилю і одягу як ключових характеристик їх якості та конкурентоспроможності, оскільки ця характеристика в практиці вітчизняної текстильної і легкої промисловості поки розглядається як другорядна, без достатньої ув'язки із рівнем якості та конкурентоспроможності конкретних груп і видів текстилю і одягу;
- заміна в практиці роботи підприємств вітчизняної текстильної і легкої промисловості застарілих стандартів колишнього СРСР відповідними європейськими та міжнародними стандартами повинна бути націлена на пріоритетне застосування тих видів європейських, міжнародних і гармонізованих з ними вітчизняних стандартів, в яких регламентовані вимоги до рівня безпечності конкретних видів текстилю і одягу, а також критеріїв і методів її оцінювання;
- проведення поглиблених комплексних товарознавчих, матеріалознавчих, технологічних, маркетингових і інших досліджень, чинників, пов'язаних із формуванням і оцінюванням різних видів безпечності текстилю і одягу, акцентуючи основну увагу на ті із них, які безпосередньо впливають на стан здоров'я людини та забруднення довкілля;
- більш детального та глибокого дослідження специфіки негативного впливу на організм людини та довкілля вимагають сучасні нанотехнології у сфері виробництва текстильних наноматеріалів і виробів з них, оскільки вимоги до їх безпечності ще недостатньо вивчені, обґрунтовані та стандартизовані;
- з метою формування іміджу та експортного потенціалу вітчизняних підприємств-виробників текстилю і одягу виникає потреба для оцінки рівня безпечності їх продукції використання сучасних експертних методів;

- назріла потреба у створенні нового міжгалузевого гармонізованого із відповідними європейськими та міжнародними стандартами ДСТУ щодо формування та оцінювання рівня безпечності текстилю та одягу, в якому були б регламентовані: визначення основних термінів і понять, вимоги до рівня безпечності основних видів текстильних матеріалів і виробів, обґрунтовані критерії і методи оцінювання безпечності текстильних матеріалів і виробів різних способів виробництва і цільового призначення, а також описані особливості їх маркування.

З метою реалізації перерахованих завдань зусилля технологів, матеріалознавців. товарознавців, екологів, гігієністів, стандартизаторів, маркетологів і інших фахівців сфери вітчизняної текстильної і легкої промисловості та торгівлі повинні бути націлені на першочергове вирішення таких питань:

- розроблення та впровадження у практику роботи вітчизняної текстильної і легкої промисловості нової концепції формування та оцінювання оптимальності асортименту, рівня якості та безпечності текстилю та одягу, в якій безпечність цих товарів розглядалась би як ключова та невід'ємна характеристика рівня їх якості та надійності в експлуатації;
- переорієнтація законодавчо-правової та нормативно-технічної бази вітчизняної текстильної і легкої промисловості та сфери торгівлі на вимоги законодавства Європейського Союзу, європейських і міжнародних стандартів щодо формування безпечності, якості та конкурентоспроможності продукції названих галузей промисловості;
- виявлення та обґрунтування місця і ролі товарознавчої науки у формуванні та оцінюванні рівня безпечності вітчизняного текстилю і одягу та переорієнтації інформаційного забезпечення ринку названих товарів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблема формування та оцінювання рівня безпечності текстильних матеріалів і виробів складна і багатогранна і включає технологічні, товарознавчі, екологічні, маркетингові та інші аспекти. В даній роботі ми обмежимось розглядом тільки товарознавчих аспектів цієї різнопланової проблеми, акцентуючи увагу на вирішення наступних питань:

- розкриття ролі рівня безпечності текстильних матеріалів і виробів, як і інших видів товарів вітчизняної легкої промисловості, у формуванні їх конкурентоспроможності на вітчизняному та зарубіжному ринках;
- обґрунтування пріоритетності товарознавчих досліджень безпечності текстилю і одягу як ключових характеристик їх успіху на ринках;
- поглиблення комплексних товарознавчих, технологічних і маркетингових досліджень текстилю та одягу, націлених на формування заданого рівня безпечності цих товарів і її більш тісної ув'язки із рівнем якості.

Враховуючи роль безпечності текстилю і одягу у формуванні їх успіху на ринках (особливо зарубіжних), проблеми формування та оцінювання безпечності цих товарів в останні роки досить широко дискутуються на міжнародних, регіональних та вузівських науково-практичних конференціях. Результати цих досліджень також узагальнені в деяких періодичних і монографічних виданнях. Для прикладу розглянемо деякі із них, опубліковані в останні роки.

В роботі [1] наведена загальна характеристика основних видів безпечності промислових товарів і критеріїв її оцінки. Наведена інформація про особливості, критерії оцінки та показники наступних видів безпечності непродовольчих товарів: хімічну, біологічну, механічну, радіаційну, електричну, електромагнітну, термічну, акустичну, вібраційну. Обґрунтовується доцільність розроблення серії вітчизняних стандартів, в яких би була наведена інформація про вплив названих видів безпечності товарів на самопочуття людини та забруднення довкілля.

Авторами роботи [2] дано визначення та характеристику деяких видів безпечності (термічної, електростатичної та екологічної) і критеріїв їх оцінки для текстильних матеріалів різного цільового призначення та способів виробництва. При цьому основна увага акцентується на розгляді проблем формування та оцінювання екологічної безпечності текстильних матеріалів і виробів (особливо негативного впливу технологій їх виробництва та експлуатації на здоров'я людини та забруднення довкілля). Показано роль міжнародної стандартизації у формуванні та оцінюванні екологічної безпечності текстилю.

Авторами роботи [3] розглянуто актуальні проблеми формування асортименту екологобезпечних видів текстильних матеріалів і виробів. Показано перспективність виробництва та застосування в практиці вітчизняного текстильного виробництва екологобезпечних видів сировини (особливо рослинних барвників). Поданий аналіз нормативної бази, в якій регламентовані вимоги до екотекстилю та технології його виробництва.

Автором роботи [4] дана характеристика основних чинників, які впливають на рівень безпечності текстильних матеріалів і виробів. Ним обґрунтовані основні зони ризиків і шкідливого впливу на здоров'я людини та довкілля, пов'язані із використанням окремих видів текстильної сировини (волокон, барвників, апретів) та технологій виробництва текстильних матеріалів. Вивчені та узагальнені причини ризиків від використання небезпечної текстильної сировини та готової продукції. Розкрита роль екологічної стандартизації в контролі рівня безпечності текстильних матеріалів і виробів різного цільового призначення. При цьому основна увага приділена оцінці безпечності дитячого асортименту. Автором розроблено конкретні рекомендації з метою підвищення безпечності текстильних матеріалів і виробів і вдосконалення методів оцінювання їх безпечності.

В роботі [5] подано визначення поняття "безпечність товару", показана роль і місце безпечності

товарів, включаючи текстильні, у формуванні рівня їх якості та конкурентоспроможності на ринку. На прикладі текстильних товарів сформульовані та обґрунтовані характеристики та показники, за якими можна здійснювати оцінку відповідності текстильної продукції нормованим вимогам їх безпечності. Показана роль міжнародної екологічної стандартизації у формуванні та оцінюванні рівня безпечності текстильних матеріалів і виробів. Розглянуто проблеми формування вітчизняного сегменту ринку екотекстилю. Підкреслюється важлива роль формування та оцінки рівня безпечності вітчизняної текстильної продукції при реалізації Угоди про асоціацію України з ЄС, Угоди про зону вільної торгівлі та інших.

В роботі [6] розглянуто товарознавчі аспекти формування та оцінювання екологічної безпечності текстильних матеріалів різного цільового призначення. Основну увагу приділено вивченню впливу різних способів оброблення текстильних одягових матеріалів на формування їх екологічної безпечності. Узагальнено вітчизняний і зарубіжний досвід формування та оцінювання екологічної безпечності текстильних матеріалів одягового призначення. Розкрита роль окремих фізіологічних груп мікроорганізмів у формуванні екологічної безпечності целюлозних текстильних матеріалів.

Робота [7] присвячена розкриттю ролі текстильного товарознавства у формуванні та оцінюванні рівня екологічної безпечності текстильних матеріалів і виробів. Показана роль галузевої та вузівської науки у сфері торгівлі у вирішенні піднятої проблеми. Обґрунтована доцільність проведення поглиблених товарознавчих досліджень проблем, пов’язаних із формуванням екологічної безпечності текстилю та одягу.

В роботі [8] розкрита роль сучасних нанотехнологій в антимікробному обробленні текстильних одягових матеріалів і можливість в результаті цього оброблення суттєвого підвищення екологічної безпечності цих матеріалів. При цьому основну увагу приділено пошуку ефективних засобів захисту цих матеріалів від дії патогенних і волокноруйнуючих мікроорганізмів. Обґрунтована необхідність вивчення негативного впливу наночастинок і нанотехнологій на здоров’я людини та забруднення довкілля.

В роботі [9] розкрита роль текстильної сировини (волокон, барвників, апретів і інших), сучасних текстильних технологій та екологічної стандартизації у формуванні та оцінюванні рівня екологічної безпечності текстильних матеріалів і виробів різного цільового призначення. Дано сучасне товарознавче тлумачення піднятих проблем.

В роботі [10] сформульовані та обґрунтовані теоретико-методологічні засади формування та оцінювання екологічної безпечності текстильних матеріалів і виробів. Розкрита роль екологічної стандартизації, сертифікації, аудиту та експертизи у формуванні та оцінюванні якості та безпечності екотекстилю одягового та інтер’єрного призначення. Вивчено стан і перспективи виробництва екотекстилю в Україні. Обґрунтована доцільність формування вітчизняного сегменту ринку екотекстилю. Узагальнено зарубіжний і вітчизняний досвід формування та оцінювання екологічної безпечності текстилю та одягу. Значну увагу приділено вивченню можливостей застосування в практиці вітчизняного текстильного виробництва сучасних нано-, біо- і хімічних текстильних технологій та оцінці екологічної безпечності нанопродукції. Сформульовані напрямки подальшого вдосконалення текстильного товарознавства як наукової, так і навчальної дисципліни.

Мета роботи. На основі аналізу законодавчо-правових актів, літературних джерел і результатів власних досліджень розглянуті деякі товарознавчі аспекти формування та оцінювання рівня безпечності текстилю і одягу.

Викладення основного матеріалу та його авторська трактовка

Як відомо, згідно із Законом України "Про загальну безпечність нехарчової продукції" [11] безпечність будь-якого виду промислової продукції, включаючи текстиль і одяг, коли вона не становить жодного ризику чи становить мінімальні ризики, які не створюють загрози суспільним інтересам при експлуатації цієї продукції. Дія цього закону поширюється на ті види промислової продукції, яка підлягає:

- ринковому нагляду (особливо при її митному контролі);
- при встановленні відповідності продукції вимогам національних і гармонізованих з ними європейських і міжнародних стандартів;
- при проведенні сертифікації та експертизи продукції у відповідності з вимогами діючих нормативних документів.

В даній роботі ми обмежимось більш детальною оцінкою безпечності текстилю і одягу тільки при їх митному контролю, акцентуючи основну увагу на найбільш вагомі та значимі види безпечності цих товарів (хімічну, біологічну, термічну, екологічну). При цьому, розглядаючи окремі види безпечності текстилю і одягу, першочергову увагу слід приділити: визначенню суті і значимості окремих видів безпечності текстильних товарів і виробів конкретного призначення, волокнистого складу та способів виробництва, обґрунтованості вибору критеріїв, методів і показників їх оцінки з обов’язковим врахуванням їх впливу на стан здоров’я споживачів названих товарів.

Для прикладу дамо визначення і коротку характеристику найбільш значимих для товарів текстильної і легкої промисловості видів їх безпечності – хімічної, біологічної, термічної та економічної, які найчастіше використовуються у процесі митного контролю продукції названих галузей та торгівлі цими товарами [2, 12].

Конкретизуємо визначення суті названих видів безпечності стосовно текстилю і одягу, враховуючи специфіку виробництва та експлуатації цих товарів і значимість для них показників безпечності. На основі узагальнення результатів оцінки основних видів безпечності текстилю і одягу, яке міститься в різних нормативних документах і літературних джерелах, ми вважаємо доцільним обмежитись вивченням таких понять:

1. **Хімічна безпечність текстилю та одягу** визначається гранично допустимою концентрацією в них шкідливих для здоров'я людини та довкілля хімічних речовин, які потрапляють в ці товари із різних видів текстильної сировини (хімічних волокон, синтетичних барвників, апретів, текстильно-допоміжних сполук, мийних засобів і інших), в процесі технологій їх виробництва (особливо обробного) і здатних виділятися із текстильних матеріалів і виробів як в процесі їх виробництва, так і в процесі їх експлуатації, що обумовлює зниження гігієнічності та екологічної безпечності названих товарів.

Як відомо, міграція залишків шкідливих для людини хімічних речовин із текстилю і одягу може мати суттєвий негативний вплив на стан її здоров'я (викликати отруєння організму, різноманітні алергічні реакції на шкірі людини, розлад нервової системи та багато інших).

Слід зауважити, що у практиці вітчизняного текстильного виробництва застосовуються різноманітні засоби та обробні препарати з метою мінімізації негативного впливу на організм людини та довкілля хімічної безпечності текстилю і одягу.

При виборі критеріїв, показників і методів оцінки рівня хімічної безпечності текстилю і одягу слід враховувати: гранично допустимі концентрації наявних в них токсичних речовин, їх хімічний склад, а також призначення текстильних матеріалів і виробів з них [2, 6].

2. **Біологічна безпечність текстилю та одягу** визначається в основному наявністю на цих товарах шкідливих для здоров'я людини та збереження її майна окремих фізіологічних груп мікроорганізмів, здатних збуджувати різноманітні хвороби людини, викликати пошкодження її одягу та інших речей. Особливо це стосується наступних фізіологічних груп мікроорганізмів – патогенних і волокноруйнуючих.

Наскільки важливими для термінів експлуатації текстилю і одягу є волокноруйнуючі мікроорганізми (особливо целюлозоруйнуючі та кератиноруйнуючі їх групи) переконливо свідчить той факт, що у загальному процесі руйнування текстильних матеріалів і виробів біля 40% пошкоджень припадає на їх мікробіологічну деструкцію [6]. Більше того, мікробіологічна деструкція текстильних матеріалів і одягу є невід'ємною складовою частиною зношування цих товарів під дією багатьох чинників (особливо світлопогоди, мокрих оброблень, хімічних чисток та інших).

Окрім дії волокноруйнуючих мікроорганізмів, текстильні матеріали та одяг в процесі їх експлуатації, зберігання та транспортування можуть пошкоджуватись і гризунами.

Номенклатура критеріїв, показників і методів оцінювання біологічної (мікробіологічної безпечності) текстилю та одягу, як і хімічної, визначається перш за все волокнистим складом і способами заключної обробки цих товарів, їх цільовим призначенням і умовами експлуатації. Так, наприклад, для оцінки стійкості одягових целюлозовмісних текстильних матеріалів до дії целюлозоруйнуючих мікроорганізмів можуть використовуватись наступні критерії і показники [6]:

- чисельність мікроорганізмів (тис./1г абсолютно сухої тканини): грибів, бактерій, актиноміцетів;
- те ж, целюлозоруйнуючих: грибів, бактерій, актиноміцетів;
- зниження розривального навантаження тканини (%) після 10-денного контакту з ґрунтовими мікроорганізмами.

Слід підкреслити, що для ефективного захисту текстилю і одягу від шкідливого впливу патогенних і волокноруйнуючих груп мікроорганізмів у практиці текстильного виробництва застосовується широкий арсенал різних за хімічною будовою і призначенням антимікробних обробних препаратів [6, 10].

3. **Термічна безпечність текстилю та одягу** характеризується їх здатністю захищати людину від дії високих температур. Це комплексна характеристика споживних властивостей названих товарів, яка характеризує їх здатність до горіння, тління після винесення із полум′я, тривалістю горіння, продуктами горіння, їх запахом і будовою та іншими. Вона визначається для текстилю та одягу такими характеристиками: займистістю, вогнестійкістю, індексом розповсюдження полум′я та іншими [2]. Конкретизуємо деякі із названих понять стосовно термічної безпечності текстилю та одягу:

- займистість – це легкість чи відсутність загорання текстильного матеріалу, яке оцінюється температурою та часом його займистості і залежить в основному від природи волокнистого складу та способу обробки (особливо антипіренової) цього матеріалу;
- вогнестійкість – це стійкість текстильного матеріалу чи виробу до полум′я вогню та термічного руйнування. До вогнестійких відносяться негорючі і нетліючі текстильні матеріали із термостійких волокон;
- індекс розповсюдження полум′я при горінні текстильного матеріалу характеризується швидкістю цього горіння і залежить від волокнистого складу та способу спеціального оброблення цього матеріалу чи одягу із нього.

Особливо актуальною є оцінка термічної безпечності, включаючи і оцінку токсичності продуктів горіння, для текстильних матеріалів і виробів інтер′єрного призначення (особливо шторно-занавісних, меблево-декоративних, для підлогових покриттів).

4. **Екологічна безпечність** текстилю та одягу характеризується тими показниками хімічних і фізико-хімічних властивостей названих товарів, які дозволяють оцінити негативний вплив технологій виробництва та умов експлуатації текстильних матеріалів і виробів на здоров′я людини та забруднення довкілля [10]. На відміну від розглянутих видів (хімічної, біологічної та термічної) безпечності текстилю і одягу, екологічна безпечність має ряд специфічних властивостей, а саме:

- вимоги до екологічної безпечності текстилю та одягу та процедури її оцінювання стандартизовані – у міжнародному екологічному стандарті Екотекс-100 та гармонізованому з ним ДСТУ 4239:2003 Матеріали та вироби текстильні і шкіряні побутового призначення. Основні гігієнічні вимоги;
- критеріями оцінювання екологічної безпечності текстилю та одягу у ДСТУ 4239:2003 обрані: величина pH для продукції з вовни, шовку та іншої сировини; вміст вільного і здатного частково виділятися

формальдегіду; залишки важких металів, що здатні до екстрагування (As, Pb, Cd, Cr, Hg, Co, Cu, Ni); вміст пестицидів; вміст азобарвників МАК класів $IIIA_1$ і $IIIA_2$; вміст хлорорганічних носіїв; стійкість пофарбувань до дії води; прання, кислотного поту; сухого тертя, мокрого тертя; стійкість пофарбувань до слини, наявність запаху;

- вимоги до екологічної безпечності текстильних матеріалів і одягу дитячого асортименту є значно вищими, ніж для аналогічних матеріалів і одягу для дорослих; ці вимоги є значно вищими для виробів, які контактують зі шкірою людини, ніж до тих виробів, які в процесі експлуатації не контактують зі шкірою людини.

Таким чином, наведена в даній роботі інформація щодо деяких товарознавчих аспектів формування та оцінювання безпечності текстилю і одягу є недостатньою і вимагає подальших поглиблених комплексних досліджень цієї різнопланової проблеми за участю факторів різного профілю – технологів, матеріалознавців, гігієністів, хіміків, дизайнерів, стандартизаторів, екологів і інших. Разом з тим, наведена в цій роботі інформація може виявитися корисною для постановки та вирішення наступних завдань у сферах вітчизняної текстильної і легкої промисловості та торгівлі. Це стосується передусім таких питань:

- створення нового Технічного регламенту з метою контролю безпечності продукції текстильної і легкої промисловості в Україні;
- створення нового ДСТУ гармонізованого з європейськими і міжнародними стандартами, щодо формулювання, обґрунтування та стандартизації вимог до основних видів безпечності продукції текстильної і легкої промисловості;
- обов'язкове врахування результатів оцінки рівня основних видів безпечності продукції вітчизняної текстильної і легкої промисловості при визначенні її конкурентоспроможності, екологічності та елітності.

Загальні висновки

1. Необхідність реалізації Угоди про асоціацію України з ЄС, Угоди про зону вільної торгівлі з ЄС, переорієнтації експортно-імпортних операцій із ринків СНД на ринки Європейського Союзу та інших зарубіжних країн вимагає безвідкладного створення нового Технічного регламенту із митного контролю безпечності продукції легкої промисловості.
2. Обґрунтована потреба створення нового ДСТУ щодо формування та оцінювання рівня безпечності товарів текстильної і легкої промисловості, в якому були би сформульовані вимоги до безпечності названих груп товарів, подано визначення і характеристику окремих видів їх безпечності, а також обґрунтовано вибір критеріїв, показників і методів оцінювання безпечності цих товарів.
3. Існує нагальна потреба поглиблення товарознавчих і матеріалознавчих досліджень рівня безпечності товарів вітчизняної текстильної і легкої промисловості, як це прийнято в економічно розвинутих зарубіжних країнах, а також обов′язкового врахування цієї характеристики при визначенні рівня конкурентоспроможності конкретних видів товарів цих галузей на вітчизняному та зарубіжних ринках.

Література

1. Євтушенко В.В. Безпечність промислових товарів [Електронний ресурс] / В.В. Євтушенко, Е.П. Домбровська. – Режим доступу : http://book.net/index.php?bild=4903&chapter=18p=achapter.
2. Кирюхин С.М. Качество и безопасность текстильных материалов / С.М. Кирюхин, А.Л. Таточенко, И.М. Таточенко, Н.Г. Середа [Електронний ресурс].– Режим доступу : pandia.ru/tex/79/245/86131.php.
3. Супрун Н.П. Сучасні проблеми виробництва безпечного у споживанні та екологічно чистого текстилю : монографія / Н.П. Супрун, Г.В.Щуцька. – К. : Кафедра, 2013. –112 с.
4. Кричевский Г.Е. Опасность и безопасность текстиля / Г.Е. Кричевский // Текстильная промышленность. – 2006. – № 3. – С. 42–45.
5. Безпечність товарів як передумова [Електронний ресурс]. – Режим доступу : Book.net/index.php?p= achapter8<bild=730& chapter=1
6. Галик І.С. Екологічна безпека та біостійкість текстильних матеріалів : монографія / І.С. Галик, О.Б.Концевич, Б.Д.Семак. – Львів : Видавництво Львівської комерційної академії, 2006. – 232 с.
7. Галик І.С. Роль текстильного товарознавства у формуванні та оцінюванні екологічної безпечності текстильних матеріалів і виробів / І.С. Галик, Б.Д. Семак // Вісник КНУТД. – 2013. – № 2. – С.70–98.
8. Галик І.С. Використання нанотехнологій для захисту текстилю від шкідливих мікроорганізмів / І.С. Галик, Б.Д. Семак // Вісник ХНТУ. – 2014. – № 4 (51). – С. 59–64.
9. Галик І.С. Екологічна безпечність текстилю: проблеми і рішення / І.С.Галик, Б.Д. Семак // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 6. – С. 88–99.
10. Галик І.С. Проблеми формування та оцінювання екологічної безпечності текстилю : монографія / І.С. Галик, Б.Д. Семак. – Львів : Видавництво Львівської комерційної академії, 2014. – 488 с.
11. Закон України "Про загальну безпечність нехарчової продукції" // Відомості Верховної Ради України. – 2011. – № 22. –145 с.
12. Катрич В. Безпечність взуття для дітей / В. Катрич // Товари і ринки. – 2012. – № 2. – С. 211–216.

Рецензія/Peer review : 25.3.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., професор, Доманцевич Н.І.

УДК 620.22:624

І.М. БІЛОУС, Т.А. ПУДАЙЛО, В.С. ГОРОБЧИШИНА, В.В. ЛИПОВА
Вінницький інститут конструювання одягу і підприємництва

ВПЛИВ АЗБЕСТОВИХ ВОЛОКОН НА ЖИТТЄДІЯЛЬНІСТЬ ЛЮДСТВА

В даній статті представлено і описано застосування та дослідження азбесту, його позитивні та негативні властивості. Надана характеристика та вказані основні властивості азбесту: Дослідження доводить,що азбест має широке застосування, серед натуральних волокон неорганічного походження, стійкість азбесту до високих температур дозволяє використовувати його як матеріал для театральних завіс, спецодягу пожежних, металургів, космонавтів. Стійкість до загнивання, здатність затримувати бактерії, шкідливі речовини й радіаційне випромінювання дозволяють використовувати його у фільтрах харчової, атомної, фармацевтичної промисловості, при виготовленні гербового паперу, грошових знаків. Азбест входить до складу більш ніж трьох тисяч виробів у всіляких областях техніки. Дослідивши властивості азбесту, пропонується його нове застосування у вигляді порошкоподібної маси у фітополотні для зменшення ризику пошкодження готових виробів, підвищення їх якості, зносостійкості, а також додавати у масляні фарби для малювання.

Ключові слова: азбест, нанотехнології, базальтові волокна, полотно.

I.M. BILOUS, T.A. PUDAILO, V.S. GOROBCHISHINA V.V. LYPOVA
Vinnytsia Institute of Clothes Designing and Entrepreneurship

INFLUENCE OF ASBESTINE FIBRES ON THE VITAL FUNCTIONS OF HUMANITY

Application and research of earth-flax are presented in this article and described, him positive and negative properties. Given description and indicated basic properties of earth-flax : earth-flax - (worm-pipe) is a mineral, from what of it get. He has greenish- yellow (sometimes white) with a gold tint. An earth-flax meets in the wild as bunches of fibres and has exceptionally high durability at a stretch, resiliency, chemical and physical firmness. An earth-flax has unique warm, sound, electro- isolation properties. Other material with similar properties in the wild is not. Research proves that an earth-flax has wide application, among the natural fibres of inorganic origin, firmness of earth-flax to the high temperatures allows to use him as material for theatrical curtains, overalls of fire, metallurgists, cosmonauts. Firmness to rotting, ability to detain to the bacterium, harmful substances and radiation allow to use him in the filters of food, atomic, pharmaceutical industry, at making of the stamped paper, money signs. An earth-flax enters in the complement of more than three thousand wares in the various areas of technique. Investigating properties of earth-flax - it is offered him new application as powdery mass in fit linens for reduction to the risk of damage of finish goods, increase of their quality, wearproofness, and also to add to the oily paints for drawing.

Key words: earth-flax , nanotechnologies, basaltic fibres, linen.

Вступ

З найдревніших часів текстиль відіграє важливу роль не лише в плані облаштування побуту, але і в оформленні простору. Тканини в дизайні інтер'єрів набувають сьогодні особливої популярності, багато в чому завдяки появі інноваційних технологій, що дозволяють реалізувати практично будь-яку ідею і зробити домашній текстиль ще привабливішим. Кожен метр текстильного матеріалу, зробленого в наші дні, несе на собі пам'ять і знання, накопичені віками і тисячоліттями, упродовж яких людина займалася однією з прадавніх технологій – виробництвом текстилю.

Історія текстилю почалася, принаймні, шість тисяч років тому. У той час людина вже знала і використала чотири найважливіші природні волокна: льон, шерсть, бавовну і шовк. Археологічні розкопки доводять, що ще на самих ранніх стадіях розвитку люди уміли ці волокна вирощувати і переробляти у вироби. Таким чином людина, беручи участь у боротьбі за своє існування з природою, пристосовувала її до своїх потреб.

Першим освоєним і окультуреною людиною волокном був льон. Ще п'ять тисяч років до Різдва Христового, в долині річки Ніл на території сучасного Єгипту, з льону виготовляли тканини. Ще раніше наші предки уміли витягати волокна із стебел лубових рослин, плести з них подібність тканин і використати їх для прикриття свого тіла.

Другим найважливішим волокном, яке освоїла людина була шерсть. В період неоліту (кінець кам'яного століття) людина використала шерсть разом з льоном. Жителі того ж древнього поселення на території сучасної Швейцарії розводили овець. Сама рання дата, пов'язана з вівчарством і виробництвом шерсті, підтверджена розкопками, відповідає 4000 років до нашої ери.

Третє найважливіше волокно в історії текстилю – бавовна. Перше матеріальне підтвердження його виробництва відноситься до 1000 років до н.е., про що говорять археологічні розкопки поселення в Індії. Дослідження показують, що бавовну почали використати в Єгипті за декілька тисяч років до н.е. Купці завозили бавовну з Індії на Близький Схід, в Центральну Азію і потім в Китай. Ще в невідкритій європейцями Південній Америці, древні інки виробляли бавовняні тканини чудового за сучасними мірками колористичного оформлення і якості.

Четверте найважливіше природне волокно – шовк. Ймовірно, батьківщиною його виробництва був Китай. Легенда свідчить, що китайська імператриця Хен-Линг-Чи перша відкрила це чудове волокно. Вона випадково впустила кокон в гарячу воду і побачила, що з розм'якшеного кокона відокремилися шовкові нитки. Імператриця зрозуміла можливість використання цих ниток.

Таким чином, рання історія текстилю подарувала нам чотири природних волокна, які були освоєні і використовувалися для виробництва тканин доісторичною людиною за технологічною схемою:

вирощування – прядіння – ткацтво. Ця проста схема, винайдена більш ніж 6 тисяч років тому, не зазнала принципових змін досі, пройшовши шлях від ручної до високоавтоматизованої швидкісної технології із застосуванням робототехніки. Прості прядки і ткацькі верстати, які знаходять при розкопках древніх поселень, основані на тих же принципах, що і сучасне автоматизоване текстильне, прядильне і ткацьке устаткування [1].

Метою роботи є дослідження застосування азбестових волокон у вигляді порошкоподібної маси в фітополотні для готових виробів, а також у додаванні у масляні фарби для малювання.

Об'єктом дослідження є аналіз та характеристика впливу азбесту на життєдіяльність.

Експериментальна частина

Формування асортименту текстильних полотен спеціального призначення з базальтових волокон обумовлює необхідність дослідження їх теплофізичних властивостей. На вітчизняному ринку теплостійких полотен спеціального призначення найбільш відомі такі: з азбестових волокон (+250°С); зі скловолокон (характерна особливість – низька робоча температура скляного волокна (до +400 °С) та низька температура спікання (+600 °С); із поліефірних вогнетривких волокон (матеріалу властиві низька робоча температура (від –60 до +170°С) та низька температура плавлення (+260 °С) порівняно з базальтовим волокном. Ці тканини для набуття вогнетривких властивостей потребують обробки спеціальними апретами [3].

Розглянемо на прикладі азбесту. У перекладі з грецького «азбест» означає «невичерпний», «непогасний», «неослабний» – досить романтична назва цього унікального природного мінералу. Інша, не менш романтична, назва мінералу – «гірський льон», тому що азбест здатний розщеплюватися на якнайтонші довгі волокна завтовшки до 0,5 мікрометрів.

Азбест відомий з дуже давніх часів. Ще за 1300 років до нашої ери в стародавньому Китаї, в Індії жерці мали одяг з азбесту, що не згорав, в якому вони входили у вогонь, виходили з нього живими. Азбест є природним різновидом гідросилікатів, волокнистих мінералів (серпентин, амфіболи), що легко розщеплюються на тонкі міцні волокна, які є кристалами рулонної або трубчастої структури. Він володіє високою термостійкістю: плавиться при температурі 1550°С. Азбест забарвлений в білий, зеленуватий, жовтуватий або сірий колір. Він зустрічається в рудних жилах зазвичай неглибоко від поверхні. Тому його родовища розробляються, в основному, відкритим способом. Інколи агрегати азбесту досягають метрової довжини, але частіше мають форму щетини, зростаючої перпендикулярно стінкам гірської жили. Зовнішній вигляд азбесту буває різним: мінерал може нагадувати кору дерева, вітки, сиве волосся (рис. 1).

Відмінна і унікальна риса азбесту – зростання його кристалів лише в одному напрямі, внаслідок чого їх довжина може в десятки тисяч разів перевищувати товщину і доходити до декількох сантиметрів. З тієї ж причини азбест при механічній дії легко розщеплюється на якнайтонші (менше довжини хвилі світла) міцні еластичні волокна. Будову цих волокон і секрет їх гнучкості удалося розгадати лише після винаходу електронного мікроскопа. Виявилось, що азбестові волокна усередині порожні: їх внутрішній діаметр рівний 13 нм при зовнішньому 26 нм. Ці волокна сплетені в товщі нитки, довжина яких може досягати 5 см і більше. Тонковолокниста будова природного азбесту дозволяла робити з нього пряжу, а з неї – тканини, що не згорають.

Недаремно назва мінералу походить від грецького asbestos – непогасний. Азбест в античні часи добували на грецькому острові Евбея в Егейському морі, а також на Кіпрі. Азбестова тканина була відома і стародавнім римлянам; за свідченням Плінія Старшого вона цінувалася так само дорого, як перли. Про причини її вогнестійкості вигадувалися вельми наївні припущення. «Є камінь для тканини, – писав Пліній, – який зростає в пустелях Індії, населених зміями, де ніколи не падає дощ, і тому він звикся жити в жарі. З нього роблять похоронні сорочки, щоб завертати трупи вождів при їх спалюванні на вогнищі, з нього роблять для тих, що бенкетують серветки, які можна розжарювати на вогні». Проте вироби з азбестової тканини могли дозволити собі лише дуже багаті люди. У їх числі був і римський імператор Нерон.

Рис. 1. Волокна азбесту

Розповідають, що у імператора Карла V, наймогутнішого монарха Європи 16 ст, була скатерть з тонкого азбестового волокна, яку він після бенкету для звеселяння гостей кидав у вогонь. Всі органічні

залишки згорали, а скатерть залишалася цілою (рис. 2).

Середньовічні араби робили з азбестової тканини одяг для воїнів, що приголомшували противника «грецьким вогнем» – древнім напалмом. А для пожежників такий одяг почали робити в Італії і Франції лише в 1829 р. Інше древнє вживання азбестового волокна – гніт, що не згорає, для світильників в храмах [2].

Рис. 2. Тканина з азбесту

Проте виробництво і використання азбесту продовжувало швидко зростати, особливо під час другої світової війни, оскільки цей матеріал по багатьом властивостям не знає собі рівних. Азбест широко використовували при будівництві (зараз використання хризотилу-азбесту в житловому і виробничому будівництві заборонене Всесвітньою організацією охорони здоров'я).

Проведені в різних країнах епідеміологічні дослідження з очевидністю показали, що вдихання азбестових волокон може викликати ряд небезпечних захворювань. Серед них асбестоз, найбільш часта форма, яка зустрічається у робітників, зайнятих виготовленням шиферу, азбоцементних труб і інших виробів із застосуванням азбесту.

Та все ж повністю відмовитися від азбесту сучасна технологія не може. З азбесту роблять тканини захисних костюмів для пожежників, рукавиці для сталеварів, теплоізоляцію для труб, по яких подають пару і гарячу воду, електроізоляційні матеріали, азбоцементні плити і труби, фільтри для затримки радіоактивного пилу, устаткування хімічних лабораторій (шнури, ковдри, підставки для нагрівання). Суміш азбестової крихти з силікатним клеєм, оброблена потім розчином хлориду кальцію, утворює прекрасну вогнетривку мастику.

Новизна доповіді в тому, що запропоновано додавати волокна азбесту для виготовлення холстів та фітополотен для написання картин, та порошкоподібний азбест в олійні фарби. За допомогою цього безцінні картини зможуть зберегти свій цінний вигляд вразі непередбачених випадків, таких як пожежа або впливу вологи. Картини завжди цінувались, прикрашали стіни будинків знаті, з давніх-давен і на цей час мало яких залишилось. Під час пожеж вдається врятувати дуже мало дорогоцінних речей. Пожежа може статися будь-де, навіть в музеї, де зберігаються надзвичайно цінні експонати мистецтва.

Таблиця 1

Фізико-механічні показники базальтових волокон на прикладі азбесту

Найменування показників тканин із базальтових волокон	Значення
Ширина, см	170.0
Товщина, мм	0.64
Поверхнева густина, г/м^2	456.0
Лінійна густина, г/м	776.0
Видалення вільно-сорбированной (гігроскопічної) вологи	100–120 ^{o} С
Видалення структурно-зв'язаною (кристалізаційної води) при	350–450 ^{o} С;
Температура плавлення азбесту	1500–1550 ^{o} С,
Міцність на розрив	більше 3000 МПа
Щільність	2,4–2,6 г/см3
Коефіцієнт тертя	0,8
Лугостійкість	9,1–10,3 pH
Питома поверхня	20 м2 / г
Термостійкість, %: за основою; за пітканням	99; 100
Зміна розмірів в середовищі гарячого повітря, %: основи; піткання	0–0.1
Вогнестійкість – час залишкового горіння: наявність поверхневого спалаху довжина обвугленої частини, мм	Горіння відсутнє; не обвуглюється
розривне навантаження, витримування при підвищеній температурі: за основою; за пітканням	2719.0; 100.0 %; 3140.0; 100.0%

Змішування азбестових волокон з 5–10% бавовняних волокон дає тканину, яка, будучи слабшим бавовняної при кімнатних температурах, зберігає деяку міцність при температурах до 400°С. Однак міцність цих тканин багато в чому поступається міцності тканин зі скловолокна, переважно використовується при

високих температура. Для оцінки фізико-механічних властивостей тканин досліджено показники розривного навантаження і подовження при розриві [4], роздирального навантаження [5]; теплостійких – термостійкість [6], зміни розмірів в середовищі гарячого повітря [7], вогнестійкість [8].

На основі отриманих результатів і наведених закономірностей можна класифікувати тканини з базальтових волокон відповідно до їх теплофізичних властивостей на такі групи: вогнестійкі (на прикладі показника розривного навантаження під дією високої температури); вогнетривкі (на прикладі показника зміни розмірів у середовищі гарячого повітря); полум'яно-опірні (на прикладі показників часу залишкового горіння, наявності поверхневого спалаху, довжини обвугленої частини).

Доведено, що значення товщини, поверхневої та лінійної густини тканини з базальтових волокон не впливає на її термостійкість.

Висновок

Легка промисловість – галузь виробничої сфери, яка виробляє товари народного споживання і частково продукцію промислового призначення. У легкій промисловості необхідно використовувати нанотехнології виготовлення сировини для нових матеріалів сучасного вжитку, випуску нових товарів народного споживання, які були б конкурентоспроможними у нашій країні та закордоном за ціною і мали б високу якість.

Література

1. Коляденко С.С. Товарознавство текстильних товарів / С.С. Коляденко, В.Т. Месяченко, В.І. Кокошинська. – М. : Економіка, 1988.

2. http://www.inmoment.ru/magic/healing/asbest.html

3. Лаврентьева Е. П. Термо- и огнезащитные ткани для спецодежды / Е. П. Лаврентьева, В. В. Дьяченко, М. П. Михайлова и др. // Текстильная пром-сть. — 2010. — № 11. — С. 54—57.

4. ГОСТ 29104.4–91. Ткани технические. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве. — Введ. 01—01—93. — М. : Изд-во стандартов, 1992. — 6 с.

5. ГОСТ 29104.5–91. Ткани технические. Методы определения раздирающей нагрузки. — Введ. 01—01—93. — М. : Изд-во стандартов, 1992. — 6 с.

6. ГОСТ 29104.14–91. Ткани технические. Метод определения термостойкости. — Введ. 01—01—93. — М. : Изд-во стандартов, 1992. — 3 с.

7. ГОСТ 29104.9–91. Ткани технические. Метод определения изменения размеров в горячем воздухе. — Введ. 01—01—93. — М. : Изд-во стандартов, 1992. — 5 с.

8. ДСТУ 4043–2001. Матеріали текстильні для штор і занавісок. Метод визначення характеристики горіння. — [Чинний від 01—01—2001]. — К. : Держспоживстандарт, 2001. — 11 с.

Рецензія/Peer review : 5.5.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.

УДК 006.063:67/68

Н.І. УПІРОВА, А.М. СЛІЗКОВ, О.О. ГАЙДЕЙ
Київський національний університет технологій та дизайну

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ГІГІЄНІЧНИХ ВИМОГ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ВИРОБІВ З НИХ

У статті проаналізовано літературні джерела, досліджено шляхи і механізми потрапляння шкідливих речовин у текстильні вироби на різних етапах виробничого процесу, розглянуто два підходи до регулювання безпечності та екологічності текстилю – «Екотекстиль» та «Екотехнології», визначено інструменти регулювання гігієнічності та екологічної безпечності текстильної продукції.

Ключові слова: текстиль, продукція, гігієнічні вимоги, екологічна безпечність, сертифікація, повний життєвий цикл.

NATALIA IVANIVNA UPIROVA, ANDRII MYKOLAIOVYCH SLIZKOV, OLEKSII OLEKSIIOVYCH HAIDEI
Kyiv National University of Technologies and Design

PECULIARITIES OF COMPETENCE FOR HYGIENIC REQUIREMENTS AND ECOLOGICAL SAFETY OF TEXTILE MATERIALS AND ARTICLES MADE FROM THEM

The article analyzes the sources of literature, deals with the ways and mechanisms of transferring of repugnant substances into the textile products at different stages of the process flows. Two approaches to the regulation of safety and environmental friendliness of the soft goods (''Ecotextile'' and ''Ecotechnologies'') were considered. The instruments of regulations of hygiene and ecological safety of the textile production were determined.

Key words: textile, production, hygienic requirements, environmental friendliness, certification, whole life cycle.

Вступ

Сучасні текстильні матеріали потенційно можуть бути небезпечними для оточуючого середовища і для здоров'я людини (викликати алергічні захворювання, важко виліковні хвороби різної етиології, появу злоякісних пухлин, токсичних і шкірно-подразнювальних ефектів), оскільки вони є багатоскладовими системами, компоненти яких мають хімічне походження або оброблені хімічними речовинами [1, 2]. Тому вимоги до рівня екологічної безпечності та гігієнічності текстильних матеріалів та виробів з них постійно зростають [3, 4]. Це вимагає певної переорієнтації та поглиблення наукових досліджень в галузі текстильного матеріалознавства, що стосуються підвищення якості та екологічної безпечності текстильної продукції, з метою розвитку та впровадження у текстильне виробництво екологічно орієнтованих технологій [4]. Проблемами дослідження гігієнічних вимог та екологічної безпечності текстильних матеріалів і виробів з них на сьогодні займаються вчені різних галузей науки – матеріалознавці, товарознавці, гігієністи, екологи та біологи. До невирішених відносяться питання вивчення та узагальнення світового досвіду формування й оцінювання показників гігієнічності та екологічної безпечності текстильних матеріалів та виробів з них, проведення фундаментальних досліджень та впровадження комплексної оцінки рівня їх екологічної безпечності [5]. Також актуальним є питання розроблення номенклатури показників гігієнічних та екологічних властивостей текстильних матеріалів та обґрунтування їх рівнів. Особлива увага в цьому контексті повинна приділятись питанням формування екологічної безпечності на всіх етапах життєвого циклу текстильної продукції.

Постановка задачі

Метою даної статті є аналіз літературних джерел та дослідження шляхів потрапляння шкідливих речовин у текстильні вироби на різних етапах виробничого процесу, оскільки сировина є основним чинником у формуванні вимог до гігієнічності та екологічної безпечності текстильних матеріалів та виробів з них.

Аналіз досліджень та публікацій

Гігієнічність та екологічна безпечність продукції текстильної та легкої промисловості залежить від походження волокон, ниток, барвників, апретів, текстильно-допоміжних речовин та особливостей технологічних процесів. Для виробництва синтетичних текстильних волокон і ниток використовуються синтезовані високомолекулярні сполуки (поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид, поліефір, поліамід, поліолефіни, поліуретани, поліакрилати тощо). Ці полімери протягом всього життєвого циклу – від виробництва до утилізації – можуть виділяти небезпечні речовини [5]. Причому самі макромолекули полімеру частіше за все є фізіологічно неактивними і не мають токсичної дії, але в процесі біологічної деструкції можуть утворюватись низькомолекулярні уламки макромолекул і побічні продукти взаємодії з біологічним середовищем, що переважно й обумовлює токсичний ефект. Крім того, до складу полімерів вводяться пластифікатори, наповнювачі, затверджувачі, змащувачі, стабілізатори та інші допоміжні речовини. Ці компоненти, як правило, не вступають у хімічний зв'язок з полімерами волокон, а знаходяться з ними у механічному зв'язку і тому здатні мігрувати в оточуюче середовище. За таким механізмом у текстильний матеріал можуть потрапити формальдегід, фенол, бензол, вініл хлористий, спирти, токсичні елементи та ін. [6].

Природне походження натуральних волокон теж не гарантує їхньої безпечності для здоров'я людини, адже отримання волокон і рослинного, і тваринного походження пов'язане з використанням хімічних сполук, які можуть бути алергенами, подразниками для шкіри, можуть викликати астму та риніти. Наприклад, під час вирощування бавовнику використовують пестициди, чим пояснюється їх наявність в бавовняному волокні та виробах. Відомо, що натуральний шовк, вовна – алергени тваринного походження [7]. До того ж, ці волокна можуть містити пестициди, що пов'язано з умовами вирощування рослинного матеріалу, яким харчуються тварини [1, 8]. Волокна вовни, крім того, вбирають в себе певну кількість «хімії» на стадії стерилізації та зберігання, коли сирову вовну обробляють антимікробними речовинами – фунгіцидами (проти грибків) та інсектицидами (проти комах), захищаючи її від руйнуючої дії мікроорганізмів, молі, гризунів [1, 3, 8–10]. Ці хімікати мають різне походження та містять широку гамму різних хімічних речовин. Для синтезу інсектицидів, наприклад, використовуються ароматичні аміносполуки, які мають канцерогенну дію [1]. Для захисту сировини (наприклад, бавовни, вовни та інших волокон, натуральної шкіри) можуть використовуватись хлоровані хімікати, особливо пентахлорфенол та хлорнітрофенол, в результаті текстильна продукція забруднюється поліхлорованими дібензо-п-діоксинами та поліхлорованими дібензофуранами [11].

Як відомо, необхідною складовою частиною рослин і живих організмів є важкі метали. У малих кількостях ці елементи не приносять шкоди та відіграють важливу роль в обмінних процесах. Наявність важких металів (Cu, Zn, Mn, Pb, As, Cd та ін.) у складі лляних волокон забезпечує їм комплекс унікальних медико-біологічних властивостей. Однак, накопичення важких металів у великих кількостях може призвести до негативних наслідків як для рослин, так і для людей [11]. Науковими дослідженнями доведено [8, 12], що деякі метали (хром, нікель, миш'як, кадмій, берилій, свинець кобальт, тощо) є алергенами та канцерогенами, тобто можуть викликати або прискорювати розвиток онкологічних захворювань. Підвищений вміст важких металів у волокнах рослинного походження пов'язаний з процесами транспірації – «прокачування» через рослинний матеріал великої кількості ґрунтового розчину, який містить різні хімічні речовини (розчинні з'єднання мікроелементів, добрива, отрутохімікати тощо), частина з яких осаджується на внутрішній поверхні рослинного матеріалу і потрапляє у текстильну продукцію [11, 13]. Проведені інститутом екогігієни і токсикології ім. Л.І. Медведя МОЗ України дослідження текстильних матеріалів та виробів з них за показниками гігієнічності та екологічної безпечності виявили міграцію важких металів з тканин, виготовлених із хімічних (поліамідних, поліефірних, ПАН, віскозних) та натуральних (бавовняних, лляних, шовкових, вовняних) волокон. Встановлено [2, 8□, що виділення міді у водне модельне середовище реєструвалося з усіх дослідницьких зразків тканин, цинк не визначався тільки з віскозної тканини, хром – з поліефірної, а нікель – з тканин, виготовлених із хімічних волокон. Також текстильні матеріали та вироби з них можуть забруднюватися важкими металами в наслідок використання барвників, переважна більшість яких – синтетичні, вони можуть бути дуже стійкими, яскравими, красивими, але токсичними [2□. Застосування галогенопохідних бензолів у синтезі барвників є не менш важливим питанням з позицій гігієни, адже встановлено, що деякі хімічні речовини цього ряду здатні викликати виражену шкірно-подразнювальну дію та загальнотоксичні ефекти [14, 15].

Серйозним джерелом речовин-забруднювачів природи і шкідливого впливу на людину є апрети і текстильно-допоміжні речовини, які використовуються для надання тканинам наповненості, малоусадковості, формостійкості, стійкості ефектів тиснення, лоску, сріблисто-шовковистого оздоблення, незминальності. Так, одним з додаткових заходів по «поліпшенню» тканин є протимікробна обробка та пом'якшення із застосуванням з'єднань цинку і фенолу, парафінів, воскiв, поліуретанових і силіконових емульсій. Інший приклад – бавовна, яка «не вимагає прасування», обробляється далеко не нешкідливою сумішшю – стійкими апретами на основі термореактивних смол, до складу яких входить формальдегід [1, 2, 8]. Це дуже токсичний газ, який має подразнюючу дію та впливає на центральну нервову систему, саме тому йому приділяється особлива увага серед усіх хімічних речовин, що можуть міститися у текстильних виробах.

Отже, хімічні технології, що використовуються на всіх стадіях текстильного виробництва, можуть мати негативні наслідки, тому гарантування екологічної безпечності технологічних процесів та кінцевої продукції для природного середовища і здоров'я людини можливе тільки через вживання активних заходів контролюючого та регуляторного характеру на всіх етапах виробництва. Тому у світі в наш час чітко виявились дві тенденції щодо регулювання вимог до гігієнічності та екологічної безпечності текстилю – «Екотекстиль» та «Екотехнології» [1, 8, 13].

Система «Екотекстиль» означає стандартизацію вимог щодо текстильної продукції з метою унеможливлення негативного впливу хімічного фактору на здоров'я населення. Саме цій системі відповідає зміст європейського стандарту Öko-TexStandatd 100, вітчизняного стандарту ДСТУ 4239-2003 та Державних санітарних норм та правил «Матеріали та вироби текстильні, шкіряні і хутрові. Основні гігієнічні вимоги» [14–16]. Зазначеними документами зумовлено залишковий вміст формальдегіду, важких металів, заборонено низку барвників, здійснюється контроль азобарвників, які можуть бути розщеплені або відновлені до небезпечних ариламінів, визначено групи хлорорганічних бензолів і толуолів, фталатів, антипіренів, застосування яких заборонено, тощо [2]. Реалізація в Україні системного підходу «Екотекстиль» можлива через впровадження екологічної сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості аналогічно європейській моделі. Такий підхід дозволить підприємствам вчасно реагувати на нові екологічні вимоги різних законодавчих і нормативних документів, підвищити конкурентоздатність вітчизняних товарів на внутрішньому ринку та значно розширити можливості виходу української продукції на міжнародні ринки.

Для реалізації підходу «Екотекстиль» необхідно вирішити ряд проблем організаційного, методологічного характері, частково вони розглядались авторами в роботах [17–19], але такий підхід сповна здійснимий на теренах України у відносно короткотерміновій перспективі.

Система «Екотехнології» означає впровадження у виробництво текстильних матеріалів та виробів таких технологій, які взагалі не застосовують речовини, що могли би нанести шкоду людині або навколишньому середовищу. Цій системі відповідають екологічні критерії і програми екологічного маркування згідно ISO 14024, і вона є дуже важливою для покращення екологічної ситуації на підприємствах текстильної та легкої промисловості країни [1, 18]. Система «Екотехнології» в найбільш комплексному вигляді реалізується в рамках ЄС на основі Директив Ради ЄС «IPPC» – про попередження та контроль забруднення. У Директиві 96/61/EC Directive "Щодо всеохоплюючого запобігання і контролю забруднень" від 24 вересня 1996 року (далі – Директива 96/61/ЕС) сформульовано «принцип BAT» (Best Available Technologi), що означає «найкращі з існуючих технологій». У статті 2 п. 11 Директиви 96/61/ЕС найкраща з існуючих технологій визначається як «найбільш ефективний та просунутий етап у розвитку діяльності та методів функціонування, які свідчать про практичну придатність технологій забезпечувати в принципі основу для обмежень обсягів викидів з метою запобігання та, якщо це не здійснено, взагалі зменшити об'єм викидів та вплив на навколишнє середовище в цілому». Відповідно до Директиви 96/61/ЕС:

- термін "технології" включає як технології, що використовуються, так і спосіб, у який устаткування проектується, будується, зберігається, функціонує та списується;
- термін "доступні" технології означає технології, розвинуті до такої міри, яка забезпечує роботу у відповідному промисловому секторі при реальних з економічної і технічної точки зору умовах, беручи до уваги вартість та переваги, незалежно від того, чи виробляються або використовуються технології в межах держав-членів і протягом такого часу, доки їх використання власник вважає раціональним;
- термін "найкращі" означає найбільш ефективні в досягненні високого загального рівня захисту навколишнього середовища в цілому».

У Директиві 96/61/ЄС упорядковано відносини стосовно застосування найкращих існуючих технологій щодо трьох компонентів навколишнього середовища – атмосферного повітря, водних об’єктів та ґрунтів та передбачено встановлення граничних значень негативного впливу на навколишнє середовище на основі найкращих існуючих технологій. Цією Директивою вимагається отримання дозволу на певні види промислової діяльності з високим рівнем забруднення [20]. Після закінчення терміну дії та перегляду Директиви 96/61/ЄС набрала чинності Директива Європейського Парламенту і Ради ЄС 2008/1/ЄС «Про комплексне запобігання та контроль забруднень» (далі – Директива 2008/1/ЄС), згідно з якою вимога про застосування принципу «BAT» (Best Available Technologi) поширюється на промислові підприємства з виробництва целюлози та інших волокнистих матеріалів, підприємства первинної обробки (що включають такі процеси, як промивання, білення, мерсеризація) або фарбування волокон чи тканин, тощо.

Стосовно зазначених підприємств актуальним є адаптація їхньої діяльності до екологічних критеріїв, що встановлено в Рішенні Комісії Європейських Співтовариств від 15.05.2002 р. «Про встановлення екологічних критеріїв для присвоєння знаку екологічного маркування Співтовариства текстильним продуктам і про внесення змін до Рішення 1999/178/ЄС». В цьому документі гігієнічні вимоги та екологічні критерії поділяються на основні групи, які стосуються текстильних волокон, процесів переробки та застосування хімікатів, а також придатності продукції до використання. Метою цих критеріїв є заохочення виробників до зменшення забруднення води, яке відбувається під час основних процесів в ланцюгу виробництва текстильної продукції, включаючи виробництво волокон, прядіння, ткацтво, в’язання, відбілювання, фарбування, оздоблення. При проведенні перевірок на відповідність зазначеним гігієнічним вимогам та екологічним критеріям передбачається надання виробником докладної документації, звітів про випробування, декларацій про дотримання вимог чи незастосування певних хімічних речовин під час виробництва, а також проведення низки лабораторних досліджень.

Реалізація напрямку «Євротехнології» потребує комплексних змін законодавства, певного часу для адаптації до них підприємств, значних фінансових витрат. Необхідне всебічне вивчення та вироблення єдиних підходів оцінювання повного життєвого циклу продукції текстильної та легкої промисловості, оскільки немає однозначного бачення повного життєвого циклу для різної продукції. Крім того, повноцінне запровадження принципу «BAT» потребує розробки нових технологій та аналізу технологій, існуючих на підприємствах текстильної та легкої промисловості України. Також необхідна розробка критеріїв для виділення кращих технологій, розробка довідників найкращих існуючих технологій. Очевидно, що такий підхід можливо зреалізувати в Україні в більш довгостроковій перспективі [18].

Висновки

Накопичення в текстильних матеріалах та виробах легкої промисловості шкідливих для організму людини та природного середовища речовин може відбуватись на всіх етапах виробництва і є наслідком безконтрольного застосування у технологічних процесах хімічних сполук. Дослідження шляхів потрапляння шкідливих речовин у текстильні вироби та механізмів формування гігієнічних вимог та екологічної безпечності текстильної продукції на всіх етапах її виробництва має стати науковою основою використання позитивного європейського досвіду та впровадження заходів щодо поетапної реалізації в Україні двох підходів для покращення екологічної ситуації в сфері текстильного та швейного виробництва – «Екотекстиль» та «Екотехнології», які комплексно доповнюють один одного. Поетапне застосування

підходів «Екотекстиль» та «Екотехнології» має забезпечити формування обґрунтованих рівнів показників гігієнічності та екологічної безпечності продукції текстильної та легкої промисловості на всіх етапах виробництва, а також сприятиме захисту українського споживача від продукції сумнівної якості, підвищенню конкурентоздатності вітчизняних товарів на внутрішньому ринку, розширенню можливостей виходу української продукції текстильної та легкої промисловості на міжнародні ринки та підвищенню репутації України як учасника міжнародних екологічних програм [17, 18].

Література

1. Богданов Г.Г. Еволюція матеріалів для одягу : навчальний посібник / Г.Г. Богданов, З.В. Захожай. – К. : КНУТД, 2003. – 280с.
2. Проданчук М. Г. Текстильні матеріали та одяг — сучасні проблеми безпеки / М.Г. Проданчук, Л.Г. Сененко, Н.Є. Дишінєвич // Легка промисловість. – 2004. – № 4. – С. 36–37.
3. Супрун Н.П. Сучасні проблеми виробництва безпечного у споживанні та екологічно чистого текстилю : монографія / Н.П. Супрун, Г.В. Щуцька. – Кафедра, 2013. – 112 с.
4. Галик І.С. Екологічна безпечність текстилю: проблеми і рішення / І.С. Галик, Б.Б. Семак // Вісник ХНУ – 2014. – № 6. – С. 88–90.
5. Галик І.С. Проблеми формування та оцінювання екологічної безпечності текстилю : монографія / І.С. Галик, Б.Д. Семак. – Львів : Видавництво Львівської комерційної академії, 2014. – 488 с.
6. Харченко О.А. Несприятливі ефекти полімерних матеріалів, що використовуються в медичній практиці (сучасні аспекти) [Електронний ресурс] / О.А. Харченко, Г.М. Балан, Т.Ф. Харченко, В.М. Левицька, Н.П. Чермних, Н.В. Терещенко // Сучасні проблеми токсикології харчової та хімічної безпеки. – 2012. – № 1. – Режим доступу : http://protox.medved.kiev.ua/index.php/ua/issues/2012
7. Косарев В.В. Профессиональная бронхиальная астма [Електронний ресурс] / В.В. Косарев, С.А. Бабанов / ГОУ ВПО Самарский государственный медицинский університет. – Режим доступу : http://www.paininfo.ru/articles/consilium_medicum/3543.html
8. Поліщук С. С. Напрями досягнення конкурентоспроможності текстильної продукції в обробному виробництві / С.С. Поліщук, С.О. Поліщук // Легка промисловість. – 2004. – № 2. – С. 46.
9. Кричевський Г.Е. Опасность и безопасность изделий из текстиля / Г.Е. Кричевсткий // Текстильная промышленность. – 2006. – № 3. – С. 42–45.
10. Ольшанская О.М. Какую одежду мы носим? [Електронний ресурс] / О.М. Ольшанская, А.В. Артемов. – Режим доступа : http://legprom.bz/?id=1414.
11. Крашение и отделка в кожевенной и текстильной промышленности. Раздел VI-j. Указания и руководящие принципы по категориям источников [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://chm.pops.int/Portals/0/Repository/batbep_guideline08/UNEP-POPS-BATBEP-GUIDE-08-15.Russian.PDF
12. Наказ Міністерства надзвичайних ситуацій України № 627 від 22.03.2012 «Про затвердження Вимог до роботодавців щодо захисту працівників від шкідливого впливу хімічних речовин».
13. Артемов А.В. Химический состав льняных тканей / Артемов А.В., Ольшанская О.М., Грищенкова В.А. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.textileclub.ru/index.php?option=displaypage&Itemid=106&op=page&SubMenu
14. Матеріали та вироби текстильні і шкіряні побутового призначення. Основні гігієнічні вимоги : ДСТУ 4239-2003. – [Чинний від 2004-10-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 18 с. – (Національний стандарт України).
15. Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 1138 від 29.12.2012 «Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Матеріали та вироби текстильні, шкіряні і хутрові. Основні гігієнічні вимоги».
16. Öko-TexStandard 100 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.oeko-tex.com/ru/manufacturers/certification/certification.html
17. Упірова Н.І. Шляхи розвитку екологічної сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості України / Н.І. Упірова, А.М. Слізков, Л.А. Дмитренко // Вісник КНУТД. Серія «Технічні науки». – 2015. – № 3(86). – С. 157–163.
18. Упірова Н.І. Екологічна сертифікація продукції текстильної та легкої промисловості як інструмент впливу на повний життєвий цикл текстильних виробів / Н.І. Упірова, А.М. Слізков, О.О. Гайдей // Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. – № 1(233). – С. 181–184.
19. Слізков А.М. Проблеми екологічної сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості і шляхи їх вирішення / А.М. Слізков, Н.І. Упірова // Вісник КНУТД. Серія «Технічні науки». – 2015. – № 2(84). – С. 221–226.
20. Євстигнєєв А.С. Правові проблеми реалізації принципу ВАТ при видачі дозвільних документів на право спеціального природокористування в Україні / А.С. Євстигнєєв // Часопис Київського університету права. – 2014. – № 1. – С. 260–263.

Рецензія/Peer review : 19.4.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Супрун Н.П.

УДК 687. 157.008

О.В. НАХАЙЧУК, Е.А. ЗАХАРОВА, Л.В. КОНДРАТЬЄВА, І.М. КОВАЛЕНКО
Вінницький інститут конструювання одягу і підприємництва

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ СПОРТИВНОГО ОДЯГУ ІЗ УРАХУВАННЯМ УЗАГАЛЬНЕНОГО КРИТЕРІЮ РУЙНУВАННЯ ТКАНИН

В даній статті представлений аналіз методів побудови розгорток та недоліків існуючих методик конструювання, який вказав на необхідність розробки принципово нового методу конструювання спортивного одягу. На основі узагальнення локальних баз даних з позиції побудови раціональної конструкції виробу сформована система інтегрованої бази даних, яка підтвердила доцільність використання вихідних даних для утворення типових конструкцій способом автоматизованої силуетної модифікації. Це дозволяє виконати структурну декомпозицію вхідної інформації для проектування раціональної конструкції спортивного одягу за допомогою програми «Компас-3D». Створення нової методики конструювання спортивного одягу здійснено на базі аналізу декількох методик конструювання одягу, з виявленням функціональних і інформаційних зв'язків на всіх етапах переробки проектної інформації. Розроблена методика дослідження міцності матеріалів з використанням узагальненого критерію руйнування.

Ключові слова: спортивний одяг, методика конструювання, методи побудови, розгортки деталей, моделювання одягу, міцність тканини.

O.V. NAKHAICHUK, E.A. ZAKHAROVA, L.V. KONDRATYEVA, I.M. KOVALENKO
Vinnytsia Institute of Designing of Clothes and Entrepreneurship

IMPROVEMENT OF THE DESIGNING PROCESS OF SPORTWEAR TAKING INTO ACCOUNT THE GENERALIZED CRITERION OF CLOTH DESTRICTION

This article analyzes the methods of constructing scans and defects of existing methods of design, which pointed to the necessity to develop a fundamentally new method of designing sportswear. On the basis of summarizing local databases from the perspective of building a rational design of the product it was formed a system of integrated database which confirmed the appropriateness of using the initial data to create standard designs by the automated silhouette modifications way. It allows to perform the structural decomposition of input data for designing the rational construction of sportswear using «Kompas-3D». Creating a new method of designing sportswear made on the basis of analysis of several methods for designing clothes with the identification of functional and informational links at all stages of processing of design information. It was developed the researching method of materials strength using generalized criterion of destruction.

Keywords: sportswear, method of designing, methods of construction, scans of details, cloth modeling, strength of fabric.

Вступ

Важливим напрямком підвищення ефективності роботи підприємств швейної промисловості є активізація інноваційної діяльності, головна задача якої полягає у використанні результатів наукових досліджень і розробок на підприємствах галузі з метою створення конкурентоздатної продукції для ефективної її реалізації на внутрішньому та зовнішньому ринках.

Аналіз інформації щодо проектування спортивного одягу показав недостатнє обґрунтування вимог та методик вибору матеріалів для даної групи виробів. Виготовлення конкурентоспроможного спортивного одягу високої якості, в першу чергу, досягається завдяки поетапному проектуванню його форми, зокрема конструкції виробів, від якої залежить не лише зовнішній вигляд, але і їх експлуатаційні характеристики.

Різноманіття форм і порівняно часта їх зміна, приводить до зростання темпів розробки нових конструкцій одягу, а підвищення культурного рівня споживача вимагає виготовлення більш якісної продукції.

Конструктивний напрямок розвитку нових модних форм відбувається в результаті використання особливої конфігурації конструктивних і конструктивно-декоративних ліній, проектування особливих розмірів деталей та їхніх співвідношень між собою та до одягу в цілому.

Метою роботи є удосконалення процесу проектування спортивного одягу на основі проведення експертного дослідження відповідності розмірних показників та маркування спортивного чоловічого та жіночого одягу обов'язковим вимогам стандартів та оптимізація вибору матеріалів. Досягнення поставленої мети вирішуються за допомогою наступних задач:

- дослідження вихідних даних для проектування спортивного одягу;
- удосконалення методу проектування спортивного одягу;
- розробка методики дослідження міцності матеріалів з використанням узагальненого критерію руйнування.

Об'єктом дослідження є конструкція, розмірні сітки та міцність матеріалів спортивного одягу.

Предмет дослідження – спортивні штани та толстовка з капюшоном

Експериментальна частина

Сучасні методики конструювання одягу базуються на вимірах тіла людини, одержаних відповідно до вимог державних і галузевих стандартів. Повний перелік вимірювань для цілей конструювання одягу може включати до 70 розмірних ознак, одержаних безпосереднім вимірюванням фігури. Асортимент спортивного одягу досить різноманітний, тому для дослідження вибрано найбільш поширені види –

толстовка з капюшоном та штани. Ретроспективний аналіз методик конструювання одягу показав, що найбільш актуальною на сьогоднішній день є система конструювання та моделювання одягу “Мюллер і син” [1, 2]. Вона призначена для виготовлення виробів з якісною посадкою на фігурі і пропонує максимально точно зняти виміри та правильно використовувати їх при побудові креслення конструкції. Застосування сучасних методик конструювання в проектуванні спортивного одягу дозволить підвищити продуктивність праці і виключити вплив суб’єктивного аспекту на процес і результат прийнятих рішень.

Наявність суттєвих недоліків існуючих методик конструювання підтверджує необхідність розробки принципово нового методу проектування конструкцій спортивного одягу. На основі узагальнення локальних баз даних з позиції побудови раціональної конструкції виробу сформована система інтегрованої бази даних, яка підтвердила доцільність використання вихідних даних для утворення типових конструкцій способом автоматизованої силуетної модифікації. Це дозволяє виконати структурну декомпозицію вхідної інформації для проектування раціональної конструкції спортивного одягу за допомогою програми «Компас-3D». Створення нової методики конструювання спортивного одягу здійснено на базі аналізу декількох методик конструювання одягу, з виявленням функціональних і інформаційних зв’язків на всіх етапах переробки проектної інформації.

Наступним етапом роботи була побудова конструкцій спортивних штанів та куртки. Для цього розроблено алгоритми розрахунків параметрів базових конструкцій на основі використання загальних принципів побудови поясного та плечового одягу, викладених в методиці конструювання та моделювання одягу «Мюллер та син». Принцип побудови конструкції відрізняється від традиційно використовуваних методик. Методика характеризується простотою побудови, мінімальним числом розрахункових формул і дає якісну посадку на фігурі людини. Побудова базової конструкції спортивних штанів та толстовки представлено на рисунку 1.

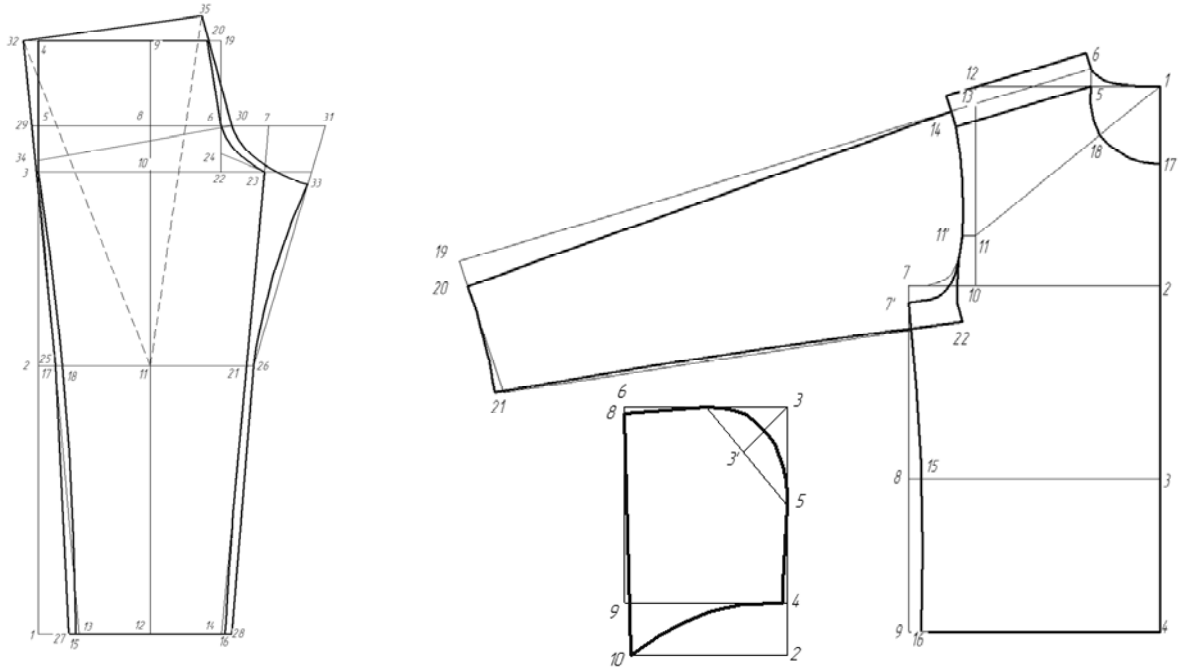


Рис. 1. Побудова базової конструкції спортивних штанів, толстовки та капюшона

Сучасний етап розвитку текстильного виробництва потребує розробки нових підходів до визначення запасу міцності тканин із врахуванням одночасної дії таких факторів, як кількість циклів тертя, розривного навантаження, жорсткості при згині матеріалів, видовження та інших; актуальним є також визначення рекомендацій по оптимальній експлуатації різних тканин, які мають індивідуальні характеристики та технології виготовлення.

Відомо [3], що в процесі експлуатації тканина набуває мікропошкоджень, які з часом зростають до критичної кількості і відбувається її руйнування. В зв’язку з цим, розробка розрахунково-експериметальних методів досліджень виробів має практичне значення і дозволяє, без проведення матеріалозатратних та трудомістких експериментальних досліджень, прогнозувати їх якість та характеристики міцності ще як на стадії проектування, так і після визначеного часу використання.

При проектуванні технологічних процесів, пов’язаних з пластичним деформуванням металів, знайшли широке використання критерії деформування [4], які враховують вплив на міцність заготовок мікро- та макро- пошкоджень на різних стадіях їх формоутворення. Мірою накопичення мікропошкоджень прийнято рахувати використаний ресурс пластичності. Приймається положення, згідно якого в необробленому матеріалі мікропошкодження відсутні ($\psi = 0$). В подальшому, виріб в процесі формування і експлуатації, накопичує пошкодження, і руйнування настає при $\psi = 1$.

Даний підхід, як показано в роботі [5], може бути використаний і для дослідження виробів різного

призначення із тканин. Метою даної частини досліджень є підвищення якості спортивного одягу на основі вивчення результатів розрахунково-експериментальних досліджень з вичерпання їх міцності та жорсткості на різних стадіях експлуатації.

Для досягнення цієї мети була сформульована задача – розробити методику дослідження міцності тканини з використанням узагальненого критерію руйнування, за допомогою якої можна прогнозувати вичерпання міцності із врахуванням одночасної дії виробничих факторів.

Розглянемо одночасний вплив на міцність тканини таких факторів, як жорсткість при згині матеріалів $\mathbf{B_y}$, розривного навантаження по основі $\mathbf{F_o}$, розривного навантаження по утоку $\mathbf{F_y}$. Введемо поняття **використаного ресурсу міцності тканини** – відношення вичерпаного ресурсу по якомусь із факторів до його граничного значення, тобто, для нашого випадку:

$$\psi_1 = \frac{B_y}{B_{угр}}, \quad \psi_2 = \frac{F_o}{F_{огр}}; \quad \psi_3 = \frac{F_y}{F_{гр}}; \tag{1}$$

де B_y, F_o, F_y – текучі значення відповідно жорсткості, розривного навантаження по основі, розривного навантаження по утоку; $B_{угр}$, $F_{огр}$, $F_{угр}$ – їх граничні значення (при яких відбувається руйнування).

Під **шляхом деформування** будемо розуміти графік, який побудований за результатами експериментальних досліджень, що відображає втрату міцності по трьом перерахованим характеристикам на різних стадіях експлуатації тканини.

Виходячи із викладеного, в тривимірній системі координат гранична поверхня буде мати форму куба з довжиною ребер, рівною 1.

Експериментальні дослідження зразків тканин виконувались при нормальних умовах, передбачених стандартом (ГОСТ 10681-75). Тканини досліджено на розривне навантаження після відповідної кількості праннів, згідно ГОСТ 17922-72 «Ткани штучные и изделия текстильные. Метод определения раздирающей нагрузки» на розривній машині РТ–250М. Для дослідних робіт було використано метод малих смужок, призначений для випробування на розривання зразків пробних смужок шириною 25 мм при затискній довжині 200 мм (ГОСТ 3812–72) [1]. Цей метод застосовують при випробуванні тканини і трикотажних полотен.

Важливе значення для одягу має жорсткість тканини. Жорсткість при згині матеріалів для одягу визначається методом консолі. Цей метод передбачає визначення жорсткості матеріалів під дією власної маси, без примусової деформації. За методом консолі визначення жорсткості виконували на приладі ПТ-2 (ГОСТ 10550-75) [1]. За кінцевий прогин зразка було прийнято середнє арифметичне результатів десяти вимірів з точністю до 0,1 мм. Результати експериментальних досліджень наведені в таблиці 1. В якості граничних значень прийняті показники, при яких подальша експлуатація тканини стає неможливою внаслідок дії одного із вказаних факторів.

За результатами досліджень в системі Math Cad побудована гранична поверхня та шляхи деформування (рис. 2, червона лінія – 1-й зразок, синя та коричнева – відповідно другий та третій). Як видно із рис. 3, графік залежності зміни значень $\mathbf{\Psi_1}$, $\mathbf{\Psi_2}$, $\mathbf{\Psi_3}$ для трьох зразків тканин в безрозмірній системі координат має квазілінійний характер, тому нескладно, використавши метод екстраполяції, знайти точку перетину із граничною поверхнею (точка **К**, рис. 3). В такому випадку, узагальнений критерій руйнування $\mathbf{\Psi}$ може бути визначено як відношення довжини лінії шляху деформування до довжини лінії від початку координат до перетину із граничною поверхнею (при умові, якщо суттєво не зміняться параметри експлуатації тканини до її руйнування):

$$\psi = \frac{Д_1 P}{Д_1 K}. \tag{2}$$

Таблиця 1

Результати досліджень зразків тканин на жорсткість та розривне навантаження

Зразки тканин	1			2			3		
Кількість прання, *n*	B_{ym} мкН×с/м^2	Fосн Н	Fуток Н	B_{ym} мкН×с/м^2	Fосн Н	Fуток Н	B_{ym} мкН×с/м^2	Fосн Н	Fуток Н
0	5000	205	94	4300	181	105	6250	260	115
1	4500	192	85	4100	161	91	6010	240	103
5	4200	178	71	3800	147	80	5780	206	97
10	4000	154	62	3500	138	67	5140	185	84
Граничні знач.	3000	100	40	2200	86	51	2800	102	54

Використовуючи елементарні геометричні та тригонометричні співвідношення, знаходимо:

$$Д_1 P = \sqrt{\psi_1^2 + \psi_2^2 + \psi_3^2}, \tag{3}$$

де $\mathbf{\Psi_1}$, $\mathbf{\Psi_2}$, $\mathbf{\Psi_3}$ – координати точки **2,** які на різних стадіях експлуатації тканини визначали як:

$$\psi_m = \frac{S}{\overline{S}}, \tag{4}$$

де S – відносна зміна одного із факторів; $S = \frac{S_{max} - S_m}{S_{max}}$; S_{max} – максимальне значення; S_m – значення на стадії; $\overline{S}$ – відносно допустиме значення; $\overline{S} = \frac{S_{\max} - S_г}{S_{\max}}$; $S_г$ – граничне значення.

Враховуючи, що кути α та β можна знайти як $\alpha = arctg\frac{\psi_1}{\psi_2}$, $\beta = arctg\frac{\psi_3}{\sqrt{\psi_1^2 + \psi_2^2}}$, довжина відрізка **Д₁М** буде рівною: $Д_1M = \frac{1}{\cos\alpha}$, оскільки точка **К** є прогнозованою точкою перетину шляху деформування площини $A_2B_2C_2Д_2$. Тоді, в даному випадку, довжину **Д₁К** можна знайти за формулою:

$$Д_1K = \frac{Д_1M}{\cos\beta}. \tag{5}$$

Підставивши формули (3) та (5) в (2), знаходимо значення узагальненого критерію руйнування, результати розрахунку якого наведені в таблиці 2.

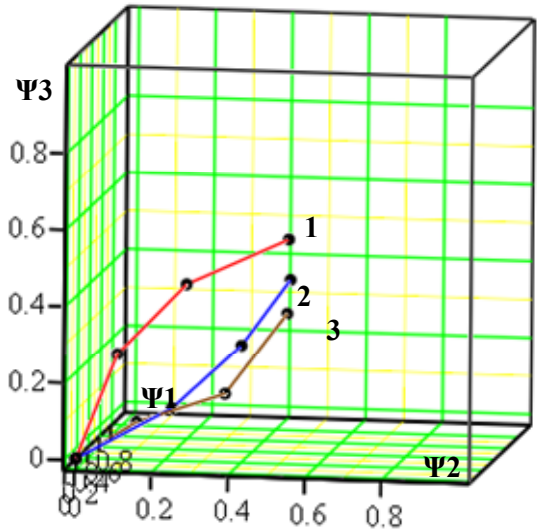


Рис. 2. Результати експериментальних досліджень в системі Math Cad

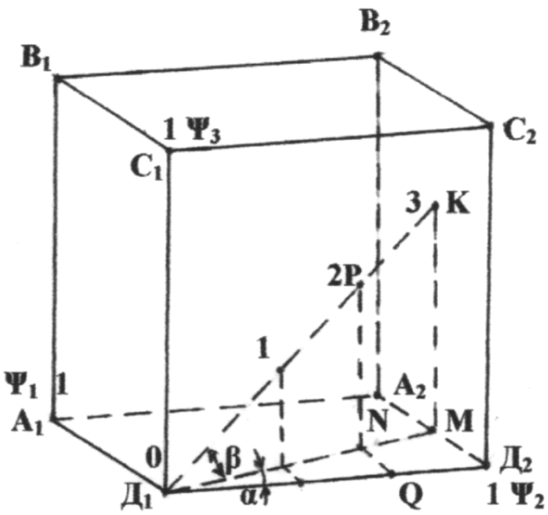


Рис. 3. Схема до визначення узагальненого критерію руйнування Ψ

Представлений приклад розрахунку можна вважати частковим випадком, оскільки шлях деформування інших тканин може мати форму кривих ліній з різними радіусами кривизни, які залежать від умов експлуатації (наприклад, на деякому етапі інтенсивність дії силових факторів може значно перевищувати вплив втрати жорсткості, або може виникнути переважна дія деформації розмірів в тому чи іншому напрямку). В таких випадках треба створювати математичні моделі з використанням методів апроксимації та екстраполювання [6].

Таблиця 2

Результати розрахунків використаних ресурсів міцності

Зразок тканини	1								
К-сть прання, *n*	**B_{ym}** (мкН×с/м²)	**S**	**$Ψ_1$**	**F_o**	**S**	**$Ψ_2$**	**F_y**	**S**	**$Ψ_3$**
0	5000		0	205		0	94		0
1	4500	0,1	0,25	192	0,04	0,08	85	0,1	0,17
5	4200	0,16	0,4	178	0,11	0,22	71	0,24	0,43
10	4000	0,2	0,5	154	0,23	0,46	62	0,34	0,6
$S_г$	3000			100			40		
Ψ	0,56								

Продовження табл. 2

Зразок тканини	2								
К-сть прання, *n*	**B_{ym}** (мкН×с/м^2)	**S**	**Ψ_1**	**F_o**	**S**	**Ψ_2**	**F_y**	**S**	**Ψ_3**
0	4300		0	181		0	105		0
1	4100	0,05	0,1	161	0,11	0,21	91	0,13	0,26
5	3800	0,12	0,24	147	0,19	0,36	80	0,24	0,46
10	3500	0,19	0,38	138	0,24	0.45	67	0,63	0,7
$S_г$	2200			86			51		
Ψ	0,48								
Зразок тканини	3								
К-сть прання, *n*	**B_{ym}** (мкН×с/м^2)	**S**	**Ψ_1**	**F_o**	**S**	**Ψ_2**	**F_y**	**S**	**Ψ_3**
0	6250		0	260		0	115		0
1	6010	0,04	0,07	240	0,08	0,13	103	0,1	0,2
5	5780	0,07	0,14	206	0,21	0,34	97	0,15	0,3
10	5140	0,18	0,32	185	0,29	0,47	84	0,27	0,51
$S_г$	2800			102			54		
Ψ	0,4								

Висновки

За результатами досліджень різних методик конструювання одягу встановлено, що найбільш перспективною та універсальною методикою для побудови чоловічих та жіночих швейних виробів різного асортименту є методика конструювання та моделювання одягу «Мюллер та син». Тому побудову конструкції спортивних штанів та толстовки було здійснено саме за даною методикою.

Дослідження міцності матеріалів виявили, що зміна характеристик міцності тканини може бути представлена в безрозмірній тривимірній системі координат шляхами деформування; показана можливість кількісної оцінки запасу міцності на різних стадіях експлуатації. Розроблена методика дозволяє прогнозувати вичерпання міцності на різних стадіях експлуатації із врахуванням одночасної дії різних виробничих факторів. Встановлено, що найбільш придатним зразком є зразок № 3, для якого значення узагальненого критерію міцності становить **Ψ**=0,4. Для інших випадків можуть бути знайдені прийнятні умови експлуатації тканини із врахуванням одночасної дії визначальних факторів.

В подальшому, суттєвий науковий інтерес становитимуть дослідження з визначення впливу форми шляху деформування на міцність тканини із врахуванням лінійності або нелінійності накопичення пошкоджень на різних стадіях як виготовлення, так і експлуатації.

Дані результати можуть бути використані для створення тканин із прогнозованими властивостями, – особливо це має значення для екстремальних умов їх експлуатації. Викладений підхід може бути взятим за основу розрахунків міцності тканини з використанням стереометричного моделювання.

Література

1. ОСТ 17 – 325 – 81. Изделия швейные, трикотажные, меховые. Типовые фигуры мужщин. Размерные признаки для проектирования одежды.

2. Славінська А.Л. Побудова лекал деталей одягу різного ассортименту : навч. Посібник / Славінська А.Л. – Хмельницький : ХНУ, 2011 – 222 с.

3. Бузов Б.А. Материаловедение швейного производства / Бузов Б.А. – М. : Легпромгостиздат, 1986. – 424 с.

4. Нові технологічні процеси з використанням прогресивних методів пластичного деформування : монографія / О.В. Нахайчук, О.О. Розенберг, В.А. Огородніков, А.Д. Крицький, В.В. Мельниченко, С.Ф. Студенець. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 158 с.

5. Нахайчук О.В. Дослідження міцності тканини із використанням узагальненого критерію руйнування / О.В. Нахайчук, Е.А. Захарова, Є.В. Рой // Проблеми трибології. – 2015. – № 1(75). – С. 44–48.

6. Крилик Л.В. Обчислювальна математика. Інтерполяція та апроксимація табличних даних : навчальний посібник / Л.В. Крилик, І.В. Богач, М.О. Прокопова. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 111 с.

Рецензія/Peer review : 5.1.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сивак І.О.

УДК 687:745.03

І.О. ЗАСОРНОВА, О.О. СЕЛЬСЬКА
Хмельницький національний університет
А.А. МИЧКО
Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк

КЛАСИФІКАЦІЯ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ УКРАЇНСЬКИХ НАЦІОНАЛЬНИХ СОРОЧОК ПОДІЛЛЯ

У статті визначено основні конструктивні елементи українських національних сорочок регіону Поділля, які сформовано на основі досліджень у фондах Хмельницького обласного краєзнавчого музею (ХОКМ), з використанням літературних джерел, наукових публікацій, альбомів, фотографій, описів, зразків одягу тощо. На основі досліджень виділено два основних види українських національних сорочок: "з уставками" та "без уставок". Наведено вдосконалену класифікацію конструктивних елементів українських національних сорочок з метою подальшого її використання в процесі проектування сучасного жіночого легкого одягу, виконаного в етностилі.

Ключові слова: українська національна сорочка, регіон Поділля, типи крою, класифікація.

I.A. ZASORNOVA, O.O. SELSKA
Khmelnytsky National University, Khmelnytsky, Ukraine
A.A. MYCHKO
East Ukrainian Volodymyr Dahl National University, Severodonetsk, Ukraine

CLASSIFICATION OF DESIGN FEATURES OF THE UKRAINIAN NATIONAL SHIRTS OF PODILLYA

Abstract – The aim of the study is to draw up a common classification of the Ukrainian national women's shirts of Podolsk region and to draw up a structure encoding all possible details of the shirt. According to the obtained results, work out dress for summer season in ethnic style with all Ukrainian traditions and with high level of artistic excellence.

Review by famous Ukrainian designers whocreate collections of clothes in ethnic style like Jana Chervinska, Irene Diehl, Nadia Dzyak, Lilia Pustovit. Also we identified the main materials and raw materials that were used and are used now for the manufacture of vyshyvanka. This study was conducted for the revival of the authentic type cut traditional Ukrainian shirts, as well as for further implementation of these types cut in mass production. Based on the research we highlighted two main types of Ukrainian national shirts "set point with" and "without settings". The advanced classification structural elements of Ukrainian national shirts to further its use in the design of contemporary women's light clothing, made in the ethnic style.

Based on this, the next stage in the development of dresses for summer season in ethno-style, with Ukrainian traditions and with a high level of artistic excellence is to study the locations of ornamental compositions, fullness embroidery and compositional perfection of the symbolism, which is inherent in the Podolsk region.

Keywords: Ukrainian national shirt, Podillya region, type of cut, classification.

Вступ

Український народний одяг — це один із базових складників матеріальної культури нашого народу, який тісно пов'язаний з усією його історією. Завжди такий одяг формувався і розвивався залежно від історичних, соціально-економічних, культурно-побутових, географічних, кліматичних та інших умов [1]. Саме завдяки ентнографічним особливостям історико-культурних районів України простежується взаємодія українців з іншими народами.

Найяскравіше це виявляється в силуеті одягу, типі крою, конфігурації деталей, а також його використанні під час носіння, колористичному забарвленні тощо. Оскільки подільський регіон завжди межував із Молдовією, то за колористичним рішенням та типами крою помітною є етнокультурна взаємодія двох народностей – українців та молдован.

Найбільшою різноманітністю серед всіх видів національного одягу виділяються українські сорочки. Дослідженню історії розвитку української національної сорочки присвячено велику кількість наукових праць, які здійснили такі науковці та мистецтвознавці як: М.С. Білан, Г.Г. Стельмащук, Т.В. Кара-Васильєва, Т.А. Ніколаєва, Р.В. Захарчук-Чугай, Л.В. Булгакова-Ситник, Є.М. Причепій, Т.І. Причепій та ін. [2-7].

У роботах автори класифікували сорочки, виходячи лише з силуетних особливостей виробу, тому на сьогодні не існує єдиної затвердженої класифікації деталей української національної сорочки.

Мета і завдання дослідження

Дослідження зразків українських автентичних жіночих сорочок та аналіз їх конструктивних елементів виконано з метою удосконалення процесу проектування сучасних видів легкого одягу, виконаного в етностилі.

Завданням дослідження є розробка класифікації жіночих українських національних сорочок подільського регіону. Основними методами дослідження є літературно-аналітичні.

Виклад основного матеріалу

Із зростанням в країні українського духу та патріотизму, зростає любов до українського народу, українських традицій, національного одягу. Суспільство все більше починає цікавитись витоками українського народного вбрання. Чудовим прикладом та відродженням забутих сьогодні українських традицій слугує проект «Витоки», де громадськості представлено різновиди українського національного одягу: повсякденного носіння, святковий для виходу до церкви, весільний тощо [8]. На сьогодні переважна кількість українських дизайнерів (і не тільки українських) джерелом свого натхнення для створення

сучасних колекцій одягу, прикрас, взуття, головних уборів тощо, обирають українські традиції та культуру. Українська вишита сорочка сьогодні є одним із небагатьох національних брендів, відомих в усьому світі.

Все частіше талановиті всесвітньо відомі модельєри використовують елементи традиційного українського одягу у своїх моделях. Вміло поєднуючи в одному виробі різноманітні техніки вишивання, конструктивні елементи та кольорові рішення, вони представляють абсолютно унікальні, ексклюзивні речі. На модному показі Ukrainian Fashion Week 2015-2016 такі дизайнери, як Яна Червінська, Ірина Діль, Надія Дзяк, Лілія Пустовіт, основним натхненням яких був символізм української сорочки, створили модернізований її варіант, рис. 1.

Рис. 1. Фотографічні зображення модернізованих варіантів української народної сорочки

На сьогодні дизайнери створюють велику кількість колекцій одягу в етностилі, але вони беруть український національний одяг лише за ідею, не опираючись на розробки та конкретні наукові дослідження автентичного варіанту українського національного вбрання. Тому, постає завдання у визначенні основних характеристик українських національних сорочок Поділля, зокрема їх конструктивних елементів. Для цього, авторами здійснено теоретичні та експериментальні дослідження у фондах Хмельницького обласного краєзнавчого музею (ХОКМ), з використанням літературних джерел, наукових публікацій, альбомів, фотографій, описів, зразків одягу тощо.

Визначено, що крій є основною характеристикою українських сорочок. В еволюції крою сорочок чітко відображені такі народні принципи створення одягу як раціональність, функціональність, знаковість, технічність та спадкоємність традицій. Крім того, в народному українському крої знайшли своє відображення і такі сучасні методи проектування як комбінаторика, трансформація, безрозмірність, прямолінійність ліній крою тощо. Сорочку використовували, як натільний одяг, яка складала основу українського національного костюму. Тому головними силуетними формами були: трапецієподібна та пряма, задля забезпечення необхідного повітряного прошарку та свободи рухів.

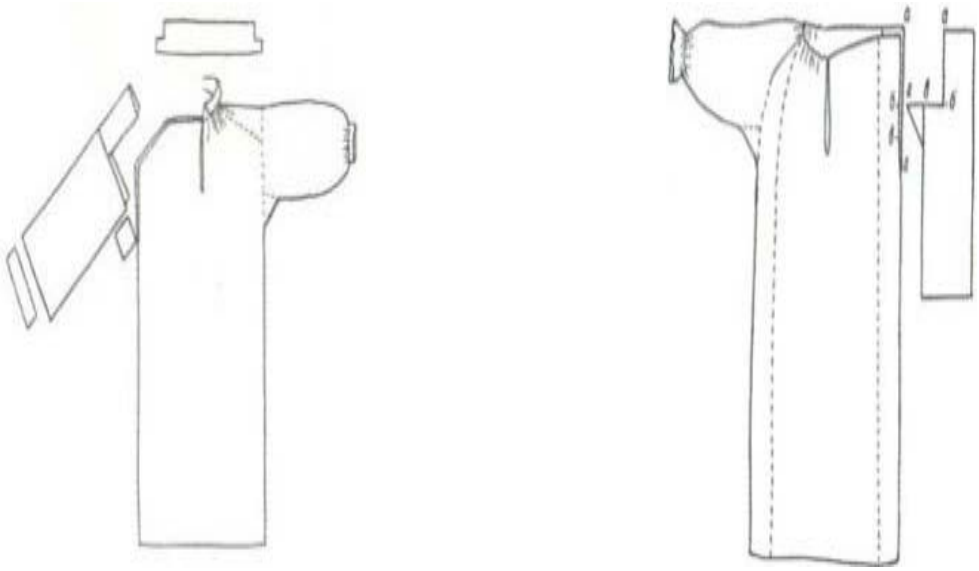
В залежності від типу крою сорочки виготовляли з одного або двох шматків полотна (верхня частина – із м’якшого і тоншого полотна; нижня частина – товстіша, з додаванням різних волокон).

Проведений аналіз дозволяє стверджувати, що існуючі відомості про українську сорочку, зокрема Подільського регіону – фрагментарні і не дають повного уявлення про її цілісний образ. Тому в роботі з використанням методів наукового дослідження систематизовано і узагальнено фактичний матеріал щодо української жіночої сорочки та розроблено доповнену класифікацію її конструктивних елементів.

Отже, українські національні жіночі сорочки регіону Поділля можна поділити за наступними ознаками: **І. Вид сорочки. ІІ. Тип крою. ІІІ. Довжина сорочки, рукавів.**

І. Вид сорочки. Всі досліджені авторами сорочки регіону Поділля можна поділити на два основні види: сорочки без уставок; сорочки з уставками. Уставкою називається ластовиця, яка могла бути у формі ромбу (ромбовидна) та квадрату або прямокутника. У давні часи вважалося, що перехрестя чотирьох швів на ділянці підпахвової западини несе негативну енергетику. Тому майстрині на цю ділянку пришивали уставку, яка, на їх думку, захищала енергетику людини. З часом ці знання забувались та люди переставали у них вірити, таким чином з’явився одяг без уставок. Даний тип сорочок характеризувався тим, що уставка (ластовиця) стала суцільновикроєна з рукавом.

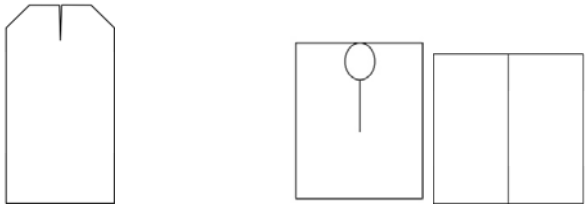
Найпоширенішою є сорочка, що за типом крою без уставки, оскільки її крій є найпростіший і передбачав меншу кількість деталей, ніж сорочка з уставкою. На рис. 2 зображено сорочки за типом крою з уставкою та без уставки.



а б

Рис. 2. Зображення подільських українських національних сорочок за видом: а – з уставкою; б – без уставки

ІІ. Тип крою. Перед української сорочки може бути з однієї частини (суцільна) або з двох частин (верхня та нижня частини). Їх приклади представлені на рис. 3.

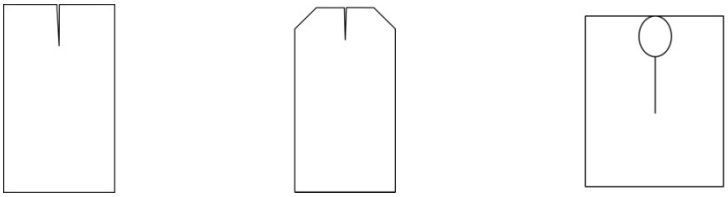


а б

Рис. 3. Зображення переду українських національних сорочок: а – з однієї частини (суцільна); б – з двох частин (верхня та нижня частини)

За формою: горловини, рукавів, комірів, ластовиці (уставки).

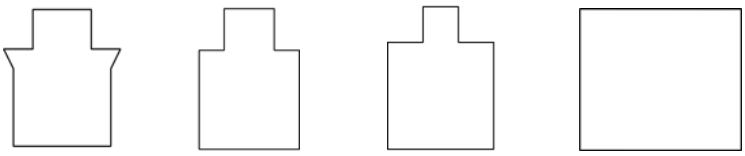
Подільські сорочки згідно форми вирізу горловини розрізняють: прямокутні, квадратні, овальні, круглі та трапецієподібні. Приклади форми горловини зображені на рис. 4.



а б в

Рис. 4. Приклади форми вирізу горловини:
а – квадратний виріз, б – трапецієподібний виріз, в – круглий виріз

Форма рукавів була з уставкою, без уставки, а також широкий та вузький рукав, рис. 5. Низ рукава оброблявся з манжетою або без неї.



а б в

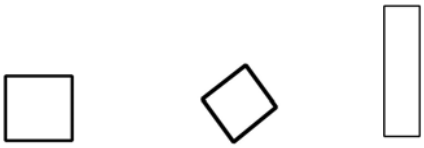
Рис. 5. Зображення форм рукавів української національної сорочки:
а – рукав без уставки, вузький; б – рукав з уставкою, вузький; в – рукава з уставками, широкі

Види комірів. Найчастіше використовувались такі види комірів, як: стояк, стояче-відкладний з суцільновикроєним стояком, рис. 6, оформлення горловини без коміра.

а б

Рис. 6. Зображення видів комірів в українській національній сорочці:
а – стояче-відкладний з суцільно викроєним стояком; б – відрізний стояк

Форми ластовиць (уставок). В залежності від типу крою сорочки, кількості деталей переду та форми рукавів, розрізняють такі форми ластовиці: ромбовидні, квадратні та прямокутні, рис. 7.



а б в

Рис. 7. Зображення форм ластовиць українських національних сорочок:
а – квадратна; б – ромбовидна; в – прямокутна

Визначено, що основними силуетними формами були: трапецієподібна та пряма. Трапецієподібний силует створювався завдяки вшитим клинам по лінії бічного шва.

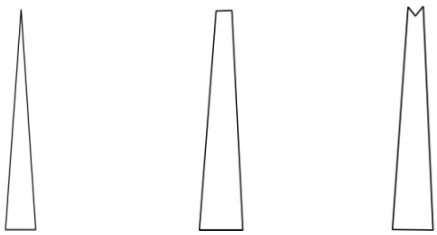


Рис. 8. Зображення форм клинів українських національних сорочок

III. Довжина сорочки, рукавів. Основною відмінною характеристикою жіночої української сорочки є її довжина. Зазвичай, сорочка сягала до щиколоток, тому що вважалось: чим вона довша, тим чеснішою і поряднішою є дівчина, котра її носить. Сорочки за довжиною розрізняють довгі (до підлоги), середні (до лінії коліна) та короткі (вище лінії коліна).

Подільські сорочки за довжиною рукавів були: довгий, середньої довжини (три четверті), короткий, без рукавів (обкантований). На рис. 9 наведено приклади різних за довжиною рукавів.

а б в д

Рис. 9. Фотографічні зображення довжин рукавів подільських сорочок:
а – довгий; б – середньої довжини; в – короткий; д – без рукавів

Класифікація конструктивних елементів національних сорочок Поділля представлена на рис. 10.

Висновки

Згідно проведених досліджень складено класифікацію жіночих українських національних сорочок подільського регіону із виділенням усіх можливих варіантів її деталей, з розмежуванням за типом крою “з уставками” та “без уставок”. На основі запропонованої класифікації конструктивних елементів національних сорочок можливо розробляти сучасні моделі жіночого легкого асортименту, виконаних в етностилі для впровадження у виробництво.

Тому, наступним завданням є досягнення високого рівня художньої довершеності сучасних жіночих виробів легкого асортименту. Для цього виникає потреба в дослідженні місць розташування орнаментальних композицій на деталях національних сорочок, технік виконання, кольорової гами, наповненості вишивки та композиційної довершеності символіки, яка притаманна подільському регіону.

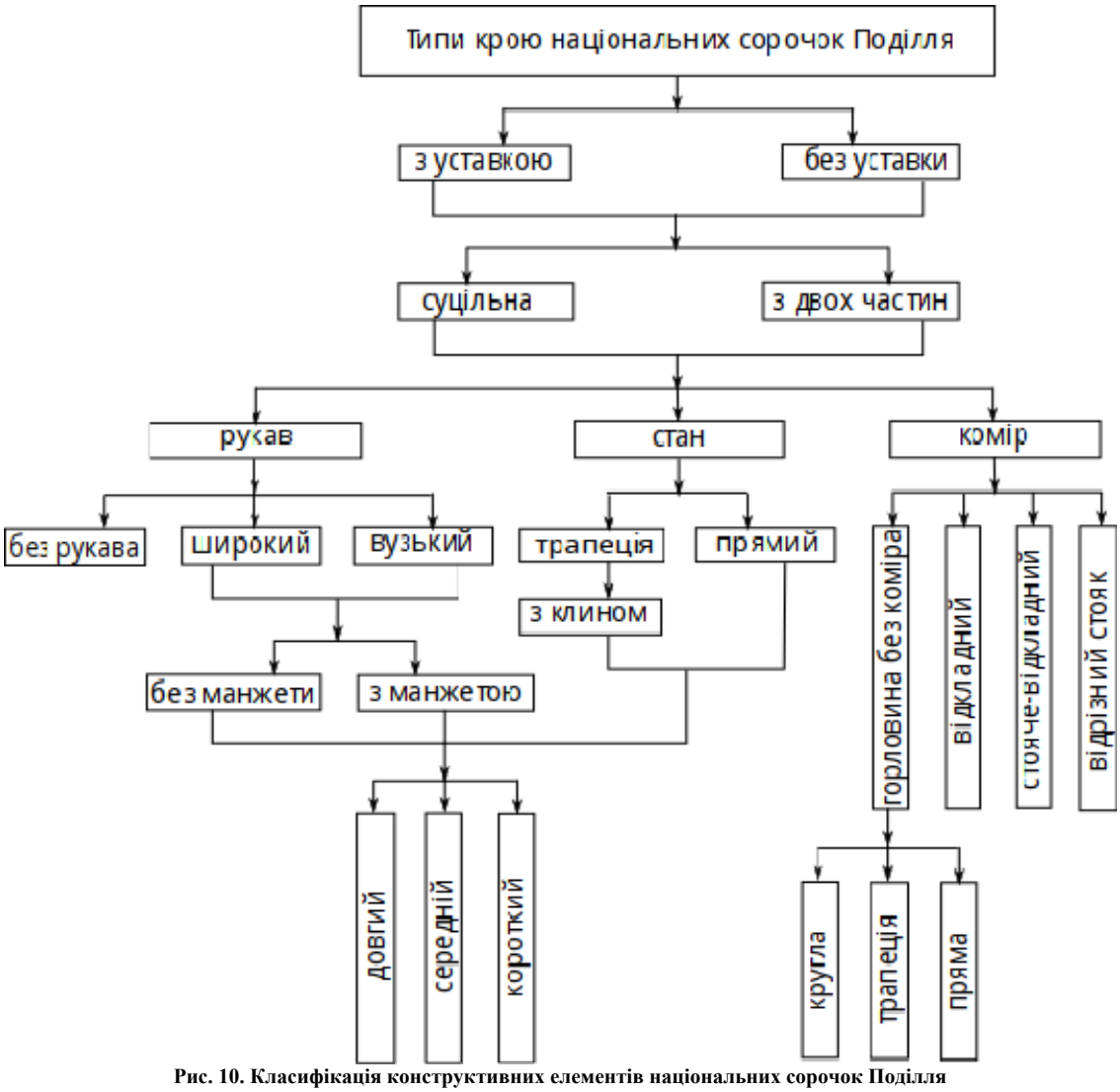


Рис. 10. Класифікація конструктивних елементів національних сорочок Поділля

Література

1. Одарченко П. Український народний одяг : фотоальбом / П. Одарченко, Г. Царинник. – М. : Toronto — Philadelphia, 1992. – 311 с.
2. Білан М.С. Український стрій / М.С. Білан, Г.Г. Стельмащук. – Львів : Фенікс, 2000. – 326 с.
3. Кара-Васильєва Т.В. Історія української вишивки : альбом / Тетяна Валеріївна Кара-Васильєва. – К. : Мистецтво, 2008. – 464 с.
4. Николаева Т.А. Народное моделирование женской одежды и применение его традиций в современной практике (на материалах Украины) / Т.А. Николаева // Советская этнография. – М. : Наука, 1977. – № 3. – С. 72–90.
5. Захарчук-Чугай Р.В. Українська народна вишивка. Західні області УРНР / Р.В. Захарчук-Чугай. – К. : Наукова думка, 1988. – 194 с.
6. Булгакова Л.П. Етнокультурна характеристика народної вишивки Поділля (кінець XIX – 30-і роки XX ст.) : дис. ... канд. істор. наук : 07.00.05 / Булгакова Людмила Петрівна. – Л., 2000. – 328 с.
7. Причепій Є.М. Вишивка східного Поділля : альбом / Є.М. Причепій, Т.І. Причепій. – К. : Родовід, Київ, 2007. – 344 с.
8. Витоки : проект [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.rayonka.com / news / view / name / ukrayinskiy_natsionalniy_odyag_na_tizhni_modi__foto_vrazhayut.

Рецензія/Peer review : 16.5.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф.. Мичко А.А.

УДК 665.238

А.Н. КУНИК, О.Я. СЕМЕШКО, Ю.Г. САРИБЕКОВА, М.Л. КУЛИГИН
Херсонский национальный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ДИСКРЕТНОЙ ОБРАБОТКИ НА ОКИСЛЕНИЕ ШЕРСТНОГО ЖИРА В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ ШЕРСТИ

В статье проведено ИК-спектроскопическое исследование влияния высокоэнергетической дискретной обработки на окисление шерстного жира в процессе хранения шерсти. В результате анализа полученных ИК-спектров установлено, что применение предварительной высокоэнергетической дискретной обработки шерстяного волокна в процессе добычи шерстного жира способствует значительному снижению его степени окисления.

Ключевые слова: шерстный жир, окисление, высокоэнергетическая дискретная обработка.

A.N. KUNIK, O.Y. SEMESHKO, Y.G. SARIBYEKOVA, M.L. KULIGIN
Kherson National Technical University

STUDY OF INFLUENCE OF HIGH-ENERGY DISCRETE PROCESSING ON OXIDATION OF WOOL GREASE DURING STORAGE OF WOOL

The paper studied of influence of high-energy discrete processing on oxidation of wool grease during storage of wool through the use of modern hardware methods – molecular absorption analysis in the infrared (IR) spectral range. As objects of study are used two parties of unwashed semifine merino wool, which is characterized in that the first party was obtained in 2014, and the second - in 2016. Research was spent on IR-Fourier spectrometer «Tensor-37» («Bruker Corporation», Germany). To remove wool grease was selected the most common method of extraction of animal fats – exhaustive extraction method whereby a wool fiber was subject to treatment with solvent (petroleum ether) in a Soxhlet apparatus for 3 hours (at least 15 overflows).

The study found that the degree of oxidation of grease obtained from the wool shorn in 2014 and 2016 years is almost identical, besides the grease derived from the wool after high-energy discrete processing in 1.5 – 2 times less oxidized than grease obtained from untreated wool.

Keywords: wool grease, oxidation, high-energy discrete processing.

Постановка проблемы

Шерстный жир – продукт секреции сальных желез кожи овец, благодаря своим специфическим свойствам (высокой водопоглотительной и эмульгирующей способности), является незаменимым сырьем для различных отраслей промышленности. Очищенный шерстный жир (ланолин) и продукты его переработки успешно используют в парфюмерно-косметическом производстве при изготовлении различных кремов [1]. В пищевой промышленности применение ланолина обусловлено его глазирующими свойствами, он содержится в составе смесей для покрытия фруктов (яблок, персиков, груш, слив, дынь, ананасов, грейпфрутов, мандаринов, лимонов, апельсинов, лаймов). Кроме того, ланолин в качестве добавки Е913 присутствует в глазури для шоколада, конфет, драже, жевательной резинки, мучных кондитерских изделий, зернового кофе, орехов. Ланолин встречается в украшениях и декоративных покрытиях для пищи, биологически активных добавках, нуге [2]. Применение ланолина в области медицины как основы для лечебных пластырей, клейких повязок, гидрофильных мазей обусловлено уникальной способностью восстанавливать целостность кожи, заживлять раны [3]. Также ланолин успешно применяется в технике как антикоррозийное средство; в сельском хозяйстве – для заживления поврежденных растений и как стимулятор их роста; в текстильной промышленности – для приготовления моющих средств, полученных путем сульфирования спиртов ланолина [4].

Ланолин, используемый в парфюмерно-косметической и пищевой промышленностях, должен обладать высокими органолептическими и физико-химическими показателями, а также иметь достаточную стойкость к окислению при хранении. *Производство качественного ланолина неразрывно связано с повышением качества исходного сырья – шерстного жира.*

В результате действия кислорода воздуха при хранении состриженной шерсти в шерстном жире возможно накопление первичных и вторичных продуктов окисления [5, 6]. К первичным относятся перекиси и гидроперекиси, ко вторичным – гидрооксикислоты, двухосновные кислоты, карбонильные соединения (альдегиды и кетоны), спирты и т. д. Большинство из этих веществ придают жиру характерный запах и вкус, снижают его потребительские свойства и оказывают отрицательное воздействие на организм человека.

Анализ последних исследований и публикаций

Для оценки степени окисления жира на всех стадиях технологического процесса получения, хранения и переработки используют стандартные методы контроля, в том числе определение содержания перекисных соединений [7].

Однако при исследовании более глубоких стадий окисления, приводящих к накоплению вторичных продуктов окисления (гидрооксикислоты, кетооксикислоты, альдегиды, кетоны и т. п.), нельзя ограничиваться определением какой-либо одной группы веществ, так как распад первичных продуктов окисления проходит по-разному, что зависит от жирнокислотного состава жира, температурных условий, наличия или отсутствия ингибиторов окисления.

Для количественной оценки содержания в жирах вторичных продуктов окисления используют метод определения суммарного содержания продуктов окисления, нерастворимых в петролейном эфире. Наряду с химическими методами применяют также современные инструментальные методы – УФ-спектроскопию с максимумом поглощения в интервале длин волн 220–300 нм и ИК-спектроскопию – в пределах 984–988 см$^{-1}$ [8].

В ранее проведенных работах [9, 10] авторами исследовано влияние высокоэнергетической дискретной обработки (ВДО) шерстяного волокна на физико-химические свойства шерстного жира.

Формулировка целей исследования

Цель работы заключалась в исследовании влияния предварительной ВДО шерстяного волокна на окисление шерстного жира в процессе хранения шерсти путем применения современного аппаратного метода – молекулярно-абсорбционного анализа в инфракрасной области спектра.

Изложение основного материала

Исследования проводились на ИК-Фурье спектрометре «Tensor-37» («Bruker Corporation», Германия), основные характеристики которого представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные технические характеристики спектрофотометра «Tensor-37»

Наименование параметра	Величина
Спектральный диапазон, см$^{-1}$	7500-375
Спектральный диапазон, возможное расширение, см$^{-1}$	15000-50
Максимальное спектральное разрешение, см$^{-1}$	0,60
Максимальное спектральное разрешение (опция) см$^{-1}$	0,30
Воспроизводимость волнового числа, см$^{-1}$ (по парам воды атмосферы)	0,01
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений по шкале волновых чисел, см$^{-1}$, по парам воды атмосферы (по пленке полистирола)	±0,05 (±0,50)
Максимальная скорость сканирования, мм/с	1,40-25,50
Напряжение питания переменного тока, В	220 (+10/–15%)
Частота, Гц	5±1
Потребляемая мощность, Вт	180

В качестве объектов исследования использовались 2 партии непромытой полутонкой мериносовой шерсти, которые отличались сроком хранения: первая партия волокна была сострижена в 2014, а вторая – в 2016 г.

Для извлечения шерстного жира был выбран наиболее распространенный метод извлечения животных жиров – метод исчерпывающей экстракции, согласно которому шерстяное волокно подлежало обработке растворителем (петролейный эфир) в аппарате Сокслета в течение 3 ч. (не менее 15 переливов). Перед экстракцией шерстяное волокно промывалось в холодной воде для удаления пота, после чего волокно подвергалось ВДО на установке «Вега-6» (τ=2 мин., Т = 20-25°С, М=1: 200) [11]. Обработанное волокно высушивалось в термостате при Т=60°С в течение 20 мин.

Перед снятием спектра на просвет полученные образцы шерстного жира подвергались нагреву (Т=40°С), после чего наносились тонким слоем на стекло натрий хлор.

ИК-спектры полученного шерстного жира представлены на рис. 1–3.

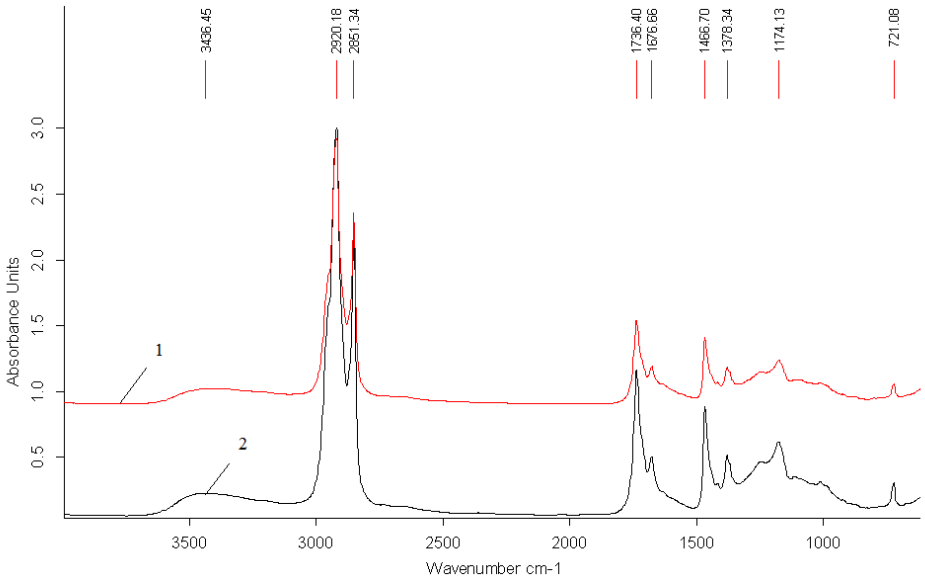


Рис. 1. ИК-спектры шерстного жира, полученного из шерсти состриженной в 2014 г.:
1 – жир из необработанной шерсти; 2 – жир после ВДО

Согласно данным, представленным на рис. 1, полученные ИК-спектры шерстного жира из необработанной шерсти, состриженной в 2014 году (1), и шерсти после ВДО (2), без качественных изменений, профили основных полос поглощения характерны для жира (воска) [12].

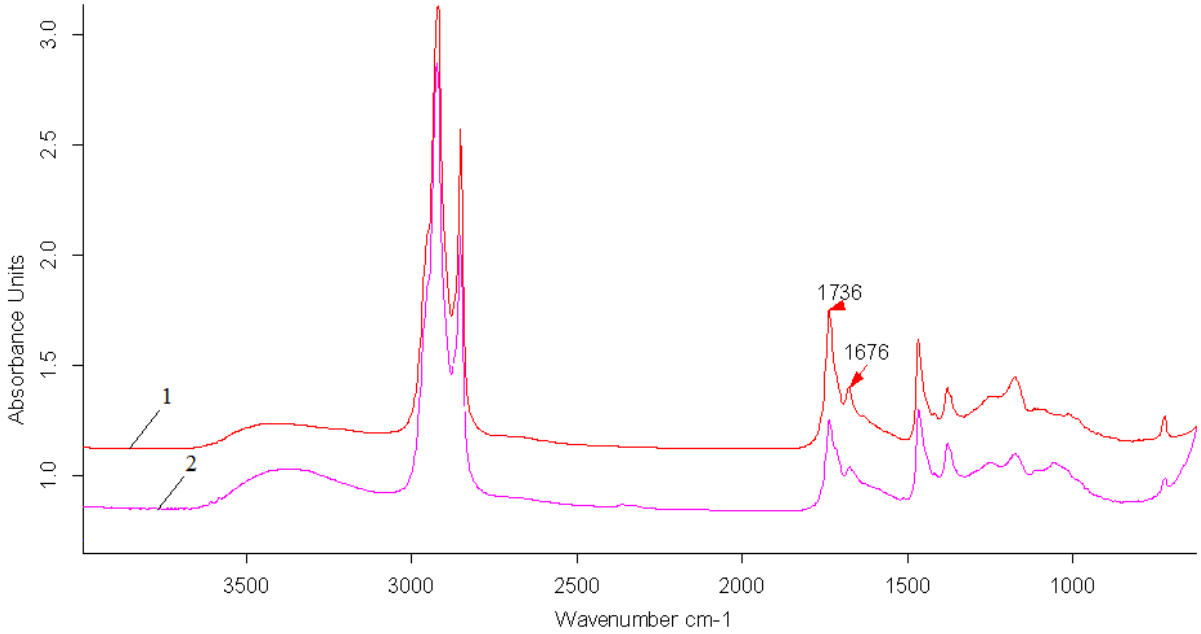


Рис. 2. ИК-спектры шерстного жира, полученного из необработанной шерсти, состриженной в: 1 – 2014 г.; 2 – 2016 г.

При изучении спектров шерстного жира, полученного из необработанной шерсти, которая была сострижена в 2014 и 2016 годах (рис. 2), в первом спектре (2014 г.) проявляется интенсивная полоса сложноэфирной группы С–О с максимумом 1175 см$^{-1}$ и слабая широкая полоса 1246 см$^{-1}$, во втором спектре (2016 г.) наблюдается уменьшение 1175 см$^{-1}$ и увеличение 1246 см$^{-1}$. Возможно это связано с появлением разных заместителей сложноэфирной группы или перераспределением связанных и несвязанных форм.

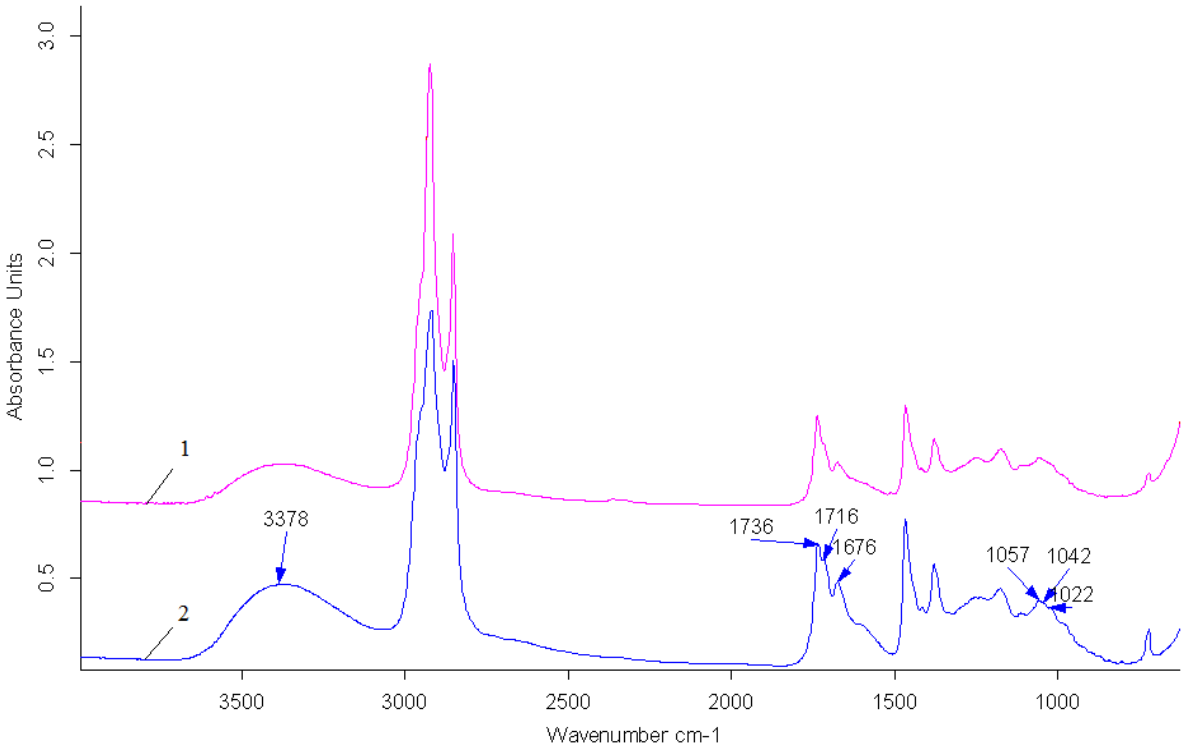


Рис. 3. ИК-спектры шерстного жира, полученного из шерсти состриженной в 2016 г.: 1 – жир из необработанной шерсти; 2 – жир после ВДО

Следует отметить, что закономерность изменения сложноэфирной группы соблюдается во всех спектрах жира. Так, в спектре жира, полученного из необработанной шерсти, которая была сострижена в

2014 г., проявляется интенсивная полоса сложноэфирной группы С=О с максимумами 1736, 1676 $см^{-1}$ (возможно кетоновой группы). В спектре жира из шерсти состриженной в 2016 г. наблюдается новая полоса при 1716 $см^{-1}$, а интенсивность полосы 1736 $см^{-1}$ уменьшается, это определяется многими факторами: физическим состоянием, электронным влиянием и влиянием соседних заместителей, сопряжением, наличием водородных связей и т. д.

При ВДО шерстяного волокна, состриженного в 2016 г., наблюдается значительное увеличение (≈ в 2 раза) интенсивности полосы поглощения с максимумом 3378 $см^{-1}$, которая относится к –ОН группе, а также появление полосы валентных колебаний С–О связи, группы С–ОН с максимумами (1057, 1042, 1022 $см^{-1}$), относящиеся к первичным и вторичным –ОН группам. В области 1550-1650 $см^{-1}$ происходят фоновые изменения с образованием максимума 1602 $см^{-1}$ (рис. 3).

Полученные ИК-спектры (рис. 1–3) использовались для определения качества исследуемых образцов шерстного жира.

Известно [12], что окислительная порча жиров связана с образованием гидропероксидов и соединений, содержащих карбонильную группу. В ИК-спектрах жиров и масел характерные полосы поглощения, связанные с деформационными колебаниями СН-группы (2900, 1470-1390 $см^{-1}$) и группы С=О (1770-1730 $см^{-1}$). Положение полос во времени не изменяется. При этом степень окисления жира отражается на интенсивности поглощения полосы карбонильной группы, тогда как интенсивность поглощения в области частот СН-группы остается неизменной. В связи с этим для количественного определения соединений, содержащих карбонильную группу, можно применить метод внутреннего стандарта с использованием в качестве такого полосы поглощения СН-группы (2900 $см^{-1}$). Интенсивность полос поглощения групп СО и СН, найденных по спектру, выражают в единицах оптической плотности, а степень окисления (СО) жира находят из соотношения:

$$CO = \frac{D_{C=O}}{D_{C-H}}, \quad (1)$$

где $D_{C=O}$ – оптическая плотность на полосе группы С=О;

D_{C-H} – оптическая плотность на полосе группы С–Н.

В табл. 2 приведены значения степени окисления исследуемых образцов шерстного жира, рассчитанные по уравнению 1.

Таблица 2

Влияние ВДО на степень окисления шерстного жира в процессе хранения шерсти

Шерстный жир	Степень окисления
из шерсти состриженной в 2014 г.	
необработанной	0,61
после ВДО	0,40
из шерсти состриженной в 2016 г.	
необработанной	0,59
после ВДО	0,38

Анализ данных, представленных в табл. 2, показал, что степень окисления жира, полученного из шерсти, состриженной в 2014 и 2016 годах, практически идентична, причем жир, полученный из шерсти после предварительной ВДО, в 1,5–2 раза меньше окислен, чем жир, полученный из необработанной шерсти.

По мнению авторов, действие ВДО подобно действию щелочной рафинации, в результате которой происходит выделение из жира свободных жирных кислот и других гидратированных (белковых) веществ в виде мыл. Данным утверждением можно объяснить уменьшение степени окисления шерстного жира в результате действия ВДО.

Выводы

1. ИК-спектры шерстного жира, полученного из необработанной шерсти, состриженной в 2014 и 2016 годах, и шерсти после ВДО, без качественных изменений, профили основных полос поглощения характерны для жира (воска).

2. Закономерность изменения сложноэфирной группы соблюдается во всех спектрах шерстного жира.

3. Степень окисления жира, полученного из шерсти, состриженной в 2014 и 2016 годах, после предварительной ВДО в 1,5–2 раза меньше степени окисления жира, полученного из необработанной шерсти.

Литература

1. Ланолин [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://cosmetic.ua/lanolin.

2. Е913 Ланолин [Электронный ресурс]. – Режим доступа : novostioede.ru›food_additive/e9xx-prochie…lanolin/.

3. Медицинский портал. Ланолин [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://ambulance.com.ua/lanolin.php.

4. Ланолин – топ продукция [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://ru.xinyi-lanolin.com/.

5. Ибрагимов Ю. Н. Влияние сроков стрижки мериносовой шерсти, хранения и способов ее очистки на мочевино-бисульфитную растворимость / Ю.Н. Ибрагимов, Т.Н. Пелиховская // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. – 2003. – № 2-2, том 1.

6. Васильева Л.Г. Изменение фракционного состава жиропота при хранении шерсти разных сроков стрижки / Л.Г. Васильева, Л.М. Пантелеева // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. – 2003. – № 2-2, том 1.

7. Стеле Р. Срок годности пищевых продуктов: Расчет и испытание / Стеле Р. ; [пер. с англ. В. Широкова, под общ. ред. Ю.Г. Базарной]. – СПб : Профессия, 2006. – 480 с.

8. Huck C.W. Advances of infrared spectroscopy in natural product research / C.W. Huck // Phytochemistry Letters. – 2015. – Volume 11. – P. 384–393.

9. Семешко О.Я. Визначення впливу високоенергетичної дискретної обробки на якісні показники вовняного жиру / О.Я. Семешко, О.М. Куник, Ю.Г. Сарібекова // Харчова промисловість. – 2015. – № 7. – С. 68–73.

10. Семешко О.Я. Исследование влияние высокоенергетической дискретной обработки на кинетику экстракции и свойства шерстного жира / О.Я. Семешко, А.Н. Куник, Т.С. Асаулюк, Ю.Г. Сарибекова // Восточно-европейский журнал передових технологий. – 2016. – № 2/6 (80). – С. 40–45.

11. Сарибекова Ю.Г. Анализ современных физико-химических способов модификации шерстяного волокна и перспективы их использования / Ю.Г. Сарибекова, А.В. Ермолаева, С.А. Мясников // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 3. – С. 144–148.

12. Преч Э. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных / Преч Э., Бюльманн Ф., Аффольтер К. – М. : Мир; Бином. Лаборатория знаний, 2006. – 438 с.

Рецензія/Peer review : 25.5.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сарібєков Г.С.

УДК 632.382: 620.179.4

С.Л. ГОРЯЩЕНКО
Хмельницький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ КРАПЛИН ПРИ РОЗПИЛЕННІ ДВОФАЗНОГО ПОТОКУ СОПЛОМ

В статті розглядається основні параметрі, що необхідні для моделювання потоку полімеру, який розпилюється потоком повітря. Визначені критерії формування краплин. Змодельоване формування краплини полімеру при дії повітря в соплі.

Ключові слова: полімер, сопло, розпилення, моделювання

S.L. HORIASCHENKO
Khmelnytsky National University

MODELING DROPS WHEN SPRAYING TWO-PHASE FLOW NOZZLE

In the article, the basic parameters required for modeling the flow of polymer that is sprayed air flow. The criteria forming droplets. Modeled the formation of polymer droplets when exposed to the air nozzle.

Key words: polymer nozzle spray simulation

Постановка завдання дослідження

Розпилення рідини широко застосовується в сучасній техніці. Воно здійснюється, наприклад, в хімічній і харчовій промисловості при екстрагуванні твердих речовин з рідин, при сушінні, при різного роду взаємодіях між рідинами і газами, а також у ряді інших технологічних процесів (дроблення пульпи в алюмінієвій промисловості, охолодження газів розпорошеної рідиною в ряді апаратів і т. д.). Настільки поширене застосування розпилення пояснюється тим, що у всіх цих процесах зменшення розмірів крапель різко збільшує коефіцієнт теплопередачі і, отже, зменшує час протікання процесу, що дозволяє значно зменшити габарити апаратів. Крім того, розпилення забезпечує більшу рівномірність розподілу рідини і кращу взаємодію її з реагуючої середовищем.

Рівномірний розподіл рідини і економія диспергуємого матеріалу забезпечили успіх принципу тонкого розпилювання фарбувальних речовин в будівельній та інших галузях промисловості. Розпилювачі знайшли значне застосування при обприскуванні рослин у сільському господарстві. Листя рослин на сотнях тисяч гектарів щорічно покриваються дрібними краплями спеціальних хімічних складів, призначених для боротьби з шкідниками сільськогосподарських культур. У всіх цих випадках застосовуються форсунки, пристосовані для дрібного і по можливості рівномірного розподілу рідини по перетину струменя.

Величезне значення розпилювання рідини для вирішення ряду технічних завдань призвело до створення великої кількості всіляких конструкцій сопла. З'явилися і численні дослідження сопла. Більшість цих досліджень мало приватний характер, ставлячись тільки до даного конкретного типу сопла. Разом з цим були поставлені і дослідницькі роботи з відшукання загальних закономірностей, які можна було б поширити не тільки на випробуваний тип форсунки при зміні її продуктивності та умов роботи, але і на інші форсунки, що діють за тим же принципом.

Відомі два основних способи розпилювання рідини: механічний і пневматичний (або паровий). У відповілності з цим і форсунки діляться на дві великі групи: механічні та пневматичні (або парові). В останні роки стали застосовувати форсунки комбінованого типу, так звані летюче- (паро-) механічні, а також форсунки з попередньою газифікацією.

З'явилася останнім часом тенденція до створення повітряно - механічних сопла пояснюється прагненням використовувати переваги обох способів розпилювання рідини. Такі комбіновані форсунки відрізняються деякою заплутаністю конструкції, але зате витрати повітря у них дуже малі, а тиск йо повітряному тракту не перевищує 2 атм.

Основна частина

Основними параметрами, що визначають режим роботи сопла, є:

а) натиск рідини перед соплом; знаючи продуктивність форсунки і натиск, можна розрахувати насосне обладнання;

б) швидкість розпилюючого газу - для пневматичних сопла; розрахунок втрат напору у соплах з газовому (паровому) тракті дає можливість підібрати нагнітач для подачі повітря або визначити тиск пари, що подається в форсунку;

в) співвідношення між ваговими витратами рідини і газу в пневматичних соплах;

г) протитиск в камері.

Знаючи продуктивність і задавшись швидкістю, можна визначити діаметр рідинного сопла форсунки, а в пневматичних соплах також і розміри щілини для газу.

Щоб розрахувати (або підібрати) форсунку, необхідно розпорядженні наступними вихідними даними і основними технічними вимогами:

а) продуктивність форсунки (витрата рідини) G, кг! годину \

б) необхідна зона розпилювання, обумовлена середовищем та діаметром крапель в струмені і розподілом крапель за розмірами;

в) кут конусності струменя;

г) щільність зрошення, т. е. кількість рідини, про-ходить в одиницю часу через одиницю площі живого перерізу струменя;

д) далекобійність струменя.

Важливу роль у розрахунку сопла відіграє визначення середнього діаметра крапель, для чого існує ряд формул:

1) середньоарифметичний діаметр:

$$d_{ap} = \frac{\sum n_i d_i}{N},$$

де n_i- число капель діаметра d_i, $N_i = \sum n_i d_i$

сума всіх крапель; при такому методі усереднення питомий вміст крапель визначається їх відносною кількістю; між тим велика кількість малих крапель становить лише незначну частину загальної маси розпиленої рідини, а це означає, що таке середнє не враховує розподілення маси рідини по краплях;

2) середньомасовий діаметр:

$$d = \frac{\sum g_i d_i}{G} = \frac{\sum n_i d_i^4}{\sum n_i d_i^3},$$

де g_i - вага крапель розміру d_i

в деяких випадках за середній приймається розмір краплі, ставлення обсягу якої до її поверхні дорівнює відношенню сумарного обсягу всіх крапель до їх поверхні (середній діаметр по Заутер):

$$d_s = \frac{\sum n_i d_i^4}{\sum n_i d_i^3}, ;$$

3) середній діаметр виводять також з умови, що відношення діаметра краплі середнього розміру до її об'єму дорівнює відношенню суми всіх діаметрів крапель до обсягу всіх крапель:

$$d_p = \sqrt{\frac{1}{\sum \frac{V_i}{d_i^2}}},$$

за середній можна приймати також діаметр краплі, об'єм якої дорівнює середньоарифметичному обсягу всіх крапель:

$$d_V = \sqrt[3]{\frac{\sum n_i d_i^3}{\sum n_i}},$$

середнім можна вважати також діаметр краплі, поверхні якої дорівнює середньоарифметичної поверхні всіх крапель:

$$d_F = \sqrt{\frac{\sum n_i d_i^2}{\sum n_i}};$$

4) середньологарифмічний діаметр:

$$lgd_i = \frac{\sum g_i lgd_i}{G},$$

медіанний діаметр d_m визначається як діаметр краплі, що ділить весь обсяг розпиленого струменя на дві рівні частини, т. е. на сумарні обсяги крапель:

$$\sum_{i=1}^{m} n_i d_i^3 = \sum_{i=m+1}^{n} n_i d_i^3$$

розміри яких більше або менше d_m.

Вибір того чи іншого способу визначення середнього діаметра крапель залежить від тих цілей, для яких виконується розпилювання рідини.

Середній діаметр крапель характеризує дисперсність далеко не повністю, оскільки при одному і тому ж середньому діаметрі можливі різне розподілення крапель за розмірами. Тому необхідно знати також і це розподіл, яке визначається за допомогою різних емпіричних формул. Досить поширеною є формула:

$$lgR_i = -\left(\frac{d_i}{d_0}\right)^m = -bd_i^m$$

де m і d - емпіричні константи;

d_0 - розмір крапель, відповідний, дорівнює 0,376; R_i - вагова частка рідини, що складається з

крапель, розміри яких більше d_L.

Рух рідкої струменя в середовищі газу описується рівнянням руху і нерозривності кожної фази та умовами на межі розділу фаз. У векторній формі ці рівняння записуються в наступному вигляді

$$\varrho \bar{F} - gradp + \mu\left(\nabla^2 + \frac{1}{3} graddiv\,\bar{\vartheta}\right) = \varrho\left[\frac{\partial \vartheta}{\partial t} + \left(\bar{\vartheta}, grad\right)\bar{\vartheta}\right];$$

рівняння нерозривності;

$$\frac{\partial \varrho}{\partial t} + div\left(g\,\bar{\vartheta}\right) = 0$$

Тут F - об'ємні сили, що діють на одиницю маси. Коли об'ємної силою є вага, то

$$\bar{F} = \bar{\varrho}\, l \ ,$$

де g - прискорення сили тяжіння); q - щільність середовища; i - в'язкість середовища; p - тиск; v - швидкість; t - час.

У разі нестисливого середовища щільність постійна (q = const), рівняння (2-1) і (2-2) спрощуються і приймають вигляд:

$$\varrho\, g - gradp + \mu\nabla^2\,\bar{\vartheta} = \varrho\left[\frac{\partial \vartheta}{\partial t} + \left(\bar{\vartheta}, grad\right)\bar{\vartheta}\right]$$

$$div\,\bar{\vartheta} = 0$$

Поверхневий шар за своїми властивостями в значній мірі відрізняється від решти об'єму рідини внаслідок того, що молекули цього шару знаходяться під дією силових полів молекул різних середовищ. У результате на молекули поверхневого шару діє сила, спрямована перпендикулярно до поверхні всередину рідини, - молекулярне тиск. Товщина поверхневого шару вельми мала і становить величину порядку молекулярних розмірів. Внаслідок дії молекулярного тиску поверхневий шар рідини аналогічний розтягнутій плівці, яка прагне стиснутися. Цьому стисненню перешкоджають сили, дотичні до поверхні рідини, звані силами поверхневого натягу

Тоді граничні умови перетворюються до вигляду

$$\left(\vartheta_{xz}\right)_{ж} = \left(\vartheta_{xz}\right)_{г}$$

$$\vartheta_{yж} = \vartheta_{yг} = 0$$

$$\tau_{zy} = \mu_{ж}\left(\frac{\partial \vartheta_{xж}}{\partial y} + \frac{\partial \vartheta_{yж}}{\partial x}\right) = \mu_{г}\left(\frac{\partial \vartheta_{xг}}{\partial y} + \frac{\partial \vartheta_{yг}}{\partial x}\right)$$

$$\tau_{yz} = \mu_{ж}\left(\frac{\partial \vartheta_{yж}}{\partial y} + \frac{\partial \vartheta_{zж}}{\partial x}\right) = \mu_{г}\left(\frac{\partial \vartheta_{yг}}{\partial y} + \frac{\partial \vartheta_{zг}}{\partial x}\right)$$

$$p_{ж} + 2\mu_{ж}\frac{\partial \vartheta_{yж}}{\partial y} = p_{г} + 2\mu_{г}\frac{\partial \vartheta_{yг}}{\partial y} + \sigma\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

Для подальшого дослідження потоку частин полімеру, що розпилюється повітрям проведемо моделювання такого двофазного середовища.

Рисунок 1. Експериментальна установка для розпилення полімеру. 1- Бак з полімером; 2 – сопло; 3 – потік; 4 – мішень.

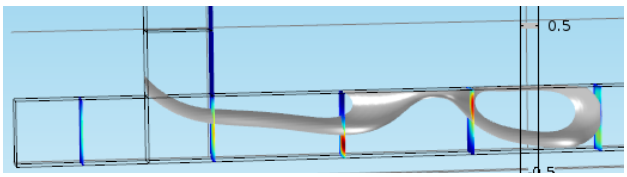


Рисунок 2. Формування краплини

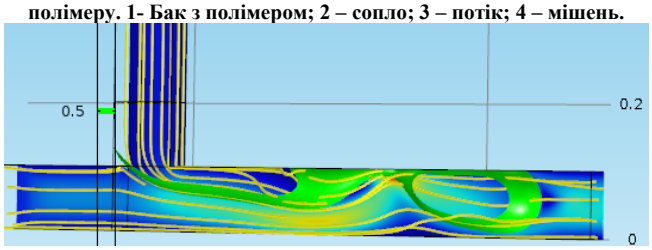


Рисунок 3. Потік повітря.

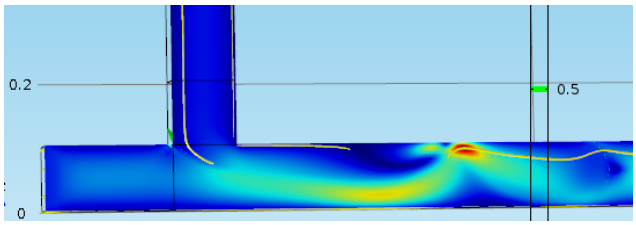


Рисунок 4. Розподіл напружень в краплині полімері.

Висновки

Отримані значення потоку двофазного середовища, що складається з полімеру та повітрю, яке його формує в краплини. Визначені геометричні характеристики крапель полімеру, що розпилюється при певних значеннях тиску пивітря.

Література

1. Горященко С.Л. Аналіз обладнання для нанесення полімерного покриття на текстильні матеріали / С.Л. Горященко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – №2 (223). – С. 37-40

2. Spread coating processes, R. A. Park, in *Plastisols and Organosols*, H. A. Sarvetnick, Ed., Van Nostrand Reinhold, New York, 1972, pp. 143–181.

3. W. R. Hoffman, Journal of Coated Fabrics, vol. 23, Oct., 1993, pp. 124–130.

4. Coated fabrics, B. Dutta, in Rubber Products Manufacturing Technology, A. K. Bhowmik, M. M. Hall and H. A. Stephens, Eds., Marcel Dekker, New York, 1994.

Рецензія/Peer review : 7.5.2016 р. Надрукована/Printed : 8.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф.. Параска Г.Б.

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису
http://vestnik.ho.com.ua/rules/

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету, протокол № 10 від 28.4.2016 р.

Підп. до друку 28.1.2016 р. Ум.друк.арк. 32,52 Обл.-вид.арк. 30,94
Формат 30х42/4, папір офсетний. Друк різографією.
Наклад 100, зам. № _____

Тиражування здійснено з оригінал-макету, виготовленого
редакцією журналу "Вісник Хмельницького національного університету"
редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63