

ISSN 2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

4.2018

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2018, Issue 4, Volume 263

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, 2017, № 4 (247)

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

Включено до науково-метричних 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
Голова редакційної колегії серії "Технічні науки"	Бойко Ю.М. , д. т. н., професор кафедри телекомунікацій та радіотехніки, начальник науково-дослідної частини Хмельницького національного університету
Відповідальний секретар	Гуляєва В. О. , завідувач відділом інтелектуальної власності і трансферу технологій Хмельницького національного університету

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

Березненко М.П., д.т.н., Бойко Ю.М., 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., 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., Лунтовський А.О., д.т.н. (Німеччина), Мазур М.П., д.т.н., Мандзюк І.А., д.т.н., Мартинюк В.В., 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., Поморова О.В., д.т.н., 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., Семенко А.І., д.т.н., Сілін Р.І., д.т.н., Славінська А.Л., д.т.н., Сорокатиї Р.В., д.т.н., Сурженко Є.Я., д.т.н. (Росія), Шинкарук О.М., д.т.н., Шклярський В.І., д.т.н., Щербань Ю.Ю., д.т.н., Ясній П.В., д.т.н.

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

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 12 від 28.06.2018 р.**

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

т	(038-22) 2-51-08	web:	http://journals.khnu.km.ua/vestnik
e-mail:	visnyk.khnu@gmail.com		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, 2018
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2018

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ**С.О. КОШЕЛЬ, Г.В. КОШЕЛЬ**ВИЗНАЧЕННЯ ПРИСКОРЕНЬ ТОЧОК ПЛОСКОГО МЕХАНІЗМУ ЧЕТВЕРТОГО КЛАСУ З
РУХОМИМ ЗАМКНЕНИМ КОНТУРОМ, УТВОРЕНИМ ТРЬОМА ШАТУНАМИ ТА КОРОМИСЛОМ . 6**В.Ю. ЩЕРБАНЬ, Г.В. МЕЛЬНИК, Н.І. МУРЗА, А.М. КИРИЧЕНКО, М.І. ШОЛУДЬКО**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПОДАЧІ НИТОК НА ОСНОВІ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРУЖНОЇ СИСТЕМИ
ЗАПРАВКИ КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН 11**Н.І. МУРЗА**КІНЕМАТИЧНИЙ ТА КІНЕТОСТАТИЧНИЙ АНАЛІЗ РОБОТИ НИТКОНАТЯГУВАЧА
ТРИКОТАЖНИХ ТА ШВЕЙНИХ МАШИН 17**О.С. ПОЛЩУК**ПРЕСОВЕ ОБЛАДНАННЯ З ПІДВИЩЕНИМИ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ
ВИКОНАННЯ ОПЕРАЦІЙ ВИРУБУВАННЯ ТА ПЕРФОРАЦІЇ ДЕТАЛЕЙ ВЗУТТЯ В ЛЕГКІЙ
ПРОМИСЛОВOSTІ 22**О.М. ДУПЛЯК, Р.І. КОЦЮБА**

МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ МОДЕЛЮВАННЯ КУЛАЧКОВИХ МЕХАНІЗМІВ 30

М.М. КОСПЮК, С.А. КОСТЮК, М.А. КОСТЮКТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАНЕСЕННЯ АНТИФРИКЦІЙНОГО ПОКРИТТЯ НА НЕПОВНІ
СФЕРИЧНІ ПОВЕРХНІ ФРИКЦІЙНО-МЕХАНІЧНИМ СПОСОБОМ 38**О.М. ПИЛИПЕНКО, О.В. БАТРАЧЕНКО**НОВИЙ СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ АНТИКРИЛ РАЛІЙНИХ
АВТОМОБІЛІВ 43**М.М. КОСПЮК, С.А. КОСТЮК**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ УДАРУ ПРИ СТАТИКО-
ІМПУЛЬСНОМУ ЗМІЦНЕННІ ПОВЕРХНЕВИМ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ 48**О.І. МАЛАКОВ, С.А. БУРЛАКА, Р.О. ЯРОЩУК**ЗНИЖЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ МОСТА КЕРОВАНИХ КОЛІС
САМОХІДНОЇ КОСАРКИ ШЛЯХОМ РАЦІОНАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ГІДРОЦИЛІНДРІВ 56**В.П. МІСЯЦЬ, С.П. ЛІСЕВИЧ, О.С. ПОЛЩУК, С.В. СМУТКО, С.І. ПУНДИК**

АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПРИВОДУ КУХОННОГО КОМБАЙНУ 62

П.С. МАЙДАН, Е.О. ЗОЛОТЕНКО, О.О. КОРОТИЧ, С.І. ПУНДИКВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ
ШАФИ ХОЛОДИЛЬНИКА 68**О.Г. ТИМОЩУК**РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ СЕРЕДНЬОЇ ВИСОТИ ЗАЗОРУ ТА
ПИТОМОЇ ПЛОЩІ ШОРСТКОЇ ПОВЕРХНІ КОНТАКТУ БЕЗЗМАЩУВАЛЬНИХ ЦИЛІНДРО-
ПОРШНЕВИХ УЩІЛЬНЕНЬ 78**І.Г. ДОБРОТВОР, Д.П. СТУХЛЯК**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ У ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТНИХ ПОКРИТТЯХ
ДЛЯ РІЗНИХ ДИСПЕРСНИХ НАПОВНЮВАЧІВ 86**А.А. ОРГИЯН, В.В. СТРЕЛЬБИЦКИЙ, И.М. ТВОРИЩУК**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ
ПРЕРЫВИСТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ 93

В.А. МАТВІЙЧУК, О.О. РУБАНЕНКО, Н.В. СОБЧУК ВИКОРИСТАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ СТРУКТУРИ ЕЕС	98
---	----

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

С.О. БІЛІНСЬКИЙ, А.Г. ДАНИЛКОВИЧ ВИГОТОВЛЕННЯ ШКІР СВІТЛИХ КОЛЬОРІВ З НАПІВФАБРИКАТУ ХРОМОВОГО ДУБЛЕННЯ	102
Н.А. КРУГЛА, С.С. БАБІЧ МОДЕЛЬ І АЛГОРИТМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ПЕРВИННОЇ ПЕРЕРОБКИ ЛУБ'ЯНОЇ СИРОВИНИ	108
Н.М. ЗАЩЕПКИНА, В.В. ТАРАНОВ, О.А. НАКОНЕЧНИЙ, Р.Ю. ДОВГАЛЮК ЗАСТОСУВАННЯ БАРВНИКІВ ВИЗНАЧЕНИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ В ЯКОСТІ ОПОРНИХ ЗРАЗКІВ РЕЄСТРАЦІЇ КВАНТОВОГО ВИХОДУ ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ	113
С.В. СМУТКО, В.В. МИЦА, С.П. ЛІСЕВИЧ, В.С. НЕЙМАК УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗКРІЙНОГО УСТАТКУВАННЯ ШВЕЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ	120
І.В. ГУНЬКО, С. А. БУРЛАКА, Р.О. ЯРОЩУК ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ МЕТОДИКИ ПОКРАЩЕННЯ СКЛАДУ СУМІШЕВОГО БІОПАЛИВА З РОСЛИННИХ ОЛІЙ	123

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

Т.О. ГОВОРУЩЕНКО, О.В. ПОМОРОВА, О.О. ПАВЛОВА МОДЕЛЮВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА НА ОСНОВІ ОНТОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ СПЕЦИФІКАЦІЙ ВИМОГ ДО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	128
С.М. ЛИСЕНКО, А.О. ЦЮЗІК МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ СКРІПТ-ВІРУСІВ НА ОСНОВІ ДИНАМІЧНОГО АНАЛІЗУ ПОВЕДІНКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ	138
Я.О. ЮСИН, Т.М. ЗАБОЛОТНЯ МОДИФІКОВАНИЙ МЕТОД ОСТРІВНОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ТЕКСТОВИХ ДАНИХ	148
М.В. ПІКУЛЯК ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ АДАПТИВНОГО ТЕСТУВАННЯ В СИСТЕМАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ	153
L. DMYTRO TSA SOFTWARE FOR FOURIER ANALYSIS OF FUNCTIONS WITH VARIABLE PERIOD	159
Т.В. СІЧКО, Б.О. ЮРЧУК РОЗРОБКА ВЕБ-ДОДАТКУ ТУРИСТИЧНОЇ ФІРМИ	166
О.А. МЯСІЩЕВ, А.П. ФАРИНА СИСТЕМА НАВІГАЦІЇ БЕЗПІЛОТНОГО НАЗЕМНОГО АПАРАТА НА ARDUINO	173
У.Б. ЯРКА, О.Т. ХАНАС СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ПОШУКОВОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ CASSIE	178
А.Г. ВОЗНЯК, В.П. РОЙЗМАН ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАДЛИШКОВОГО ТИСКУ РОЗІГРІТОГО ПОВІТРЯ НА ФУНКЦІОНАЛЬНУ РОБОТОЗДАТНІСТЬ ПЛІВКОВИХ КОНДЕНСАТОРІВ	183
Д.М. БАРАНОВСЬКИЙ АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС «ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА БЕТА КЛІТИНА»	190
Ю.П. ГУЛЬЧАК, Е.Ю. ГУЛЬЧАК НОРМАТИВНО-ПРАВОВА БАЗА ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В МЕДИЧНІЙ ГАЛУЗІ	194

О.І. ДОРОШ, О.Ю. СТЕПАНЮК, Г.Л. КУЧМІЙ, Н.В. ДОРОШ, М.В. КОЦАРЕНКО ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ ЗАСОБІВ МОБІЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ, ТРИВАЛОГО КОНТРОЛЮ ТА АНАЛІЗУ БІОМЕДИЧНИХ ДАНИХ	204
Ю.Б. КОВАЛЕНКО, Л.П. РИБАЛКА, М.В. БУРЛАКА ВДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА В АВІАЦІЙНІЙ ГАЛУЗІ	208
Я.В. ЛИТВИНЕНКО, Н.В. ЗАГОРОДНА, І.Б. ОКІПНИЙ, Г.М. ОСУХІВСЬКА МЕТОД ВЕРИФІКАЦІЇ ЦИКЛІЧНОСТІ (ОЦІНЮВАННЯ ДОСЛІДЖУВАНОГО СИГНАЛУ НА ПРИНАЛЕЖНІСТЬ ДО ЦИКЛІЧНИХ СИГНАЛІВ)	214
В.Т. КОНДРАТОВ ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МЕТРОЛОГИЯ. МАГНИТОПОЛЕВАЯ ТЕОРИЯ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ И ИНФОРМАЦИИ СКВОЗЬ МАТЕРИАЛ ИЛИ ВЕЩЕСТВО. Часть 1. Философские аспекты теории	222
О.А. МЯСИЩЕВ, В.М. МУРАВА, В.П. НЕЗДОРОВИН ПОБУДОВА АЛГОРИТМУ ПСЕВДО-ЙМОВІРНІСНОГО ШИФРУВАННЯ НА ОСНОВІ БЛОКОВИХ ШИФРІВ	233
А.О. СНЕРОК THE ELECTRONIC MEDICAL RECORD DOCUMENTATION AUTOMATING ACCORDINGLY TO THE E-HEALTH SYSTEM	238
ОБМІН ПРАКТИЧНИМ ДОСВІДОМ, ТЕХНОЛОГІЯМИ ТА ОБГОВОРЕННЯ	
Б.Г. МЕХТИЕВА, М.М. ГАДЖИЕВ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ОПОРОЖНЕНИЯ КАСКАДА ШАМКИРСКОГО И ЕНИКЕНДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ	246
В.М. ПАЗЮК, О.О. РУБАНЕНКО, В.М. ВИШНЕВСЬКИЙ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУШІННЯ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРМОВИХ НАСОСІВ	251
В.А. ВЫШИНСКИЙ МАТЕМАТИКА В ФИЗИКЕ	254
V.F. TIMKOV, S.V. TIMKOV, V.A. ZHUKOV, K.E. AFANASIEV FRACTAL GENESIS OF THE ANGLES OF THE NEUTRINO MIXING MATRIX	263

УДК 621.01

С.О. КОШЕЛЬ, Г.В. КОШЕЛЬ

Київський національний університет технологій та дизайну

ВИЗНАЧЕННЯ ПРИСКОРЕНЬ ТОЧОК ПЛОСКОГО МЕХАНІЗМУ ЧЕТВЕРТОГО КЛАСУ З РУХОМИМ ЗАМКНЕНИМ КОНТУРОМ, УТВОРЕНИМ ТРЬОМА ШАТУНАМИ ТА КОРОМИСЛОМ

Складні багатоланкові плоскі механізми все частіше застосовуються в технологічному обладнанні легкої промисловості. Відсутність універсального способу кінематичного дослідження таких механізмів дозволяє стверджувати про актуальність робіт з кінематичного аналізу багатоланкових механізмів. Метою роботи є розробка послідовностей дій для кінематичного дослідження прискорень точок ланок складного плоского механізму четвертого класу графоаналітичним способом, що базується на положеннях курсу теоретичної механіки про миттєвий центр прискорень ланок механізму, що мають плоскопаралельний рух. Визначено вектори лінійних прискорень точок ланок групи четвертого класу другого порядку складного плоского механізму графоаналітичним методом, в якому умовно змінено початковий механізм, що призвело до зменшення класу механізму та дозволило виконати його дослідження.

Ключові слова: механізм; кінематичне дослідження; вектор прискорення; план прискорень.

S.O. KOSHEL, A.V. KOSHEL

Kyiv National University of Technologies and Design

DETERMINATION OF ACCELERATION OF THE POINTS OF FOURTH-GRADE MECHANISM WITH THE MOBILE CLOSED CONTOUR

Improving of existing technology equipment of light industry and design of new machines connected with efficiency of existing analysis methods for structural group of planar mechanisms links, of which the last composed. The methods of investigation of dyads are the most effective today. Enough known the analyze methods of structural group to which four links enter. They form the 3rd class and 3rd order groups, on the base of which you can structural synthesize the mechanisms of the relevant class. On the one hand the structural group 4th class and 2nd order groups have used or have significant prospects of application in machinery of technological equipment in light industry, on the other – the appropriateness (effectiveness) of their use is not theoretically justified because there is no known method for their kinematic and dynamic researches. Imperfection in methods of analysis of such structural groups is a factor of deterrence of their use in technological equipment. The lack of a universal method of kinematic research of these mechanisms allows us to assert the relevance of work on the kinematic analysis of multilink mechanisms. Purpose of the work is development sequence of actions for kinetic research accelerations of the points of the planar links complex mechanism of graphic-analytical method that is based on the provisions of the course theoretical mechanics about instantaneous accelerations center links of the mechanism, which have plane-parallel motion. Analysed the linear acceleration vectors of the points of the links of group fourth class of third-order complex planar mechanism graphic-analytical method, which provisionally amended the initial mechanism that has led to a reduction class of mechanism and allowed to perform his research. In addition, the algorithm of kinematic analysis can be recommended for similar studies of complex planar mechanisms fourth and upper classes.

Keywords: mechanism, kinematic research, the acceleration vector, plan of acceleration.

Вступ

Проектування нових машин легкої промисловості та вдосконалення існуючого технологічного обладнання пов'язано з досконалістю методів структурного, кінематичного, динамічного досліджень структурних груп ланок механізмів, що їх утворюють.

Методи дослідження та синтезу двоповодкових структурних груп п'яти різних видів є найбільш розробленими, відомими є методи аналізу плоских структурних груп ланок, що утворюють групи третього класу третього порядку або деякі-четвертого класу, на основі яких можна структурно синтезувати механізми відповідних класів. Плоскі структурні групи вищих класів з одного боку вже використовуються або мають значні перспективи застосування в механізмах технологічного обладнання легкої промисловості, з іншого – не мають уніфікованих методів кінематичного та динамічного досліджень, що пояснюється різноманітністю видів структурних груп та складністю досліджень в кожному конкретному випадку.

Постановка завдання

Метою роботи є розробка послідовностей дій для кінематичного дослідження прискорень точок, що співпадають з геометричними центрами кінематичних пар структурної групи четвертого класу другого порядку з рухомим замкненим контуром, утвореним трьома шатунами, один з яких має вигляд складної ланки та коромислом, що несе на собі три елементи кінематичних пар, що базуються на положеннях курсу теорії механізмів і машин про властивість механізмів вищих класів змінювати клас в залежності від умовно обраного іншого можливого початкового механізму, що надходить до складу ведених структурних груп ланок механізму та положень курсу теоретичної механіки про миттєвий центр прискорень (МЦП).

Аналіз досліджень та публікацій

Питанням дослідження складних плоских механізмів приділяється увага в ряді робіт останніх років: розглядаються та вирішуються задачі синтезу [1], виконуються кінематичні та силові дослідження

механізмів вищого класу [2], наприклад, кінематичне дослідження механізму шостого класу [3, 4], зокрема механізмів обладнання легкої промисловості [5, 6].

Фактором стримування використання в технологічному обладнанні легкої промисловості структурних груп вищих класів є недостатня розробка способів їх аналізу, тому роботи, в яких розглядаються питання кінематичного дослідження складних плоских механізмів за допомогою будь-яких інших можливих способів та методів аналізу залишаються актуальними.

Формулювання цілей

Визначити вектори прискорень точок складного плоского механізму, що співпадають з геометричними центрами кінематичних пар структурної групи четвертого класу другого порядку з рухомих замкненим контуром, утвореним трьома шатунами та коромислом.

Результати та їх обговорення

Розглянемо складний плоский шарнірно-важільний механізм четвертого класу (рис. 1), що складається з ведучої ланки 1, яка з'єднана зі стояком 0 та інших ведених ланок 2÷5, серед яких ланки 2÷4 – шатуни, 5 – коромисло. Механізм першого класу (ланки 0, 1) разом з структурною групою четвертого класу другого порядку, до складу якої надходить сукупність чотирьох рухомих ланок 2÷5 ($n=4$) разом з шістьма кінематичними парами п'ятого класу А, В, С, D, Е, К, ($p_5=6$) утворюють механізм четвертого класу з ступенем вільності одиниця, тобто утворюють механізм з одним ведучим кривошипом, формула будови якого: 1клас (ланки 0,1) → 4клас 2порядок (ланки 2÷5).

Структурною особливістю механізму є наявність змінного за формою замкнутого контуру В, С, D, Е, який утворений трьома шатунами АВС, BD, СЕ, два з яких BD та СЕ розташовані один напроти іншого та мають вигляд протиставлених, а останній – складної ланки та коромислом ЕДК.

Виконати кінематичний аналіз механізму в послідовності та спосіб, за яким зазвичай досліджуються складні механізми третього класу графоаналітичним способом не виявляється можливим. Пов'язано таке з тим, що до шатуна 2, який безпосередньо з'єднаний з кривошипом 1 кінематичною парою А з іншого боку парами В, С приєднані до шатунів 3, 4, кінематичні параметри точок яких та їх траєкторії є невідомими.

Вихідними параметрами для кінематичного дослідження механізму є кутова швидкість кривошипу 1 ($\omega_1 = \text{const}$, с-1) та масштаб довжин (K_l , м/мм) кінематичної схеми механізму. Використовуємо графоаналітичний метод кінематичного дослідження. Задачу розв'язуємо за допомогою основних положень кінематичного аналізу механізмів курсу теорія механізмів і машин та положень курсу теоретична механіка, щодо дослідження плоскопаралельного руху твердого тіла.

Ураховуємо структурну властивість механізмів вищих класів змінювати клас за умови умовної зміни початкового механізму на інший можливий механізм першого класу [7].

Якщо за початковий механізм обрати сукупність ланок 0, 5 – механізм набуває вигляду механізму третього класу, формула будови якого: 1клас (ланки 0,5) → 3клас 3порядок (ланки 1–4).

Кінематичне дослідження починаємо з того, що умовно задаємося кутовим прискоренням ($\epsilon_5, \text{с}^{-2}$) коромисла 5 за величиною та напрямком, як ланки, яка згідно з формулою будови механізму є іншою умовно можливою ведучою ланкою механізму: на плані прискорень будуюмо вектори $\vec{pe}, \vec{pd}$ за умови попередньо розрахованих за величиною нормальних складових прискорень точок D, Е ($a_{D;K}^n = \omega_5^2 \cdot l_{DK}$, $a_{E;K}^n = \omega_5^2 \cdot l_{EK}$), за напрямками які, відповідно, спрямовані паралельно до ліній DK та EK, тангенціальні – перпендикулярно до них. Складаємо систему векторних рівнянь для визначення прискорення особливої точки Ассура S_1 ланки 2:

$$\begin{cases} \vec{a}_{S1} = \vec{a}_B + \vec{a}_{S1;B}^n + \vec{a}_{S1;B}^\tau = \vec{a}_D + \vec{a}_{B;D}^n + \vec{a}_{B;D}^\tau + \vec{a}_{S1;B}^n + \vec{a}_{S1;B}^\tau; \\ \vec{a}_{S1} = \vec{a}_C + \vec{a}_{S1;C}^n + \vec{a}_{S1;C}^\tau = \vec{a}_E + \vec{a}_{C;E}^n + \vec{a}_{C;E}^\tau + \vec{a}_{S1;C}^n + \vec{a}_{S1;C}^\tau. \end{cases} \quad (1)$$

Нормальні складові прискорень з рівняння (1) за величиною визначаємо з рівнянь:

$$\begin{cases} \vec{a}_{S1;B}^n = \omega_2^2 \cdot l_{S1;B}; \\ \vec{a}_{B;D}^n = \omega_3^2 \cdot l_{B;D}; \end{cases} \quad \text{та} \quad \begin{cases} \vec{a}_{S1;C}^n = \omega_2^2 \cdot l_{S1;C}; \\ \vec{a}_{C;E}^n = \omega_4^2 \cdot l_{C;E}; \end{cases} \quad (2)$$

а за напрямком-з кінематичної схеми. Зауважимо, що нормальні складові прискорень в кожному з рівнянь системи (1) мають однакові напрямки, але можуть бути спрямовані в протилежні боки одна по відношенню до іншої, тому діємо так: якщо напрямки векторів різні, то результуючий вектор спрямовуємо в бік більшої за величиною складової прискорення, тобто відкладаємо їх алгебраїчну різницю з напрямком більшої за величиною складовою.

Складаємо векторні рівняння, які дозволяють побудувати на плані прискорень лінії можливих положень точок «b» та «с», що є інціями, відповідно, векторів прискорень точок В та С: $\vec{a}_B = \vec{a}_D + \vec{a}_{B;D}^n + \vec{a}_{B;D}^\tau$, $\vec{a}_C = \vec{a}_E + \vec{a}_{C;E}^n + \vec{a}_{C;E}^\tau$ та будуюмо їх (лінії, які проведені $\perp BD$ та $\perp CE$ згідно з рівняннями).

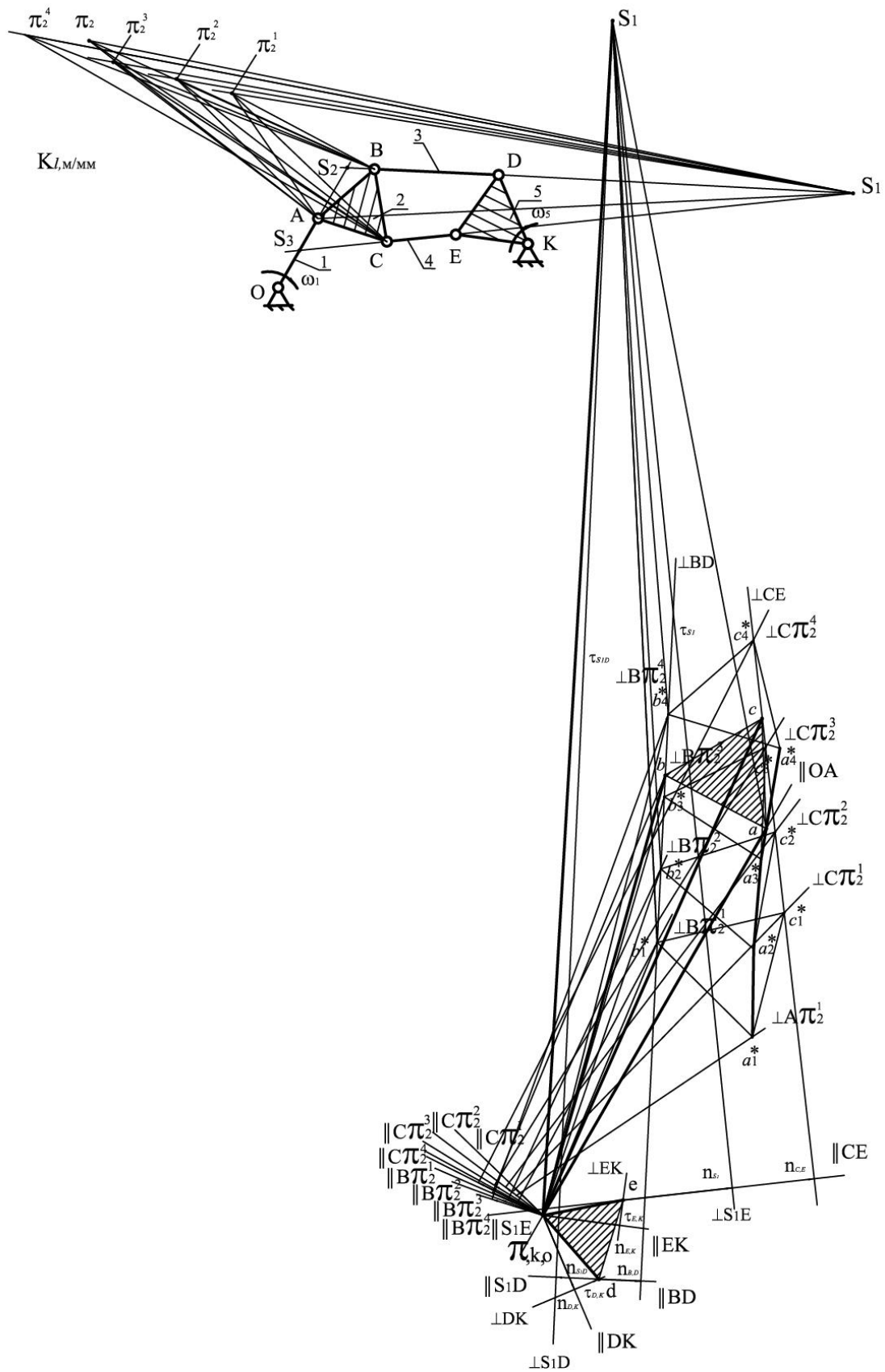


Рис. 1. Кінематична схема та план прискорень механізму четвертого класу

На лінії можливих положень точки «b» довільно задаємося можливим її положенням (точка b_1^*), тобто фактично довільно обираємо величину кутового прискорення (ϵ_3, c^{-2}) шатуну 3. Тоді згідно з теоремою подібності для трьох точок (S_1, B, π_2^i), що належать до однієї ланки можна скласти таку

подібність: $\Delta S_1 B \pi_2^i \cong \Delta s_1 b_1^* \pi$, з якої визначаємо положення точки π_2^i - МЦП шатуна 2 на плані положення механізму.

За знайденим положенням точки π_2^i складаємо векторне рівняння, яке дозволяє перевірити положення точки b_1^* на плані прискорень: $\vec{a}_B = \vec{a}_{B;\pi_2^1}^n + \vec{a}_{B;\pi_2^1}^\tau$ (нормальну складову прискорення розраховуємо так: $a_{B;\pi_2^1}^n = \omega_2^2 \cdot l_{B;\pi_2^1}$) та рівняння, яке дозволяє знайти відповідне положення точки c_1^* на лінії її можливих положень: $\vec{a}_C = \vec{a}_{C;\pi_2^1}^n + \vec{a}_{C;\pi_2^1}^\tau$, де нормальну складову прискорення розраховуємо з рівняння: $a_{C;\pi_2^1}^n = \omega_2^2 \cdot l_{C;\pi_2^1}$.

За теоремою подібності для трьох точок (A,B,C), що належать до однієї ланки складаємо подібність: $\Delta ABC \cong \Delta a_1^* b_1^* c_1^*$, з якої визначаємо положення точки a_1^* на плані прискорень-її положення не відповідає дійсному положенню тому, що вона не знаходиться на лінії її можливих положень (для випадку коли кривошип має сталу кутову швидкість лінійною можливих положень точки «а» буде лінія, що проходить через полюс плану прискорень за напрямком паралельним до геометричної вісі кривошипу 1, тобто $\parallel AO$).

Подальший розв'язок полягає в тому, щоб на лінії можливих положень точки «b» довільно задатися іншими можливими її положеннями (точки « b_2^* », « b_3^* », « b_4^* ») та виконати вище викладену послідовність дій, що дозволить отримати сукупність точок « a_2^* », « a_3^* », « a_4^* » лінії помилкових положень точок «а» на плані прискорення, що має вигляд плоскої кривої другого порядку (« $a_1^* a_4^*$ »). Дійсне положення точки « a_1^* » (точка «а» плану прискорень) визначаємо на перетині ліній її дійсного та помилкового положень.

За дійсним положенням точки «а» згідно з теореми подібності ($\Delta S_1 A \pi_2 \cong \Delta s_1 a \pi$) уточнюємо дійсне положення точки МЦП шатуна 2 (π_2) на кінематичній схемі механізму, за яким визначаємо дійсне кутове прискорення (ε_2, c^{-2}) ланки 2 та дійсні лінійні прискорення точок В та С: $\vec{a}_B = \vec{a}_{B;\pi_2}^n + \vec{a}_{B;\pi_2}^\tau$; $\vec{a}_C = \vec{a}_{C;\pi_2}^n + \vec{a}_{C;\pi_2}^\tau$. Складаємо системи векторних рівнянь, що дозволяють побудувати на плані прискорення вектори лінійних прискорень точок D та E:

$$\begin{cases} \vec{a}_D = \vec{a}_B + \vec{a}_{D;B}^n + \vec{a}_{D;B}^\tau; \\ \vec{a}_D = \vec{a}_K + \vec{a}_{D;K}^n + \vec{a}_{D;K}^\tau; \end{cases} \quad \begin{cases} \vec{a}_E = \vec{a}_C + \vec{a}_{E;C}^n + \vec{a}_{E;C}^\tau; \\ \vec{a}_E = \vec{a}_K + \vec{a}_{E;K}^n + \vec{a}_{E;K}^\tau; \end{cases} \quad (3)$$

Отриманий план прискорень сприймаємо як графічну побудову, де вектори лінійних прискорень точок механізму четвертого класу побудовані з полюсу в невизначеному масштабі, який за умов заданих розмірів ланок та кутової швидкості дійсної ведучої ланки (кривошипу 1) розрахувати не складає труднощів.

Висновки

Розроблено послідовність дій та виконано кінематичне дослідження прискорень точок, що співпадають з геометричними центрами кінематичних пар структурної групи четвертого класу другого порядку з рухомим замкненим контуром, утвореним трьома шатунами, один з яких має вигляд складної ланки та коромислом, що несе на собі три елементи кінематичних пар, що базуються на положеннях курсу теорія механізмів і машин про властивість механізмів вищих класів змінювати клас в залежності від умовно обраного іншого можливого початкового механізму, що надходить до складу ведених структурних груп ланок механізму та положень курсу теоретична механіка про миттєвий центр прискорень.

Запропоновану послідовність кінематичного аналізу можна рекомендувати для проведення аналогічних досліджень складних плоских механізмів четвертого та вище класів.

Література

1. Кикин А.Б. Аналитико-оптимизационный синтез шестизвенного механизма с выстоем / А.Б. Кикин, Э.Е. Пейсах // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2008. – № 5. – С. 79–83.
2. Дворников Л.Т. Исследование кинематики и кинестатики плоской шарнирной шестизвенной группы Ассура с четырехугольным замкнутым изменяемым контуром / Л.Т. Дворников, С.П. Стариков // Известия ВУЗов, «Машиностроение». – 2008. – № 4. – С. 3–10.
3. Чашников Д.О. Кинематическое исследование плоского восьмизвенного механизма шестого класса с поступательной парой / Д.О. Чашников, В.В. Горяшин // Успехи современного естествознания. –

2011. – № 7. – С. 231–232.

4. Чашников Д.О. Кинематическое исследование плоского восьмизвенного механизма шестого класса с поступательной парой аналитическим методом / Д.О. Чашников, В.В. Гаряшин // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 6. – С. 158–159.

5. Гебель Е. С. Моделирование кинематики механизма игл основовязальной машины / Е. С. Гебель, Е. В. Солонин // Сборник материалов X междунар. научно-практ. конф. «Теоретические знания в практические дела» : в 2 ч. – Омск : Филиал ГОУ ВПО «РосЗИТЛП» в г. Омске, 2009. Ч. 2. – С. 211–215.

6. Кикин А.Б. Синтез рычажных механизмов для привода нитераскладчика мотальной машины / А.Б. Кикин // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2005. – № 1. – С. 115–119.

7. Кошель С.О. Структурний аналіз складних плоских механізмів четвертого класу / С.О. Кошель, Г.В. Кошель // Хм.: Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – №1. – С. 72–79

References

1. Kikin A.B. Analitiko-optimizatsionnyj sintez shestizvennogo mehanizma s vystoem [Analytical and optimal synthesis of six-membered mechanism with dwell] / A.B. Kikin, Ye.E. Pejsah // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti [Technology textile industry]. – 2008. – № 5. – S. 79–83.

2. Dvornikov L.T. Issledovanie kinematiki i kinetostatiki ploskoj sharnirnoj shestizvennoj grupy Assura s chetyrehugol'nym zamknutym izmenjaemym konturom [The study of kinematics and Kinetostatics flat hinged six-membered group Assur quadrangular closed loop variable] / L.T. Dvornikov, S.P. Starikov // Izvestija VUZov, «Mashinostroenie» ["Engineering"]. – 2008. – №4. – S. 3 – 10.

3. Chashnikov D.O. Kinematicheskoe issledovanie ploskogo vosmizvennogo mehanizma shestogo klassa s postupatel'noy paroy [Kinematic study of planar six sixth grade mechanism with sliding pair] / D.O. Chashnikov, V.V. Garyashin // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. – 2011. – № 7. – S. 231 – 232.

4. Chashnikov D.O. Kinematicheskoe issledovanie ploskogo vosmizvennogo mehanizma shestogo klassa s postupatel'noy paroy analiticheskim metodom [Kinematic study of planar six sixth grade mechanism with sliding pair analytical method] / D.O. Chashnikov, V.V. Garyashin // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. – 2012. – №6. – S. 158 – 159.

5. Gebel' E. S. Modelirovanie kinematiki mehanizma igl osnovovjazal'noj mashiny / E. S. Gebel', E. V. Solonin [Modeling dynamics of the machine needles warp machine] // Sbornik materialov H mezhduar. nauchno-prakt. konf. «Teoreticheskie znanija v prakticheskie dela»: v 2 ch. – Omsk.: Filial GOU VPO «RosZITLP» v g. Omske, 2009. Ch.2. – S. 211 – 215.

6. Kikin A.B. Sintez rycheznyh mehanizmov dlja privoda niteraskladchika motal'noj mashiny [Synthesis of linkage to drive the traverse control winder] / A.B. Kikin // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti [Technology textile industry]. – 2005. – № 1. – S. 115 – 119.

7. Koshel S.O. Strukturnij analiz skladnih ploskih mehanizmov chetvertogo klasu [Structurally analiz folding flat mehanizmiv fourth class] / S.O. Koshel, G.V. Koshel // Hm.: Visnik Hmel'nitskogo natsionalnogo univ'sitetu. Tehnichni nauki. – 2015. – №1. – S. 72–79

Рецензія/Peer review : 13.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 11.07.2018 р.

Рецензент: проф., д.т.н. Місяць В.П.

УДК 685.31

В.Ю. ЩЕРБАНЬ, Г.В. МЕЛЬНИК, Н.І. МУРЗА, А.М. КИРИЧЕНКО, М.І. ШОЛУДЬКО

Київський національний університет технологій та дизайну

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПОДАЧІ НИТОК НА ОСНОВІ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРУЖНОЇ СИСТЕМИ ЗАПРАВКИ КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН

В роботі наведені результати досліджень з удосконалення системи подачі ниток на основі оптимізації пружної системи заправки круглов'язальних машин з парасольковим шпулярником та виносним шпулярником. На основі аналізу умов взаємодії ниток з напрямними, нитконастягувальними приладами трикотажних машин, впливу геометричної форми лінії заправки нитки на її натяг, на ЕОМ за допомогою спеціально розробленого програмного забезпечення, отримані значення конструктивних параметрів системи подачі нитки, які дозволяють знизити нерівномірність натягу та зменшити обривність нитки.

Ключові слова: нитка, натяг, система подачі нитки, геометрична форма лінії заправки, нитконастягувальні прилади.

V.YU. SCHERBAN, G.V. MELNIK, N.I. MURZA, A.N. KIRICHENKO, M.I. SHOLUDKO

Kyiv National University of Technologies and Design

IMPROVEMENT OF SYSTEM OF SERVE OF FILAMENTS ON BASIS OF OPTIMIZATION OF RESILIENT SYSTEM OF PRIMING OF ROUND KNITTINGS MACHINES

Imperfection of structural elements of the system of serve on round knittings machines results in the origin of salutatory increase of pull in the areas of contact with an uneven on a diameter filament, and it, in same queue, results in a precipice. In addition, the form of line of priming of filament on a knitting equipment influences on the increase of pull from an access point to the area of knitting. It contingently the increase of total corner of scope the filament of sending surfaces. On this basis, there is a question about optimization of form of priming line on the basis of minimization of pull before the area of knitting taking into account such real physical and mechanical properties of filament, as inflexibility on a bend, deformation in the area of contact. It is necessary to take into account the features of co-operation of filament with the structural elements of the system of serve of round knittings machines, such as a radial scope is in the area of contact, corners of scope in points an entrance and output. At the decision of this stumper, taking into account influence of many criteria, it is necessary it will be to develop the special algorithms and proper software for computer. Results are got. On the basis of analysis of flow diagrams of line of priming of filament of round knittings machines the theoretical ground of calculable chart of algorithm of successive optimization, which minimizes searches in the tree of variants, which enabled to execute calculable realization of algorithm of successive optimization which minimizes searches in the tree of variants, is first conducted. The developed algorithm allowed to decide the flat and spatial task of synthesis of the system of serve of filament on round knittings machines for the case of obstacles as verticals and circles, and software is developed for the search of optimum form of priming of filament on a round knitting machine. Practical value. The analysis of the system of serve of filament is conducted on the round knittings machines of DL – 4M, Mayer allowed to choose an optimum form and geometrical sizes of structural elements of the system of serve of filament and reduce the size of pull on 9-18% and to decrease the precipice of filament on the average on 7%.

Keywords: filament, pull, system of serve of filament, geometrical form of priming line, devices for the pull of filament.

Вступ

Актуальність. Недосконалість структурних елементів системи подачі на круглов'язальних машинах призводить до виникнення стрибкоподібного збільшення натягу в зонах контакту з нерівномірною за діаметром ниткою, а це, в свою чергу, призводить до обриву [1–3, 4–8]. Крім того, сама форма лінії заправки нитки на трикотажному обладнанні впливає на збільшення натягу від точки входу до зони в'язання [1, 3]. Це обумовлено збільшенням сумарного кута охоплення ниткою напрямних поверхонь [4–10].

Виходячи з цього, виникає питання про оптимізацію форми лінії заправки на основі мінімізації натягу перед зоною в'язання з урахуванням таких реальних фізико-механічних властивостей нитки [1–3, 6, 12], як жорсткість на згин, мнучкість в зоні контакту. Необхідно враховувати особливості взаємодії нитки з конструктивними елементами системи подачі круглов'язальних машин, такими як радіальне охоплення в зоні контакту, кути охоплення в точках входу та виходу [5–9]. При вирішенні цього складного питання, враховуючи його багатокритеріальність, необхідно буде розробити спеціальні алгоритми і відповідне програмне забезпечення для ЕОМ [2].

Об'єкти і методи дослідження. Об'єктом дослідження в роботі виступав технологічний процес в'язання трикотажного полотна. Предметом дослідження були системи подачі ниток на круглов'язальних машинах. Теоретичною основою при вирішенні науково-технічної проблеми є праці провідних вчених в галузях технології текстильного та трикотажного виробництва [1–3], текстильного матеріалознавства, механіки нитки [3], теорії пружності, математичного моделювання [2]. У теоретичних дослідженнях використано методи інтегрального та диференційного числення, теоретичної механіки, теорії механізмів та машин, опору матеріалів, планування експерименту та статистичної обробки результатів досліджень.

Експериментальні дослідження проводилися в лабораторних умовах та в умовах функціонування реального текстильного виробництва. При розробці програмного забезпечення використовувалися сучасні мови об'єктне – орієнтованого програмування.

Практичне значення. Удосконалення системи подачі нитки на круглов'язальних машинах з парасольковим шпулярником та виносним шпулярником ДЛ – 4М та Mayer дозволило обрати оптимальну форму та геометричні розміри структурних елементів системи подачі нитки і знизити величину натягу на 9–18% та зменшити обривність нитки в середньому на 7%.

Постановка завдання

На базі структурного аналізу складових компонентів та геометричної форми удосконалити систему подачі ниток на основі оптимізації пружної системи заправки круглов'язальних машин, що дозволить знизити величину натягу та зменшити обривність.

Основна частина

На рис.1 а представлена форма лінії заправки ниток круглов'язальної, двофонтурної машини ДЛ-4М, яка призначена для в'язання полотна дволастичним переплетенням, з якого виготовляють вироби білизна та спортивний одяг. На рис. 1 б представлена форма лінії заправки ниток круглов'язальної машини Mayer, яка може бути однофонтурна чи двофонтурна і включати в свою конструкцію до 114 транспортуючих нитку фідерів. Вона призначена для виготовлення трикотажних жакардових полотен, покриваючих тканин.

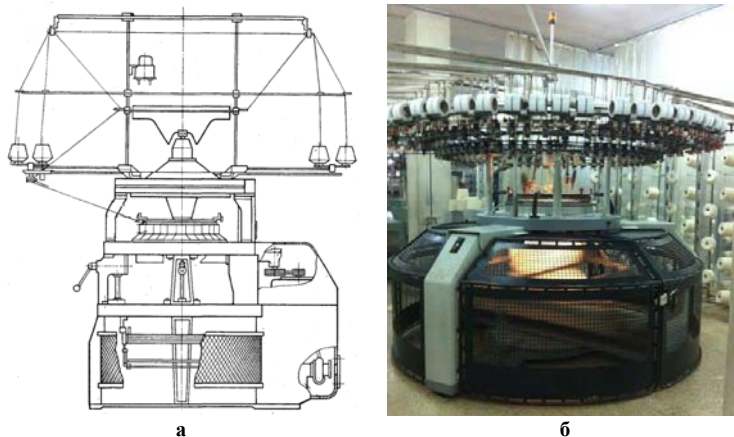


Рис. 1. Форма лінії заправки ниток круглов'язальної машини ДЛ-4М та Mayer

Лінію заправки нитки на круглов'язальній машині ДЛ-4М можна умовно розбити на 14 ділянок: 1 ділянка – від бобіни до спрямовувача нитки I; 2 ділянка – від спрямовувача нитки I до вхідного отвору контролера обриву нитки II; 3 ділянка – від вхідного отвору контролера обриву нитки II до спрямовувача нитки IV; 4 ділянка – від спрямовувача нитки IV до спрямовувача нитки V; 5 ділянка – від спрямовувача нитки V до вхідного отвору VI торцевого кронштейну пальцевого натягувача нитки; 6 ділянка – від вхідного отвору VI торцевого кронштейну пальцевого натягувача нитки до циліндричної поверхні пальцевого натягувача; 7 ділянка – від циліндричної поверхні пальцевого натягувача до вхідного отвору VII торцевого кронштейну пальцевого натягувача нитки; 8 ділянка – від вхідного отвору VII торцевого кронштейну пальцевого натягувача нитки до вхідного отвору VIII контролера обриву нитки; 9 ділянка – від вхідного отвору VIII контролера обриву нитки до вхідного отвору IX контролера обриву нитки; 10 ділянка – від вхідного отвору IX контролера обриву нитки до вертикального накопичувача нитки барабанного типу; 11 ділянка – від вертикального накопичувача нитки барабанного типу до вхідного отвору X контролера обриву нитки; 12 ділянка – від вхідного отвору X контролера обриву нитки до вхідного отвору XI контролера обриву нитки; 13 ділянка – від вхідного отвору XI контролера обриву нитки до вхідного отвору водія нитки XII; 14 ділянка – від вхідного отвору водія нитки XII до зони в'язання.

Лінію заправки нитки на круглов'язальній машині Mayer можна умовно розбити на 12 ділянок: 1 ділянка – від бобіни до вхідного отвору I фідера; 2 ділянка – від вхідного отвору I фідера до перехідного коліна фідера II; 3 ділянка – від перехідного коліна фідера II до перехідного коліна фідера III; 4 ділянка – від перехідного коліна фідера III до шайбового натягувача нитки IV; 5 ділянка – від шайбового натягувача нитки IV до вхідного отвору V спрямовувача нитки; 6 ділянка – від вхідного отвору V спрямовувача нитки до вертикального накопичувача нитки VI барабанного типу; 7 ділянка – від вертикального накопичувача нитки VI барабанного типу до вхідного отвору VII спрямовувача нитки; 8 ділянка – від вхідного отвору VII спрямовувача нитки до вхідного отвору VIII спрямовувача нитки; 9 ділянка – від вхідного отвору VIII спрямовувача нитки до вхідного отвору IX контролера обриву нитки; 10 ділянка – від вхідного отвору IX контролера обриву нитки до вхідного отвору X контролера обриву нитки; 11 ділянка – від вхідного отвору X контролера обриву нитки до вхідного отвору XI водія нитки; 12 ділянка – від вхідного отвору XI водія нитки до зони в'язання.

При проектуванні апаратів легкої промисловості виникає завдання визначення траєкторії нитки так, щоб сумарна сила тертя, яка діє на нитку, була мінімальною [1–3, 9–12]. Початкові умови завдання містять координати початкової точки (джерела) траєкторії, кінцевої точки (цілі) і координати перешкод, мимо яких повинна проходити нитка. Якщо траєкторія огинає перешкоду, виникає сила тертя, яка залежить від кута обхвату напрямної. Таким чином, завдання полягає у визначенні траєкторії з мінімальною сумою кутів обхвату ниткою напрямної [3].

Відрізками найбільшої товщини зображені перешкоди, відрізками середньої товщини відображають одну з можливих траєкторій нитки. Точки s і t відображають відповідно джерело і мету. Кожною

перешкодою p_i є вертикальний відрізок і характеризується позицією точок – верхньою u_i і нижньою l_i . Траєкторія $T = (s, u_2, l_3, l_5, t)$ змінює напрям руху нитки в точках u_2, l_3, l_5 . Кути зміни напрямку відповідно складають α, β, γ , а оцінка цієї траєкторії, або значення цільової функції на ній складає

$$F(t) = \alpha + \beta + \gamma. \quad (1)$$

Значення цільової функції на довільному шляху $p = (v_s, v_l, v_b, v_{b-1}, v_{k-1}, v_k)$ визначається як

$$F(p) = \sum_{i=1}^{k-1} |\alpha_i|, \quad (2)$$

де α_i – кут між ребрами шляху p , які інцидентні вершині v_i .

Використовуючи залежності (1) та (2) було реалізоване спеціальне програмне забезпечення. В результаті були отримані оптимальні форми лінії заправки ниток. На рис. 2 а представлена оптимальна форма лінії заправки нитки для круглов'язальної машини ДЛ-4М, а на рис. 2 б представлена оптимальна форма лінії заправки нитки для круглов'язальної машини Мауер.

Після обрання оптимальної форми лінії заправки нитки для круглов'язальних машин ДЛ-4М та Мауер визначимо зміну натягу по зонах заправки. Натяг нитки на ділянці 1, як це зазначалося для попередніх круглов'язальних машин, буде відповідати натягу, який має нитка при сході з бобіни. Взагалі ця величина має змінний характер і залежить від багатьох факторів. При розрахунках приймали $P_1 = 5$ сН.

Натяг нитки для круглов'язальної машини ДЛ-4М, при проходженні конструктивних елементів I-XII, та для круглов'язальної машини Мауер, при проходженні конструктивних елементів I-III, V, VII-XI, (різного типу спрямовувачі нитки), визначимо з рівняння

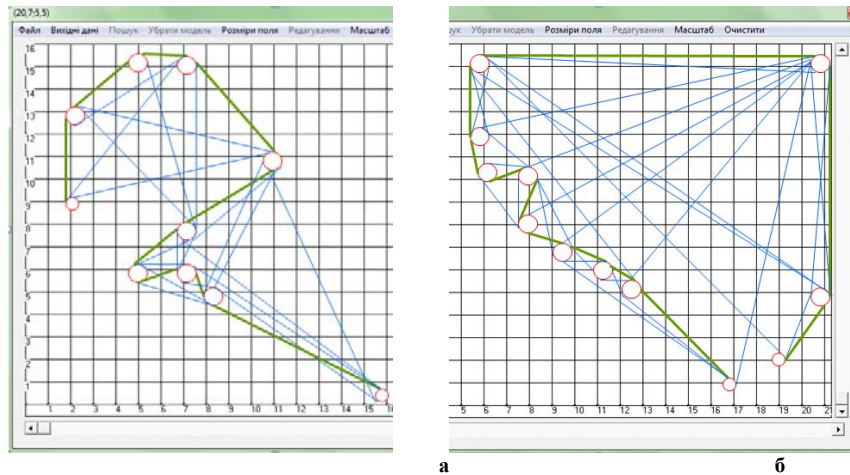


Рис. 2. Оптимальна форма лінії заправки нитки для круглов'язальної машини ДЛ-4М та Мауер

$$P_{(i+1)} = P_{(i)} \left[1 + \frac{(R_{(j)} + r)}{[R_{(j)} + r(I - \delta_{0(j)})]} \left(e^{\frac{\beta_{(j)}}{\sin \beta_{(j)}} \frac{a}{P_{(i)}^b} R_{(j)}^b \varphi_{(j)}} - 1 \right) \right] + \left[\frac{(c_0 + c_j K_r + c_2 K_r^2)}{2[R_{(j)} + r(I - \delta_{0(j)})]^2} \right] - \left[\frac{(c_0 + c_j K_r + c_2 K_r^2)}{2[R_{(j)} + r(I - \delta_{0(j)})]^2} \right] \left[1 + \frac{(R_{(j)} + r)}{[R_{(j)} + r(I - \delta_{0(j)})]} \left(e^{\frac{\beta_{(j)}}{\sin \beta_{(j)}} \frac{a}{P_{(i)}^b} R_{(j)}^b \varphi_{(j)}} - 1 \right) \right], \quad (3)$$

де $P_{(i+1)}$ – натяг нитки після j конструктивного елементу трикотажної машини; $P_{(i)}$ – натяг нитки до j конструктивного елементу машини; $R_{(j)}$ – радіус кривизни поверхні j конструктивного елементу трикотажної машини; $\delta_{0(j)}$ – початкова деформація перетину нитки при набіганні на j конструктивний елемент трикотажної машини; $\delta_{(j)}$ – кінцева деформація перетину нитки при збіганні з j конструктивного елементу трикотажної машини; $\beta_{(j)}$ – кут радіального охоплення нитки поверхнею j конструктивного елементу трикотажної машини; $\varphi_{(j)}$ – реальний кут охоплення ниткою j конструктивного елементу трикотажної машини.

Натяг нитки після вертикального накопичувача нитки барабанного типу машини та вертикального накопичувача нитки VI барабанного типу машини Мауер визначається різницею лінійних швидкостей подачі та споживання нитки в робочій зоні. Він має змінний, пульсуючий характер. Для розрахунків можна вважати його близьким до натягу на ділянці 1 [1, 3].

Натяг нитки на ділянці 7 після огинання циліндричної поверхні пальцевого натягувача на трикотажній машині ДЛ-4М можна визначити за формулою [1, 3]

$$P_{dl7} = P_{dl6} e^{2\pi k l \sin \varphi_{dl7}}, \quad (4)$$

де P_{dl7} – натяг нитки перед циліндричною поверхнею пальцевого натягувача; P_{dl6} – натяг нитки після циліндричної поверхні пальцевого натягувача; $k1$ – кількість повних обертів нитки навколо циліндричної поверхні пальцевого натягувача; φ_{dl7} – кут нахилу нитки до осі пальцевого натягувача.

Натяг нитки після проходження шайбового натягувача IV трикотажної машини Mayer можна визначити за формулою [3]

$$P_{ma5} = P_{ma4} e^{\mu_2 \alpha_{maIV}} + \frac{\mu_1 N (1 + e^{\mu_2 \alpha_{maIV}})}{[1 + \sin(\frac{\alpha_{maIV}}{2} - \arcsin \frac{r}{R})]}, \quad (5)$$

де P_{ma5} – натяг нитки після шайбового натягувача IV; P_{ma4} – натяг нитки до шайбового натягувача IV; μ_1 – коефіцієнт тертя між ниткою та поверхнею шайб; μ_2 – коефіцієнт тертя між ниткою та циліндричною поверхнею стрижня, на який одягнені шайби; N – сила нормального тиску шайб на нитку в точках контакту; r – радіус стрижня; R – радіус контактної точки; α_{maIV} – кут охоплення ниткою стрижня.

Використовуючи залежності (3) та (4) була отримана діаграма зміни відносного натягу нитки для круглов'язальної машини ДЛ-4М по зонах заправки, яка представлена на рис.3 а. Аналіз діаграми показав, що до вертикального накопичувача нитки барабанного типу натяг зростає за рахунок взаємодії нитки з поверхнями конструктивних елементів системи заправки. Після проходження вертикального накопичувача нитки барабанного типу натяг починає знову зростати і досягає свого максимуму в зоні в'язання. Максимальне значення складає майже 3,4 перед 11 зоною. Виходячи з цього можна стверджувати, що накопичувач нитки барабанного типу, виконуючи свою функцію по зменшенню натягу, не виключає можливості обриву на ділянці між 1 та 10 зонами, як це видно з рис. 3 а. Використовуючи алгоритм та програмне забезпечення, які розглядалися в другому розділі, нами отримана оптимальна форма лінії заправки нитки для круглов'язальної машини ДЛ-4М, яка наведена на рис.3 б. Аналіз результатів по визначенню зміни відносного натягу нитки по зонах показав, що тенденція зберігається як і у випадку до оптимізації. Проте значення відносного натягу значно зменшилися. Так, у 10 зоні відносний натяг вже складає 2,7, що майже на 9% менше ніж у випадку до оптимізації. Проведені дослідження дозволили обрати оптимальну форму та геометричні розміри структурних елементів системи подачі нитки для круглов'язальної машини ДЛ-4М і знизити нерівномірність натягу для бавовняної пряжі 27,6 текс з 9,3 сН до 8,5 сН (зменшення натягу на 9 %).

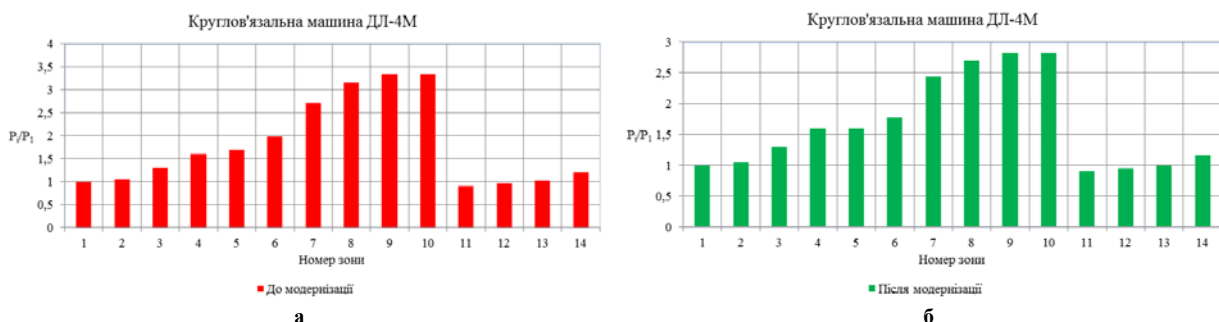


Рис. 3. Діаграма зміни відносного натягу нитки по зонах заправки круглов'язальної машини ДЛ-4М

Використовуючи залежності (3) та (5) була отримана діаграма зміни відносного натягу нитки по зонах заправки, яка представлена на рис.4 а. Аналіз діаграми показав, що до вертикального накопичувача нитки VI барабанного типу натяг зростає за рахунок взаємодії нитки з поверхнями фідерів та конструктивних елементів системи заправки. Після проходження вертикального накопичувача нитки VI барабанного типу круглов'язальної машини Mayer натяг починає знову зростати і досягає свого максимуму в зоні в'язання. Максимальне значення відносного натягу складає майже 3,8 перед 7 зоною. Виходячи з цього можна стверджувати, що накопичувач нитки VI круглов'язальної машини Mayer, виконуючи свою функцію по зменшенню натягу, не виключає можливості обриву на ділянці між 1 та 6 зонами. Аналіз результатів по визначенню зміни відносного натягу нитки по зонах після оптимізації показав, що тенденція зберігається як і у випадку до оптимізації. Проте значення відносного натягу значно зменшилися. Так у 6 зоні відносний натяг вже складає 3,4, що майже на 9% менше ніж у випадку до оптимізації. Проведені дослідження дозволили обрати оптимальну форму (рис. 4 б) та геометричні розміри структурних елементів системи подачі нитки для круглов'язальної машини Mayer і знизити нерівномірність натягу для бавовняної пряжі 27,6 текс з 8,6 сН до 7,8 сН (зменшення натягу на 8,5%).

Висновки

На основі аналізу структурних схем лінії заправки нитки круглов'язальних машин вперше проведено теоретичне обґрунтування обчислювальної схеми алгоритму послідовної оптимізації, що мінімізує пошуки в дереві варіантів, що дало змогу виконати обчислювальну реалізацію алгоритму послідовної оптимізації, що мінімізує пошуки в дереві варіантів.

Розроблений алгоритм дозволив вирішити плоску та просторову задачу синтезу системи подачі нитки на круглов'язальних машинах для випадку перешкод у вигляді вертикальних ліній та кіл, та

розроблено програмне забезпечення для пошуку оптимальної форми заправки нитки на круглов'язальній машині.

Практичне значення. Проведений аналіз системи подачі нитки на круглов'язальних машинах ДЛ – 4М, Мауер дозволив обрати оптимальну форму та геометричні розміри структурних елементів системи подачі нитки і знизити величину натягу на 9–18% та зменшити обривність нитки в середньому на 7 %.

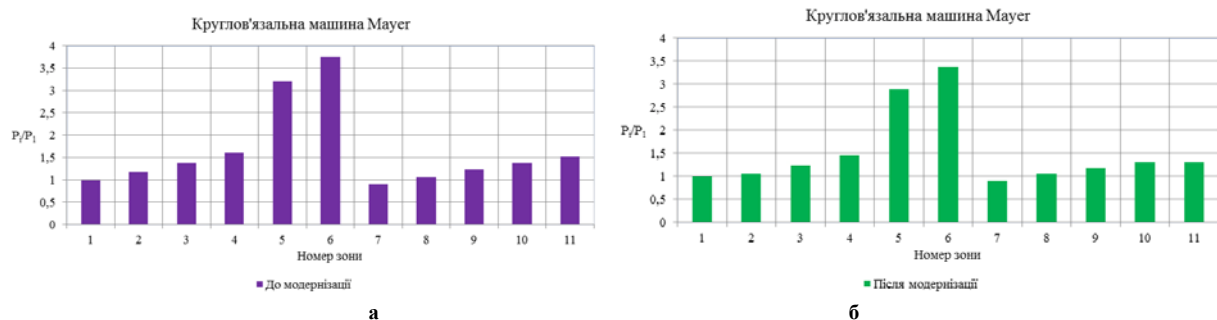


Рис. 4. Діаграма зміни відносного натягу нитки по зонах заправки круглов'язальної машини Мауер

Література

1. Щербань В.Ю. Алгоритмічні, програмні та математичні компоненти САПР в індустрії моди / В.Ю. Щербань, О.З. Колиско, М.І. Шолудько, В.Ю. Калашник. – К. : Освіта України, 2017. – 745 с.
2. Щербань В. Ю. Математичні моделі в САПР. Обрані розділи та приклади застосування / В. Ю. Щербань, С. М. Краснитський, В. Г. Резанова. – К. : КНУТД, 2011. – 220 с.
3. Щербань В.Ю. Механіка нитки / В.Ю. Щербань. – К. : Освіта України, 2018. – 533 с.
4. Щербань В.Ю. Визначення приведенного коефіцієнту тертя для кільцевих та трубчатих спрямовувачів нитки трикотажних машин / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 6(255). – С. 23–27.
5. Щербань В.Ю. Визначення натягу нитки при її взаємодії з трубчастими спрямовувачами / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 1 (257). – С. 213–217.
6. Щербань В.Ю. Оптимізація процесу взаємодії нитки з напрямними з урахуванням анізотропії фрикційних властивостей / В.Ю. Щербань, М.І. Шолудько, О.З. Колиско, В.Ю. Калашник // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 3(225). – С. 30–33.
7. Щербань В.Ю. Дослідження впливу матеріалу нитки і анізотропії тертя на її натяг і форму осі / В.Ю. Щербань, В.Ю. Калашник, О.З. Колиско, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 2(223). – С. 25–29.
8. Колиско М.І. Визначення впливу зминання та жорсткості на згин на натяг нитки при її взаємодії з циліндричною напрямною/ М.І. Колиско, В.Ю. Щербань // Вісник ХНУ. – 2013. – № 6. – С. 10–13.
9. Щербань В.Ю. Порівняльний аналіз роботи нитконатягувачів текстильних машин / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 6(243). – С. 18–21.
10. Щербань В.Ю. Ефективність роботи компенсаторів натягу нитки трикотажних машин / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 1(245). – С. 83–86.
11. Scherban V. Interaction yarn guide surface / V. Scherban, M. Sholudko, V. Kalashnik, O. Kolisko // Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – May 2015. – Volume 4. – Number 3. – pp. 10–15.
12. Щербань В.Ю. Взаємодія текстильних ниток з напрямними великої кривини у випадку наявності радіального охоплення / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, Г.В. Мельник, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 2 (259). – С. 12–16.

References

1. Scherban V.Yu. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry / V.Yu.Scherban, O.Z.Kolisko, M.I.Sholudko, V.Yu.Kalashnik. - K.: Education of Ukraine, 2017. - 745 p.
2. Scherban V. Yu. Mathematical Models in CAD. Selected sections and examples of application / V. Yu. Scherban, S. M. Krasnitsky, V. G. Rezanov. - K.: KNUTD, 2011. - 220 p.
3. Scherban V.Yu. Mechanics of Threads/ V.Yu.Scherban. -K.: Formation of Ukraine, 2018.- 533 p.
4. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Melnik G.V., Sholudko M.I. Determination of friction coefficient factor for rings and tubular trailers of thread of knitted machines. Khmelnytskyi. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi.2017. Volume 255. Issue 6. pp.23-27.
5. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Melnik G.V., Sholudko M.I. Determination of tension at its interaction with tubular guides. Khmelnytskyi. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi.2018. Volume 257. Issue 1. pp.213-217.

6. Scherban V.Yu., Sholudko M.I., Kolisko O.Z., Kalashnik V.Yu.. Optimization of the process of interaction of a thread with guides, taking into account the anisotropy of frictional properties. Khmelnytskyi. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi.2015. Volume 225. Issue 3. pp.30-33.
7. Scherban V.Yu., Kalashnik V.Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I.. Investigation of the influence of the thread material and the anisotropy of friction on its tension and the shape of the axisю. Khmelnytskyi. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi.2015. Volume 223. Issue 2. pp.25-29.
8. Kolisko M.I., Scherban V.Yu.. Determination of the effect of folding and stiffness on the bend on the tension of the thread when it interacts with the cylindrical guide. Khmelnytskyi. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi.2013. Issue 6. pp.10-13.
9. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Sholudko M.I.. Comparatived analysis of work of natyazhiteley of filament of textile machines. Khmelnytskyi. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi.2016. Volume 243. Issue 6. pp.18-21.
10. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Sholudko M.I.. Overall performance of compensators of the filament of knitted cars. Khmelnytskyi. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi.2017. Volume 245. Issue 1. pp.83-86.
11. Scherban V. Interaction yarn guide surface/V.Scerban, M. Sholudko, V. Kalashnik, O. Kolisko//Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – May 2015. – Volume 4.- Number 3. – pp. 10-15.
12. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Melnik G.V., Sholudko M.I. Co-operating of textile filaments with sending large curvature in the case of presense of radial scope. Khmelnytskyi. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi.2018. Volume 259. Issue 2. pp.12-16.

Рецензія/Peer review : 24.05.2018 р.

Надрукована/Printed :12.07.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. В.Г. Здоренко

КІНЕМАТИЧНИЙ ТА КІНЕТОСТАТИЧНИЙ АНАЛІЗ РОБОТИ НИТКОНАТЯГУВАЧА ТРИКОТАЖНИХ ТА ШВЕЙНИХ МАШИН

В роботі наведені результати кінематичного та кінетостатичного аналізу розробленого тарільчастого нитконатягувача, який виключає динамічне зростання натягу при проходженні вузлів, потовщень між тарілочками в процесі переробки ниток на технологічному устаткуванні трикотажної та швейної галузі. Для автоматизації процесу кінематичного та кінетостатичного аналізу була розроблена програма для ЕОМ, яка дозволяє визначати координати точок пристрою, швидкості та прискорення та виконувати параметричну оптимізацію конструкції тарільчастого нитконатягувача.

Ключові слова: нитка, нитконатягувальні пристрої, переміщення, швидкості, прискорення, реакції в'язей.

N.I. MURZA

Kyiv National University of Technologies and Design

KINEMATICS AND KINETOSTATICS ANALYSIS OF WORK OF STRAINER OF FILAMENT OF KNITTINGS AND SEWINGS MACHINES

At passing of knots, cones and local bulges there is a sharp increase of pull due to shock action, which results in the precipice of filament. In addition, the sharp increase of pull leads for violation of the normal passing of technological process of processing of filament. On the knittings and sewings machines of not will allow to carry out imperfection of structural elements of the system of serve processing filaments from to the variables of the by a diameter crossing. Low quality of raw material, imperfection of line of priming of technological equipment at the increase of pull on the depth of priming results in precipices. Outages equipments, related to liquidation of precipice, make presently 75-80% from general time of outages. The analysis of defects which bring to the precipice filaments over at processing rotined that most ponderable is: weak points on a filament - 32%, bulge - 28%. If the origin of the first two defects is explained low quality of initial raw material and violation of technological process at the production of filaments, the last, as marked higher, arises up directly at co-operating of filaments with the workings organs of technological equipment. Consequently, there is a question about development device for a pull of filament yaks eliminate possibility of dynamic growth of pull at passing of knots, bulges through these devices. At the decision of this stumper, taking into account him a lot of criteria, it is necessary it will be to develop the special algorithms and proper software for computer. Objects and research methods. In-process the technological process of processing of filaments came forward a research object on knittings and sewings machines. The article of research was form of dish device for a pull. Theoretical basis at the decision of scientific and technical problem are labours of leading scientists in industries of technology of sewing and knitting productions, textile knowledge about materials, mechanics of filament, theory of resiliency, mathematical design. The methods of integral and differential calculation, theoretical mechanics, theory of mechanisms and machines, resistance of materials are utilized in theoretical researches. Experimental researches were conducted in laboratory terms and in the conditions of functioning of the real textile production. For software development modern languages were used objective - the oriented programming. Practical value. Device for a pull allows fully to eliminate the improvement of construction of form of dish dynamic growth of pull at passing of knots and bulges, to reduce the size of relative middle pull on 30 -45% but to decrease the precipice of filament on the average on 8 %.

Keywords: filament, device for the pull of filaments, moving, speeds, accelerations, reactions of supports.

Вступ

Актуальність. При проходженні вузлів, шишок та локальних потовщень відбувається різке збільшення натягу за рахунок ударної дії, яка призводить до обриву нитки [2–4]. Крім того, різке збільшення натягу призводить до порушення нормального проходження технологічного процесу переробки нитки [4]. Недосконалість структурних елементів системи подачі, нитконатягувачів та ниткоспрямовувачів на трикотажних та швейних машинах не дозволяють здійснювати переробку ниток зі змінним діаметром перетину [5–8, 11–12]. Низька якість сировини, недосконалість лінії заправки технологічного устаткування при збільшенні натягу по глибині заправки приводить до обривів. Простої устаткування, пов'язані з ліквідацією обриву, складають в даний час 75–80% від загального часу простоїв [2, 4]. Аналіз дефектів, що приводять до обриву нитки при переробці, показав, що найбільш вагомими є: слабкі місця на нитці (стоншування) – 32%, шишки і потовщення – 28%, моховитість – 20% [4]. Якщо виникнення перших двох дефектів пояснюється низькою якістю початкової сировини і порушенням технологічного процесу при виробництві ниток (витяжка, кручення), то останній, як наголошувалося вище, виникає безпосередньо при взаємодії ниток з робочими органами технологічного устаткування [5, 8–11].

Виходячи з цього, виникає питання про розробку нитконатягувачів які виключають можливість динамічного зростання натягу при проходженні вузлів, потовщень через ці пристрої [1]. При вирішенні цього складного питання, враховуючи його багатокритеріальність, необхідно буде розробити спеціальні алгоритми і відповідне програмне забезпечення для ЕОМ [2, 3].

Постановка завдання

Розробити конструкцію тарільчастого нитконатягувача та провести кінематичний, кінетостатичний аналіз його роботи на основі спеціально створеної програми на ЕОМ. Це дозволить знизити величину натягу та зменшити обривність ниток при їх переробці на технологічному устаткуванні.

Основна частина

На рис.1 а представлений нитконатягувальний пристрій [1], якій містить повзун 6 в вертикальних направляючих, який кінематично пов'язаний з верхньою тарілочкою 2 та шарнірно з'єднаний з шатуном 7,

який через двоплечий важіль 8 з віссю, розташованою в горизонтальній площині, зв'язаний з шатуном 9, який зв'язаний з лівим плечем розташованого в горизонтальній площині двоплечого кривошипу 10 з віссю, розташованій в вертикальній площині. Його праве плече виконано у формі фігурного вилкового стрижня.

Нитконатягувальний пристрій працює в такий спосіб. Нитка заправляється між зубцями фігурного вилкового стрижня, далі проходить під тарілочками 2, 3, огинає стрижень 1. При наявності вузла або шишки, останні, при переміщенні нитки, починають давити на поверхню вилкового стрижня. Відстань між зубцями вилки менше діаметра вузла. Момент, що виникає від сили впливу вузла на робочу поверхню вилкового стрижня, викликає стискання пружини 4. При цьому через праве плече двоплечого кривошипу 10, шатун 9, двоплечий важіль 8, шатун 7 передається рух повзуну 6, який рухаючись вертикально вгору розсовує тарілки 2 і 3 і вивільняють нитку. Вузол або шишка рухаються по робочій поверхні фігурного вилкового стрижня не потрапляючи під тарілки 2 і 3. Після сходу вузла або нитки з робочої поверхні фігурного вилкового стрижня під дією пружини стиску 4, яка спирається на опору 5, нитконатягувальний пристрій повертається у вихідний стан.

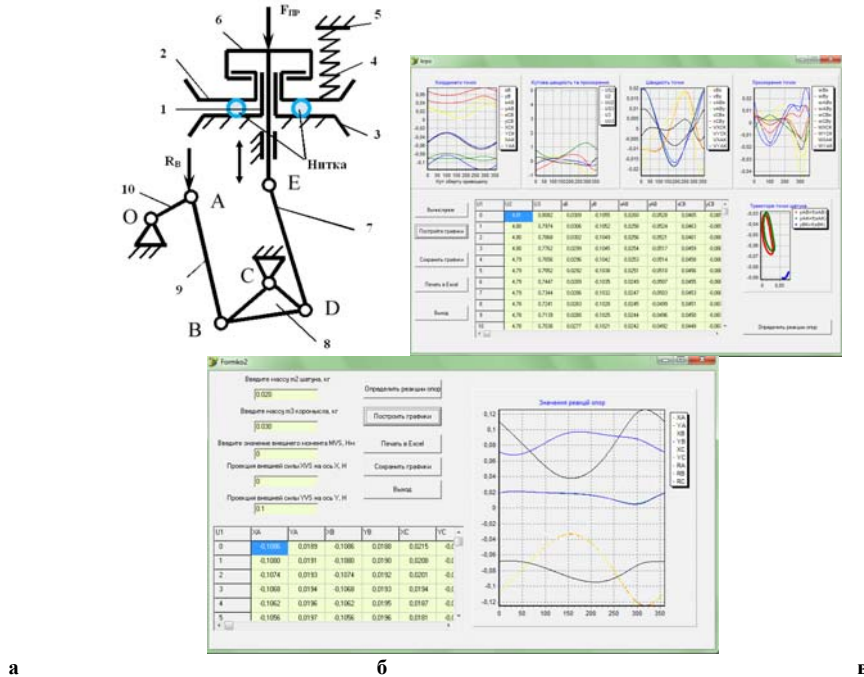


Рис. 1. Розрахункова схема та основні форми програми

Для кінематичного та кінетостатичного аналізу структурно поділимо даний пристрій на дві групи Асура [2]. Ланки 8, 9 утворюють коромислову групу. Ланки 6, 7 утворюють повзункову групу. Математичне забезпечення для цих груп представляє собою системи рівнянь замкнутого векторного контуру та його проєкцій на координатні вісі [2].

$$\begin{aligned} l_9 \cos \varphi_{2K} &= H_{OCG} - l_{10} \cos \varphi_{1K} - l_{BC} \cos \varphi_{3K}, & l_{DC} \cos \varphi_{1P} + l_7 \cos \varphi_{2P} - x_{BP} &= 0, \\ l_9 \sin \varphi_2 &= -l_{10} \sin \varphi_{1K} - l_{BC} \sin \varphi_{3K} + H_{OCV}, & l_{DC} \sin \varphi_{1P} + l_7 \sin \varphi_{2P} &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

де $l_9, l_{10}, l_{BC}, H_{OCG}, H_{OCV}$ – відповідно довжини шатуна 9, кривошипу 10, коромисла BC, горизонтальна та вертикальна відстань між точками O та C; $\varphi_{1K}, \varphi_{2K}, \varphi_{3K}$ – кути нахилу кривошипу 10, шатуна 9 та коромисла BC до горизонтальної вісі; l_7, l_{DC}, x_{BP} – відповідно довжини шатуна 7, кривошипу DC, переміщення повзуна 6; $\varphi_{1P}, \varphi_{2P}$ – кути нахилу кривошипу DC, шатуна 7 до вертикальної вісі.

Для визначення швидкостей та прискорень точок нитконатягувального пристрою послідовно виконувалася операція диференціювання по часу t рівнянь (1), приймаючи кутову швидкість обертання кривошипу 10 сталою, отримуємо

$$-l_9 \sin \varphi_{2K} \frac{d\varphi_{2K}}{dt} = l_{10} \sin \varphi_{1K} \frac{d\varphi_{1K}}{dt} + l_{BC} \sin \varphi_{3K} \frac{d\varphi_{3K}}{dt}, \quad -l_{DC} \frac{d\varphi_{1P}}{dt} \sin \varphi_{1P} - l_7 \frac{d\varphi_{2P}}{dt} \sin \varphi_{2P} - \frac{dx_{BP}}{dt} = 0, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} l_9 \cos \varphi_{2K} \frac{d\varphi_{2K}}{dt} &= -l_{10} \cos \varphi_{1K} \frac{d\varphi_{1K}}{dt} - l_{BC} \cos \varphi_{3K} \frac{d\varphi_{3K}}{dt}, & l_{DC} \frac{d\varphi_{1P}}{dt} \cos \varphi_{1P} + l_7 \frac{d\varphi_{2P}}{dt} \cos \varphi_{2P} &= 0, \\ -l_9 \left(\frac{d\varphi_{2K}}{dt} \right)^2 \cos \varphi_{2K} - l_9 \frac{d^2 \varphi_{2K}}{dt^2} \sin \varphi_{2K} &= l_{10} \left(\frac{d\varphi_{1K}}{dt} \right)^2 \cos \varphi_{1K} + l_{BC} \left(\frac{d\varphi_{3K}}{dt} \right)^2 \cos \varphi_{3K} + l_{BC} \frac{d^2 \varphi_{3K}}{dt^2} \sin \varphi_{3K}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$l_2 w_2^2 \sin \varphi_2 - l_2 \frac{dw_2}{dt} \cos \varphi_2 = -l_1 w_1^2 \sin \varphi_1 - l_3 w_3^2 \sin \varphi_3 + l_3 \frac{dw_3}{dt} \cos \varphi_3,$$

$$-l_{DC} \frac{d^2 \varphi_{1P}}{dt^2} \sin \varphi_{1P} - l_{DC} \left(\frac{d\varphi_{1P}}{dt} \right)^2 \cos \varphi_{1P} - l_7 \frac{d^2 \varphi_{2P}}{dt^2} \sin \varphi_{2P} - l_7 \left(\frac{d\varphi_{2P}}{dt} \right)^2 \cos \varphi_{2P} - \frac{d^2 x_{BP}}{dt^2} = 0,$$

$$l_{DC} \frac{d^2 \varphi_{1P}}{dt^2} \cos \varphi_{1P} + l_{DC} \left(\frac{d\varphi_{1P}}{dt} \right)^2 \sin \varphi_{1P} + l_7 \frac{d^2 \varphi_{2P}}{dt^2} \cos \varphi_{2P} - l_7 \left(\frac{d\varphi_{2P}}{dt} \right)^2 \sin \varphi_{2P} = 0.$$

Отримані системи рівнянь (2) та (3), з урахуванням системи (1), склали математичне забезпечення розробленої під керівництвом професора Щербаня В.Ю. програми для визначення кінематичних та динамічних параметрів точок нитконатягувального пристрою. Основні форми програми представлені на рис.1 б та в. При розрахунках використовувалися наступні дані: $\omega = 1 \text{ c}^{-1}$, $l_{10} = 0.021 \text{ м}$, $l_9 = 0.106 \text{ м}$, $l_7 = 0.094 \text{ м}$, $l_{BC} = 0.045 \text{ м}$, $l_{BKX} = 0.0367 \text{ м}$, $l_{BKY} = -0.0159 \text{ м}$, $l_{DC} = 0.018 \text{ м}$, $l_{BD} = 0.040 \text{ м}$, $H_{OCG} = 0.062 \text{ м}$, $H_{OCV} = -0.073 \text{ м}$, $Y_{VS} = 0.1 \text{ Н}$, $M_U = 0.0015 \text{ Нм}$. На рис. 2 а, б, в відповідно представлені для коромислової групи графічні залежності переміщень, швидкостей та прискорень точок від кута обертю кривошипу 10.

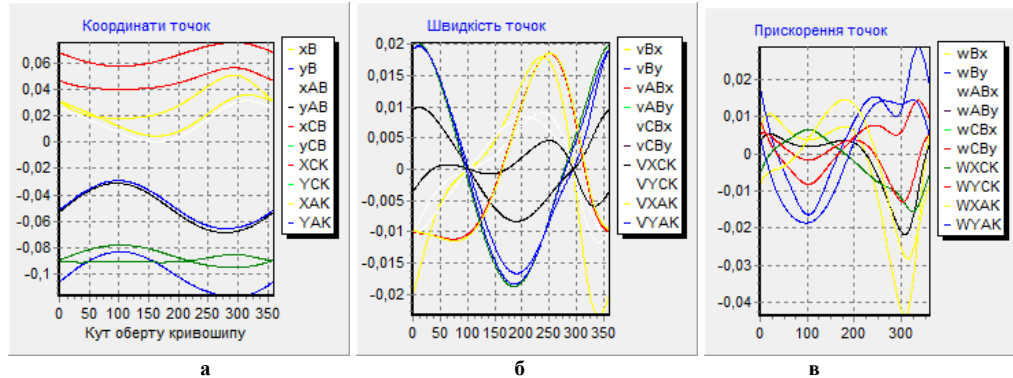


Рис. 2. Визначення переміщень, швидкостей та прискорень для коромислової групи

В таблиці 1 представлені значення переміщень, швидкостей та прискорень точок від кута обертю кривошипу для коромислової групи. Необхідно відзначити, що значення наведені для початку обертю до 5^0 та наприкінці обертю кривошипу від 356^0 до 360^0 . Це пов'язано з тим, що саме в цьому діапазоні відбувається робочий хід фігурного кронштейну.

Таблиця 1

Результати визначення переміщень, швидкості та прискорення точок коромислової групи

U1, град	UU2,рад	UU3,рад	vBx, м	vBy, м	wBx,м/с ²	wBy,м/с ²	wCBx,м/с ²	wCBу,м/с ²	WXBK,м/с ²
0	0,2562	-0,1869	-0,0200	0,0191	0,0057	0,0181	0,0091	0,0091	-0,0054
1	0,2612	-0,1717	-0,0197	0,0192	0,0063	0,0175	0,0087	0,0087	-0,0050
2	0,2657	-0,1571	-0,0194	0,0194	0,0068	0,0168	0,0084	0,0084	-0,0047
3	0,2699	-0,1430	-0,0191	0,0195	0,0073	0,0162	0,0081	0,0081	-0,0044
4	0,2736	-0,1296	-0,0188	0,0195	0,0077	0,0155	0,0078	0,0078	-0,0041
5	0,2770	-0,1166	-0,0185	0,0196	0,0081	0,0149	0,0074	0,0074	-0,0038
356	0,2319	-0,2536	-0,0211	0,0185	0,0030	0,0207	0,0104	0,0104	-0,0068
357	0,2386	-0,2360	-0,0209	0,0187	0,0037	0,0201	0,0100	0,0100	-0,0064
358	0,2449	-0,2191	-0,0206	0,0188	0,0044	0,0194	0,0097	0,0097	-0,0061
359	0,2508	-0,2027	-0,0203	0,0190	0,0051	0,0188	0,0094	0,0094	-0,0057
360	0,2562	-0,1869	-0,0200	0,0191	0,0057	0,0181	0,0091	0,0091	-0,0054

По результатах кінематичних досліджень, використовуючи метод кінетостатики [2], визначені реакції в шарнірних парах. На рис. 3а представлені відповідні залежності. В таблиці 2, для коромислової групи, представлені значення реакцій в залежності від кута обертю кривошипу.

В таблиці 3 представлені розрахунки переміщень, швидкостей та прискорень точок від кута обертю кривошипу для повзункової групи. Отримані результати дозволили, на основі параметричної оптимізації, здійснити модернізацію нитконатягувального пристрою [1].

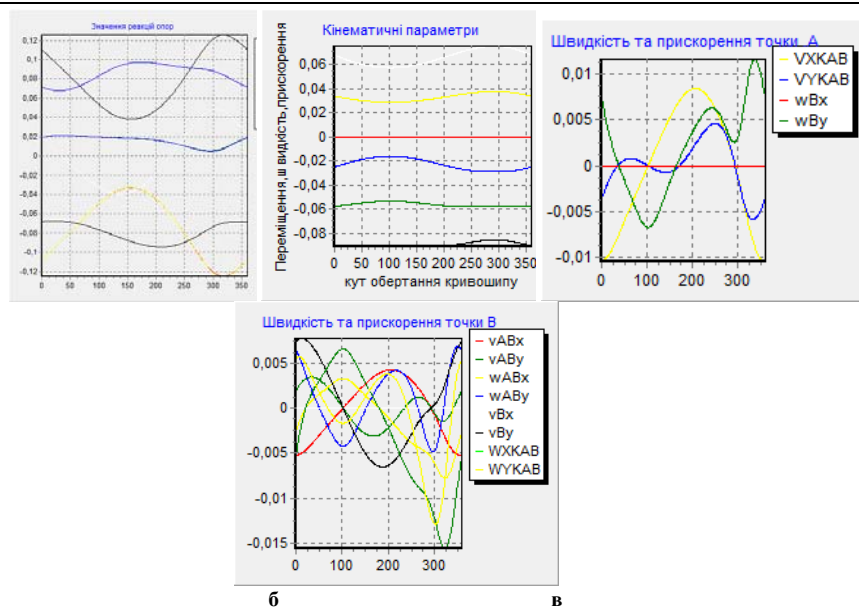


Рис. 3. Результати силового та кінематичного аналізу тарільчатого нитконягувача

Таблиця 2

Результати визначення реакцій в'язей в тарільчастому нитконягувачі

U1, гр	XA, Н	YA, Н	XB, Н	YB, Н	XC, Н	YC, Н	RA, Н	RB, Н	RC, Н
0	-0,1086	0,0189	-0,1086	0,0188	0,0215	-0,0682	0,1102	0,1102	0,0715
1	-0,1080	0,0191	-0,1080	0,0190	0,0208	-0,0682	0,1097	0,1097	0,0713
2	-0,1074	0,0193	-0,1074	0,0192	0,0201	-0,0681	0,1091	0,1091	0,0710
3	-0,1068	0,0194	-0,1068	0,0193	0,0194	-0,0681	0,1086	0,1086	0,0708
358	-0,1097	0,0186	-0,1098	0,0185	0,0229	-0,0682	0,1113	0,1113	0,0720
359	-0,1092	0,0188	-0,1092	0,0187	0,0222	-0,0682	0,1108	0,1108	0,0717
360	-0,1086	0,0189	-0,1086	0,0188	0,0215	-0,0682	0,1102	0,1102	0,0715

Висновки

Розроблена конструкція тарільчастого нитконягувача, яка виключає можливість динамічного зростання натягу при проходженні вузлів, потовщень та проведений кінематичний, кінетостатичний аналіз його роботи. Це дозволило знизити величину натягу та зменшити обривність ниток при їх переробці на трикотажному та швейному устаткуванні.

Для кінематичного та кінетостатичного аналізу роботи пристрою спеціально створена програма для ЕОМ на мові Object Pascal в середовищі Delphi.

Удосконалення конструкції тарільчастого нитконягувача дозволило повністю виключити динамічне зростання натягу при проходженні вузлів та потовщень, знизити величину відносного середнього натягу на 30 -45% та зменшити обривність нитки в середньому на 8 %.

Таблиця 3

Результати визначення переміщень, швидкості та прискорення точок повзункової групи

U1, град	U2, рад	yB, м	US2, c ⁻¹	UU2, c ⁻²	vBy, м/с	wBy, м/с ²	vABx, м/с ²	wABx, м/с ²	wABx, м/с ²
0	2,3765	-0,0249	-0,1609	-0,0557	0,0073	0,0074	0,0019	-0,0027	0,0064
1	2,3737	-0,0248	-0,1602	-0,0506	0,0074	0,0072	0,0020	-0,0025	0,0063
2	2,3709	-0,0247	-0,1595	-0,0458	0,0074	0,0069	0,0021	-0,0024	0,0062
3	2,3682	-0,0245	-0,1587	-0,0411	0,0075	0,0067	0,0022	-0,0022	0,0061
4	2,3654	-0,0244	-0,1578	-0,0365	0,0075	0,0064	0,0022	-0,0020	0,0060
5	2,3626	-0,0243	-0,1569	-0,0322	0,0076	0,0062	0,0023	-0,0019	0,0059
356	2,3878	-0,0254	-0,1626	-0,0775	0,0071	0,0085	0,0015	-0,0034	0,0067
357	2,3850	-0,0253	-0,1623	-0,0718	0,0071	0,0082	0,0016	-0,0032	0,0066
358	2,3822	-0,0252	-0,1619	-0,0662	0,0072	0,0080	0,0017	-0,0030	0,0066
359	2,3793	-0,0251	-0,1614	-0,0609	0,0073	0,0077	0,0018	-0,0029	0,0065
360	2,3765	-0,0249	-0,1609	-0,0557	0,0073	0,0074	0,0019	-0,0027	0,0064

Література

1. Патент 110982 UA, МКИ D05B 47/00/. Нитконатягувальний пристрій / Щербань В.Ю., Мурза Н.І., Коліско О.З., Шолудько М.І., Семенова І.С. (UA). – № у 2016 04374 ; заявл. 21.04.2016 ; опубл. 25.10.2016, Бюл. № 20.
2. Щербань В.Ю. Алгоритмічні, програмні та математичні компоненти САПР в індустрії моди / В.Ю. Щербань, О.З. Коліско, М.І. Шолудько, В.Ю. Калашник. – К. : Освіта України, 2017. – 745 с.
3. Щербань В. Ю. Математичні моделі в САПР. Обрані розділи та приклади застосування / В. Ю. Щербань, С. М. Краснітський, В. Г. Резанова. – К. : КНУТД, 2011. – 220 с.
4. Щербань В.Ю. Механіка нитки / В.Ю. Щербань. – К. : Освіта України, 2018. – 533 с.
5. Щербань В.Ю. Визначення приведенного коефіцієнту тертя для кільцевих та трубчатих спрямовувачів нитки трикотажних машин / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 6(255). – С. 23–27.
6. Щербань В.Ю. Визначення натягу нитки при її взаємодії з трубчастими спрямовувачами / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 1 (257). – С. 213–217.
7. Щербань В.Ю. Оптимізація процесу взаємодії нитки з напрямними з урахуванням анізотропії фрикційних властивостей / В.Ю. Щербань, М.І. Шолудько, О.З. Коліско, В.Ю. Калашник // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 3(225). – С. 30–33.
8. Щербань В.Ю. Дослідження впливу матеріалу нитки і анізотропії тертя на її натяг і форму осі / В.Ю. Щербань, В.Ю. Калашник, О.З. Коліско, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 2(223). – С. 25–29.
9. Щербань В.Ю. Порівняльний аналіз роботи нитконатягувачів текстильних машин / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 6(243). – С. 18–21.
10. Щербань В.Ю. Ефективність роботи компенсаторів натягу нитки трикотажних машин / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 1(245). – С. 83–86.
11. Scherban V. Interaction yarn guide surface / V. Scherban, M. Sholudko, V. Kalashnik, O. Kolisko // Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – May 2015. – Volume 4.– Number 3. – pp. 10–15.
12. Щербань В.Ю. Взаємодія текстильних ниток з напрямними великої кривини у випадку наявності радіального охоплення / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, Г.В. Мельник, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 2 (259). – С. 12–16.

References

1. Patent 110982 UA, SCI D05B 47/00/ Nitkonatyaguval'niy device/ Scherban V.Yu., Murza N.I., Kolisko O.Z., Sholudko M.I., Semenova I.S. (UA). – №u 2016 04374; declared 21.04.2016; published 25.10.2016, Bulletin N 20.
2. Scherban V.Yu. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry / V.Yu.Scherban, O.Z.Kolisko, M.I.Sholudko, V.Yu.Kalashnik. - K.: Education of Ukraine, 2017. - 745 p.
3. Scherban V. Yu. Mathematical Models in CAD. Selected sections and examples of application / V. Yu. Scherban, S. M. Krasnitsky, V. G. Rezanov. - K.: KNUITD, 2011. - 220 p.
4. Scherban V.Yu. Mechanics of Threads/ V.Yu.Scherban. -K.: Formation of Ukraine, 2018.- 533 p.
5. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Melnik G.V., Sholudko M.I. Determination of friction coefficient factor for rings and tubular trailers of thread of knitted machines. Khmelnytskyi. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi.2017.Volume 255. Issue 6. pp.23-27.
6. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Melnik G.V., Sholudko M.I. Determination of tension at its interaction with tubular guides. Khmelnytskyi. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi.2018.Volume 257. Issue 1. pp.213-217.
7. Scherban V.Yu., Sholudko M.I., Kolisko O.Z., Kalashnik V.Yu.. Optimization of the process of interaction of a thread with guides, taking into account the anisotropy of frictional properties. Khmelnytskyi. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi.2015.Volume 225. Issue 3. pp.30-33.
8. Scherban V.Yu., Kalashnik V.Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I.. Investigation of the influence of the thread material and the anisotropy of friction on its tension and the shape of the axis. Khmelnytskyi. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi.2015.Volume 223. Issue 2. pp.25-29.
9. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Sholudko M.I.. Comparative analysis of work of natyazhiteley of filament of textile machines. Khmelnytskyi. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi.2016.Volume 243. Issue 6. pp.18-21.
10. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Sholudko M.I.. Overall performance of compensators of the filament of knitted cars. Khmelnytskyi. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi.2017.Volume 245. Issue 1. pp.83-86.
11. Scherban V. Interaction yarn guide surface/V.Scherban, M. Sholudko, V. Kalashnik, O. Kolisko//Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – May 2015. – Volume 4.- Number 3. – pp. 10-15.
12. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Melnik G.V., Sholudko M.I. Co-operating of textile filaments with sending large curvature in the case of presence of radial scope. Khmelnytskyi. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi.2018.Volume 259. Issue 2. pp.12-16.

Рецензія/Peer review : 29.05.2018 р.

Надрукована/Printed : 12.07.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. В.Г. Здоренко

ПРЕСОВЕ ОБЛАДНАННЯ З ПІДВИЩЕНИМИ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ОПЕРАЦІЙ ВИРУБУВАННЯ ТА ПЕРФОРАЦІЇ ДЕТАЛЕЙ ВЗУТТЯ В ЛЕГКІЙ ПРОМИСЛОВOSTІ

В даній статті описана розробка конструкції пресового обладнання з підвищеними енергетичними характеристиками для виконання операцій вирубування та перфорації деталей взуття.

Ключові слова: легка промисловість; взуття, операція вирубування та перфорації; пресове обладнання; лінійний електромагнітний двигун; електромагнітний пристрій утримання якоря.

O.S. POLISHCHUK

Khmelnytskyi National University

PRESS EQUIPMENT WITH INCREASED ENERGY CHARACTERISTICS FOR FULFILMENT THE OPERATIONS OF FELLING AND PERFORATION OF FOOT-WEAR COMPONENTS IN LIGHT INDUSTRY

One of the main causes of unjustified energy waste in light industry is imperfection of equipment from point of view of power waste. It refers especially to such parts of equipment as gears. Disparity of the type of gear, its working conditions, capacity and other characteristics to parameters of technological operation which is done on the equipment reduces to the big energy waste. There are a lot of technological operations in light industry which need press equipment in which working organs do return-translational movement only. Basically electromechanical, hydraulic or pneumatic gears are used in it. The main fault of the equipment with such gears is unjustified electrical energy waste during idling of working organs and during loading and unloading equipment with working objects. Creation of highly efficient press equipment with linear electromagnetic engine with increased energy and dynamic characteristics for the implementation of various pulsed technologies is an urgent task and is interesting for many other branches of industry. The purpose of the article is to develop and research high-performance press equipment with a linear electromagnetic engine as a drive with increased energy characteristics designed to perform some light industry technological operations and which should reduce energy costs, increase productivity and improve the quality of cut. One way to improve dynamic efficiency, such as the speed of electromagnetic mechanisms of devices, is to artificial retention anchor in order to increase the current shifts. The realization of this method of increasing the force that counteracts the movement of anchors in linear electromagnetic motors allows you to improve their energy characteristics. The experimental researches of operating modes of press equipment with LEME made it possible to find the optimal mode of operation. The optimum position of the anchor and mass of the impactor was found for this press equipment in a dynamic mode. The use of an electromagnetic device retention anchor in the press equipment with LEME intended for light industry operations can significantly increase its specific energy indices, efficiency and anchor speed.

Keywords: light industry, foot-wear, operations of felling and perforation, press equipment, linear electromagnetic engine, device retention anchor.

Вступ

В ряді галузей промисловості, зокрема легкій, використовуються технологічні процеси, механізація яких здійснюється пристроями та машинами імпульсної дії різних потужностей. В якості технічних засобів, що дозволяють реалізувати імпульсні технології, широко використовуються машини ударної дії з пневмо-, гідро- і електроприводом для виконання операцій вирубування, перфорації, клеймування і т. п. Як правило в таких пристроях відбуваються невиправдані втрати енергії. Тому необхідність створення машин ударної дії з підвищеними енергетичними і динамічними характеристиками для реалізації різних імпульсних технологій є актуальною задачею.

В роботі [1] відмічається перспективність використання для виконання технологічних операцій легкої промисловості в якості приводу пресового обладнання (ПО) лінійних електричних двигунів, а саме лінійних електромагнітних двигунів (ЛЕМД) як одного із їх різновидів.

Створення високоефективного пресового обладнання з лінійними електромагнітними двигунами із підвищеними енергетичними характеристиками, яке дасть змогу споживати електричну енергію тільки під час виконання технологічної операції, є актуальним завданням для легкої промисловості і представляє інтерес для багатьох інших галузей промисловості.

Постановка проблеми

При виконанні операції вирубування чи перфорації на пресовому обладнанні з невеликою швидкістю переміщення робочого органу спостерігається випереджаючий розрив матеріалу перед різакком. В результаті поверхня розриву отримується шорсткою. В роботі [1] доведено, що при швидкісному вирубуванні отримується більш краща чистота торцевої поверхні деталі. Особливо це дуже актуально для виконання операції перфорації деталей взуття.

Для покращення енергетичних та силових характеристик пресового обладнання з ЛЕМД, а також для кращої якості виконання технологічної операції пропонується здійснення штучного утримання якоря двигуна на етапі зрушування за допомогою електромагнітного пристрою утримання якоря (ПУЯ).

Метою статті є розробка та дослідження високоефективного пресового обладнання з лінійним електромагнітним двигуном в якості приводу з підвищеними енергетичними характеристиками, призначеного для виконання деяких технологічних операцій легкої промисловості, яке повинно забезпечити

зменшення енергетичних витрат, збільшення продуктивності та покращення якості деталей, що вирубуються чи перфоруються.

Виклад основного матеріалу

Один із шляхів покращення динамічної ефективності, наприклад швидкодії електромагнітних механізмів апаратів, є штучне утримування якоря на етапі зрушування з метою підвищення струму зрушування. Реалізація цього способу збільшення протидіючого зусилля до початку переміщення якоря в лінійних електромагнітних двигунах дозволяє покращити їх енергетичні характеристики [2].

Особливу цікавість даний спосіб являє для ЛЕМД, що використовуються в приводі машин ударної дії з навантаженням в кінці ходу, так як в звичайних конструкціях таких машин не забезпечується досягнення значної швидкості та енергії удару через те, що рух якоря починається при мінімальному струмі в обмотці двигуна. Значення цього струму відповідає рівності тягового зусилля ЛЕМД протидіючій силі при початковому положенні якоря.

В однообмоточних лінійних електромагнітних двигунах, які використовуються в приводі пристроїв з навантаженням в кінці ходу, протидіюче зусилля створюється при робочому ході гвинтовою пружиною повернення циліндричного типу, яка працює на стискання. Максимальне зусилля протидіючої пружини F_{np} зазвичай складає декілька відсотків від величини тягового зусилля $F_{ел.поч}$ ЛЕМД на початку ходу. Це зумовлює порівняно невеликий струм зрушування, а відповідно, і невелику енергію, яку споживає двигун від джерела живлення.

Пристрій утримування якоря повинен забезпечувати значну силу опору руху на початку ходу при край малому опорі руху на іншій частині ходу, допускати можливість регулювання сили опору руху на початку ходу, споживати для своєї роботи невелику потужність, не зношуватись і не підвищувати рівень шуму.

Результат роботи

З метою експериментального дослідження динамічних та енергетичних параметрів ПО з ЛЕМД із електромагнітним ПУЯ та процесу вирубання та перфорації деталей на ньому, було розроблено експериментальну установку на основі існуючої конструкції пресового обладнання з ЛЕМД, а також конструкцію електромагнітного утримувача.

Розрахунок електромагнітного утримувача проводився згідно до методики, приведеної у [3], в якій геометричні розміри циліндричного електромагніту із зовнішнім дисковим якорем, що притягується, знаходять, виходячи із заданого тягового зусилля, зазору, робочого струму в обмотці та коефіцієнту розсіювання. Конструкція електромагнітного утримувача приведена на рис.1.

Загальний вигляд пресового обладнання, призначеного для виконання операції вирубання та його конструктивна схема приведені на рис. 2 і 3.

Прес змонтовано на опорі 1, яка зварена з основи і підсилена кутовими елементами - консолями. За допомогою болтів і гайок 28 і 32 до основи прикріплено два швелера 2, зігнутих під прямим кутом. До них чотирма шпильками 35 кріпиться решта конструкції, а саме: плита 7, проміжні диски 8, магнітопровід 10 із вмонтованою у нього котушкою 11, кришка верхня 3, яка приварена до верхньої плити. У отворі, який формують елементи деталей, знаходиться якір 12. З допомогою штока 13, який рухається у втулці 14, якір повертається у вихідне положення в кінці робочого циклу. Повернення якоря в початкове положення здійснює пружина 15, яка діє на диск 16, що закріплений на штоковій 13 гайкою 29 і одночасно служить у якості осердя утримуючого магнітопроводу 4, який змонтовано на стакані 17. Поступальний рух якоря передається штоком 18, підпружиненим пружиною 20, який рухається у втулці 19 і ударнику 22.

Прес для вирубання працює наступним чином. Матеріал, з якого будуть вирубуватися деталі взуття, розміщують на вирубочній плиті 23. Від матеріалу плити залежить якість вирубання: якщо плита із м'якого матеріалу, то різак занурюється у неї (на 1-2 мм), що забезпечує надійне вирубання деталі. Металева плита не дозволяє проводити занурення різак (оскільки він швидко затупиться), тому можливе неповне вирубання. Зверху на матеріал встановлюють різак, контур ріжучої частини якого співпадає із формою майбутнього виробу.

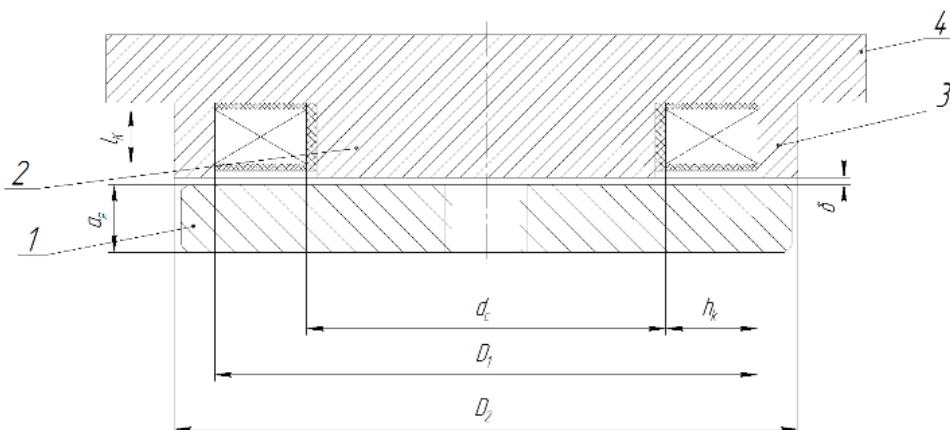


Рис. 1. Циліндричний електромагнітний утримувач з дисковим якорем, що притягується:
1 – якір; 2 – осердя; 3 – корпус; 4 – фланець

Для приведення преса у дію на робочу обмотку 11, яка закріплена у магнітопроводі, подають напругу живлення. Струм, що тече по котушці, викликає появу електромагнітної сили, яка намагається зрушити якір 12. Одночасно із увімкненням основної котушки подається напруга на утримуючий електромагніт 4. Виникає сила притягування, яка утримує осердя 12 від опускання через дисковий якір 16, шток 13. Пружина 15 також створює опір опусканню якоря.

Коли струм в котушці основного електромагніта перевищує певне значення, автоматика вимикає живлення утримуючого електромагніта і осердя 12 рухається вниз. При цьому стискається зворотна пружина 15, розтискається гальмівна пружина 20, шток 18 разом із ударником 22 рухаються вниз. Ударяючи по різаку ударник 22 надає йому потрібну для різання кінетичну енергію, рухаючись разом із ним деякий час, що залежить від налагодження зворотної пружини і накопиченої енергії удару. Після того, як різак торкнувся металевої вирубної плити або занурився в полімерну, починається зворотний рух системи під дією пружини 15. Щоб уникнути ударів гальмівна пружина 22 поглинає частину енергії зворотного руху. Ударник повертається у вихідне положення і цикл повторюється знову.

При розробці пресового обладнання з ЛЕМД із електромагнітним ПУЯ для експериментальної установки, було використано наступні вихідні дані.

Вихідні дані ЛЕМД: тип електромагнітного двигуна – втяжний зі стопом; вид струму – постійний; спосіб здійснення робочого ходу – однією обмоткою; спосіб здійснення холостого ходу – за рахунок енергії пружини; регулювання основних параметрів – за рахунок зміни параметрів джерела живлення; охолодження – природне повітряне.

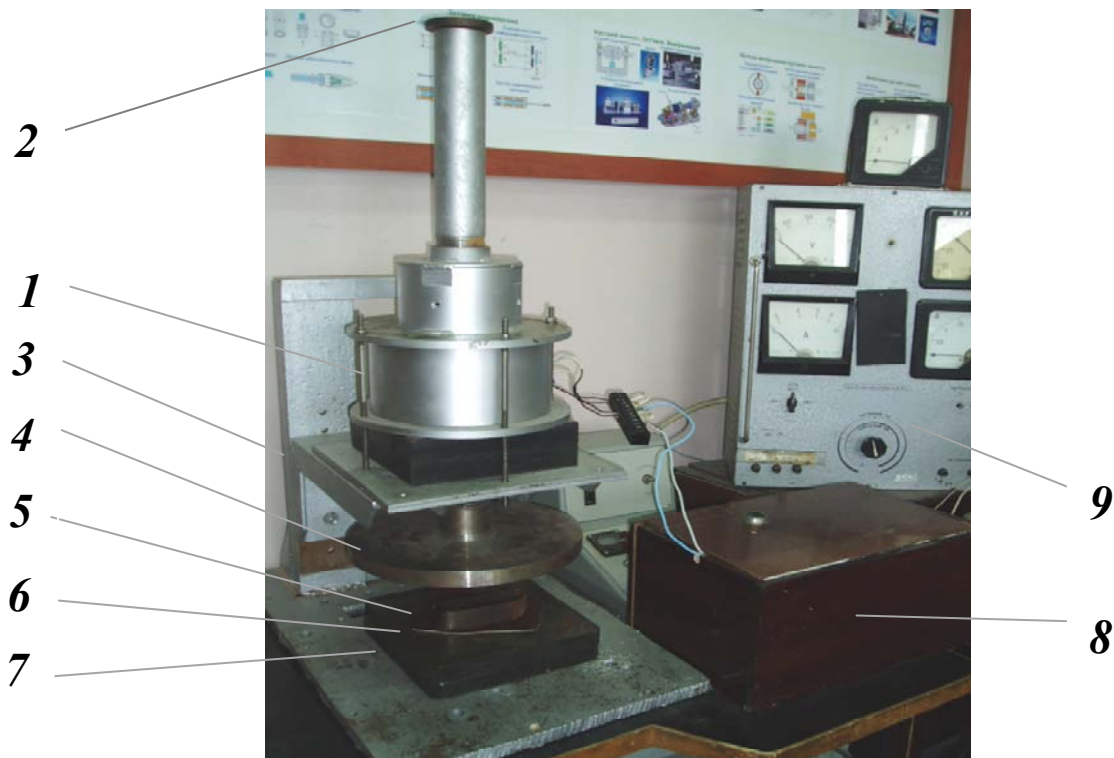


Рис. 2. Загальний вигляд пресового обладнання з ЛЕМД: 1 – лінійний електромагнітний двигун; 2 – пристрій утримування якоря; 3 – консоль; 4 – ударник; 5 – різак; 6 – матеріал; 7 – вирубна плита; 8 – блок живлення та управління; 9 – ЛАТР

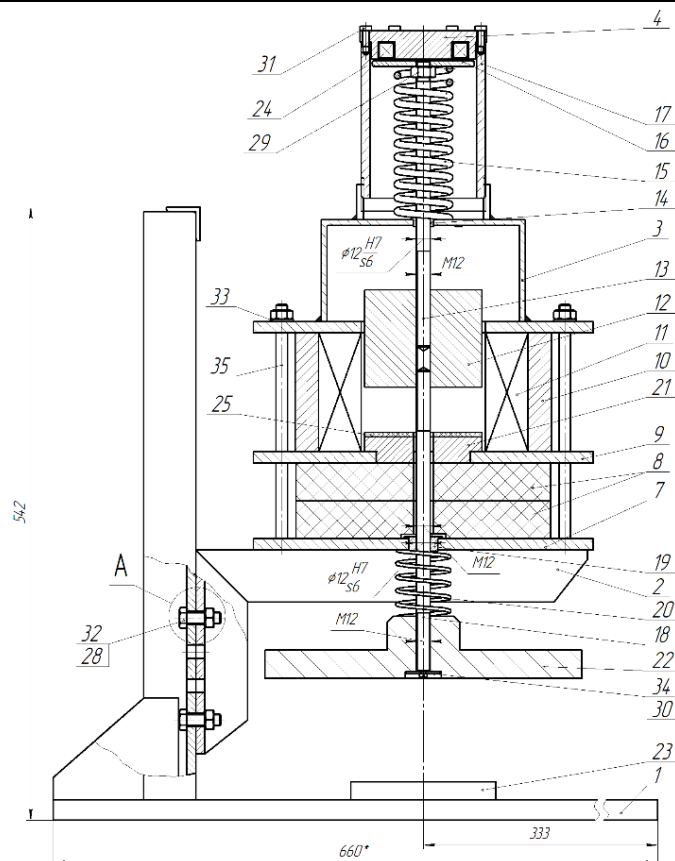


Рис. 3. Конструктивна схема пресового обладнання з ЛЕМД із електромагнітним утримувачем

Вихідні дані пресового обладнання з ЛЕМД: принцип роботи пресового обладнання – прес та прес-молот; режим роботи – одиночний; величина робочого ходу, мм – до 30; частота ударів в хвилину – до 30 в хвилину; конструктивне виконання – настільне; розміщення робочого органу – вертикальне.

Вихідні дані електромагнітного утримувача: тип електромагніта – втяжний з дисковим осердям; вид струму – постійний; спосіб здійснення робочого ходу – однією обмоткою; режим роботи – одиночний; регулювання основних параметрів – за рахунок зміни параметрів джерела живлення; охолодження – природне повітряне.

Параметри пресового обладнання для даної експериментальної установки були розраховані відповідно до рекомендацій викладених в технічній літературі [1, 2, 4]. З врахуванням вихідних та розрахункових даних ЛЕМД має наступні основні параметри: максимальну електромагнітну силу $F_{el}=15300$ Н; хід якоря $\delta_{як}=30$ мм; діаметр якоря $d_{як}=70$ мм; висоту двигуна $L_{ов}=175$ мм; діаметр проводу $d_{пр}=2,5$ мм; число витків котушки $w=695$; опір котушки $R=0,4$ Ом.

З метою якісного забезпечення проведення наукових досліджень розробленого пресового устаткування використано апаратно-програмні засоби компанії National Instruments [5]. В блок вимірювальної апаратури входили: аналоговий датчик; модуль узгодження сигналів; плата збору даних; електронно-обчислювальна машина для запису осцилограм сили удару ударника пресового обладнання, технологічного зусилля вирубування, що змінюються в часі; лабораторний автоматичний трансформатор (ЛАТР).

На розробленій установці було проведено експериментальне дослідження оптимального режиму роботи пресового обладнання з ЛЕМД із електромагнітним ПУЯ. З цією метою було проведено планування експерименту. З метою вибору досліджуваних параметрів, основних факторів та схеми планування експерименту, був проведений аналіз апріорної інформації [6]. На основі цього аналізу, було обрано технологічне зусилля вирубування, як досліджуваний параметр. Вибір цього параметра пояснюється тим, що від максимального зусилля вирубування залежить величина та інтенсивність зношення ріжучої кромки різача, що в свою чергу впливає на якість вирубування, а також вибір основних конструктивних параметрів пресового обладнання з лінійним електромагнітним двигуном. Як основні фактори обрані параметри, що мають місце при реальному процесі переміщення якоря електромагнітного двигуна: положення якоря двигуна відносно стопа; маса якоря; величина переміщення якоря.

В результаті експериментальних досліджень було проведено визначення величини сили удару залежно від зазору δ . По отриманим експериментальним даним було побудовано графік (рис. 4), який показує залежність величини сили удару електромагнітного двигуна від положення якоря двигуна відносно стопа.

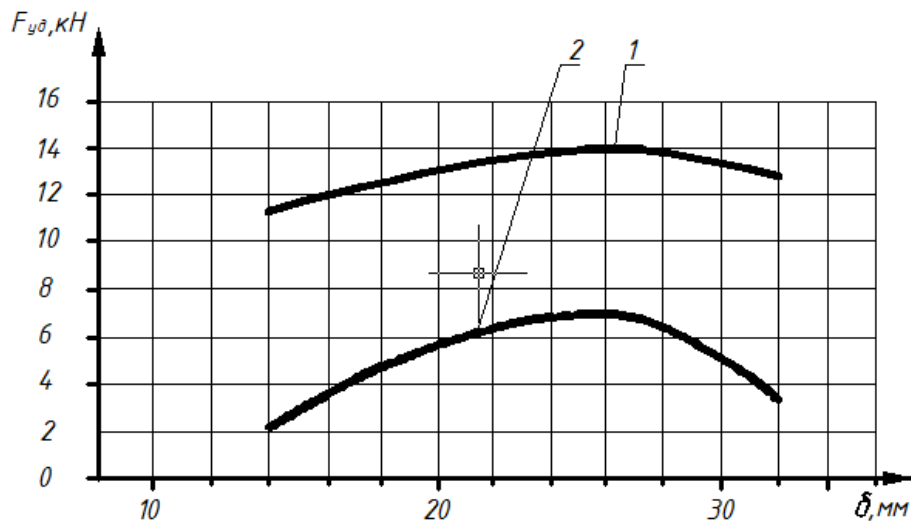


Рис. 4. Залежність сили удару від зазору δ між якорем двигуна і стопом: 1 - сила удару ЛЕМД з пристроєм утримання якоря; 2 - сила удару ЛЕМД без пристрою утримання якоря

Проаналізувавши криві на даному графіку можна зробити висновок, що оптимальний зазор δ становить 26 мм.

Далі було проведено дослідження значення сили удару $F_{y\delta}$ залежно від маси та величини розгону якоря. По отриманим експериментальним даним було побудовано графік (рис. 5), який показує залежність величини сили удару електромагнітного двигуна від положення якоря двигуна відносно стопа при різних масах якоря.

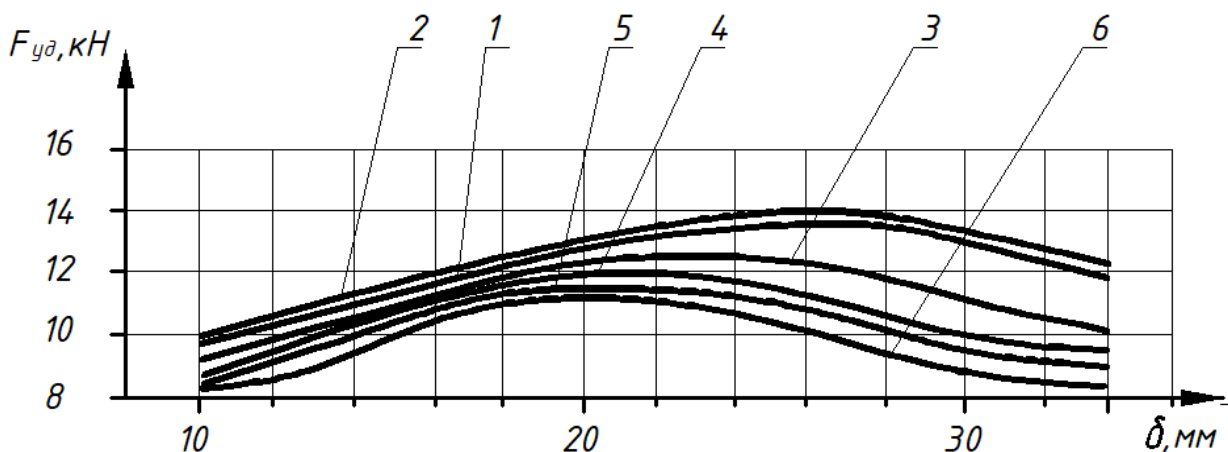


Рис. 5. Залежність сили удару від переміщення якоря: 1 – маса якоря 23 кг; 2 – маса якоря 24 кг; 3 – маса якоря 25 кг; 4 – маса якоря 26 кг; 5 – маса якоря 27 кг; 6 – маса якоря 28 кг

Проаналізувавши дані графіків (рис. 5) було зроблено висновок, що оптимальна величина переміщення якоря лежить в межах 24–28 мм, а оптимальна маса якоря становить 24 кг.

Динамічні характеристики ЛЕМД з пристроєм утримання якоря визначалися по методиці викладеній в [2]. Експериментально знімалась залежність $F_{ym} = f(I_{ym})$. Для цього при кожному фіксованому значенні постійного струму в обмотці утримуючого електромагніту (рис.1) його дисковий якорь відривався від осердя обертанням натискного гвинта. Зусилля відриву дискового якоря вимірювалось зразковим динамометром ДОСМ-0,5. Початкове положення і величина ходу δ якоря ЛЕМД змінювалась шляхом викручування стакана 17, на який опирається ПУЯ. Осцилограми напруги, прикладеної до обмотки ЛЕМД, струму в його обмотці, ходу якоря знімалися по методиці, описаній в [1] при варіюванні F_{ym} , δ , U , t .

Із отриманих осцилограм визначалися часові параметри циклу: час зрушування (утримання) t_{ym} , руху t_{pyx} , робочого ходу $t_{px} = t_{ym} + t_{pyx}$; середня $V_{сер}$ і кінцева V_k швидкості якоря, енергія удару

$$W_2 = \frac{mV_k^2}{2} \quad (m - \text{маса рухомих частин ЛЕМД}), \text{ споживана із мережі енергія } W_1, \text{ струм зрушування } I_{ym},$$

максимальний струм $I_{\max}$, ККД $\eta = \frac{W_2}{W_1}$).

Із отриманих результатів випливає, що утримування якоря на етапі зрушування викликає збільшення швидкості якоря, енергії удару, значень максимального струму $I_{\max}$ і струму утримування (зрушування) $I_{\text{зр}}$. В результаті збільшення часу утримування $t_{\text{ум}}$, час руху $t_{\text{рх}}$ знижується, час робочого ходу незначно зростає.

Залежності максимального струму $I_{\max}$ і струму утримування $I_{\text{ум}}$ від зусилля утримування якоря ЛЕМД на початку робочого циклу зображені на рис.6, а. Зі збільшенням $F_{\text{ум}}$ струми $I_{\max}$ і $I_{\text{ум}}$ зростають, що приводить до підвищення в магнітному полі ЛЕМД енергії, що запасасться, зусилля на якорі, ККД і механічної роботи ЛЕМД за цикл.

Збільшення сили утримування $F_{\text{ум}}$ приводить до зростання часу утримування $t_{\text{ум}}$ (рис. 6, б), час руху $t_{\text{рх}}$ знижується, так як якорь ЛЕМД рухається прискорено під дією більшої електромагнітної сили ЛЕМД, а час робочого ходу $t_{\text{рх}}$ також зростає. Середня $V_{\text{ср}}$ та кінцева $V_{\text{к}}$ швидкості якоря ЛЕМД зростають при збільшенні $F_{\text{ум}}$, причому ріст кінцевої швидкості тим більше, чим більший робочий зазор ЛЕМД. Ефективність використання пристрою утримування якоря виявляється при дослідженні енергетичних характеристик, аналіз яких представляє особливий інтерес. Криві рис.7, а свідчать, що енергія удару $A_{\text{уд}}$ ЛЕМД зростає із збільшенням сили утримування $F_{\text{ум}}$, що створюється пристроєм утримування якоря на початку робочого ходу. Криві побудовані для фіксованих значень початкового робочого зазору ЛЕМД $\delta_1 > \delta_2 > \delta_3$. При максимальному початковому зазорі δ_1 використання пристрою утримування якоря дозволяє, як видно на рис.7, а більш ніж в 4 рази підвищити енергію удару двигуна.

На рис.7, б показані криві ККД досліджуваного ЛЕМД з пристроєм утримування якоря. При максимальному робочому зазорі δ_1 ККД зростає зі збільшенням $F_{\text{ум}}$ більш, ніж в 2 рази. Збільшення ККД пояснюється наступним. Протягом часу утримування $t_{\text{ум}}$ якорь ЛЕМД з пристроєм утримування якоря нерухомий. Електромагнітна сила двигуна $F_{\text{ел}}$ менше сили утримування якоря, на цьому етапі відбувається накопичення енергії джерелом живлення в магнітному полі ЛЕМД. Даний процес при нерухомому якорі відбувається інтенсивніше, ніж при рухомому, так як проти ЕРС руху рівна нулю і не перешкоджає наростанню струму та магнітного потоку ЛЕМД.

На етапі руху після відриву якоря відбувається перетворення накопиченої енергії магнітного поля ЛЕМД в механічну і поповнюється запас магнітної енергії. Так як рух якоря ЛЕМД відбувається з більшими, ніж без пристрою утримування якоря, швидкостями, ЕРС руху і ККД на цьому етапі зростають.

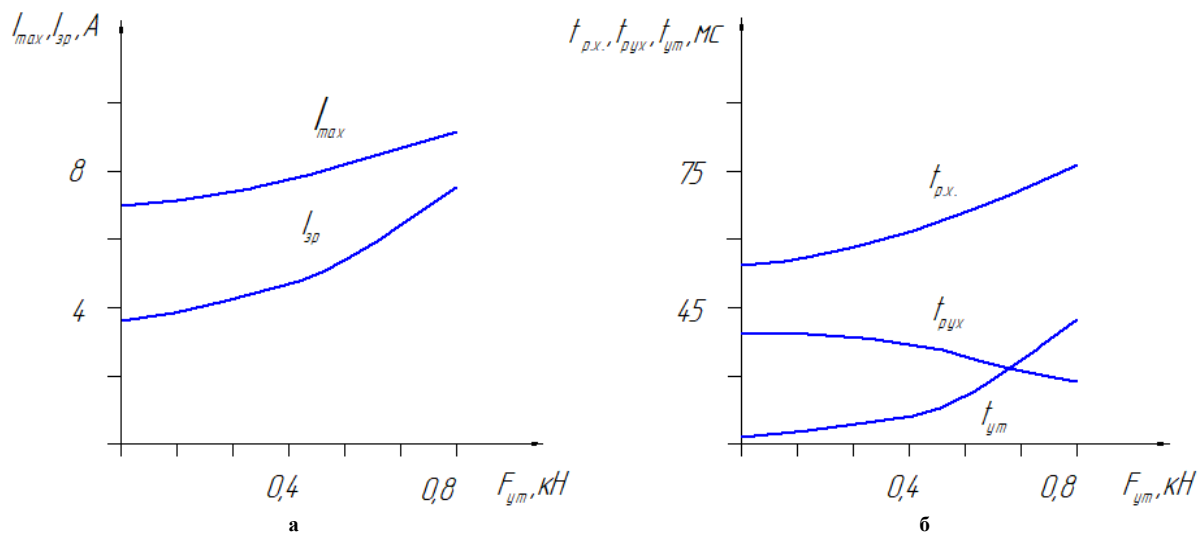


Рис. 6. Вплив сили утримання на струм і часові характеристики ЛЕМД

Дослідження показують, що застосування пристрою утримування якоря ЛЕМД дозволяють приблизно в 4 рази підвищити енергію удару при тій же частоті ходів. Середній рівень сумарних втрат в ЛЕМД і його тепловий режим залишаються незмінними за рахунок підвищення ККД майже в 2 рази.

Проведенні дослідження показали, що використання пристрою утримання якоря в силових ЛЕМД різного призначення з навантаження в кінці ходу дозволяє суттєво підвищити їх питомі енергетичні показники, ККД і швидкість якоря.

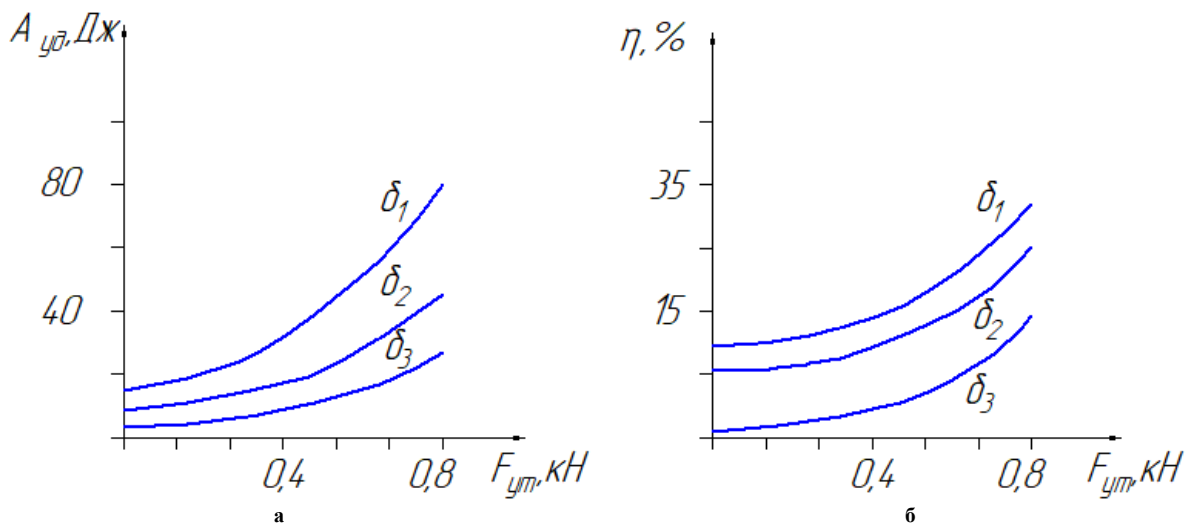


Рис. 7. Вплив сили утримання якоря F_{ym} на енергетичні характеристики ЛЕМД

В роботі [1] проводилися дослідження по знаходженню технологічних особливостей швидкісного вирубання деталей взуття, а саме чистоти торцевої поверхні деталі. В ній відмічається, що якість лінії різку визначається декількома показниками, а саме: надійністю розділення матеріалу, шириною лінії різку, виглядом зрізу і величиною зони деструкції. Відомо, що при вирубванні та перфорації деталей взуття з натуральної шкіри на гідравлічних пресах, утворюється неякісна поверхня зрізу. Одним із параметрів, що впливає на якість зрізу матеріалу, на нашу думку, є швидкість занурення робочого інструменту (різака) в матеріал. Робочий ударник пресу ПВГ-8-2-0, що використовується для вирубання деталей верху взуття, переміщується зі швидкістю приблизно 0,5 м/с. Також в даній роботі проведені експериментальні дослідження по вирубванні деталей взуття на пресовому обладнанні з електромагнітним приводом, ударник в якому переміщується зі швидкістю приблизно від 1 до 3 м/с.

Зразки поверхні деталі взуття з натуральної шкіри низу (чепрака) отриманні на даних пресах приведені на рис. 8.

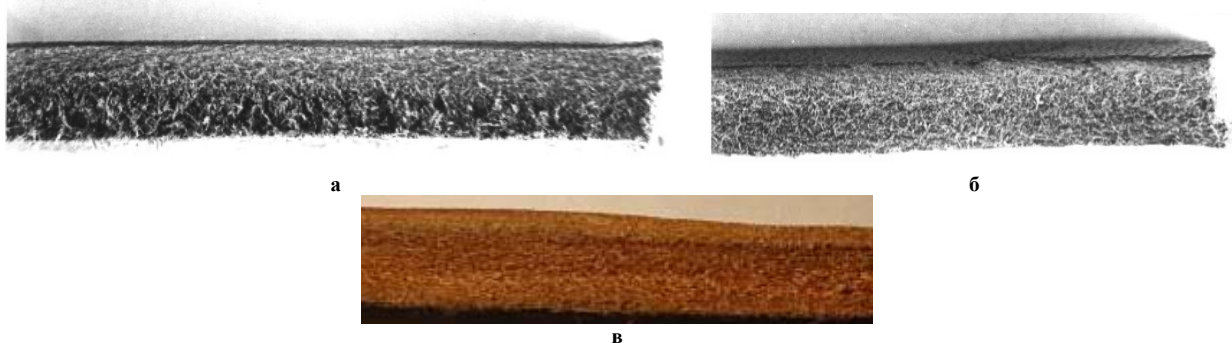


Рис. 8. Зразки поверхонь торців деталі низу взуття з натуральної шкіри при вирубванні: а - на пресі ПВГ-8-2-0; б - на пресовому обладнанні з ЛЕМД; в-б - на пресовому обладнанні з ЛЕМД з електромагнітним ПУЯ

Використання пристрою утримання якоря в пресовому обладнанні з ЛЕМД, як показали експериментальні дослідження дозволили суттєво збільшити швидкість переміщення ударника до 5м/с. Тому були проаналізовані зразки вирубаних деталей при такому швидкісному режимі роботи.

Як видно з них при швидкісному вирубванні на даному пресовому обладнанні різак ріже матеріал на всю його товщину (рис. 8, в). Це ще раз підтвердило гіпотезу про те, що при швидкісному вирубванні не встигає розвиватися випереджаюча тріщина. Торцеву поверхню отримують рівною і гладкою.

Висновки

1. Проведені експериментальні дослідження режимів роботи пресового обладнання з ЛЕМД дали змогу знайти оптимальний режим роботи. Було знайдено оптимальне положення якоря та масу ударника для даного пресового обладнання в динамічному режимі, що склало відповідно 26 мм та 24 кг.

2. Використання електромагнітного пристрою утримання якоря (у вигляді електромагніта із зовнішнім дисковим якорем) в пресовому обладнанні з ЛЕМД призначеного для операцій легкої промисловості з навантаженням в кінці ходу дозволяє суттєво підвищити його питомі енергетичні показники, ККД і швидкість якоря.

3. Збільшення швидкості ударника не дає можливості розвиватися випереджаючій тріщині в матеріалі перед різак. В результаті поверхню деталі взуття отримують кращої чистоти, що в свою чергу веде до підвищення якості взуттєвих виробів.

Література

1. Поліщук О. С. Підвищення ефективності застосування пресового обладнання в легкій промисловості : дис. ... кандидата техн. наук : 05.05.10 / Поліщук Олег Степанович. – К., 2001. – 155 с.
2. Ряшенцев Н.П. Электромагнитные прессы / Ряшенцев Н.П. – Новосибирск : Наука, СО, 1989. – 216 с.
3. Попович М.Г. Електромеханічні системи автоматизації та електропривод (теорія і практика) : навчальний посібник / Попович М.Г., Кострицький В.В. – К. : КНУТД, 2008. – 408 с.
4. Ефимов И.Г. Линейный электромагнитный привод / Ефимов И.Г., Соловьев А.В., Викторов О.А. – Л. : Издательство Ленинградского университета, 1990. – 212 с.
5. Поліщук О.С. Використання інформаційних технологій "National Instruments" для лабораторних і наукових досліджень машин легкої промисловості та електропобутової техніки / О.С. Поліщук, С.Л. Горяченко, Д.В. Прибега // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 2 – С. 175–180.
6. Поліщук О.С., Кармаліта А.К. Дослідження оптимального режиму роботи електромагнітного пресу, призначеного для виконання операції вирубання деталей взуття та визначення його енергетичних параметрів / О.С. Поліщук, А.К. Кармаліта // Вісник технологічного університету Поділля”. – Хмельницький : ТУП, 2000. – № 5, Ч. 1. – С. 17–20.

References

1. Polishchuk O. S. Pidvyshchennia efektyvnosti zastosuvannya presovoho obladnannia v lehkii promyslovosti : dys. ... kandydata tekhn. nauk : 05.05.10 / Polishchuk Oleh Stepanovych. – K., 2001. – 155 s.
2. Ryashentsev N.P. Elektromagnitnye pressyi / Ryashentsev N.P. – Novosibirsk : Nauka, SO, 1989. – 216 s.
3. Popovych M.H. Elektromekhanichni systemy avtomatyzatsii ta elektropryvod (teoriiia i praktyka) : navcha-lnyi posibnyk / Popovych M.H., Kostriyskyi V.V. – K. : KNUTD, 2008. – 408 s.
4. Efimov I.G. Lineyniy elektromagnitnyiy privod / Efimov I.G., Solovov A.V., Viktorov O.A. – L. : Izdatelstvo Leningradskogo universiteta, 1990. – 212 s.
5. Polishchuk O.S. Vykorystannia informatsiinykh tekhnolohii "National Instruments" dlia laboratornykh i na-ukovykh doslidzhen mashyn lehkoi promyslovosti ta elektropobutovoi tekhniki / O.S. Polishchuk, S.L. Horiashchenko, D.V. Prybeha // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2008. – № 2 – S. 175–180.
6. Polishchuk O.S., Karmalita A.K. Doslidzhennia optymalnoho rezhymu roboty elektromahnitnoho presu, pryznachenoho dlia vykonannia operatsii vyrubuvannia detalei vzuttia ta vyznachennia yoho enerhetychnykh parametriv / O.S. Polishchuk, A.K. Karmalita // Visnyk tekhnolohichnoho universytetu Podillia”. – Khmelnytskyi : TUP, 2000. – № 5, Ch. 1. – S. 17–20.

Рецензія/Peer review : 08.05.2018 р.

Надрукована/Printed : 06.07.2018 р.
Рецензент: к.т.н., проф. Кармаліта А.К.

МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ МОДЕЛЮВАННЯ КУЛАЧКОВИХ МЕХАНІЗМІВ

В статті представлені методи оптимізації моделювання кулачкових механізмів. В результаті експериментів було знайдено найбільш оптимальний спосіб редагування помилково введених вхідних даних, а саме – графічне редагування. Також були визначені методи графічного редагування, які дозволяють здійснити його з мінімальними відхиленнями від початково введених даних. Також був досліджений спосіб зчитування вхідної інформації з DXF-файлу, що формується CAD-системами і розроблений оптимальний варіант зчитування даних і запису в універсальний DXF-файл, який може бути відкритий в будь-якій CAD-системі.

Ключові слова: кулачковий механізм, CAD-система, DXF-файл.

O.M. DUPLIAK, R.I. KOTSIYBA

Khmelnytsky National University

METHODS FOR OPTIMIZATION OF THE CAM MECHANISMS MODELING

The article presents methods for optimization of the cam mechanisms modelling. As a result of experiments, there was found the most optimal way of editing erroneously entered initial data, namely, graphical editing. There also were defined graphical editing methods that allow to perform this editing with minimal deviations from the originally entered data. Also, a way of reading incoming information from a DXF-file, which is generated by CAD systems, was investigated and an optimal variant of data reading and recording into a universal DXF-file, which can be opened in any CAD-system, was developed. We get a method that allows the user, with minimal effort, to correct errors in modelling the cam profile, which lead to a profile break. On the basis of this method, a software application was created that allows you to optimize immediately after reading the input data from the DXF file. This product will be useful for both beginner engineers and professionals as it can save your time. While using the software application, we get the possibility of multivariate calculations of the parameters of cam mechanisms, their analysis at all stages of designing... In this case, universal methods of approximating the functions of their numerical integration are used. When using numerical methods, the algorithm is constructed on the basis of simple sequential calculations. Considerably further processing and transfer of received data in the form of DXF-files are simplified. The cam mechanisms are widespread in various industries. Cam mechanisms with a plate pusher and power circuit with a spring are used in automobile construction, in the internal combustion engines. The cam mechanisms differ in the type of propeller movement, the type of cam, the design of the pusher, the method of closing the pusher and the cam. This article helps to create and explore the process of optimization with the help of economic and mathematical modeling of cam mechanisms and accelerating the process of pushing.

Keywords: cam mechanism, CAD-system, DXF-file.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Використання сучасного програмного забезпечення дозволяє суттєво підвищити швидкість виконання проектно-технологічних робіт. Одним з напрямків в розробленні сучасних пакувальних машин, дозуючих апаратів, технологічного устаткування є проектування кулачкових механізмів. Але ця тема знаходиться у процесі дослідження, так як на сьогодні не має одного сформованого методу який би використовувався як основний. Тому, дана тема є актуальною та перспективною для подальших досліджень.

Аналіз останніх досліджень чи публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор. Існує цілий ряд методів синтезу важільних напрямних механізмів та побудованих на їх основі механізмів із зупинкою, однак вони забезпечують, як правило, лише частковий розв'язок поставленої задачі. Частина таких методів використовує умови найкращого наближення за Чебишовим, проте, не дивлячись на значну кількість робіт, що присвячені синтезу таких механізмів не має чіткого визначення конкретного методу. Даною проблематикою, на сьогодні займаються такі вчені-науковці, як Р. Д. Іскович-Лотоцький, В. П. Міськов, А. В. Слабкий, З. А. Стоцько, Т. О. Стефанович, Ю. В. Човнюк, М. Г. Діктерук, К. І. Почка та інші.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Однак суттєвим недоліком зазначених вище досліджень є неможливість аналітичного прогнозування величини ділянки наближення, що унеможливорює проведення синтезу за заданою тривалістю зупинки вихідної ланки, невирішеною залишається також задача оптимізаційного синтезу таких механізмів, зокрема синтез за заданими величинами максимального ходу вихідної ланки, точністю наближення, синтез з метою отримання найменших габаритів, металосмкості, сприятливих кінематичних характеристик тощо. Це, в свою чергу, можливо тільки за допомогою побудови меж існування механізмів, що забезпечують задану тривалість зупинки вихідної ланки.

Постановка завдання. Кулачкові механізми широко поширені в різних галузях промисловості. В автомобілебудуванні, в двигунах внутрішнього згоряння використовуються кулачкові механізми з тарільчатим штовхачем і силовим замиканням пружиною. В технологічному обладнанні – в пружинно-навивальних верстатах і холодно-висадочних автоматах використовуються плоскі дискові кулачки з качаючим штовхачем і силовим замиканням пружиною. Кулачкові механізми відрізняються за типом руху штовхача, типом кулачка, конструкцією штовхача, способом замикання штовхача і кулачка. Дана стаття допомагає створити та дослідити процес оптимізації за допомогою економіко-математичного моделювання кулачкових механізмів та пришвидшення процесу штовхання останніх.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Вхідні данні для проектування кулачка складаються з загальних вимог до роботи механізму. Наприклад, в дозуючих механізмах необхідно узгоджувати механічні переміщення встановлення і центрування пляшки з фізичними процесами дегазування і наповнення.

Вхідні данні для проектування можуть надаватись як в вигляді текстового файлу з даними в табличній формі, так і в вигляді графічного представлення залежності передаточної функції руху в одній з CAD систем - файлу з розширенням .dxf, що ми можемо побачити на рис. 1.

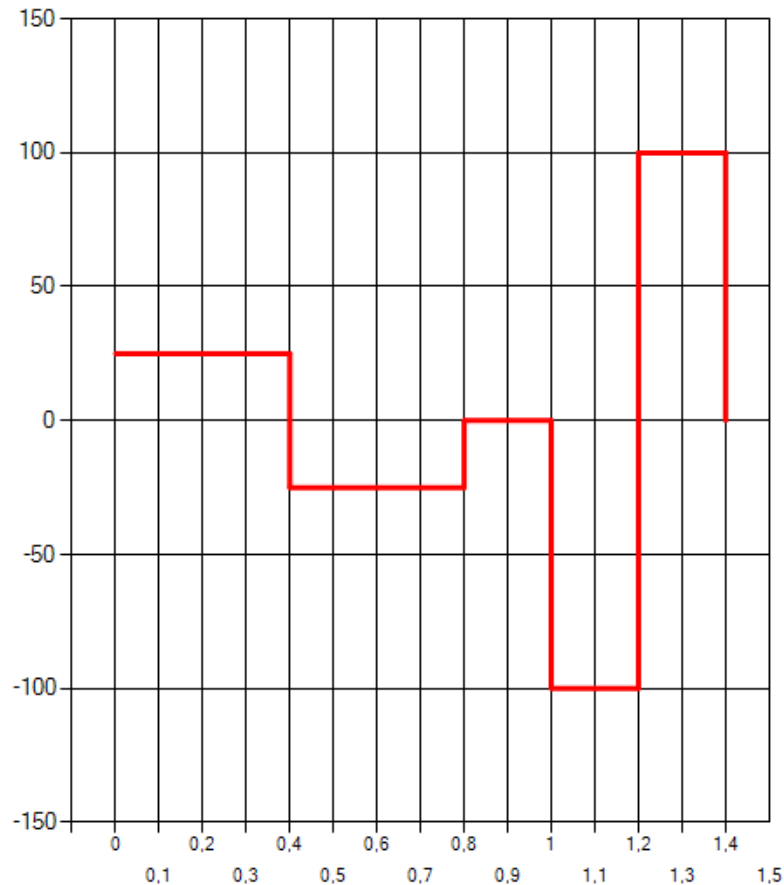


Рис. 1. Приклад вхідних даних

Файли в форматі DXF створюються в таких програмах, як Autodesk AutoCAD, NanoCAD, Autodesk Design Review, TurboCAD LTE Pro 7, Adobe Illustrator, Dassault Systemes, SolidWorks та інші.

Що в першому, що в другому випадку ці данні можуть не задовольняти таким умовам: протягом циклу руху штовхач кулачкового механізму повинен переміститися з початкового положення на величину ходу h , а потім повернутися в початкове положення, тобто переміщення штовхача на фазі віддалення повинно дорівнювати переміщенню на фазі зближення. Отже графік кінематичної передавальної функції швидкості повинен задовольняти умову:

$$\int_0^{\varphi_y} V_{qB*} d\varphi_i = \int_{\varphi_{cj}}^{\varphi_{fab}} V_{qB*} d\varphi_i, \quad (1)$$

де φ_y – кутова координата початкової точки фази зближення.

І в першому, і в другому випадку ці данні можуть не задовольняти наступним умови: протягом циклу руху штовхач кулачкового механізму повинен переміститися з початкового положення на величину ходу h , а потім повернутися в початкове положення, тобто переміщення штовхача на фазі віддалення повинно дорівнювати переміщенню на фазі зближення. Отже графік кінематичної передавальної функції швидкості повинен задовольняти умови:

$$\int_0^{\varphi_y} V_{qB*} d\varphi_i = \int_{\varphi_{cj}}^{\varphi_{fab}} V_{qB*} d\varphi_i, \quad (2)$$

де φ_y – кутова координата початкової точки фази зближення.

Швидкість і кінематична передавальна функція швидкості штовхача на фазах ближнього і дальнього вистою дорівнюють нулю. Щоб ці умови виконувалися, необхідно виконати співвідношення:

$$\int_0^{\varphi_{yf}} a_{qB*} d\varphi_i = \int_{\varphi_{yf}}^{\varphi_y} a_{qB*} d\varphi_i = \int_{\varphi_{co}}^{\varphi_{co}+\varphi_{cf}} a_{qB*} d\varphi_i = \int_{\varphi_{cu}+\varphi_{cf}}^{\varphi_{fab}} a_{qB*} d\varphi_i, \quad (3)$$

де $\varphi_{ур}$ – кутове переміщення при розгоні на фазі віддалення;

$\varphi_{ср}$ – кутове переміщення при розгоні на фазі зближення;

$\varphi_{ст} = \varphi_{роб} - (\varphi_{со} + \varphi_{ср})$ – кутове переміщення при гальмуванні на фазі зближення.

Ці умови необхідно враховувати під час побудови і аналізу безрозмірних графіків передавальної функції швидкості і передавальної функції прискорення, вирівнюючи відповідні зазначеним інтегралам площі над віссю абсцис і під нею.

Наприклад, при варіанті вхідних даних, що зображені на графіку прискорення, що зображений на рис. 2, ми отримуємо профіль кулачка з розривом, що є недопустимим. Як ми бачимо на цьому графіку кутове переміщення на фазі віддалення $\varphi_{ур}$ більше за кутове переміщення на фазі зближення $\varphi_{ср}$.

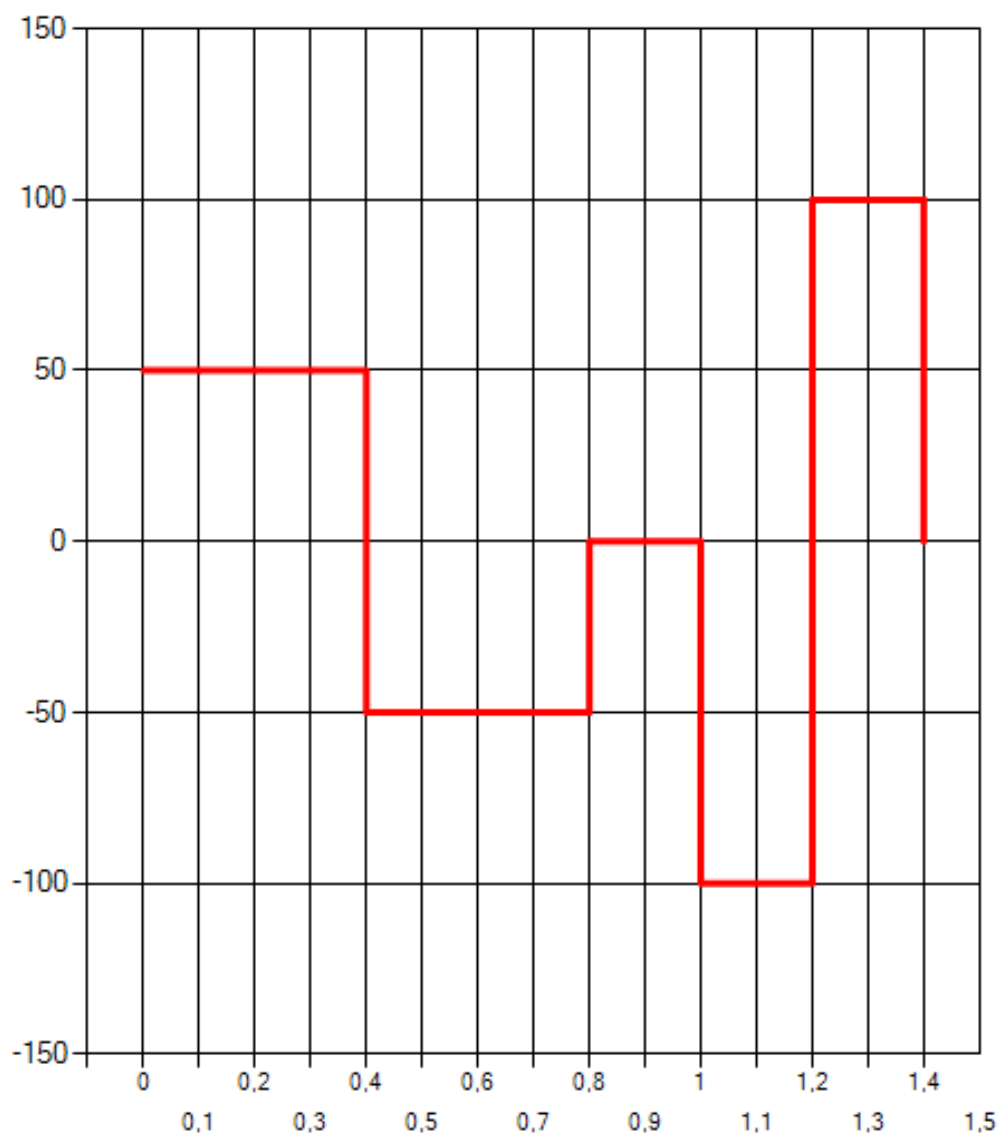


Рис. 2. Графік прискорення

На рис. 2 ми можемо спостерігати цей незамкнутий профіль. Із відповідністю до формул (1–3), нам необхідно провести оптимізацію вхідних даних.

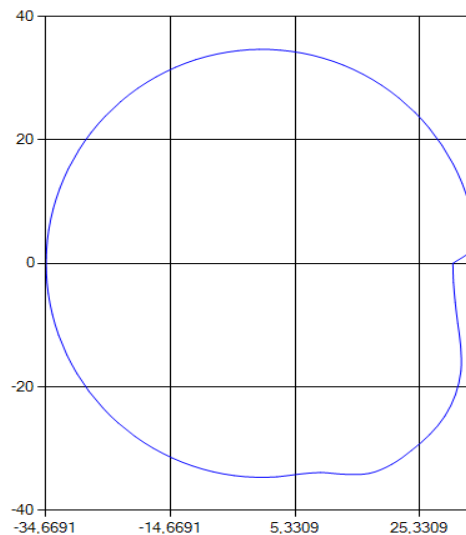


Рис. 3. Незамкнений профіль кулачка

Вихідні дані можуть бути представлені також у вигляді DXF-файлу, де може бути задано більш складний закон руху.

Даний програмний додаток дозволяє користувачу виконувати проектування профілю кулачкового механізму, вводячи початкові дані з текстового файлу, DXF-файлу або в внутрішньому редакторі програми. При цьому він дає можливість виправляти помилки, що допускає користувач в процесі моделювання та виводить йому графіки всіх кінематичних функцій, годограф швидкості, графік зміни кутів тиску в функції кута повороту, та сам профіль кулачка, а також здійснює запис результатів розрахунків як DXF-файл. Функціонал даного програмного додатку представлений на рис. 4.

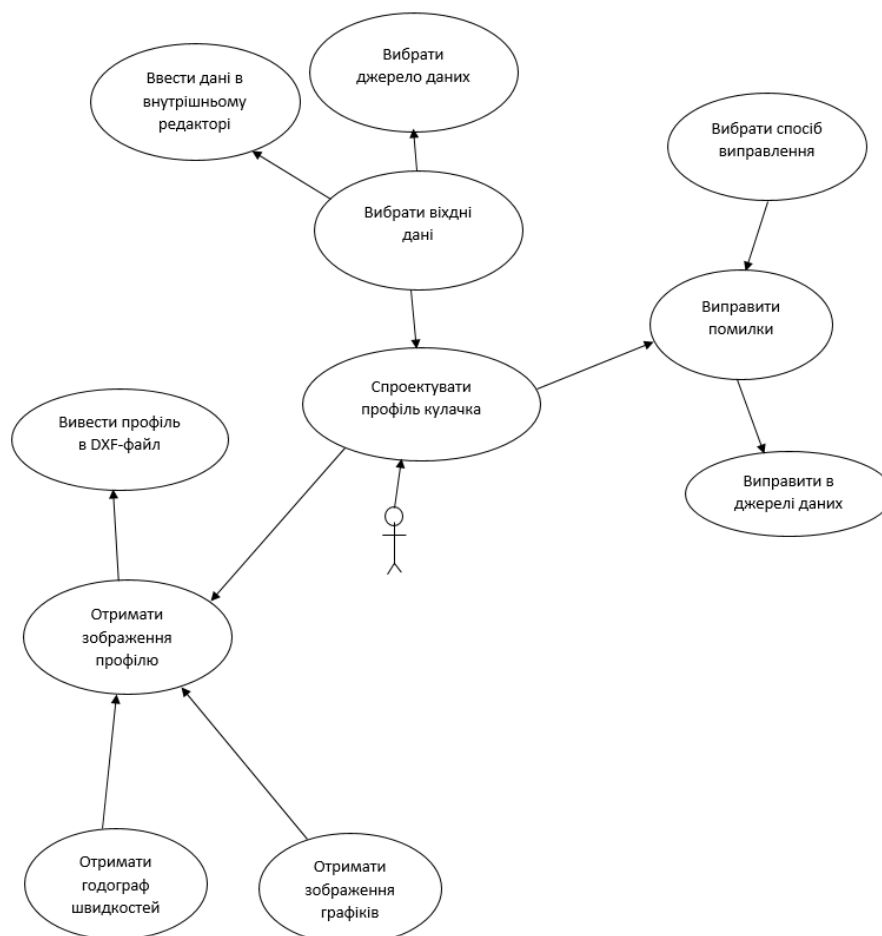


Рис. 4. Діаграма варіантів використання

Найбільш розповсюдженим варіантом є передача вхідних даних у вигляді DXF-файлу, сформованого CAD-системою. В даному файлі знаходиться примітив, що заданий полілінією, що зображує графік прискорення.

Наведемо загальну структуру файлу DXF:

- Розділ HEADER. Цей розділ містить відомості про креслення. Він складається з номера версії бази даних AutoCAD і деякої кількості системних змінних. У кожному параметрі міститься ім'я змінної і пов'язане значення.

- Розділ CLASSES. У цьому розділі надано інформацію для визначених додатком класів, екземпляри яких відображаються в розділах BLOCKS, ENTITIES і OBJECTS бази даних. Визначення класу постійно зафіксовано в ієрархії класів.

- Розділ TABLES. В цьому розділі наводяться визначення для наступних таблиць позначень:

1. 1. APPID (таблиця ідентифікації додатків).
2. 2. BLOCK_RECORD (таблиця входжень блоків).
3. 3. DIMSTYLE (таблиця розмірних стилів).
4. 4. LAYER (таблиця верств).
5. 5. LTYPE (таблиця типів шар).
6. 6. STYLE (таблиця стилів тексту).
7. 7. UCS (таблиця користувальницької системи координат).
8. 8. VIEW (таблиця видів).
9. 9. VPORT (таблиця конфігурацій видового екрану) [1].

- Розділ BLOCKS. У цьому розділі наводяться визначення блоку і графічні об'єкти креслення, які складають кожне входження блоку в креслення.

- Розділ ENTITIES. Тут містяться графічні об'єкти креслення, включаючи входження блоків (об'єкти вставки).

- Розділ OBJECTS. Тут містяться неграфічні об'єкти креслення. В даному розділі зберігаються всі об'єкти, які не є графічними об'єктами, таблицями позначень або записами таблиці позначень. Прикладами записів в розділі OBJECTS є словники, що містять стилі мультіліній і групи.

- Розділ THUMBNAILIMAGE. Тут містяться дані зображень попереднього перегляду креслення. Цей розділ є необов'язковим.

Нас, в першу чергу, цікавить підрозділ AcDbPolyline розділу ENTITIES, так як, саме в цьому підрозділі знаходяться координати і опис примітивів, які ми хочемо отримати з DXF файлу.

Файл DXF складається з пар кодів і пов'язаних з ними значень. Коди, названі груповими кодами, вказують тип значення, наступного за ними. За допомогою цих пар групових кодів і значень файл DXF об'єднується в розділи, що складаються із записів, які, в свою чергу, складаються з групового коду і елемента даних. Кожен груповий код і значення розташовуються в файлі DXF на власному рядку.

Кожен розділ починається з групового коду 0, за яким слідує рядок SECTION. За ним йде груповий код 2 і рядок із зазначенням імені розділу (наприклад, HEADER). Кожен розділ складається з групових кодів і значень. Розділ закінчується груповим кодом 0, за яким слідує рядок ENDSEC.

Розділ починається з маркера підкласу AcDbPolyline, код якого 100. Далі йде перелік кількості вершин під кодом 90, мітка полілінії під кодом 70, що відображає її тип, постійна ширина під кодом 43, за замовчуванням дана величина дорівнює нулю і не може бути задана, якщо товщина ліній є перемінною. Далі йде власне блок координат по X та Y , при цьому в значень по X код 10, у значень Y відповідно 20.

Процес зчитування інформації вказаний на діаграмі, що зображена на рисунку 5. Проте даний додаток повинен не лише здійснювати зчитування інформації з файлу, але й формувати DXF файл в якому записані координати робочого профілю кулачка.

Наведемо мінімум інформації, яку повинен містити DXF-файл, для того щоб його змогла прочитати CAD-система наступний:

- макет початку секції;
- макет початку підрозділу;
- макет шару;
- макет координат точок X та Y ;
- макет кінця секції.

Такий DXF-файл складається з однієї секції, що починається ключового слова SECTION та має код 0. Далі йде підрозділ ENTITIES, де міститься інформація про примітиви, що являються вхідними даними для програми [4].

Так як наша ціль створення DXF-файлу, що містить саму базову інформацію в даному підрозділі міститься лише інформація про шар, код якого 8 і який має назву 0, в якому зображений примітив, в нашому випадку завжди буде лише один шар.

Далі знаходиться перелік точок X та Y і кінець секції. Даний DXF-файл містить саму основну інформацію про примітив, який він отримав з додатку, та його може відкрити будь-який редактор, що має можливість працювати з файлами даного типу [5].

Редагування вхідних даних при проектуванні профілю кулачка буде наступною:

- користувачем обирається кут редагування;
- додаток визначає, збільшити чи зменшити потрібно площу графіка функції на даному куті;
- на обраному відрізку обираються всі ключові точки, через які будуються полілінії;

- змінюється показник прискорення в обраних точках (збільшується максимум і зменшується мінімум якщо площу потрібно збільшити і навпаки);
- проводиться повторне обчислення всіх точок графіку з певним кроком (за замовчуванням 0,1) за формулою 1 [1].

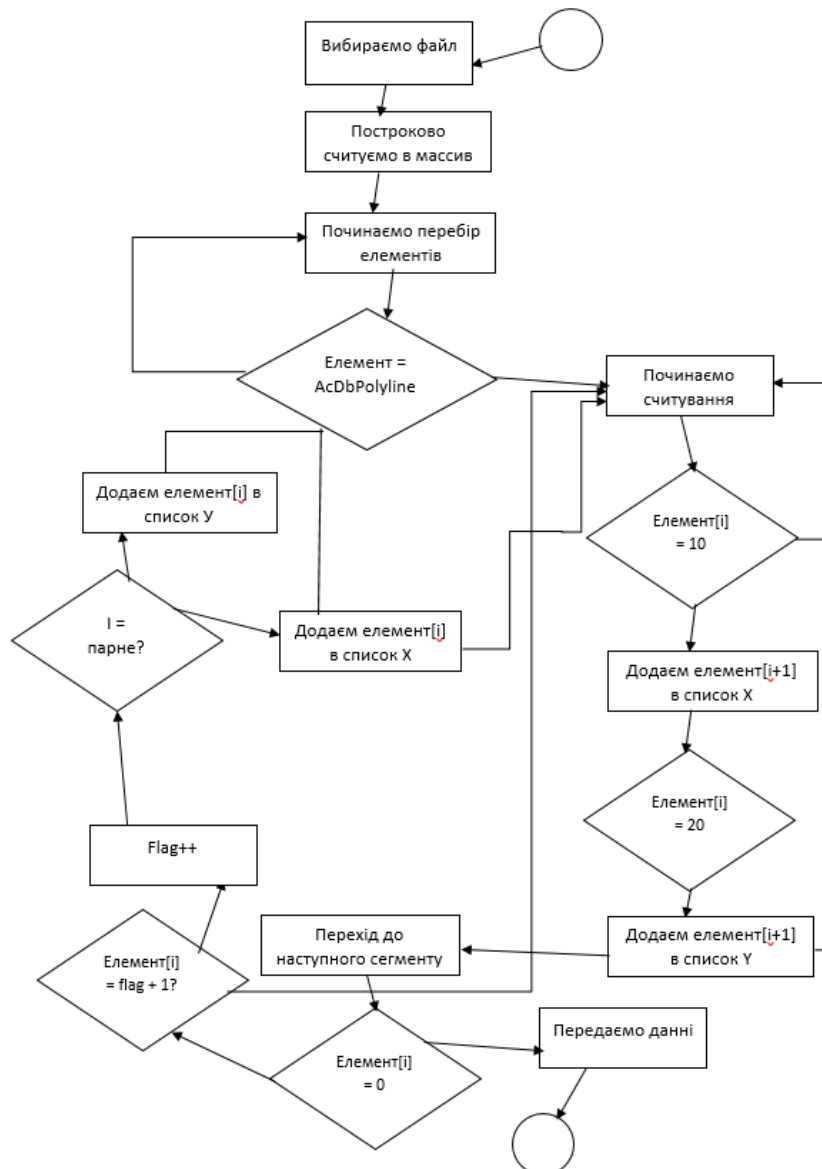


Рис. 5. Алгоритм зчитування DXF-файлу

- проводиться повторне інтегрування методом трапеції;
- Якщо площі стали рівні з обраною точністю, то вхідні дані вважаються відредаговані, якщо ні – все повторюється з кроку пошуку мінімуму та максимуму функції. По редагованим даним програма розраховує координати робочого профілю і створює вихідний DXF файл [2, 3].

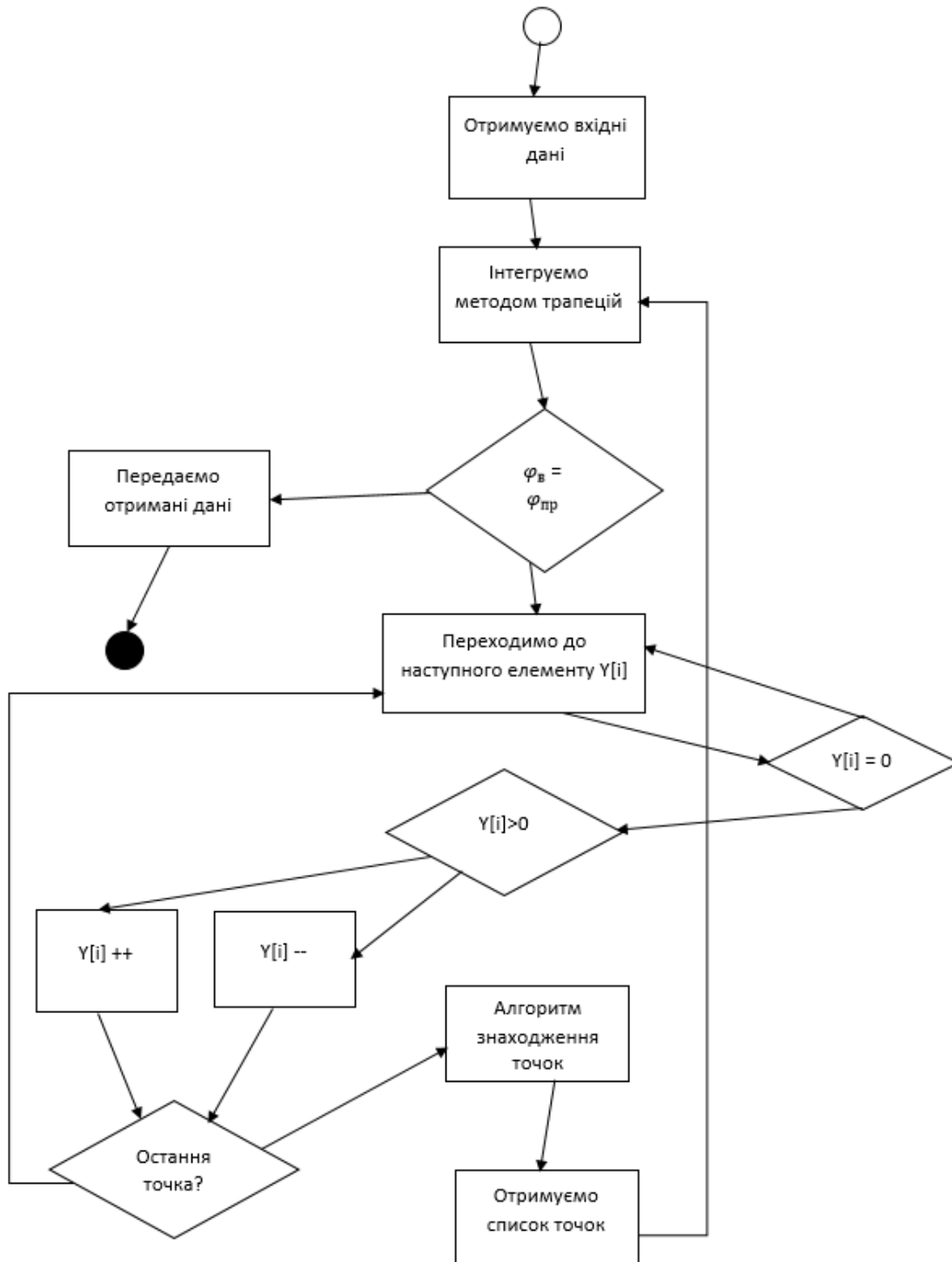


Рис. 6. Алгоритм редагування вхідних даних

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку. В ході використання програмного додатку з'явилась можливість багатоваріантних розрахунків параметрів кулачкових механізмів, їхнього аналізу на всіх етапах проектування... При цьому використовуються універсальні методи апроксимації функцій їх чисельного інтегрування. При використанні чисельних методів алгоритм будується на базі простих послідовних розрахунків. Значно спрощена подальша обробка і передача отриманих даних в вигляді DXF-файлів.

Застосування даного програмного додатку дозволяє користувачеві мати доступ до редагування процесу створення кулачкового механізму на кожному етапі розрахунку, а саме:

1) при введенні вхідних даних – закону руху штовхача, який зображено графічно і подано у вигляді DXF-файлу для розрахунку даним програмним додатком значно скорочує час, що потрібен для введення вхідних даних для розрахунку;

2) 2) при введенні помилкових даних, що спричиняє до розривів у профілі кулачка користувач повинен поміняти вхідні дані. Програмний додаток додає наступні можливості до редагування вхідних даних:

- a) довільна зміна точки користувачем;
- b) автоматична зміна прискорення в точках максимуму і мінімуму, вважається що цих точок декілька і прискорення в них рівне;
- c) автоматична зміна прискорення в точках максимуму і мінімуму з подальшим перерахуванням всіх точок на основі проведених змін;
- d) автоматична зміна прискорення в всіх ключових точках;
- e) зміна прискорення обраним користувачем способом на конкретно вибраній ділянці;
- f) зміна фазового кута профілю кулачка;
- g) незначна зміна фазового кута профілю кулачка та зміна прискорення в ключових точках способом, який обирає користувач;

3) 3) варто взяти до уваги режим роботи кулачкового механізму, який може бути реверсивним або нереверсивним, з обмеженням кута тиску на фазі наближення або без нього. Забезпечення цих умов дозволяє користувачеві вносити корективи в розрахунок і зразу бачити його результат.

Таким чином ми отримуємо метод, що дозволяє користувачу, прикладаючи мінімальні зусилля, виправляти помилки в моделюванні профілю кулачка, що призводять до розриву профілю. На основі даного методу був створений програмний додаток, що дозволяє виконувати оптимізацію зразу після зчитування вхідних даних з DXF-файлу. Даний продукт буде корисний як для інженерів-початківців, так і для професіоналів, так як дозволяє значно заощадити час.

Література

1. Леонов И.В. Проектирование и анализ кулачковых механизмов с помощью ЭВМ / И.В. Леонов, Н.Н. Барбашов. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 152 с.
2. Тимофеева Г.А. Теория механизмов и машин. Курсовое проектирование / Тимофеева Г.А., Умнов Н.В. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 154 с.
3. Назаренко И.И. Прикладные задачи теории вибрационных систем / Назаренко И.И. – К. : ИСИО, 1993. – 216 с.
4. Назаренко И.И. Перспективные направления создания и совершенствования уплотняющих машин в строительстве / Назаренко И.И., Гарнец В.Н. – К. : О-во – Знание УССР, 1987. – 16 с.
5. Маслов А.Г. Исследование виброплощадки для уплотнения цементно-бетонных смесей горизонтально направленными колебаниями и при-грузом / А.Г. Маслов, А.Ф. Иткин // Интерстроймех 2007 : материалы международной научно-технической конференции, 11–14 сентября 2007, г. Самара / Самарск. гос. арх.-строит. ун-т. – Самара, 2007. – С. 189–196.

References

1. Leonov I.V. Proektirovanie i analiz kulachkovyih mehanizmov s pomoschyu EVM / I.V. Leonov, N.N. Barbashov. – M. : MGTU im. N.E. Bauman, 2014. – 152 s.
2. Timofeeva G.A. Teoriya mehanizmov i mashin. Kursovoe proektirovanie / Timofeeva G.A., Umnov N.V. – M. : MGTU im. N.E. Bauman, 2010. – 154 s.
3. Nazarenko I.I. Prikladnyie zadachi teorii vibratsionnyih sistem / Nazarenko I.I. – K. : ISIO, 1993. – 216 s.
4. Nazarenko I.I. Perspektivnyie napravleniya sozdaniya i sovershenstvo-vaniya uplotnyayuschih mashin v stroitelstve / Nazarenko I.I., Garnets V.N. – K. : O-vo – Znanie USSR, 1987. – 16 s.
5. Maslov A.G. Issledovanie vibroploschadki dlya uplotneniya tsemento-betonnyih smesey gorizontarno napravlennymi kolebaniyami i pri-gruzom / A.G. Maslov, A.F. Itkin // Interstroyemeh 2007 : materialyi mejdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii, 11–14 sentyabrya 2007 g. Samara / Samarsk. gos. arh.-stroit. un-t. – Samara, 2007. – S. 189–196.

Рецензія/Peer review : 31.05.2018 р.

Надрукована/Printed : 09.07.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Григорук П.М.

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАНЕСЕННЯ АНТИФРИКЦІЙНОГО ПОКРИТТЯ НА НЕПОВНІ СФЕРИЧНІ ПОВЕРХНІ ФРИКЦІЙНО-МЕХАНІЧНИМ СПОСОБОМ

В роботі розглянуті існуючі уявлення про механізм утворення зносостійкого покриття фрикційно-механічним способом. Проаналізований процес нанесення, визначені параметри, які впливають на товщину антифрикційного покриття. Встановлено, що одним із напрямків підвищення ефективності є використання в процесі обробки вібрації інструменту. В результаті проведеного аналізу технологічних можливостей способів нанесення антифрикційного покриття та методів зміцнення, запропоновано новий комбінований спосіб фінішної антифрикційної статико-імпульсної обробки. Для антифрикційної обробки неповних сферичних поверхонь комбінованим способом, запропоновано нову кінематичну схему. На основі розробленої кінематичної схеми і комп'ютерного моделювання з використанням програмного продукту SOLIDWORKS спроектовано технологічне оснащення для реалізації процесу фрикційно-механічного нанесення зносостійкого покриття на неповні зовнішні сферичні поверхні, зокрема автомобільних кульових пальців. Проведені експериментальні дослідження для встановлення раціональних параметрів процесу фрикційно-механічного нанесення латуні Л63 на неповні сферичні поверхні кульового пальця і залежності впливу статичного навантаження та енергії одиничного удару на товщину шару покриття. Результати проведеної роботи планується узагальнити для формування рекомендацій щодо практичної реалізації технології фрикційного нанесення антифрикційного покриття на неповні сферичні поверхні кульових шарнірів.

Ключові слова: поверхнєве пластичне деформування, фрикційно-механічне натирання, зносостійке покриття, сферична поверхня, статичне навантаження, енергія, удар.

M.M. KOSIYUK, S.A. KOSTYUK, M.A. KOSTYUK

Khmelnytsky National University

TECHNOLOGICAL SUPPORT OF APPLICATION ANTIFRICTION COATING ON INCOMPLETE SPHERICAL SURFACES BY FRICTION-MECHANICAL METHOD

The paper considered ways to increase wear resistance and quality of working surfaces of machine parts by applying a friction-mechanical method on the friction surface of antifriction coating. The existing ideas about the mechanism formation antifriction wear-resistant coating by friction-mechanical method are considered. The process and the parameters that influence the thickness of antifriction coating are analyzed. It was established that one of the directions of increasing the efficiency of the finishing antifriction treatment process is to provide of the oscillating motions tool. As a result carried out analysis of technological possibilities methods of applying antifriction coating and strengthening methods, a new combined method of finishing antifriction static-pulsed processing is proposed. For antifriction processing of incomplete spherical surfaces in combined method, a new kinematic scheme is proposed. On the basis of the designed kinematic scheme and computer simulation with the use of the software product SOLIDWORKS, technological equipment for the implementation process of friction-mechanical application of wear-resistant coating on the incomplete external spherical surfaces, in particular automobile ballpoint fingers, was designed. Experimental investigations have been carried out to establish rational parameters of the process of friction-mechanical application of brass L63 and the dependence of the influence static load and the energy of a single impact on the thickness of the coating layer. The results of the work are planned to be generalized to formulate recommendations on the practical implementation of the technology of applying antifriction coating on the incomplete spherical surfaces of ball joints.

Keywords: surface plastic deformation, friction-mechanical rubbing, wear-resistant coating, spherical surface, static impact, impact action.

Постановка проблеми

В сучасній техніці широко застосовуються сферичні трибосистеми, зокрема автомобільні кульові шарніри, які містять деталі з неповними сферичними поверхнями (НСП). Вирішення задачі підвищення їх надійності та довговічності є актуальним завданням. Вихід з ладу деталей машин, як правило, спричинений руйнуванням їх поверхневого шару, тому все більшу увагу приділяють питанням зносостійкості, інженерії робочих поверхонь та змащуванню [1, 2].

Одним із шляхів підвищення зносостійкості та якості робочих поверхонь деталей машин є удосконалення існуючих та створення нових комбінованих технологічних методів впливу на поверхню, що обробляється. Перспективним напрямком підвищення зносостійкості поверхонь деталей трибоспряджень є створення наноструктурованих антифрикційних покриттів фрикційним способом. Фрикційно-механічне нанесення зносостійкого матеріалу, має складну природу, залежить від багатьох факторів на різних етапах технологічного процесу і потребує науково обґрунтованих рекомендацій щодо технології, обладнання та режимів його роботи [3–5]. Тому розробка та дослідження технології фрикційного нанесення зносостійкого покриття на неповні сферичні поверхні є актуальною задачею як для теорії, так і для практики цього процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відкриття вибіркового перенесення при терті лягло в основу розробки методів підвищення зносостійкості поверхонь тертя і довговічності деталей, одним з яких є фінішна антифрикційна безабразивна обробка (ФАБО) [3–6]. Сутність ФАБО полягає в тому, що поверхню тертя деталей покривають тонким шаром латуні, міді або бронзи. Антифрикційне покриття (АП) наносять шляхом тертя латунного, мідного

або бронзового прутка (інструменту) об поверхню заготовки (рис. 1), змашуючи при цьому поверхню тертя технологічною рідиною. При терті матеріал прутка (інструменту) переноситься на поверхню заготовки, внаслідок чого вона набуває високих антифрикційних властивостей.

Глибокі уявлення про механізм утворення АП фрикційно-механічним натиранням широко представлені в роботах [3–10]. При цьому процес фрикційно-механічного нанесення покриттів розглядаються як такий, що супроводжується двома конкуруючими між собою явищами: утворення покриття і його руйнування. Однією з умов отримання покриттів є введення в зону контакту при нанесенні покриттів спеціального технологічного середовища, яке створює умови для схоплювання металів. На відміну від сухого тертя, коли в зоні контакту відбувається інтенсивне зростання температури і схоплювання супроводжується викиданням окремих частинок з поверхні інструменту, використання технологічної рідини забезпечує утворення суцільного, міцно зчепленого покриття.

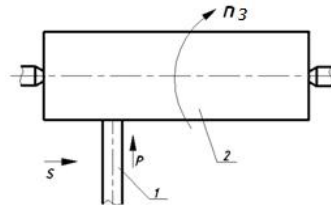


Рис. 1. Схема фрикційно-механічного нанесення АП

1 – інструмент; 2 – заготовка; P – зусилля притиснення натирають елемента; n – частота обертання заготовки; S – поздовжня подача інструменту.

Як показано у роботі [8] підвищити якість АП можливо шляхом поєднання ФАБО і поверхневого пластичного деформування поверхні, що обробляється.

У роботах [9,10] зазначено, що одним з шляхів інтенсифікації нанесення покриттів при ФАБО є задіяння чотирьох каналів активації контактних поверхонь (хімічного, термічного, механічного і пов'язаного з пластичною деформацією). Встановлено, що підвищити якість і продуктивність процесу ФАБО можливо за рахунок застосування вібрації (осциляції) інструменту. Такий варіант ФАБО названий фінішною антифрикційною безабразивною вібраційною обробкою (ФАБВО).

Мета роботи – удосконалення технології та розробка обладнання для реалізації процесу фрикційно-механічного нанесення зносостійкого покриття на неповні зовнішні сферичні поверхні деталей кульових шарнірів, зокрема автомобільних кульових пальців.

Виклад основного матеріалу дослідження

На основі результатів проведеного аналізу технологічних можливостей ФАБО та методів зміцнення, способів і конструкцій обладнання для нанесення покриттів і зміцнення НСП запропоновано новий комбінований спосіб фінішної антифрикційної статико-імпульсної обробки (ФАСІО).

На рис.2 зображена схема нанесення антифрикційних покриттів на неповну сферичну поверхню способом, що пропонується. Заготовка 1 обертається з частотою n_3 . Інструмент 2, що обертається з частотою n_1 , притискається до неповної сферичної поверхні заготовки із забезпеченням постійної статико-імпульсної дії зусиллями P_c і P_i та його коливного руху відносно центру сферичної поверхні заготовки на кут α подачею S_{α} .

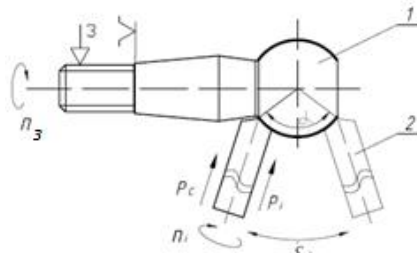


Рис. 2.Схема нанесення антифрикційних покриттів на неповну сферичну поверхню

Кут коливання α визначається за формулою:

$$\alpha = 180 - (\beta_1 + \beta_2) = 130 - \left(\frac{\arcsin \frac{d_1}{2R_{cf}} + \arcsin \frac{d_2}{2R_{cf}}}{2R_{cf}} \right), \quad (1)$$

де R_{cf} – радіус сферичної поверхні, що обробляється; d_1 і d_2 – діаметри торцевих зрізів; β_1 і β_2 – кути повороту радіус вектора, що визначають неповну сферичну поверхню заготовки.

Даний спосіб передбачає нанесенням антифрикційного покриття з одночасним зміцненням поверхневого шару НСП основного матеріалу заготовки пальця кульової опори.

Для проведення досліджень, перевірки працездатності запропонованої кінематичної схеми, розроблено її комп'ютерну імітаційну модель. Комп'ютерне моделювання процесу обробки проводилось у середовищі SOLIDWORKS з використанням системи SOLIDWORKS Motion для проведення кінематичного та динамічного аналізу.

Окремі фрагменти результатів проведених досліджень наведено на рис. 3.

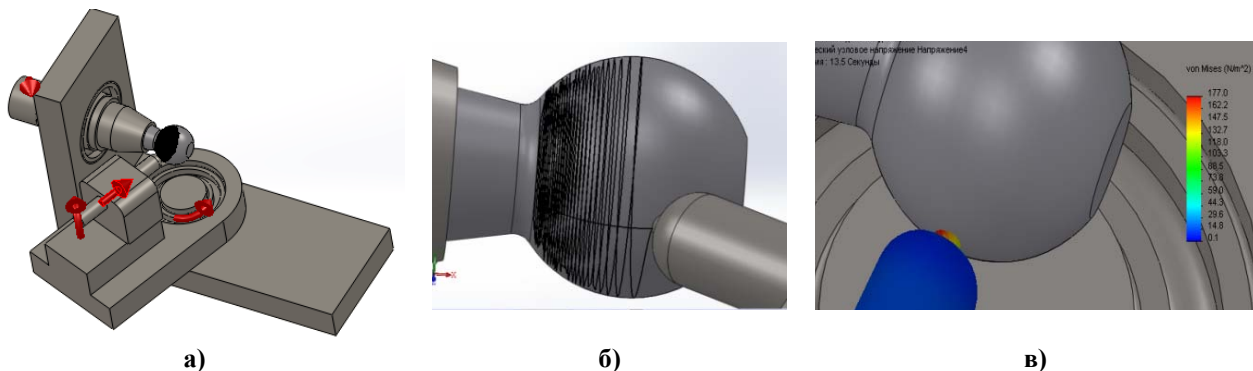


Рис. 3. Комп'ютерна модель та дослідження кінематичної схеми ФАСІО
а – модель обробки, б – траєкторія руху інструмента, в – напружено-деформований стан інструмента

Запропоновано пристрій для забезпечення процесу ФАСІО НСП, загальний вид якого наведений на рис. 4.

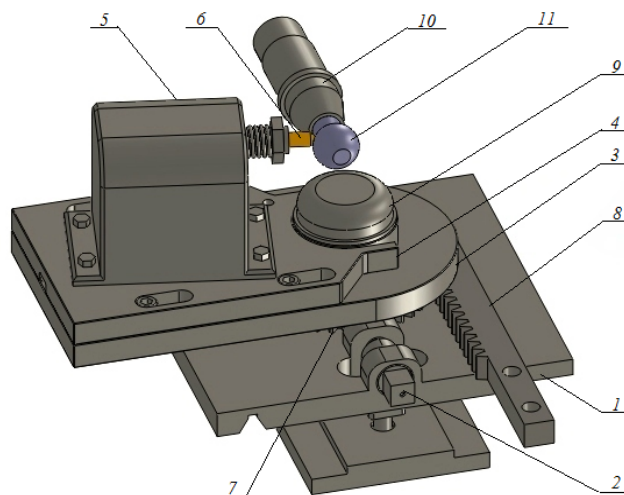


Рис. 4. Пристрій для ФАСІО НСП

Пристрій для нанесення антифрикційного покриття на зовнішні неповні сферичні поверхні виконано у вигляді поворотного столу, що містить платформу 1, яка встановлюється на призматичні напрямні станини токарного верстату. Платформа 1 виконана з можливістю поздовжнього переміщення і фіксації за допомогою механізму фіксації 2. На платформі 1 розміщено поворотний стіл 3 до якого прикріплено плиту 4 із закріпленим на ній механізмом статико-імпульсної дії 5 з індивідуальним приводом та інструментом 6, виконаного з можливістю поперечного переміщення відносно осі обертання заготовки. Настроювання інструмента 6, здійснюється по шаблону, закріпленому в патроні токарного верстата (не показано). Кінематичний зв'язок поворотного столу із супортом токарного верстату здійснюється за допомогою зацеплення зубчастого вінця 7 та рейки 8.

Робота з використанням пристрою для нанесення антифрикційного покриття на зовнішні неповні сферичні поверхні здійснюється наступним чином. Заготовку 11 встановлюють у патрон токарного верстату 10. Інструмент настраюють по шаблону та фіксують у потрібному положенні. При включенні поздовжньої подачі супорт токарного верстату починає рухатися у напрямку передньої бабки (не показано). Рейка 8, яка закріплена на супорті і має з ним кінематичний зв'язок передає рух на зубчатий вінець 7, закріплений на підшипниковому вузлі 9 і обертає його відносно осі, яка закріплена на платформі 1, нерухомо зафіксований на призматичних напрямних токарного верстата. При цьому інструмент 6 встановлений у шпиндель механізму статико-імпульсної дії 5, починає обходити зовнішню сферичну поверхню по заданому радіусу, обертаючись навколо власної осі з частотою n_i з одночасним статико-імпульсним навантаженням неповної сферичної поверхні, що обробляється.

Проведено експериментальні дослідження запропонованої технології та обладнання для фрикційно-механічного нанесення зносостійкого покриття на неповні зовнішні сферичні поверхні автомобільних кульових пальців. На рис. 5 представлено загальний вигляд кульового пальця, на неповну сферичну

поверхню, якого фрикційно-механічним способом наносилися покриття із латуні Л63. Проведено оцінку залежності впливу енергії одиничного удару та статичного навантаження на товщину шару антифрикційного покриття.

Експериментальний стенд дозволяв забезпечувати статичне навантаження $F_{ст}$ на інструмент в межах 75-150 Н і енергію одиничного удару W в межах 0,5-2 Дж.

Товщина покриття вимірювалась на мікросліфах за допомогою цифрового мікроскопу моделі SIGETA CAM-05. Частота обертання інструменту була постійною $n_t=300$ об/хв. Частота обертання заготовки $n_z=160$ об/хв.

За отриманими експериментальними значеннями побудовано графік залежності: $h=f(W, F_{ст})$, (рис. 6).



Рис. 5. Загальний вигляд зразка кульового пальця, на НСП якого нанесено шар латуні Л63

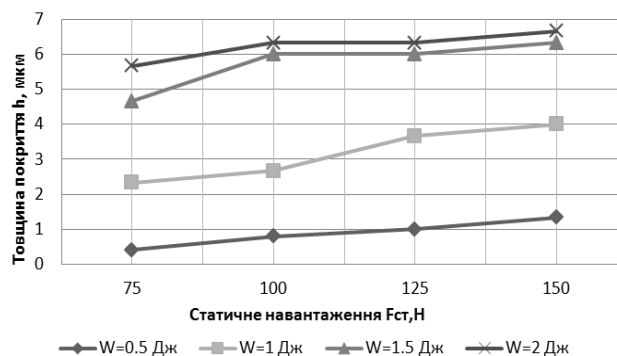


Рис. 6. Графічні залежності впливу енергії одиничного удару (W) та статичного навантаження ($F_{ст}$) на товщину шару (h) антифрикційного покриття

При проведенні експериментальних досліджень встановлено, що запропонований спосіб ФАСІО дозволяє наносити покриття товщиною до 7 мкм на поверхні з $R_a > 1.25$ мкм, збільшувати його щільність, а також зміцнювати поверхневий шар основного матеріалу заготовки.

Головними параметрами ФАСІО є величина статичного навантаження інструмента $F_{ст}$, енергія одиничного удару W , величина якої визначає глибину залягання деформації та зміну величини коефіцієнта тертя, що впливає на якість і твердість сформованого покриття.

Із збільшенням енергії одиничного удару W зростає степінь деформування та твердість зміцненого поверхневого шару, що в свою чергу визначає його фізико-механічні властивості.

Величина енергії одиничного удару W повинна знаходитись у певних межах, оскільки при малій енергії забезпечується початок пластичного деформування мікрооб'ємів поверхневого шару з малим ступенем зміцнення, а при збільшенні енергії до критичної, відбувається процес перенаклепу (злушування тонких шарів покриття) та погіршується якість нанесеного покриття.

Для ефективного використання ударного імпульсного навантаження під час обробки необхідно забезпечити постійний контакт інструмента і заготовки із заданим статичним навантаженням. Це дозволяє підвищити ефективність використання енергії ударного імпульсу W та коефіцієнт корисної дії процесу ФАСІО.

Імпульсне навантаження інструмента дає можливість блискавично підвищити коефіцієнт тертя (заготовка-інструмент), що призводить до інтенсифікації процесу руйнування матеріалу інструмента з вбиванням частинок латуні у нерівності мікрорельєфу заготовки.

Для забезпечення протікання процесу ФАСІО і нанесення якісного покриття з високими показниками адгезії між матеріалами заготовки та покриття, необхідно своєчасно подавати у зону обробки спеціальну технологічну рідину, яка змочує та активує поверхні, руйнуючи оксидну плівку для покращення умов схоплювання металів. Основним компонентом технологічної рідини є гліцерин, який сприяє протіканню процесу вибіркового перенесення при терті пари сталь-латунь.

Запропонований пристрій дозволяє керувати товщиною нанесеного антифрикційного покриття з одночасним зміцненням поверхневого шару основного матеріалу заготовки. Оцінка мікротвердості проводилась на універсальному мікротвердомірі ПМТ-3. Спостерігається підвищення мікротвердості до 30%.

До особливостей процесу з ФАСІО слід віднести: низьку витрату матеріалу покриття та механічної енергії при натиранні, високу стабільність і якість антифрикційного покриття. Підвищити якість АП та продуктивність процесу ФАСІО можливо за рахунок збільшення кількості одночасно працюючих інструментів та забезпечення оптимальних режимів.

Висновки

В роботі запропоновано новий комбінований спосіб нанесення антифрикційного покриття фрикційно-механічним натиранням на неповні зовнішні сферичні поверхні. На основі розробленої кінематичної схеми і комп'ютерного моделювання з використанням програмного продукту SOLIDWORKS спроектовано технологічне оснащення. З використанням системи SOLIDWORKS Motion проведено його кінематичний та динамічний аналіз.

При проведенні експериментальних досліджень побудовані графічні залежності впливу енергії одиничного удару та статичного навантаження на товщину шару антифрикційного покриття. Встановлено, що процес фрикційно-механічного формування АП є екологічно безпечним і економічно обґрунтованим. Результати проведеної роботи планується узагальнити для формування рекомендацій щодо практичної реалізації технології фрикційного нанесення антифрикційного покриття на неповні сферичні поверхні кульових шарнірів.

Література

1. Ющенко К.А. Инженерия поверхности / К.А. Ющенко, Ю.С. Борисов, В.Д. Кузнецов, В.М. Корж. – К. : Наукова думка, 2007. – 557с.
2. Суслов А.Г. Инженерия поверхности деталей / Суслов А.Г., Безъязычный В.Ф., Панфилов Ю.В. и др. / под ред. Суслова. А.Г. – М. : Машиностроение, 2008. – 320 с.
3. Польшер Г. Основы трения и изнашивания / Г. Польшер, Ф. Майснер ; пер. с нем. – М. : Машиностроение, 1984. – 256 с.
4. Избирательный перенос в тяжелонагруженных узлах трения / под общ. ред. Д.Н. Гаркунова. – М. : Машиностроение, 1982. – 207 с.
5. Гаркунов Д. Н. Триботехника. Конструирование, изготовление, эксплуатация машин / Д. Н. Гаркунов. – М. : Машиностроение, 2002. – 632 с.
6. Гаркунов Д.Н. Новое научное открытие в трибологии на основе самоорганизации / Д.Н. Гаркунов, Э.Л. Мельников, А.В. Щедрин // Научные труды Академии проблем качества. – 2016. – С. 348–356.
7. Балабанов В.И. Нанесение трением наноразмерных антифрикционных покрытий на детали / В.И. Балабанов, В.Ю. Болгов, С.А. Ищенко // Нанотехнологии, экология, производство. – 2010. – № 1(3). – С. 104–107.
8. Сорокин В.М. Упрочнение поверхностей валов совмещенным натиранием антифрикционных покрытий и ППД / В.М. Сорокин, С.С. Танчук, А.В. Михеев // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2011. – № 2. – С. 38–43.
9. Черкун В.В. Повышение износостойкости внешних цилиндрических поверхностей трения деталей гидроагрегатов путем применения финишной антифрикционной безабразивной вибрационной обработки (ФАБВО) / В. В. Черкун // Вібрації в техніці та технологіях. – 2013. – № 2. – С. 138–140.
10. Шепеленко И. В. Образование антифрикционного покрытия финишной антифрикционной безабразивной вибрационной обработкой / И. В. Шепеленко, В. В. Черкун // Вібрації в техніці та технологіях. – 2013. – № 3. – С. 99–104.

References

1. Yushchenko K.A. Inzheneriya poverkhni / K.A. Yushchenko, Yu.S. Borysov, V.D. Kuznetsov, V.M. Korzh. – K.: Naukova dumka, 2007.– 557 p.
2. Suslov A.H. Ynzheneryia poverkhnosty detalei / A.H.Suslov, Bezъязыchnyi V.F., Panfylvov Yu.V. / Pod red. Suslova. A.H. – M.: Mashynostroenye, 2008. – 320 p.
3. Poltser H. Osnovy treniya y yznashyvanya / H. Poltser, F. Maisner. – M.: Mashynostroenye, 1984. – 256 p.
4. Yzbyratelnyi perenos v tiazhelona hrushennykh uzлах treniya /Pod obshch.red. D.N. Harkunova. – M.:Mashynostroenye, 1982. – 207p.
5. Harkunov D. N. Trybotekhnika. Konstruyrovanye, yzghotovlenye, e'kspluatatsiya mashyn / D. N. Harkunov. – M. : Mashynostroenye, 2002. – 632 p
6. Harkunov D.N., Melnykov E.L., Shchedryn A.V. Novoe nauchnoe otkrytie v trybolohyy na osnove samoorhanyzatsyy// Nauchnye trudy Akademyy problem kachestva. 2016. pp. 348-356.
7. Balabanov V.Y. Nanesenye trenyem nanorazmernykh antyfrktsyonnykh pokrytyi na detaly / V .Y. Balabanov, V.Yu. Bolhov, S.A. Yshchenko // Nanotekhnolohyy, ekolohiya, proyzvodstvo. - 2010. No. 1, pp. 104–107.
8. Sorokyn V.M. Uprochnenye poverkhnostei valov sovmeshchennym natyranym antyfrktsyonnykh pokrytyi y PPD/ V.M.Sorokyn, S.S.Tanchuk, A.V.Mykheev y dr.// Uprochniayushchye tekhnolohyy y pokrytyia. – 2011. No. 2, pp. 38–43.
9. Cherkun V.V. Povyshenye yznosostoikosty vneshnykh tsylindrycheskykh poverkhnostei treniya detalei hydroahrehatov putem prymeneniya fynyshnoi antyfrktsyonnoi bezabrazynnoi vybratsyonnoi obrabotky (FABVO) / V. V. Cherkun // Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh. - 2013. - № 2. - S. 138-140. No. 2, pp. 138–140.
10. Shepelenko Y. V. Obrazovanye antyfrktsyonnoho pokrytyia fynyshnoi antyfrktsyonnoi bezabrazynnoi vybratsyonnoi obrabotkoi / Y. V. Shepelenko, V. V. Cherkun // Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh. - 2013. - № 3. - S. 99-104. No. 3, pp. 99–104.

Рецензія/Peer review : 13.05.2018 р.

Надрукована/Printed :13.07.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Олександренко В.П.

НОВИЙ СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ АНТИКРИЛ РАЛІЙНИХ АВТОМОБІЛІВ

В статті вирішувались такі завдання: за допомогою чисельного моделювання дослідити аеродинаміку ралійного автомобіля класу "седан"; на основі аналізу отриманих при чисельному моделюванні результатів запропонувати таке розміщення антикрил, яке забезпечить найбільшу силу притискання ралійного автомобіля до траси. На основі отриманих результатів встановлено, що в місцях класичного розміщення антикрил швидкість повітря є меншою за швидкість руху автомобіля. В той же час над кабіною автомобіля швидкість повітря в 1,5 рази вища за швидкість його руху. Запропоновано новий спосіб розміщення антикрил – над кабіною ралійного автомобіля. Як слідує з отриманих результатів, при використанні лише верхнього антикрила, площа якого дорівнює сумарній площі переднього та заднього антикрил, очікується підвищення притискної сили в 3,68-4,15 разів. При використанні лише верхнього антикрила, площа якого в 2,5 разу більша за сумарну площу переднього та заднього антикрил, очікується підвищення притискної сили в 9,20-10,37 разів. Приріст притискної сили можна корисно використовувати в необхідних межах для підвищення розгінних характеристик автомобіля, покращення його керованості та зменшення вірогідності аварійних ситуацій при відриві автомобіля від покриття траси під час долаття її нерівностей. На розроблене рішення подано заяву на винахід.

Ключові слова: ралійний автомобіль, аеродинаміка, антикрило, притискна сила, вдосконалення.

OLEXANDR MIKHAILOVICH PILIPENKO, OLEXANDR VICTOROVICH BATRACHENKO
Cherkassy State Technological University

A NEW WAY TO IMPROVE THE PERFORMANCE OF THE AIRFOIL OF A RALLY CAR

Increasing the effort of pushing a racing car to the motorway improves its accelerating characteristics and driveability. It is especially important for rally racing cars, which during their movement perform numerous jumps on the unevenness of the race circuit with difficult road surface. Analysis of the current state of the issue of providing high pressing force of rally racing cars showed that today it is also solved by a traditional, not very efficient way. The pressing force is created by the system, which consists of two airfoils, front and rear, each of them contains several working surfaces. The following tasks were solved in the article: to study the aerodynamics of a rally racing car of the "sedan" class using numerical simulation; on the basis of the analysis obtained in the numerical modeling of the results, to offer such an arrangement of airfoils, which will provide the greatest pressing force of the rally racing car to the motorway. On the basis of the obtained results it was established that in the places of classical location of the airfoils the airspeed is less than the speed of the car. At the same time, the airspeed over the cabin of the car is 1,5 times higher than the speed of its movement. A new way of placing an airfoil is offered – over a cabin of a rally racing car. As follows from the obtained results, with the use of only the upper airfoil, the area of which is equal to the total area of the front and rear airfoils, an increase of the pressing force is expected to be 3,68-4,15 times greater. When using only the upper airfoil, the area of which is 2,5 times greater than the total area of the front and rear airfoils, pressing force 9,20-10,37 times greater is expected. Increase of the pressing force can be effectively used in the necessary limits to increase acceleration characteristics of the car, improvement of its driveability and reduce of the likelihood of incidents when the car is separated from the motorway surface during overcoming its unevenness. An application for a patent was given on the developed decision.

Keywords: rally car, aerodynamics, airfoil, clamping force, refinement.

Постановка проблеми

Як відомо, для автомобілів дуже важливим є оптимальні аеродинамічні властивості, оскільки малий аеродинамічний опір обумовлює менше споживання палива. Це відноситься як для легкових так і до вантажних автомобілів [1]. Однак для гоночних автомобілів ще один аспект аеродинаміки є вкрай важливим, а саме – створення великої притискної сили за допомогою антикрил. Підвищення зусилля притискання гоночного автомобіля до траси покращує два його показники – розгінні характеристики та керованість. Особливо важливим це є для ралійних автомобілів, які під час свого руху виконують численні стрибки на нерівностях траси зі складним покриттям.

Аналіз існуючого стану питання забезпечення високої притискної сили ралійних автомобілів показав, що і сьогодні вирішується воно традиційним шляхом. Притискна сила створюється системою, яка складається з двох антикрил, переднього і заднього, кожне з яких містить по кілька робочих поверхонь. При цьому переднє антикрило розташоване в нижній частині переднього бампера. Воно помітним чином зменшує дорожній просвіт, який є важливим для швидкісного долаття нерівностей траси. Заднє антикрило розташоване на самій задній частині кузова автомобіля. Для кузова типу "седан" це багажник, для кузова типу "хетчбек" – верхня частина задньої двері.

Ефективність роботи заднього антикрила при такому розташуванні викликає сумніви, оскільки в задній частині автомобіля слід очікувати падіння швидкості потоку повітря, який набігає, внаслідок характерної зміни профілю автомобілю. Недостатньо висока швидкість потоку повітря, який набігає, в свою чергу, як відомо, обумовлює падіння підйомної сили крила або в даному випадку - зниження притискної сили антикрила.

Виходячи з цього актуальним є дослідження аеродинаміки ралійних автомобілів з метою визначення ефективності роботи антикрил при їх класичному розташуванні і, за необхідності, пошук нового більш ефективного способу їх розміщення.

Аналіз останніх джерел

Праці закордонних дослідників достатньо докладно висвітлюють різноманітні проблемні питання аеродинаміки гоночних автомобілів [2, 3]. Автор роботи [4] свої дослідження присвятив підвищенню конструктивної міцності передніх антикрил та покращенню шляхової стійкості гоночних автомобілів. Результати досліджень [5] дозволяють зменшити аеродинамічний опір автомобіля за рахунок конструктивної модифікації його кузова, а результати досліджень [6] – за рахунок конструктивної зміни днища автомобіля. В роботі [7] наведені дані, що дозволяють підвищити ефективність роботи антикрил гоночних автомобілів класу "Formula Student", які за своєю конструкцією подібні до автомобілів класу "Formula 1" та значно відрізняються від ралійних автомобілів. Автором [8] виконані дослідження з покращення курсової стійкості легкового автомобіля шляхом динамізації вертикальних робочих елементів заднього антикрила.

Проведений аналіз дозволяє визначити, що у відомих літературних джерелах відсутні дані, які присвячені обґрунтуванню класичного розміщення антикрил в ралійних автомобілях або ж розробці нових способів такого розміщення.

Метою статті є обґрунтування за допомогою чисельного моделювання нового способу розміщення антикрил ралійного автомобіля, спрямованого на підвищення їх притискової здатності.

Виклад основного матеріалу

В статті вирішувались такі завдання:

1) за допомогою чисельного моделювання дослідити аеродинаміку ралійного автомобіля класу "седан";

2) на основі аналізу отриманих при чисельному моделюванні результатів запропонувати таке розміщення антикрил, яке забезпечить найбільшу силу притискання ралійного автомобіля до траси.

Моделювання проводилось із використанням програмного комплексу FlowVision. Він призначений для розрахунку гідро- та газодинамічних задач (разом зі зв'язаними процесами тепло- і масопереносу) в широкому діапазоні чисел Рейнольдса в довільних тривимірних областях. Базовими в програмі є рівняння Нав'є-Стокса, рівняння нерозривності потоку, рівняння турбулентної в'язкості. В даній роботі в ході моделювання була використана k-ε модель турбулентної течії потоку. Чисельне інтегрування рівнянь за просторовими координатами проводилось з використанням прямокутної адаптивної локально подрібненої сітки. Такий підхід забезпечує можливість при вирішенні завдань провести адаптацію сітки до особливостей геометрії поблизу кордонів.

При моделюванні прийнято наступні допущення: об'єктом досліджень обрано 3D-модель ралійного автомобіля марки «Subaru Impreza WRC», автомобіль нерухомий, на нього набігає потік повітря із відповідною швидкістю, вплив поперечних геометричних параметрів автомобіля на особливості його аеродинаміки не враховувався, автомобіль рухається по прямолінійній плоскій поверхні.

Були використані наступні параметри: густина повітря $1,2 \text{ кг/м}^3$; температура $t=20 \text{ }^\circ\text{C}$; швидкість набігаючого повітря $v_{\text{набіг}}=19,44 \text{ м/с}$, $v_{\text{набіг}}=27,78 \text{ м/с}$ та $v_{\text{набіг}}=36,11 \text{ м/с}$ (даний режим відповідає руху автомобіля зі швидкостями 70 км/год, 100 км/год та 130 км/год відповідно). При визначенні граничної умови стінки була задана шорсткість поверхні, яка характерна для матеріалу зовнішньої поверхні кузова автомобіля. При моделюванні був використаний спосіб візуалізації отриманих результатів, за допомогою векторного поля швидкості. Це дозволяло визначити місця зміни величини швидкості і зміни напрямку руху потоку повітря.

На рис. 1 показано результати моделювання. Аналізуючи отримані результати в контексті поставлених в роботі задач, можна виділити три характерні зони обтікання повітрям профілю автомобіля: 1 – зона розміщення переднього антикрила у відомих конструкціях ралійних автомобілів, 2 – зона над дахом кузова, 3 – зона розміщення заднього антикрила у відомих конструкціях ралійних автомобілів.

Яскраво видно, що для усіх досліджених режимів руху автомобіля швидкість v_2 потоку повітря в зоні 2 над дахом кузова суттєво зростає по відношенню до початкової швидкості повітря. В середньому вона зростає в 1,48 разу. Це означає, що, наприклад, при русі автомобіля зі швидкістю $v_{\text{набіг}}=100 \text{ км/год}$ потік повітря, який огинає дах кузова зверху, рухається зі швидкістю $v_2=148 \text{ км/год}$. Пояснити це можна тим, що дах кузова автомобіля утворює немовби звуження каналу по якому рухається повітря. В ньому швидкість потоку збільшується у відповідності до закону Бернуллі.

Звертають на себе увагу і особливості аеродинаміки в зонах 1 і 3. В них швидкість потоку повітря навпаки є меншою за початкову швидкість (за швидкість руху автомобіля). В зоні розміщення переднього антикрила 1 потік гальмується внаслідок лобового опору передньої частини капоту автомобіля та внаслідок необхідності двохразової різкої зміни напрямку руху на 90° для огинання переднього антикрила. Як наслідок, швидкість повітря v_1 в цій зоні є в середньому в 1,87 рази меншою за швидкість руху автомобіля.

В зоні 3 потік повітря гальмується внаслідок характерної зміни геометричної форми кузова в зоні заднього скла (висота профілю автомобіля зменшується) та внаслідок утворення завихрень потоку. Це призводить до зниження швидкості повітря v_3 в зоні розташування заднього антикрила в середньому на 10% в порівнянні зі швидкістю руху автомобіля.

Якщо ж порівняти швидкості v_1 і v_3 зі швидкістю v_2 , то виявляється, що швидкість в зоні 1 є нижчою в середньому в 2,75 разу, а в зоні 3 – в 1,62 разу. Це дозволяє зробити висновок, що класичне розміщення антикрил ралійних автомобілів в передній та задній частинах кузова (рис. 1, г) не дозволяє максимально ефективно використовувати кінетичну енергію потоку повітря, який набігає на автомобіль, для

створення зусилля притискання автомобілю до траси.

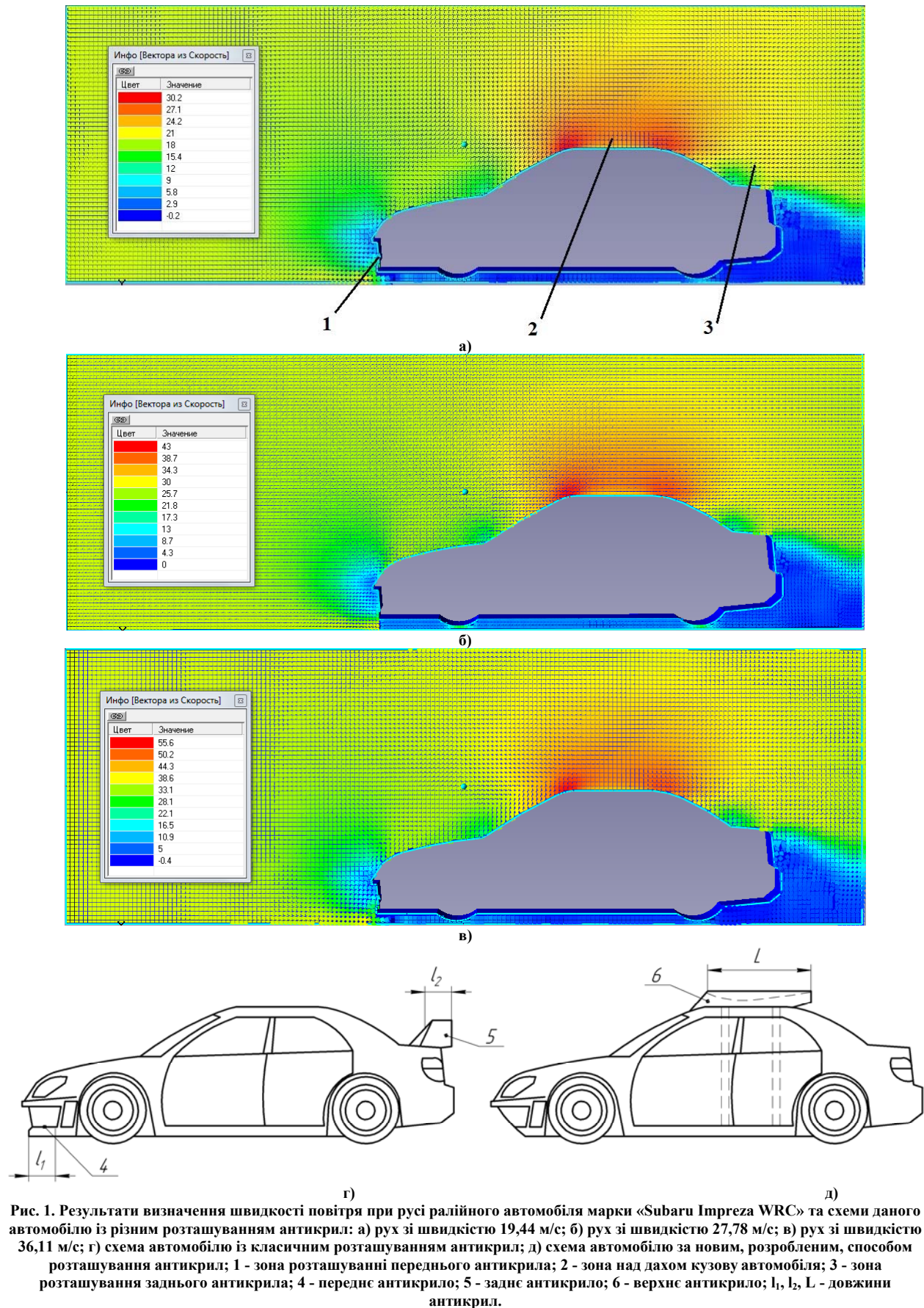


Рис. 1. Результати визначення швидкості повітря при русі ралійного автомобіля марки «Subaru Impreza WRC» та схеми даного автомобіля із різним розташуванням антикрил: а) рух зі швидкістю 19,44 м/с; б) рух зі швидкістю 27,78 м/с; в) рух зі швидкістю 36,11 м/с; г) схема автомобіля із класичним розташуванням антикрил; д) схема автомобіля за новим, розробленим, способом розташування антикрил; 1 - зона розташування переднього антикрила; 2 - зона над дахом кузову автомобіля; 3 - зона розташування заднього антикрила; 4 - передні антикрило; 5 - задні антикрило; 6 - верхні антикрило; l_1 , l_2 , L - довжини антикрил.

Наступний висновок, який логічно випливає з аналізу результатів моделювання, дозволяє запропонувати нове розміщення антикрил над дахом кузову ралійного автомобіля (рис. 1, д) з обов'язковою

наявністю робочих площин антикрил в зоні, максимально наближений до лобового скла. При цьому над дахом кузову може бути встановлено двоє або більше антикрил із загальною площею робочої поверхні, як у відомих конструкціях автомобілів. А може бути встановлене одне антикрило із довжиною, яка наближена до довжини даху кузову (рис. 1, д), зважаючи на конструктивні резерви, що характерні для зони 2 ралійного автомобіля.

Притискна сила, що діє на ралійний автомобіль, може бути збільшена за рахунок фактору збільшеної робочої площі антикрила 6. З метою підвищення надійності конструкції, ралійний автомобіль доцільно обладнати додатковими стійками, які будуть передавати силу притискання від антикрила на нижню частину кузову автомобіля.

Оцінити величину притискної сили антикрил можна за допомогою відомого виразу [9]:

$$F = C_y \frac{\rho v^2}{2} S, \quad (1)$$

де F - притискна сила, Н; C_y - коефіцієнт притискної сили, який залежить від кута атаки;
 ρ - густина повітря, кг/м³; v - швидкість потоку повітря, який набігає, м/с; S - робоча площа крила, м².

Порівняти величину притискної сили для класичного $F_{\text{клас}}$ та нового $F_{\text{нов}}$ способів розміщення антикрил можна за значення коефіцієнту збільшення притискної сили K_F . Він визначається за виразом, отриманим на основі (1) шляхом елементарних алгебраїчних перетворень:

$$K_F = \frac{F_{\text{нов}}}{F_{\text{клас}}} = \frac{v_2^2 S_2}{v_1^2 S_1 + v_3^2 S_3}, \quad (2)$$

де v_1 - швидкість потоку повітря в зоні 1 (відповідно до рис. 1), м/с; v_2 - швидкість потоку повітря в зоні 2;

v_3 - швидкість потоку повітря в зоні 3; S_1 - робоча площа переднього антикрила 4, яке розташоване в зоні 1, м²; S_2 - робоча площа верхнього антикрила 6, яке розташоване в зоні 2, м²; S_3 - робоча площа антикрила 5, яке розташоване в зоні 3, м².

В таблиці 1 наведено дані, отримані при чисельному моделюванні та при розрахунках за виразом (2).

Таблиця 1

Результати визначення швидкості повітря в характерних зонах ралійного автомобіля та порівняння ефективності роботи антикрил при класичному та розробленому способах їх розміщення

Швидкість руху автомобіля $v_{\text{набг}}$, м/с	Середня швидкість повітря в характерних зонах			Коефіцієнт збільшення притискної сили K_F за різної площі верхнього антикрила (відповідно до рис. 1, г, д)	
	v_1 , м/с	v_2 , м/с	v_3 , м/с	при $L=l_1+l_2$ та $l_1=l_2$	при $L=2,5(l_1+l_2)^*$ та $l_1=l_2$
19,44	10,38	29,15	17,93	3,96	9,22
27,78	13,84	41,38	25,17	4,15	10,37
36,11	21,65	53,27	32,78	3,68	9,20

* - значення $L=2,5$ обумовлене можливістю збільшити довжину антикрила на всю довжину даху кузову даної марки автомобіля

Як видно з результатів розрахунку, при використанні верхнього антикрила 6, площа якого дорівнює сумарній площі переднього 4 та заднього 5 антикрил, очікується підвищення притискної сили в 3,68-4,15 разів у порівнянні з притискною силою при класичному розміщенні антикрил. Такий результат досягається лише за рахунок нового способу розташування антикрила на автомобілі (над дахом кузову).

При використанні верхнього антикрила 6, площа якого в 2,5 рази більша за сумарну площу переднього та заднього антикрил (верхнє антикрило розташовується на всю довжину даху кузову), очікується підвищення притискної сили в 9,20-10,37 раз у порівнянні з притискною силою при класичному розміщенні антикрил в передній та задній частинах автомобіля. Такий результат досягається за рахунок нового розміщення антикрила та збільшення його довжини в межах довжини даху кузову.

Висновки

Отримані результати доводять перспективність використання нового способу розміщення антикрил на ралійних автомобілях. Приріст притискної сили у 3,68-10,37 раз можна корисно використовувати в необхідних межах для підвищення розгінних характеристик автомобіля, покращення його керованості та зменшення вірогідності аварійних ситуацій при відриві автомобілю від покриття траси під час долання її нерівностей.

На розроблене технічне рішення подано заявку на винахід.

Література

1. Евграфов А.Н. Аэродинамика автомобиля / А. Н. Евграфов. – М. : МГИУ, 2010. – 356 с.

2. Joseph Katz. Race Car Aerodynamics: Designing for Speed. – Cambridge, 2006. – 279 p.
3. Xin Zhang. Ground Effect Aerodynamics of Race Cars / Xin Zhang, Willem Toet, Jonathan Zerihan. – Applied Mechanics Reviews, 2009. – Vol. 9. – 33–49 p.
4. Хряков К. С. Повышение устойчивости скоростных безрельсовых транспортных средств при прохождении кривых малого радиуса : дисс. ... кандидата технических наук : 05.02.02. – Москва, 2016. – 196 с.
5. Переверзев, С. Б. Улучшение обтекаемости легкового автомобиля путем совершенствования параметров кузова : дисс. ... кандидата технических наук : 05.05.03. – Москва, 2005. – 155 с.
6. Ильин Е. В. Совершенствование аэродинамики подднищевой зоны легкового автомобиля : дисс. ... кандидата технических наук : 05.05.03. – Москва, 2003. – 151 с.
7. Анучин И. Е. Влияние расположения антикрыльев на аэродинамические характеристики спортивного автомобиля класса формула-студент / И. Е. Анучин, А. В. Тумасов, В. В. Беляков // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, 2014. – № 4(106). – С. 189–195.
8. Олейник И. В. Аэродинамическая корректировка поперечных ускорений автомобиля при боковом скольжении / И. В. Олейник, В. Л. Супрун // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту Донецького національного технічного університету. – 2012. – № 2. – С. 158–164.
9. Краснов Н.Ф. Аэродинамика. Ч.1: Основы теории. Аэродинамика профиля и крыла. Ч. 1. Изд. 4 / Н. Ф. Краснов. – М. : URSS, 2010. – 496 с.

References

1. Evhrafo, A.N. Aerodynamika avtomobilya / A. N. Evhrafo. – M.: MHYU, 2010. – 356 s.
2. Joseph Katz. Race Car Aerodynamics: Designing for Speed. - Cambridge, 2006. - 279 p.
3. Xin Zhang. Ground Effect Aerodynamics of Race Cars / Xin Zhang, Willem Toet, Jonathan Zerihan. - Applied Mechanics Reviews, 2009. - Vol. 9. - 33-49 p.
4. Khriakov, K. S. Povysheniye ustoychivosti skorostnykh bezrel'sovykh transportnykh sredstv pry prokhozhdenyy kryvykh maloho radyusa: dySSERTatsiya ... kandydata tekhnicheskyykh nauk : 05.02.02.- Moskva, 2016.- 196 s.
5. Pereverzev, S. B. Uluchsheniye obtekaemosti lehkovogo avtomobilya putem sovershenstvovaniya parametrov kuzova: dySSERTatsiya ... kandydata tekhnicheskyykh nauk : 05.05.03.- Moskva, 2005.- 155 s.
6. Ylyn, E. V. Sovershenstvovaniye aerodynamiky poddnyshchevoi zony lehkovogo avtomobilya: dySSERTatsiya ... kandydata tekhnicheskyykh nauk : 05.05.03.- Moskva, 2003.- 151 s.
7. Anuchyn, Y. E. Vliyaniye raspolozheniya antykr'yev na aerodynamicheskiye kharakterystyky sportyvnoho avtomobilya klassa formula-student / Y. E. Anuchyn, A. V. Tumasov, V. V. Beliakov // Trudy Nyzhegorodskoho hosudarstvennoho tekhnicheskoho unyversytetu im. R.E. Alekseeva, 2014. - № 4(106) - S. 189-195.
8. Oleinyk, Y. V. Aerodynamicheskaia korrektyrovka poperechnykh uskorenyi avtomobilya pry bokovom skolzhenyy / Y. V. Oleinyk, V. L. Suprun // Visti Avtomobilno-dorozhnoho instytutu Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu, 2012. - №2. - S. 158-164.
9. Krasnov, N.F. AehroDinamika. CH.1: Osnovy teorii. AehroDinamika profilya i kryla. CH.1. Izd.4. / N. F. Krasnov. - M: URSS/ - 2010yu - 496 s.

Рецензія/Peer review : 22.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 03.07.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ УДАРУ ПРИ СТАТИКО-ІМПУЛЬСНОМУ ЗМІЦНЕННІ ПОВЕРХНЕВИМ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

В статті розглянуто питання підвищення ефективності використання енергії ударного навантаження. Проведено огляд останніх досліджень і публікацій та встановлено перспективні напрямки підвищення ефективності використання енергії удару. Запропоновано нову модель ударної системи з статичним навантаженням бойка та інструмента. Розроблено методику розрахунку енергосилових параметрів ударної системи та отримано математичні залежності. Одержано математичну залежність для розрахунку оптимальної енергії удару в залежності від радіуса деформуючого тіла. Запропоновано схему зміцнення біполярним ударом. Проведено комп'ютерне моделювання процесу статико-імпульсного поверхневого зміцнення.

Ключові слова: пластичне деформування, метод, енергія, параметр, зміцнення.

M.M. KOSIYUK, S.A. KOSTYUK
Khmelnitsky National University

INCREASING THE EFFICIENCY USE IMPACT ENERGY AT STATIC-PULSED SURFACE-PLASTIC STRENGTHENING

The problem of increasing the efficiency use shock load energy at static-pulsed surface-plastic strengthening are considered. The review of recent researches and publications was carried out and promising directions for increasing the efficiency use energy of blow were established. The influence of the impact system parameters on the shape and amplitude of the impact pulse is analyzed. The recommended range of correlations of the geometric parameters of the elements of the impact system is established. A new model of impact system with a static load of hammer and tool is offered. The method of calculating the energy-power parameters of proposed impact system is developed and mathematical dependences are obtained. To reaffirmation the efficiency of the proposed scheme, experimental research were carried out on the influence of the static load of hammer and tool on the change of micro hardness surface layer. In purpose to increase the productivity of the process machining and the energy use coefficient, a bipolar impact strengthening scheme is proposed, which is characterized in that during the processing of the part simultaneously receives two opposite deformation waves, whose energy is maximally used for deformation of the surface layer of the part and is not absorbed by a massive anvil, the absence of which reduces the metal capacity of the device design. The mathematical dependence of the calculation of impact energy on the use of spherical deforming bodies of different radii is obtained. Research was carried out of the stress-strain state of samples, which was strengthened by the bipolar impact scheme in the Abaqus software system, was obtained and contour voltage distribution graphs were obtained with reinforced rectangular and round-section samples.

Keywords: plastic deformation, method, energy, parameter, strengthening.

Постановка проблеми

Одним з основних напрямків підвищення ефективності використання енергії удару є забезпечення умов для протікання хвильових процесів в ударній системі за рахунок комбінацій геометричних форм, розмірів, акустичних жорсткостей виконавчих органів ударної системи.

Також підвищення ефективності процесу зміцнення можливе за рахунок удосконалення схеми обробки та введення додаткових параметрів, що сприяє розширенню технологічних можливостей способу (підвищення продуктивності, покращення фізико-механічних властивостей зміцненого поверхневого шару).

Заходи спрямовані на підвищення експлуатаційних властивостей поверхневого шару контактуючих поверхонь деталей повинні забезпечувати достатню твердість, стискаючі залишкові напруження, дрібнодисперсну структуру, шорсткість наближену до експлуатаційної та геометрично визначений на поверхні мастило утримуючий мікрорельєф. Такі характеристики поверхні можливо забезпечити за рахунок зміцнення методом поверхнево-пластичного деформування статико-імпульсною обробкою (ППД СІО), який характеризується широкими технологічними можливостями [1, 2, 3].

Під час статико-імпульсного зміцнення в залежності від схеми та параметрів процесу обробки, енергія ударного навантаження може витрачатись з різним коефіцієнтом використання. Тому питання вибору схеми обробки та розроблення методики розрахунку оптимальних параметрів процесу зміцнення, які б забезпечували максимальний коефіцієнт використання енергії удару – задача актуальна.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Технологія СІО деталей машин передбачає статичне та періодичне імпульсне навантаження оброблюваної поверхні інструментом.

При зміцненні поверхневого шару деталей можуть застосовуватись деформуючі елементи (ДЕ) з різноманітною геометрією робочої поверхні та різні способи підведення енергії в кратер деформації. Як показує практика в процесах динамічного зміцнення з одночасним формуванням на поверхні мастило утримуючого мікрорельєфу в якості ДЕ застосовуються тіла переважно сферичної форми з радіусами $R=1...5$ мм. В залежності від фізико-механічних властивостей матеріалів інструмента та заготовки, а також від бажаної глибини, текстури і ступеня зміцнення, призначають режими обробки та радіус ДЕ, які визначають енергоємність процесу зміцнення.

Формування зміцненого поверхневого шару відбувається в результаті послідовного нанесення на поверхню заготовки пластичних відбитків, які формуються під дією статичного та керованого динамічного навантаження інструмента.

Статичне навантаження забезпечує постійний контакт інструмента з оброблюваною поверхнею та сприяє більш повному використанню енергії динамічного навантаження (удару).

Проведені дослідження [4] вказують, що на форму ударних імпульсів значний вплив чинять форма та геометричні параметри бойка й інструмента (хвилевода). Встановлено рекомендований діапазон співвідношень геометричних параметрів елементів ударної системи (бойок-інструмент) гладкої циліндричної форми, (рис. 1): $L_1/L_2=3...5$; $d_1/d_2=1...3$; $L_2/d_2 \geq 3$ та експериментально підтверджено, що кількість енергії, яка передається зміцнювальній поверхні ударною системою з ступінчастим бойком на 20...25% вища, порівняно з системою, яка складається з бойка гладкої циліндричної форми, (рис. 2).

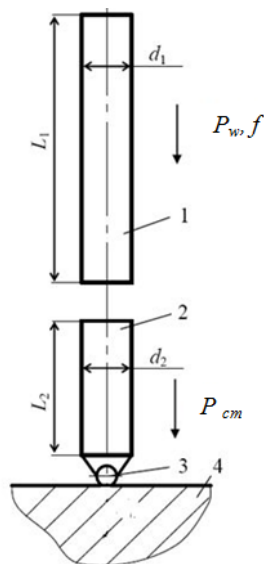


Рис. 1. Схема ударної системи бойок-інструмент гладкої циліндричної форми
1 – бойок; 2 – інструмент; 3 – деформуючий елемент; 4 – зразок

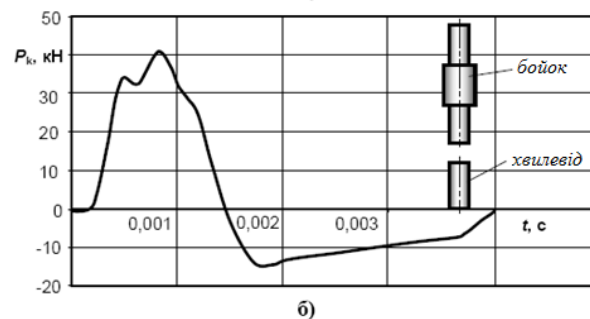
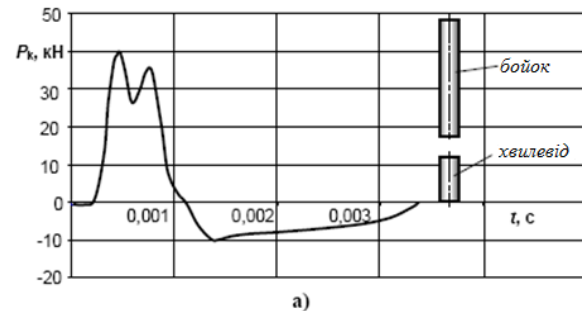


Рис. 2. Діаграма імпульсів, що генеруються ударною системою бойок-інструмент
а – бойок гладкої циліндричної форми; б – бойок ступінчатої циліндричної форми

Якщо при статико-імпульсному зміцненні в ударній системі проходять хвильові процеси, то необхідно враховувати вплив кінцевих розмірів зразків, оскільки зміцнення здійснюється за рахунок передачі енергії у вигляді хвилі деформації, яка перетворюється на всіх границях зі змінною акустичною жорсткістю, в тому числі і на границі кінцевих розмірів зміцнюваного зразка. В результаті дії деформаційної хвилі на матеріал зразка відбувається зміна твердості його поверхневого шару і структури в залежності від кінцевих розмірів деталі [5].

Рівномірність зміцнення при СІО визначається перекриттям пластичних відбитків, залежить від режимів обробки та описується коефіцієнтом перекриття K :

$$K = 1 - \frac{V_s}{\delta f 60} \quad (1)$$

де V_s – швидкість подачі, мм/хв; f – частота ударів, Гц; δ – розмір пластичного відбитка який вимірюється в напрямку подачі, мм.

В результаті досліджень встановлено, що при режимах обробки ($0 \leq K \leq 0,5$) формується явно виражена гетерогенна структура зміцненого поверхневого шару [3]. Тобто утворюються ділянки високої та низької твердості, що забезпечує раціональний стан поверхні яка сприймає циклічні навантаження.

Раніше таку структуру отримували методами термічної обробки (ТО) [6], хіміко-термічної обробки (ХТО) [7] та завдяки нанесенню покриттів [8].

У роботах [9, 10] та ін. встановлена висока ефективність застосування зміцнення поверхневого шару комбінованими методами ППД для підвищення експлуатаційних характеристик деталей машин.

Аналіз способів та пристроїв для поверхневого зміцнення методами ППД вказує на доцільність застосування СІО та проведення заходів з підвищення ефективності використання енергії удару, а також необхідність розробки верстатних пристроїв, які б дозволяли формувати зміцнений поверхневий шар з одночасним нанесенням геометрично визначеного на поверхні мастило утримуючого мікрорельєфу та інженерної методики розрахунку режимів обробки.

Мета статі. Підвищення ефективності використання енергії удару при формуванні зміцненого поверхневого шару методом ППД СІО.

Виклад основного матеріалу дослідження

Зміцнювальну обробку ППД як правило використовують для чистових та викінчувальних операцій технологічного процесу, замість або після ТО.

Метод викінчувальної статико-імпульсної обробки порівняно з чистовим точінням, шліфуванням та поліруванням характеризується рядом переваг: відсутнє перерізування волокон металу, створюється дрібнодисперсна структура в поверхневому шарі; відсутнє шаржування оброблюваної поверхні абразивними частинками; відсутні термічні дефекти; забезпечується стабільна якість поверхні, зберігається вихідна форма заготовки; створюється сприятлива форма мікронерівностей із шорсткістю поверхні наближеної до робочої; є можливість створення геометрично визначеного на поверхні мастило утримуючого мікрорельєфу; в поверхневому шарі створюються сприятливі залишкові напруження стиску; плавно і стабільно підвищується твердість поверхні.

Викінчувальна статико-імпульсна зміцнююча обробка підвищує зносостійкість, контактну витривалість та інші експлуатаційні властивості оброблюваних деталей за умови призначення оптимальних режимів обробки.

Результат зміцнення при ППД СЮ залежить від властивостей матеріалу, форми ударного імпульсу, розмірів заготовки і деформуючого тіла та енергії удару.

Для раціонального використання енергії удару необхідно забезпечити формування ударного імпульсу оптимальної форми, амплітуда якого зростає з інтенсивністю рівною інтенсивності опору під час впровадження інструмента в поверхню зміцнювального зразка. Формування імпульсу такої форми (рис. 2, б) можливе при ударі циліндричним ступінчастим бойком по статично навантаженому інструменту, геометричні співвідношення розмірів яких відповідають рекомендованим.

При розробці машин ударної дії однією з головних задач є підвищення ефективності використання енергії, що надходить від генератора механічних імпульсів (ГМІ) в зону деформації. Для вирішення даної задачі в роботі запропоновано нову модель ударної системи ГМІ з додатковим статичним навантаженням ступінчатого бойка.

З класичної теорії удару максимальна передача енергії бойка інструменту можлива за умови, коли після удару напрямки векторів швидкостей тіл співпадають і продовжують рух як одне ціле.

Конструктивна схема запропонованої ударної системи з додатковим статичним навантаженням бойка представлена на (рис. 3).

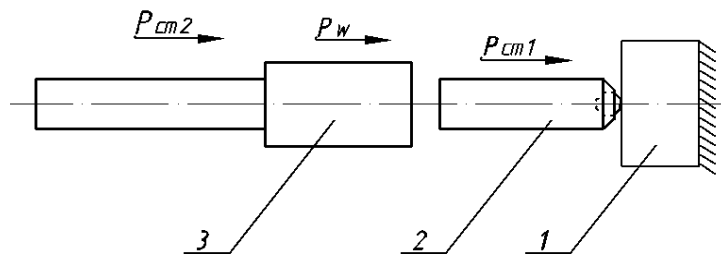


Рис. 3. Конструктивна схема ударної системи з статичним навантаженням бойка та інструмента
1 – деталь; 2 – інструмент; 3 – боек

Статичне та динамічне навантаження бойка забезпечується за рахунок енергії пружно деформованого тіла (стисненої пружини). Характеристика пружини підбирається таким чином, щоб частина її потенціальної енергії перетворювалась в кінетичну енергію бойка (W_u), а інша її частина витрачалась на статичне навантаження бойка (P_{cm2}), і унеможлилювала його відрив (відскок) від інструмента.

Якщо не враховувати статичне навантаження бойка, то коефіцієнт передачі енергії бойка інструменту розраховується за формулою, [11]:

$$\eta = 1 - 4e^{-2(1+0.5e^{-2\alpha})}, \quad (2)$$

де α – акустична жорсткість

$$\alpha = \frac{m_1}{m_2}, \quad (3)$$

де m_1 – маса інструмента, m_2 – маса бойка.

Якщо вважати, що максимальне значення $\eta_{max} = 1$, то енергію відскоку можна знайти:

$$W_e = (1 - \eta) W_u, \quad (4)$$

де W_u – енергія удару.

Таким чином мінімально-необхідна потенційна енергія стисненої пружини W_n розраховується за умови:

$$W_n \geq W_u + W_e \quad (5)$$

Отже

$$W_u + W_e = W_u + (1 - \eta) W_u = (2 - \eta) W_u \quad (6)$$

Або

$$W_n \geq (2 - \eta) W_u \quad (7)$$

Згідно із законом збереження механічної енергії: сума кінетичної і потенційної енергії тіла зберігається при його механічному русі.

Для випадку навантаження бойка згідно із запропонованою схемою, (рис. 4) закон збереження енергії можна записати наступним чином:

$$\frac{m_1 v_0^2(t_2)}{2} + \frac{k(x_1 + x_2)^2}{2} + m_1 g x_2 = \frac{m_1 v_1^2(t_2)}{2} + \frac{k x_1^2}{2}, \quad (8)$$

де x_1 – величина стиску пружини регулювальною втулкою; x_2 – величина стиску пружини за рахунок підйому кулачка генератора механічних імпульсів; k – жорсткість пружини бойка; t_1, t_2 – проміжки часу; m_1 – маса бойка; v_0 – швидкість бойка в початковий момент часу t_1 ; v_1 – швидкість бойка в момент часу t_2 (удар по інструменту).

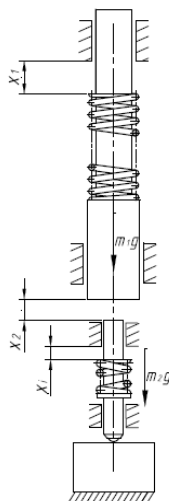


Рис. 4. Розрахунково-конструктивна схема ударної системи з додатковим навантаженням бойка

Кінетична енергія бойка в момент удару розраховується за формулою:

$$W_{kl} = \frac{m_1 v_1^2(t_2)}{2} = \frac{k(x_1 + x_2)^2}{2} - \frac{k x_1^2}{2} + m_1 g x_2 = \frac{k(x_2^2 + 2x_1 x_2)}{2} + m_1 g x_2 \quad (9)$$

Передударна швидкість бойка визначається з формули (9):

$$v_1 = \sqrt{\frac{k}{m_1} (x_2^2 + 2x_1 x_2) + 2g x_2} \quad (10)$$

В момент дотику торця бойка (який в цей момент має швидкість v_1) з торцем інструмента, тіла набувають спільної швидкості v , яку будемо вважати початковою швидкістю удару.

Згідно із законом збереження імпульсу:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v, \quad (11)$$

де v_2 – швидкість інструмента до удару з бойком, $v_2 = 0$

Звідки:

$$v = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2} = \frac{v_1}{1 + \frac{m_2}{m_1}} \quad (12)$$

З врахуванням формули (10):

$$v = \frac{m_1 \sqrt{\frac{k}{m_1} (x_2^2 + 2x_1 x_2) + 2g x_2}}{m_1 + m_2} \quad (13)$$

Кінетична енергія системи в момент удару:

$$W_{kn} = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) \left(\frac{m_1 \sqrt{\frac{k}{m_1} (x_2^2 + 2x_1 x_2) + 2g x_2}}{m_1 + m_2} \right)^2 = \frac{m_1^2 \left(\frac{k}{m_1} (x_2^2 + 2x_1 x_2) + 2g x_2 \right)}{2(m_1 + m_2)} \quad (14)$$

Потенційна енергія навантаженого інструмента розраховується за формулою:

$$W_{n2}, \quad (15)$$

де k_i – жорсткість пружини інструмента; x_i – величина стиску пружини інструмента.

Повна енергія ударної системи в момент удару:

Або

$$\frac{m_1 \left(\frac{k}{m_1} (x_1^2 + 2x_1 x_2) + 2g x_2 \right)}{2(m_1 + m_2)} + \frac{k x_1^2}{2} + \frac{k_1 \cdot x_1^2}{2} \quad (17)$$

Потенціальна енергія ударної системи до удару:

$$W_n = m g x_2 + \quad (18)$$

Використання статичних навантажень бойка та інструмента при СІО дозволяє більш ефективно використовувати енергію ударних імпульсів і розширює можливості формування зміцненого поверхневого шару з необхідною рівномірністю зміцнення.

Оцінка впливу статичних навантажень бойка та інструмента на процес зміцнення виявлялась по змінні мікротвердості зміцненого поверхневого шару зразків. Вимірювання мікротвердості проводилось на універсальному мікротвердомірі ПМТ-3 в центрі пластичного відбитка.

Для виключення впливу параметрів СІО на процес досліджень використовувався експериментальний стенд (рис.5) з постійними технологічними параметрами та інструментом з сферичним деформуючим тілом $R=1.5$ мм зі сталі ШХ 15 термообробленої до твердості 61 HRC з шорсткістю $R_a = 0,1$ мкм.

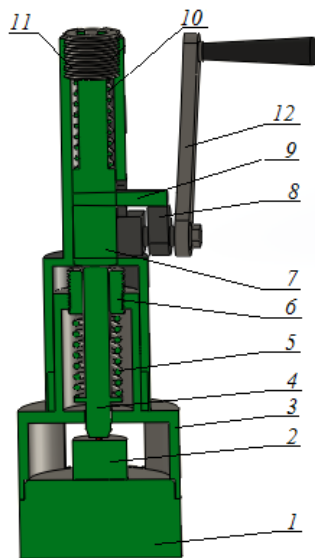


Рис. 5. Загальний вигляд експериментального стенду

1 – наковалня; 2 – зразок; 3 – корпус; 4 – інструмент; 5 – пружина; 6 – регулювальна втулка; 8 – кулачок; 9 – штовхач; 10 – пружина; 11 – регулювальна втулка; 12 – рукоятка

Дослідження проводились в три етапи (без статичного навантаження, з статичним навантаженням інструмента $P_{cm1} = 40$ Н, з статичним навантаженням бойка та інструмента $P_{cm1} = 40$ Н, $P_{cm2} = 150$ Н) на зразках однакових розмірів зі сталі 40Х, нормалізованої до твердості $HV^{100} = 313$, при постійній енергії удару $W=2.35$ Дж.

Схеми навантажень бойка та інструмента при експериментальних дослідженнях відображені на (рис.6), а одержані результати на (рис. 7).

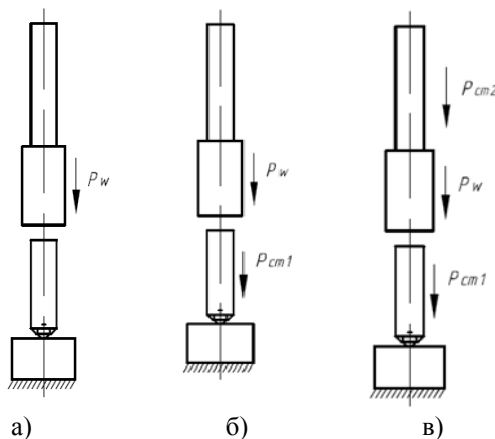


Рис. 6. Схеми навантажень бойка та інструмента

а) без статичного навантаження; б) з статичним навантаженням інструмента; в) з статичним навантаженням бойка та інструмента

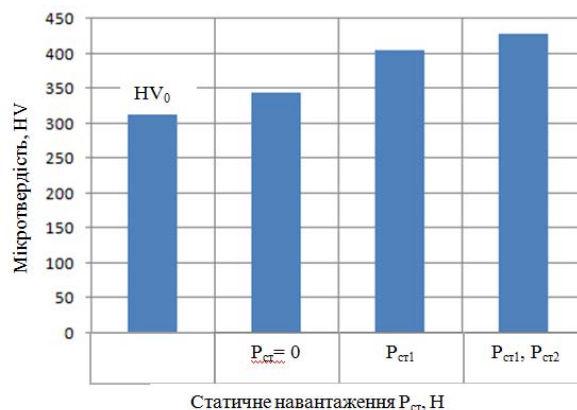


Рис. 7. Вплив статичного навантажень бойка та інструмента на зміну мікротвердості поверхневого шару

Аналіз отриманих результатів показав, що схема з використанням статичного навантаження бойка та інструмента при однаковій енергії удару забезпечує підвищення мікротвердості до 20% у порівнянні з традиційною схемою обробки (без статичного навантаження), що свідчить про зростання коефіцієнта використання енергії.

Для підвищення продуктивності процесу обробки та коефіцієнта використання енергії запропоновано схему зміцнення біполярним ударом, (рис 8). За такої схеми обробки деталь одночасно сприймає дві зустрічні деформаційні хвилі, енергія яких максимально використовується під час деформації поверхневого шару заготовки і не поглинається масивною наковальнею, відсутність якої знижує металоємкість конструкції пристрою.

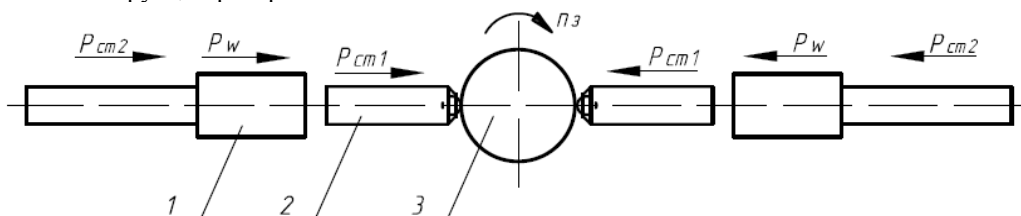


Рис. 8. Схема зміцнення біполярним ударом
1 – боек; 2 – інструмент; 3 – заготовка

Для перевірки ефективності запропонованої схеми, розроблена методика комп'ютерного моделювання та проведені дослідження процесу ППД СЮ у програмному комплексі Abaqus, який дозволяє відстежувати процес зміцнення в заданий проміжок часу. На рис. 9 наведено контурні графіки розподілу напружень при зміцненні зразків прямокутного та круглого січення для одного із кроків експерименту.

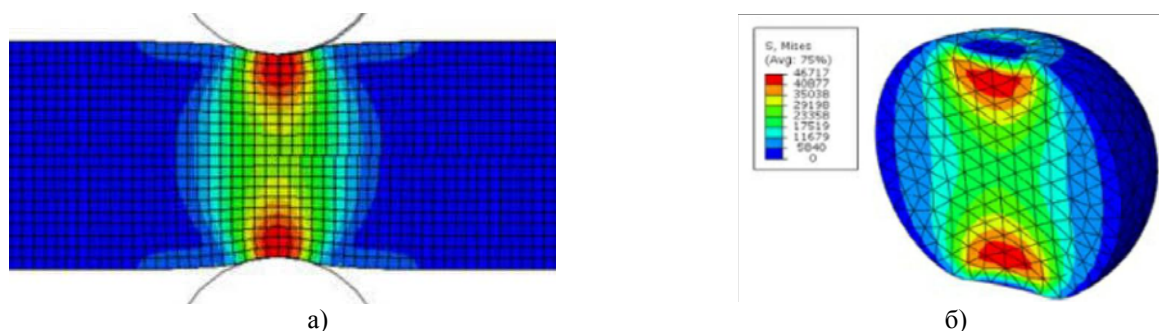


Рис. 9. Контурний графік розподілу напружень під дією біполярного удару
а – зразок прямокутного січення; б – зразок сферичної форми

У випадку гетерогенного зміцнення поверхневого шару з одночасним нанесенням геометрично визначеного на поверхні мастило утримуючого мікрорельєфу висуваються додаткові вимоги до глибини та діаметра пластичних відбитків, величина яких залежить від радіуса ДЕ, питомої енергії ударного навантаження та коефіцієнта перекриття.

Таким чином виникає необхідність в отриманні залежності, яка б дозволяла визначати необхідну енергію одиничного ударного навантаження, при зміні радіуса сфери деформуючого тіла, за умови забезпечення сталої мікротвердості.

В зв'язку зі складністю теоретичного описання ударної хвилі, яка формується при переході через інструмент в деталь, перевагу надають експериментальним дослідженням [11].

Дослідження пропонується проводити за методом експериментально-теоретичної рівноваги.

В монографії [12] фізичний зміст явища удару описаний як процес, динамічної взаємодії двох і

більше об'єктів, при чому сили, що виникають під час удару досягають екстремальних значень за дуже короткий проміжок часу і породжують хвилі напружень, які виникають в області контакту. Розглядаючи удар як процес поширення в ударній системі механічних хвиль, що являє собою послідовну передачу руху від одної ділянки речовини до іншої, а значить і передачу енергії в кратер деформації, яку доставляє джерело хвилі, тобто деформуюче тіло, що приводить в рух безпосередньо контактуючі з ним шари металу, які здеформувались передають залишкову енергію наступному шару і т.д.. Таким чином поширення деформаційної хвилі створює в тілі потік енергії, що розходить від джерела.

Якщо зробити припущення, що розміри сферичного джерела хвилі достатньо малі і енергія від нього поширюється у всі сторони рівномірно, то його можна вважати точковим, а поширена ним деформаційна хвиля буде сферичною, тобто енергія рівномірно розподілиться по всій поверхні хвильової сфери.

В такому випадку енергія, що перенесена хвилею через січення, площа якого дорівнює 1 м^2 за час рівний 1 с , тобто потужність перенесену через одиничне січення, називають інтенсивністю хвилі, яка може бути виражена наступною залежністю:

(19)

де P – потужність, Вт; S – площа поверхні, м^2 ; R – радіус сфери, м; τ – час передачі енергії, с.

Таким чином інтенсивність сферичної хвилі спадає обернено пропорційно квадрату відстані до центра джерела.

Будемо вважати, що з експерименту відомо твердість, глибину відбитка та (питому) енергію для випадку, коли радіус сфери деформуючого тіла R . У випадку застосування інструмента з радіусом сфери R_i , за умови $I = I_i = \text{const}$, $\tau = \text{const}$, можна записати наступне рівняння:

$$\frac{W}{4\pi \cdot R^2 \tau} = \frac{W_i}{4\pi \cdot R_i^2 \tau} \quad (20)$$

звідки:

$$W_i = \frac{W \cdot 4\pi \cdot R_i^2 \tau}{4\pi \cdot R^2 \tau} = \frac{W \cdot R_i^2}{R^2} \quad (21)$$

Отримана залежність 21 дозволяє визначити необхідну енергію удару в залежності від радіуса сфери R_i деформуючого тіла.

Для експериментальної перевірки формули (21) проводились дослідження з використанням сферичних деформуючих тіл з $R_i = 1 \dots 5 \text{ мм}$. Величини відповідних енергій W_i розраховувались за формулою 21.

Зразки піддавались ударному навантаженню в результаті чого на поверхні формувались відбитки.

Оцінку запропонованого методу проводили шляхом контролювання відхилень значення мікротвердості в центрі пластичних відбитків.

Результати досліджень зведені в таблицю 1.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень

Радіус деформуючого тіла R_i , мм	1	1.5	2.35	3.97
Енергія удару W_i , Дж	1	2,25	5,52	15,76
Мікротвердість HV^{100} - до зміцнення	313			
- після зміцнення $HV_{\text{сер}}$	427	429	429	416
Відносне відхилення ΔHV , %	-	0,47	0,47	2,58

В результаті проведених досліджень отримано підтвердження запропонованого методу розрахунку енергії удару в залежності від радіуса деформуючого тіла, оскільки значення відносної похибки ΔHV не перевищує 3%.

Висновки

Розглянуто шляхи підвищення ефективності використання енергії удару при зміцненні методом ППД СЮ.

Запропоновано модель ударної системи з статичним навантаженням бойка і інструмента та схему обробки біполярним ударом. Розроблено методику розрахунку параметрів ударної системи.

Проведено комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану зміцнюваних зразків.

Отримано математичну залежність для визначення величини необхідної енергії удару для сферичних деформуючих тіл різних радіусів.

Результати проведеної роботи планується використати при проектуванні та виготовленні технологічного спорядження біполярної дії для статико-імпульсного зміцнення зовнішніх неповних сферичних поверхонь кульових шарнірів.

Література

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника (конструирование, изготовление и эксплуатация машин) : учебник / Гаркунов Д.Н. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : "Издательство МСХА", 2002. – 632 с.
2. Киричек А.В. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием (библиотека технолога) / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, А.Г. Лазуткин. – М. : Машиностроение, 2004. – 288 с.
3. Киричек А.В. Равномерность наклепа после статико-импульсной обработки / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2005. – № 2. – С. 3–5.
4. Киричек А.В. Закономерности волнового деформационного нагружения очага деформации / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, С.А. Силантьев // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. – 2017. – № 2. – С. 144–147.
5. Киричек А. В. Особенности влияния конечных размеров детали на распределение микротвердости в поверхностном слое при его упрочнении волной деформации / А. В. Киричек, С. В. Барин, А.В. Яшин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2015. – № 4 (48). – С. 54–58.
6. Киричек А.В. Создание гетерогенной структуры материала статико-импульсной обработкой / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев // СТІН. – 2007. – № 12. – С. 28–31.
7. Иванов Г.Л. Повышение износостойкости деталей созданием регулярной гетерогенной макроструктуры / Г.Л. Иванов, Л.В. Картонова, А.А. Худошин // Строительные и дорожные машины. – 1997. – № 1. – С. 33–34.
8. Смелянский В.М. Технологическое повышение износостойкости деталей методом электроэрозионного синтеза покрытий / В.М. Смелянский, В.А. Земсков // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2005. – № 2. – С. 27–35.
9. Маталин А.А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин / Маталин А.А. – Киев : Техника, 1971. – 142 с.
10. Чепя П.А. Технологические основы упрочнения деталей поверхностным деформированием / Чепя П.А. – Минск : Наука и техника, 1981. – 128 с.
11. Алимов О.Д. Распространение волн деформаций в ударных системах / О.Д. Алимов, В.К. Манжосов, В.Э. Еремьянц, Ю.В. Невенчаный. – Фрунзе : ИЛИМ, 1980. – 200 с.
12. Goldsmith W. Impact. The theory and physical behavior of colliding solids / W. Goldsmith – London, 1960. – 379 p.

References

1. Harkunov D.N. Trybotekhnika (konstruyrovanye, yzghotovlenye y ekspluatatsiya mashyn): Uchebnyk. - 5-e yzd., pererab. y dop. – M.: "Yzdatelstvo MSKhA", 2002. 632 p.
2. Kyrychek A. V. Tekhnolohiya y oborudovanye statyko-ympulsnoi obrabotky poverkhnostnym plastycheskym deformyrovanyem (byblyoteka tekhnoloha)/ A. V. Kyrychek, D.L. Solovev, A.H. Lazutkin – M.: Mashynostroenye, 2004. 288 p.
3. Kyrychek A. V. Ravnomernost naklepa posle statyko-ymnulsnoi obrabotky / A. V. Kyrychek, D.L. Solovev // Uprochniaiushchye tekhnolohyy i pokrytya. 2005. No. 2, pp. 3–5.
4. Kyrychek A. V. Zakonomernosty volnovoho deformatsyonnoho nahruzheniya ochaha deformatsyy / A. V. Kyrychek, D.L. Solovev, S.A. Sylantev// herald Rybinskoi hosudarstvennoi avyatsyonnoi tekhnolohycheskoi akademyy ym. P.A. Soloveva 2017. No. 2, pp. 144–147.
5. Kyrychek A. V. Osobennosty vliyaniya konechnykh razmerov detaly na raspredelenye mykrotverdosty v poverkhnostnom sloe pry eho uprochnenyy volnoi deformatsyy. / A. V. Kyrychek, S. V. Barynov, A.V. Yashyn // herald Brianskoho hosudarstvennoho tekhnicheskoho unyversyteta.-2015. No. 4, pp. 54–58.
6. Kyrychek A.V. Sozdanye heterohennoi struktury materyala statyko-ympulsnoi obrabotkoi / A. V. Kyrychek, D.L. Solovev, A.H // STYN. 2007. No. 12, pp. 28–31.
7. Yvanov H.L. Povyshenye yznosostoikosty detalei sozdanyem rehuliarnoi heterorennoi makrostruktury / H.L. Yvanov, L.V. Kartanova, A.A. Khudoshyn // Stroytelnye y dorozhnye mashyny. 1997. No. 1, pp. 33–34.
8. Smelianskiy V.M. Tekhnolohycheskoe novyshenye yznosostoikosty detalei metodom e'lektroe'rozyonnoho synteza nokrytyi / V.M. Smelianskiy, V.A. Zemskov // Unrochniaiushchye tekhnolohyy y pokrytya. 2005. No. 2, pp. 27–35.
9. Matallyn A.A. Tekhnolohycheskye metody povysheniya dolhovechnosty detalei mashyn. Kyev: Tekhnika, 1971. 288 p.
10. Chepa P.A. Tekhnolohycheskye osnovy uprochneniya detalei poverkhnostnym deformyrovanyem. Mynsk: Nauka y tekhnika, 1981, 128 p.
11. Alymov O.D. Raspostraneniye voln deformatsyi v udarnykh systemakh / O.D. Alymov, V.K. Manzhosov, V.Э. Eremiants, Yu.V. Nevenchanyi – Frunze: YLYM, 1980. 200 p.
12. Goldsmith W. Impact. The theory and physical behavior of colliding solids / W. Goldsmith – London, 1960. 379 p.

Рецензія/Peer review : 03.05.2018 р.

Надрукована/Printed :16.07.2018 р.
Рецензент: д.ф.-м.н., проф. Качурик І.І.

ЗНИЖЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ МОСТА КЕРОВАНИХ КОЛІС САМОХІДНОЇ КОСАРКИ ШЛЯХОМ РАЦІОНАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ГІДРОЦИЛІНДРІВ

Наведено конструктивні особливості моста керованих коліс самохідної косарки з метою детального аналізу і виявлення переваг та недоліків. Виконано проектування для розробки принципово нової конструкції, шляхом покращення механізму повороту з визначенням силових факторів, які діють на елементи моста. Проаналізовано гідросхему повороту коліс, та запропоновано знизити потрібний тиск для повороту коліс і стабілізувати його в усьому діапазоні повороту. Сформовано методики щодо виявлення гідроциліндра, замикання якого в крайньому положенні дозволить мінімізувати навантаження на конструкцію моста і забезпечить його міцність при мінімальній матеріалоемності. Мінімізовано реакцію на замкненому колі в крайньому положенні гідроциліндра. Розроблено інтегровані критерії вибору гідроциліндра, який повинен замикатися сам на собі. Визначені навантаження на конструкцію моста керованих коліс косарки самохідної шляхом кінцево-елементного аналізу, що проводилося в крайніх положеннях гідроциліндрів шляхом замикання на собі одного гідроциліндра і додатку сили від другого по черзі. Проведено порівняльний аналіз напружено-деформованого стану для двох варіантів замикання гідроциліндрів механізму повороту моста керованих коліс самохідної косарки: із замкнутими штоковим і поршневым гідроциліндрами. Обчислені реакції для кожного з гідроциліндрів в крайніх положеннях повороту коліс. Розроблено рекомендації щодо вдосконалення механізму повороту самохідних косарок, проведено математичне та комп'ютерне моделювання конструкції моста керованих коліс. Проведено розрахунок розробленої конструкції на міцність та жорсткість.

Ключові слова: косарка самохідна, механізм повороту коліс, навантаженість конструкції моста, замикання гідроциліндра, інтегрований критерій.

O.I. MALAKOV, S.A. BURLAKA, R.O. YAROSHCHUK

Vinnitsia National Agrarian University

REDUCTION OF LOADING ELEMENTS OF THE CONSTRUCTION OF THE BRIDGE OF THE CIRCULATED SELF-CARPY CARTRIDGE BY THE RATIONAL INSTALLATION OF HYDROCYLINDERS

Constructive features of a self-propelled mower wheel steering wheel are presented for the purpose of detailed analysis and identification of advantages and disadvantages. Design has been done to develop a fundamentally new design, by improving the turning mechanism with the definition of force factors that act on the bridge elements. The hydraulic wheel rotation of the wheels is analyzed, and it is proposed to lower the required pressure for turning the wheels and stabilize it throughout the range of rotation. Formed methods for detecting a hydraulic cylinder, closing it in the extreme position will minimize the load on the construction of the bridge and provide its strength with minimal material capacity. Minimized reaction on a closed circuit in the extreme position of the hydraulic cylinder. Integrated criteria for choosing a hydraulic cylinder, which should be locked up on its own, are developed. The load on the design of the axle of the steering wheel of the mower is self-propelled by a finite-element analysis carried out in the extreme positions of the hydraulic cylinders by closing a single cylinder and applying the force from the second one in turn. A comparative analysis of the stress-strain state for two variants of the hydraulic cylinder closing of the turning mechanism of the axle of the steering wheel of the self-propelled mower: with closed rod and piston hydraulic cylinders. Calculated reactions for each of the hydraulic cylinders in the extreme positions of the turning of the wheels. Recommendations for improving the mechanism of rotation of self-propelled mowers were worked out, mathematical and computer modelling of the design of the bridge of the driven wheels was carried out. The calculation of the designed design for durability and rigidity is carried out.

Key words: self-propelled mower, wheel rotation mechanism, bridge construction load, hydraulic cylinder closure, integrated criterion.

Вступ

При проектуванні моста керованих коліс косарки самохідної доводиться вирішувати велику кількість різних за змістом завдань. Це забезпечення управління, мінімізація відведення, забезпечення жорсткості і міцності, зниження матеріалоемності. Загальні прийоми проектування мостів керованих коліс широко висвітлені в спеціальній технічній літературі [1–3]. Підбір та оптимізація механізму повороту коліс проводиться на ранній стадії проектування методами, описаними в [4, 5], з метою забезпечення керованості і мінімізації кутів відведення. В [6] також описані основні прийоми і принципи забезпечення міцності моста керованих коліс. При проектуванні механізму повороту коліс визначаються силові фактори, які діють на елементи моста. Саме з урахуванням дії цих факторів повинна бути забезпечена достатня міцність конструкції моста.

На більшості моделей самохідних косарок застосовується двоциліндрова схема повороту коліс. Використання цієї схеми дозволяє знизити потрібний тиск для повороту коліс і стабілізувати його в усьому діапазоні повороту. Однак при введенні в конструкцію двоциліндрової схеми, необхідно пам'ятати про те, що два гідроциліндра в крайньому положенні не замикаються одночасно. Тому реакція на замкненому гідроциліндрі від сили незамкнутого гідроциліндра з протилежного боку буде різною. Ця реакція може привести як до зниження навантаженості окремих локальних місць конструкції моста, так і до збільшення її до граничних значень.

Метою дослідження є формування методики щодо виявлення такого гідроциліндра, замикання якого в крайньому положенні дозволить мінімізувати навантаженість конструкції моста і забезпечить його міцність при мінімальній матеріалоемності.

Мета і задачі роботи

Для зниження навантаженості елементів конструкції моста необхідно мінімізувати реакцію на замкнутому в крайньому положенні гідроциліндрі.

В крайньому положенні один гідроциліндр працює поршневою порожниною і є «довгим», інший працює штоковою порожниною на втягування і є «коротким». Гідроциліндр, який працює поршневою порожниною, розвиває силу більшу, ніж гідроциліндр, що працює штоковою порожниною. Різниця величини сили, що розвивається штоковою і поршневою порожнинами гідроциліндрів, що використовуються в рульових механізмах, становить 20-50%. Тому логічно було б гарантовано замикати гідроциліндр, що працює поршневою порожниною, щоб незамкнутий гідроциліндр, який працює штоковою порожниною, реалізовував меншу силу. Однак не у всіх випадках це рішення є ефективним. Це пов'язано з тим, що в положенні близькому до крайнього кожен з гідроциліндрів має свою швидкість, яка відрізняється, і визначається кінематикою механізму повороту коліс. Ці швидкості гідроциліндрів в крайньому положенні або аналоги їх швидкостей, що обчислюються як похідна довжини кожного гідроциліндра по узагальненій координаті, дають передавальне відношення від одного гідроциліндра до другого. Дане передавальне відношення може відрізнятися в кілька разів, і в підсумку в крайньому положенні коліс реакція, що розвивається гідроциліндром, працюючим штоковою порожниною, буде більша, ніж реакція, що розвивається гідроциліндром, що працює поршневою порожниною. Тобто передавальне відношення від одного гідроциліндра до іншого є вирішальною причиною різниці реакції на замкнутому гідроциліндрі.

Так як реакція на замкнутому гідроциліндрі залежить як від величини сили, що розвивається незамкнутим гідроциліндром, так і від передавального відношення між гідроциліндрами, потрібна розробка інтегрованого критерію вибору гідроциліндра, який повинен замикатися сам на собі.

Методика вибору замикаючого гідроциліндра

Визначення навантаженості конструкції моста керованих коліс косарки самохідної шляхом кінцево-елементного аналізу проводилося в крайніх положеннях гідроциліндрів шляхом замикання на собі одного гідроциліндра і додатку сили від другого по черзі. При цьому елементи моста були пов'язані шарнірно, що дозволило передавати навантаження з одного борту моста на інший. Кінематичні передаточні функції зазвичай визначаються способом векторного аналізу [4]. Так як в даній роботі така мета не ставилася, то вирази (1) і (2) наведені для загального розуміння розв'язуваної задачі.

Для розробки інтегрованого критерію вибору гідроциліндра, який в крайньому положенні повинен замкнутися для мінімізації навантаженості елементів моста, визначимо реакцію на замкнутому гідроциліндрі від сили дії другого, незамкнутого гідроциліндра.

Реакція на замкнутому, працюючому поршневою порожниною на висування «довгому» гідроциліндрі, може бути визначена з виразу (1):

$$R_{\text{порш}} = F_{\text{шт}} \frac{U_{\text{шт}}}{U_{\text{порш}}}$$

де $F_{\text{шт}}$ – сила на незамкнутому «короткому» гідроциліндрі, що працює штоковою порожниною; $U_{\text{шт}}$ – аналог швидкості незамкнутого «короткого» гідроциліндра, працюючого штоковою порожниною; $U_{\text{порш}}$ – аналог швидкості замкнутого «довгого» гідроциліндра, що працює поршневою порожниною.

Реакція на замкнутому «короткому» гідроциліндрі, що працює штоковою порожниною на втягування, може бути визначена з виразу (2):

$$R_{\text{шт}} = F_{\text{порш}} \frac{U_{\text{порш}}}{U_{\text{шт}}},$$

де $F_{\text{порш}}$ – сила на незамкнутому «довгому» гідроциліндрі, що працює поршневою порожниною; $U_{\text{порш}}$ – аналог швидкості незамкнутого «довгого» гідроциліндра, що працює поршневою порожниною; $U_{\text{шт}}$ – аналог швидкості замкнутого «короткого» гідроциліндра, що працює штоковою порожниною.

Обчисливши реакції за виразами (1) і (2) для кожного з гідроциліндрів в крайніх положеннях повороту коліс, необхідно вибрати в якості замикаючого той гідроциліндр, який дає велике значення реакції.

Вирази (1) і (2) є інтегрованим критерієм вибору замикаючого гідроциліндра в крайньому положенні, так як враховують і величину сили, що розвивається гідроциліндром і передавальне відношення між ними.

Режим навантаження моста

Порівняльний аналіз напружено-деформованого стану проведено для двох варіантів замикання гідроциліндрів механізму повороту моста керованих коліс самохідної косарки: із замкнутими штоковим і поршневим гідроциліндрами. Розрахункові схеми для кожного з варіантів навантаження представлені на рис. 1 і 2.

Для проведення розрахунку прийняті: навантаження на міст $G = 25000$ Н без коефіцієнта динаміки в вертикальній площині; навантаження від гідроциліндрів, що виникає при закріпленні колеса від повороту і відповідна максимальному тиску на запобіжному клапані 140 кг/см²: для працюючого поршневою порожниною – $F_{\text{порш}} = 43640$ Н, для працюючого штоковою порожниною – $F_{\text{шт}} = 36770$ Н (див. рис. 1 і 2).

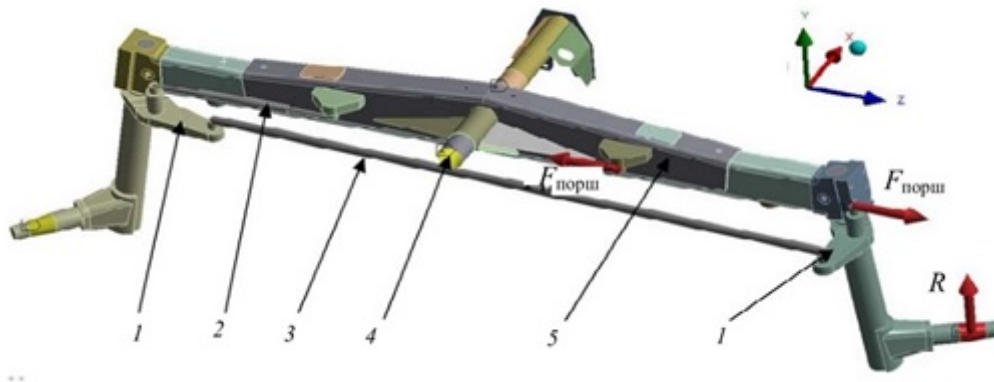


Рис. 1. Розрахункова схема конструкції моста керованих коліс косарки самохідної при замиканні штокового гідроциліндра: 1 – важелі кулака; 2 – гідроциліндр; 3 – поперечна тяга; 4 – вісь гойдання балки моста; 5 – балка моста

У двох розрахункових схемах наведені наступні граничні умови і зв'язки. Між важелями 1 і поперечною тягою 3 прийняті сферичні шарніри, між гідроциліндром 2 і важелем 1 з одного боку та рамою моста 5 з іншого, задані також сферичні шарніри. Балка моста 5 в зоні осі гойдання 4 має заборону на переміщення. При цьому поворот балки моста навколо осі гойдання обмежений тим, що з однієї зі сторін моста на ступиці колеса задана заборона на переміщення в вертикальній площині. З боку другого колеса на маточину прикладена реакція R від ваги машини на міст (див. рис. 1 і 2). Для розрахунку статичної міцності прийнятий матеріал конструкційна сталь з наступними характеристиками: коефіцієнт Пуассона $\mu=0,3$; модуль Юнга $E=2 \times 10^{11}$ Па.

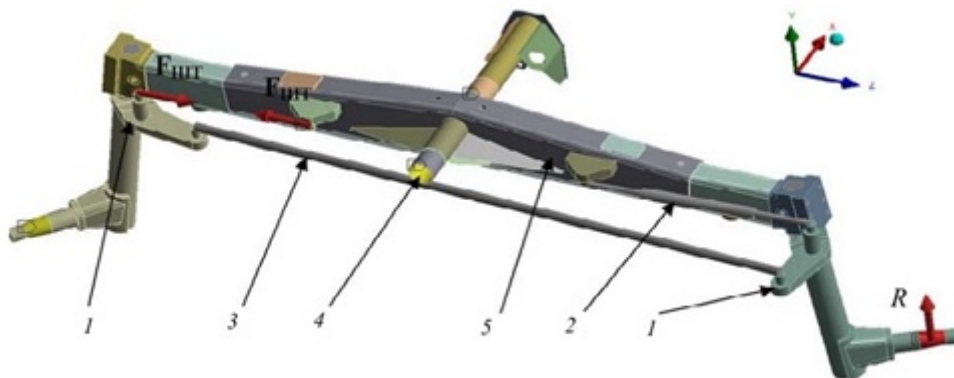


Рис. 2. Розрахункова схема конструкції моста керованих коліс косарки самохідної при замиканні поршневого гідроциліндра: 1 – важелі кулака; 2 – гідроциліндр; 3 – поперечна тяга; 4 – вісь гойдання балки моста; 5 – балка моста

Напружено-деформований стан мосту керованих коліс в крайньому положенні з різним замиканням гідроциліндрів

На рис. 3 показані поля еквівалентних напружень моста косарки самохідної в крайньому положенні при замкнутому на собі «короткому» гідроциліндрі, працюючому штоковою порожниною, що продовжує розвивати силу «довгому» гідроциліндрові, який працює поршневою порожниною.

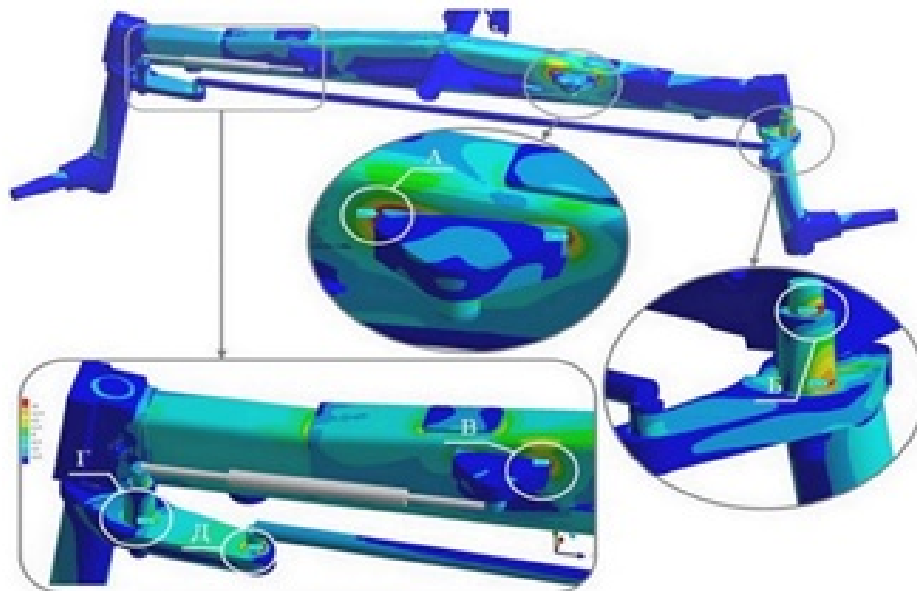


Рис. 3. Поля еквівалентних напружень в конструкції керованого моста із замкнутим штоковим гідроциліндром (діють поршневі сили)

На рис. 4 показані поля еквівалентних напружень моста косарки самохідної в крайньому положенні при замкнутому на собі «довгому» гідроциліндрі, працюючому поршневою порожниною, і який продовжує розвивати силу «короткому» гідроциліндрові, що працює штоковою порожниною.

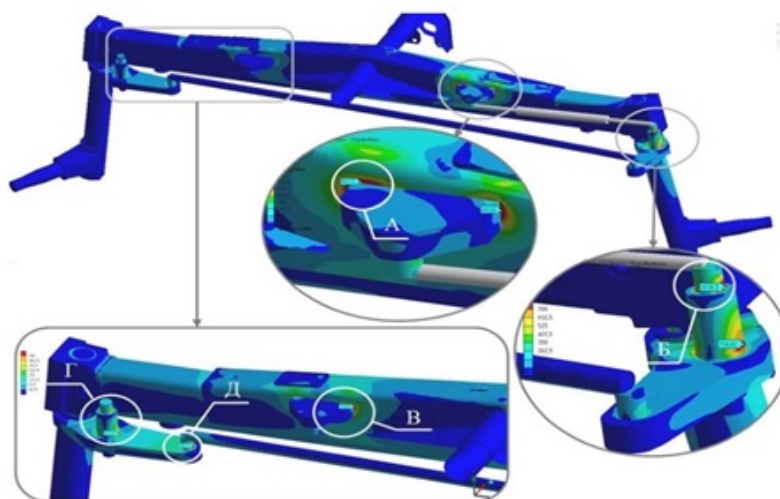


Рис. 4. Поля еквівалентних напружень в конструкції керованого моста із замкнутим поршневим гідроциліндром (діють штокові сили)

Як видно з порівняння рис. 3 і 4, при замиканні штокового гідроциліндра напружений стан локальних елементів приблизно в 2,2-3 рази нижчий, ніж при замиканні поршневого.

У табл. 1 і 2 зведені величини максимальних напружень в аналогічних зонах різних мостів при замиканні різних гідроциліндрів.

Таблиця 1

Результати розрахунків для моста із замкнутим штоковим гідроциліндром

Зони дії максимальних напружень	Величина максимальних напружень $\sigma_{\max}$, МПа
Замикання штокового гідроциліндра	
Зона приварки кронштейна кріплення замкнутого штокового гідроциліндра (рис. 3, Зона А)	408
Зона приварки осі кріплення замкнутого штокового гідроциліндра (рис. 3, Зона Б)	401
Зона приварки кронштейна кріплення гідроциліндра (рис. 3, Зона В)	139
Зона приварки осі кріплення гідроциліндра працюючою поршневою порожниною (рис. 3, Зона Г)	117

В осі кріплення тяги (рис. 3, Зона Д)	182
---------------------------------------	-----

Таблиця 2

Результати розрахунку для моста з замкнутим поршневым гідроциліндром

Зони дії максимальних напружень	Величина максимальних напружень $\sigma_{\max}$, МПа
Замикання поршневого гідроциліндра	
Зона приварки кронштейна кріплення замкнутого поршневого гідроциліндра (рис. 4, Зона А)	906
Зона приварки осі кріплення замкнутого поршневого гідроциліндра (рис. 4, Зона Б)	1030
Зона приварки кронштейна кріплення штокового гідроциліндра (рис. 4, Зона В)	375
Зона приварки осі кріплення штокового гідроциліндра (рис. 4, Зона Г)	360
В осі кріплення тяги (рис. 4, Зона Д)	440

На рис. 5 показана схема моста керованих коліс, яка наочно ілюструє ефект збільшення реакції при переході з лівого борту на правий, і, відповідно, зменшення при зворотному переході.

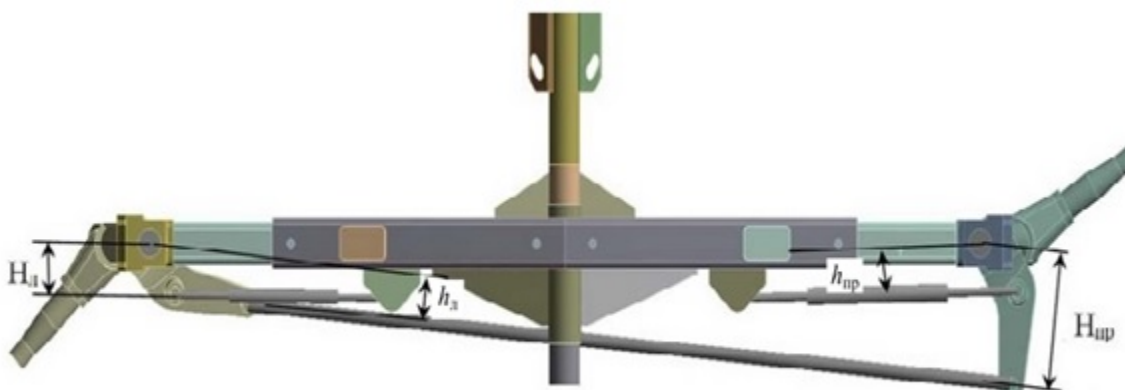


Рис. 5. Схема, що ілюструє збільшення і зменшення реакції при переході з одного борту на інший

Як видно з рис. 5, лівий гідроциліндр, що розвиває силу штоковою порожниною, знаходиться на більшому плечі, ніж тяга, і сила від нього на тягу переходить із збільшенням. Правий гідроциліндр знаходиться на меншому плечі, ніж тяга, і, відповідно, сила з тяги від лівого гідроциліндра переходить на правий гідроциліндр із збільшенням, та навпаки з правого на лівий із зменшенням. Значить, для цього моста в крайньому положенні першим повинен замикатися гідроциліндр, що працює штоковою порожниною.

Висновок. В результаті узагальнення викладеного можна зробити наступні висновки:

1. Величина реакції на замкнутому в крайньому положенні гідроциліндрі в меншій мірі залежить від величини сили, що розвивається незамкнутим гідроциліндром і більшою мірою від передавального відношення одного гідроциліндра до іншого.

2. Для виявлення гідроциліндра, який повинен замкнутися в крайньому положенні з метою мінімізації навантаженості елементів моста, необхідно користуватися інтегрованим критерієм оцінки величини реакції на замкнутому гідроциліндрі, що представляє собою утворення величини сили на незамкнутому гідроциліндрі і передаточне відношення між ними.

3. Незважаючи на те, що поршнева порожнина дає силу в 1,18 рази більшу, ніж штокова, замикання гідроциліндра, що працює штоковою порожниною в крайньому положенні, в результаті веде до зменшення навантаженості елементів моста в 2,2-3 рази.

4. Правильний вибір замикаючого в крайньому положенні гідроциліндра дозволяє істотно знизити навантаженість і, відповідно, матеріаломісткість моста керованих коліс самохідної косарки.

Література

1. Гуськов В. В. Трактори, теорія / В. В. Гуськов. – М. : Машинобудування, 1988. – 376 с.
2. Наумов Е. С. Рулевое управление колесных тракторов : учеб. пособие / Е. С. Наумов, В. М. Шарипов, И. М. Эглит. – М. : МАМИ, 1999. – 42 с.
3. Гришкевич А. И. Конструкция, конструирование и расчет. Системы управления и ходовая часть [Електронний ресурс] / А. И. Гришкевич. – Минск : Выш. шк., 1987. – Режим доступу : <https://www.twirpx.com/file/23725/>
4. Рехлицкий О. В. Математическое описание механизма поворота колес самоходной

сельскохозяйственной машины / О. В. Рехлицкий, Ю. В. Чупрынин, Д. В. Джасов // Механика машин, механизмов и материалов. – 2014. – № 2 (27). – С. 23–29.

5. Джасов Д. В. Применение векторного анализа для математического описания пространственных рычажных механизмов на примере моста управляемых колес сельскохозяйственной машины [Электронный ресурс] / Д. В. Джасов // Актуальные вопросы машиностроения : сб. науч. тр. – Минск. – 2013. – Режим доступа : <https://mmmm.by/ru/readers?layout=edit&id=35&start=10>.

6. Кондрашова А. Н. Оптимизация конструкции моста управляемых колес косилки самоходной на основе анализа его твердотельной модели / А. Н. Кондрашова, Д. В. Джасов, В. Б. Попов // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2016. – № 4. – С. 35–40.

7. Сільськогосподарські машини. Основи теорії і розрахунку : підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін. ; за ред. Д.Г.Войтюка. – К. : Вища освіта, 2005. – 464 с. : іл. ISDN 966-8081-38-2

8. Будова косарок та косарок плющилок [Електронний ресурс] : Студопедія – лекційний матеріал для студентів. – Режим доступу : https://studopedia.su/14_79361_budova-kosarok-i-kosarok-plyushchilok.html

References

1. Guskov, VV Tractors, Theory / VV Guskov. - M.: Machine-building, 1988 - 376 pp.
2. Naumov, E.S. Steering control of wheeled tractors: study. allowance / E. S. Naumov, V. M. Sharipov, I. M. Eglit. - M.: MAMI, 1999. - 42 p.
3. Grishkevich A. I. Design, construction and calculation. Control systems and chassis [Electronic resource] / AI Grishkevich // Minsk: Vysh. shock - 1987. - Resource access mode: <https://www.twirpx.com/file/23725/>
4. Rehlytsky, O. V. Mathematical description of the mechanism of rotation of wheels of a self-propelled agricultural machine / O. V. Rehlytsky, Yu. V. Chuprynin, D. V. Dzhasov // Mechanics of machines, mechanisms and materials. - 2014 - No. 2 (27). - P. 23-29.
5. Jasov D.V. Application of vector analysis for the mathematical description of spatial lever mechanisms on the example of a bridge of controlled wheels of an agricultural machine [Electron resource] / D.V. Dzhasov // Actual questions of machine-building: cb. scientific tr - Minsk - 2013. - Resource access mode: <https://mmmm.by/en/readers?layout=edit&id=35&start=10>.
6. Kondrasheva, A.N. Optimization of the construction of a self-propelled mower wheel steering wheel based on the analysis of its solid-state model / AN Kondrashov, DV Dzhasov, VB Popov // Vestn. Gomel state tech Un-them them. P.O. Sukhoi. - 2016. - No. 4. - P. 35-40.
7. Agricultural machines. Fundamentals of theory and calculation: Pytrukhnik / D.G.Voyiuk, V.M. Baranovsky, V.M. Bulgakov and others; for ed. D.G.Voytyuk - K. : Higher Education, 2005. - 464 pp. : il. ISDN 966-8081-38-2
8. The structure of mosquitoes and mosquito nets [Electronic resource]: Studios - lecture material for students / https://studopedia.su/14_79361_budova-kosarok-i-kosarok-plyushchilok.html

Рецензія/Peer review : 22.05.2018 р.

Надрукована/Printed : 06.07.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПРИВОДУ КУХОННОГО КОМБАЙНУ

В роботі запропоновано розробку удосконаленої системи керування електроприводом кухонних комбайнів. Теоретично обґрунтовано можливість ефективного використання системи керування електродвигуном кухонного комбайну зі зворотним за швидкістю і струмом якоря, розроблено електричну схему і визначено її необхідні електричні і конструктивні параметри. Виконано розрахунки потужності, що споживається при різних режимах роботи машини, розрахунок найбільш прийняттого передаточного відношення приводу і параметри зубчастої пасової передачі. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення конструкцій побутових кухонних комбайнів.

Ключові слова: кухонні комбайни, універсальний колекторний двигун, датчик швидкості, структурна схема, електрична схема, аналіз ефективності режимів роботи, схема керування.

V.P. MISIATS

Kyiv National University of Technologies and Design

S.P.LISEVYCH, O.S.POLISCHUCK, S.V.SMUTKO, S.I. PUNDYK

Khmelnytsky national University

ANALYTICAL RESEARCHES OF THE KITCHEN COMBINE DRIVING WORK

Abstract – The article presents the results of researches is development of the improved control of kitchen combines system. Depending on the type of processing, the mechanical properties of food and the tool used, the speed and the moment of resistance on the drive shaft are different. Modern food processors are mainly equipped with drives based on universal collector electric motors, which is due to a number of advantages over asynchronous and DC motors. As a result of the analytical study, formulas are obtained that allow determining the power consumption and productivity of the food processor when cutting food products depending on the geometric and structural parameters of the working bodies and the physical and mechanical characteristics of the processed material. In drive possibility of the effective use of the control the electric motor of kitchen system to the combine with reverse after speed and current of anchor, an electric chart is developed and certainly her electric and structural parameters are needed. The calculations of power which is consumed at the different modes of operations of machine, calculation of the most acceptable transmission relation of occasion and parameters of gearing of pass, are executed. Can be drawn on research results for perfection of constructions of domestic kitchen combines. Originality consists in that first in theory drive possibility of the effective use of the control the electric motor of kitchen system to the combine with reverse after speed and current of anchor, an electric chart is developed and certainly her electric and structural parameters are needed. It was found that the electric drive of the food processor will work with a maximum efficiency (55%) when using a disc for cutting vegetables and fruits which has diametrically opposite knives. Practical value consists in that can be drawn on research results for perfection of constructions of domestic kitchen combines.

Keywords: kitchen combines, universal collector engine, sensor of speed, flow diagram, electric chart, analysis of efficiency of office hours, management chart.

Вступ

Кухонні комбайни виконують різні робочі операції і оснащені для цього цілим рядом насадок і робочих органів. В залежності від виду обробки, механічних властивостей харчових продуктів і використовуваного інструменту швидкість обертання і момент опору на валу приводу різні. Сучасні кухонні комбайни переважно оснащені приводами на основі універсальних колекторних електродвигунів, що обумовлено рядом їх переваг у порівнянні з асинхронними і двигунами постійного струму. Універсальні колекторні двигуни мають характеристики, що дозволяють керування приводом на їх основі в широких межах [1].

Більшість кухонних комбайнів мають конструкцію, що стала традиційною. Основою її є привод, що має досить потужний електродвигун з передаточним механізмом, вісь якого виведена назовні. Вісь проходить через знімну чашу, і на ній жорстко закріплюються різні ножі і змінні насадки. Іноді є додаткові бічні вали для підключення різних допоміжних пристосувань.

Двигуни, що приводять в рух насадки, у різних моделей мають різні швидкості обертання і потужність. Чим вище швидкість обертання, тим більше можливостей у апарату, бажане також плавне або ступінчасте регулювання швидкості [2]. Лише у найдешевших комбайнів вона фіксована. У конструкції передбачається блокування включення із знятою кришкою або погано закріпленою чашею.

Продуктивність комбайна залежить від потужності двигуна і розмірів чаші, в яку закладаються продукти. Одним з напрямків розвитку кухонних комбайнів є вдосконалення електромеханічних систем електроприводу.

Постановка завдання

Різні види обробки харчових продуктів в кухонних комбайнах вимагають своїх раціональних режимів роботи приводу при постійній, заданій швидкості. Для регулювання швидкості і покращення роботи електроприводу в роботі запропоновано його удосконалення шляхом оснащення системою керування зі зворотним зв'язком по швидкості і струму в колі електродвигуна. Відомі моделі кухонних комбайнів такими системами не оснащені.

Для удосконалення приводу кухонного комбайну доцільно розробити схему його керування, яка дасть можливість автоматично змінювати режим роботи електродвигуна при змінненні навантаження на робочі органи.

Виклад основного матеріалу

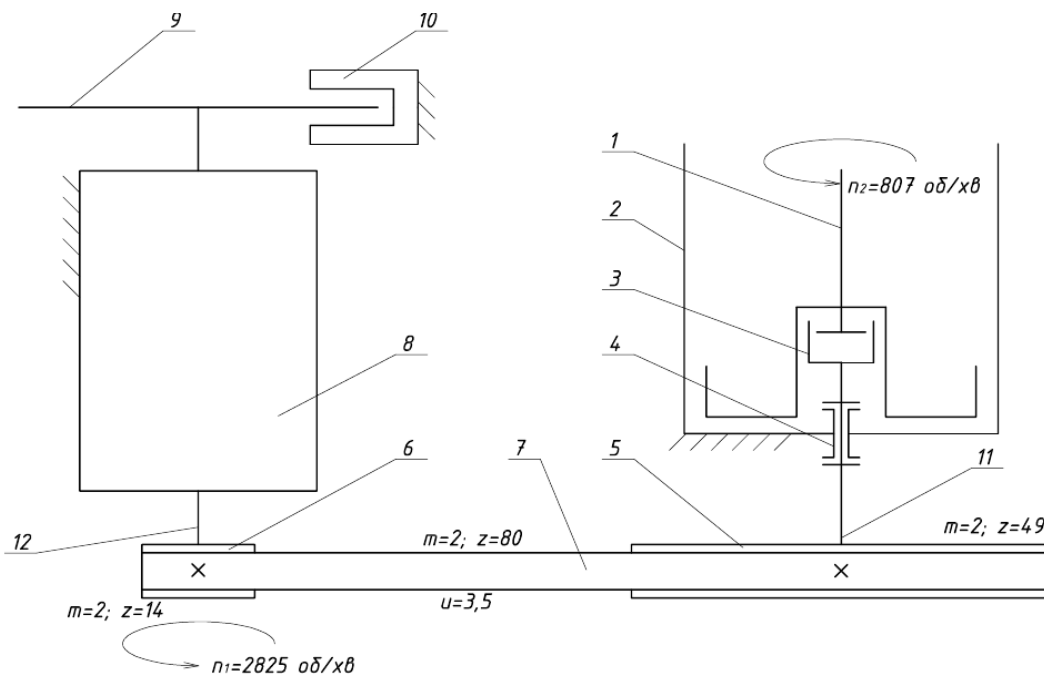
Для вирішення поставленої задачі розглянемо кінематичну схему побутового кухонного комбайну, що представлена на рис. 1. Привід комбайну складається з електродвигуна 8 на валу якого встановлено шків зубчастої передачі 6. На протилежному кінці валу електродвигуна 12 нерухомо встановлено диск з отворами по периферії для проходження світлового потоку від оптичного датчика 10. В робочій чаші 2 за допомогою муфти 3 встановлено змінний робочий орган 1. Крутний момент від електродвигуна 8 передається на вал робочого органу 11 за допомогою зубчастої пасової передачі, що складається з шківів 5, 6 і зубчастого ремня 7. Вал робочого органу 11 встановлено в підшипнику ковзання 4 з обмеженням осьового переміщення.

При обертанні валу двигуна 12 разом з диском 9 відбувається переривання світлового потоку датчика 10, що дозволить здійснити контроль за швидкістю руху робочого органу кухонного комбайну.

Конструкція кухонного комбайну складається з модуля електроприводу і робочої чаші, яка встановлюється на нього. В модулі електроприводу встановлено універсальний колекторний електродвигун, на валу якого закріплено шків ремінної передачі. На панелі блоку управління є регулятор швидкості приводу, кнопка вмикання живлення, індикатор, кнопка вмикання імпульсного режиму і регулятор швидкості. Робоча чаша закріплена на корпусі замками. Кришка робочої чаші при встановленні діє на кінцевий вимикач блокування приводу. Кришка чаші має бункер, в який входить шток для завантаження продуктів.

Аналіз процесів обробки харчових продуктів в побутових кухонних комбайнах показав, що саме більше навантаження на робочі органи має місце при нарізанні овочів на невеликі шматки (натирання на тертці).

Інструменти для нарізання продуктів виконуються у вигляді сталених дисків, які мають отвори з загостреними краями.



1 – робочий орган; 2 чаша; 3 – муфта; 4 – підшипник ковзання; 5, 6 – шків зубчастий; 7 – ремінь зубчастий; 8 – електродвигун; 9 – диск оптичний; 10 – оптичний датчик швидкості; 11 – вал електродвигуна; 12 – вал приводу робочого органу

Рис. 1. Кінематична схема побутового кухонного комбайну:

Виконаємо розрахунок витрат потужності на процес нарізання продуктів в кухонному комбайні. Потужність $N_{\text{кор}}$, що необхідна для нарізання визначається рівнянням [6]:

$$N_{\text{кор}} = 2 \cdot A_{\text{пит}} \cdot k_{\text{зап}} \cdot \omega \cdot F_{\text{зав}}, \quad (1)$$

де $A_{\text{пит}}$ – питома робота сил різання, що чисельно дорівнює енергії утворення одиниці зрізаної поверхні матеріалу, Дж/м²;

$k_{\text{зап}}$ – коефіцієнт перекриття площі робочого отвору матеріалом;

ω – кутова швидкість обертання диску, с⁻¹;

$F_{\text{зав}}$ – площа робочого отвору, м².

Коефіцієнт "2" в формулі (1) введений через те, що при різанні куска продукту на дві частини утворюється подвійна площа поверхні розділу.

Ведемо в формулу (1) коефіцієнт, який враховує можливість часткового перекриття робочого отвору різальними кромками (рис.2).

Коефіцієнт перекриття робочого отвору різальними кромками:

$$i = \frac{L_{\text{бш}} - l_1(j-1)}{L_{\text{бш}}}, \quad (2)$$

де $L_{\text{бш}}$ – ширина робочого отвору;

L_p – довжина різальної кромки, що припадає на робочий отвір;

j – кількість різальних кромок, що припадає на площу робочого отвору;

l_1 – відстань між різальними кромками.

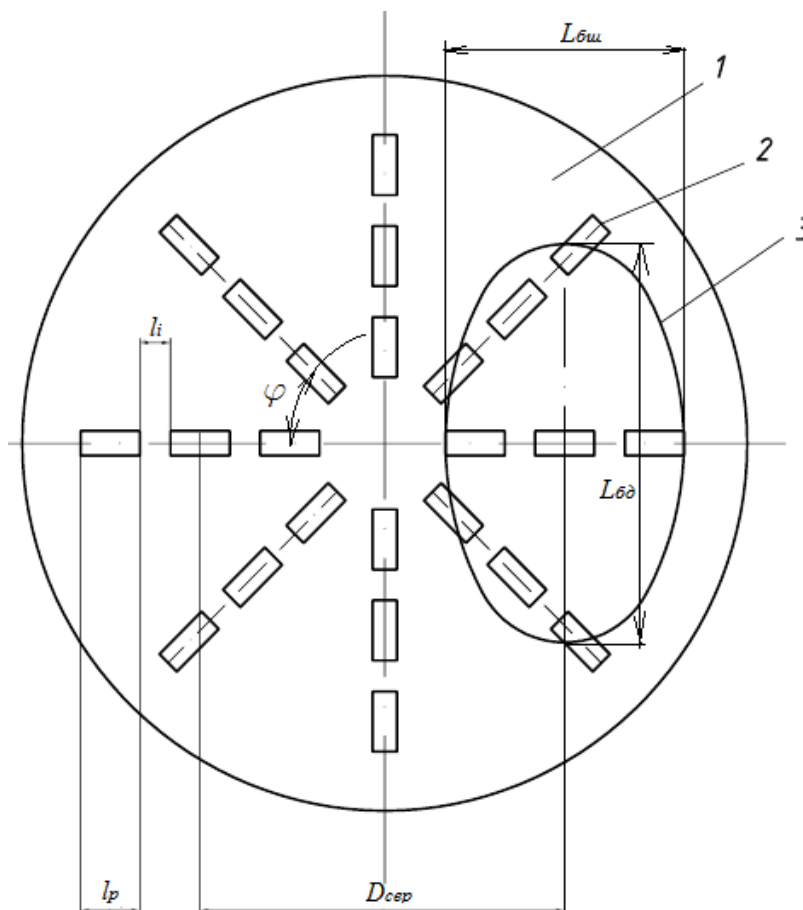


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення коефіцієнта перекриття робочого отвору різальними кромками

Перепишемо рівняння (1) з врахуванням i :

$$N_{\text{кор}} = 2 \cdot A_{\text{пит}} \cdot k_{\text{зап}} \cdot \omega \cdot F_{\text{зав}} \cdot i. \quad (3)$$

Продуктивність процесу нарізання продуктів може бути визначена за формулою [3]:

$$Q = k_{\text{зан}} \cdot V \cdot \omega \cdot \rho, \quad (4)$$

де Q – продуктивність, г/с;

ρ – густина продукту;

V – об'єм продукту, що надрізається за один оборот диска.

$$V = F_{\text{зав}} \cdot h, \quad (5)$$

де h – висота виступу ріжучих кромок.

Підставимо (5) в (4):

$$Q = k_{\text{зан}} \cdot F_{\text{зав}} \cdot h \cdot \omega \cdot \rho \cdot i, \quad (6)$$

Потужність, що витрачається на тертя матеріалу по поверхні диска:

$$N_{\text{тер}} = P_{\text{ст}} \cdot f_{\text{тер}} \cdot \omega \cdot \frac{D_{\text{сер}}}{2}, \quad (7)$$

де $f_{\text{тер}}$ – коефіцієнт тертя матеріалу по поверхні диска;
 $P_{\text{ст}}$ – зусилля, обумовлене тиском матеріалу на поверхню диска.
 Зусилля $P_{\text{ст}}$ визначається за формулою:

$$P_{\text{ст}} = F_{\text{зав}} \cdot H_{\text{зав}} \cdot \rho \cdot k_{\text{зап}} + P_{\text{руч}}, \quad (8)$$

де $H_{\text{зав}}$ – висота продукту в бункері;
 $P_{\text{руч}}$ – сила, з якою користувач давить на шток при поданні матеріалу.
 З урахуванням (8) перепишемо (7) у вигляді:

$$N_{\text{тер}} = (F_{\text{зав}} \cdot H_{\text{зав}} \cdot \rho \cdot k_{\text{зап}} + P_{\text{руч}}) \cdot f_{\text{тер}} \cdot \omega \cdot \frac{D_{\text{сер}}}{2}. \quad (9)$$

Загальна потужність, що споживається при різанні:

$$N = \frac{(N_{\text{кор}} + N_{\text{тер}})}{\eta_{\text{прив}}}, \quad (10)$$

де $\eta_{\text{прив}}$ – ККД. приводу.
 Враховуючи (3) і (9), (10) має вигляд:

$$N = 2 \cdot A_{\text{пит}} \cdot k_{\text{зап}} \cdot \omega \cdot F_{\text{зав}} \cdot i + (F_{\text{зав}} \cdot H_{\text{зав}} \cdot \rho \cdot k_{\text{зап}} + P_{\text{руч}}) \cdot f_{\text{тер}} \cdot \omega \cdot \frac{D_{\text{сер}}}{2}. \quad (11)$$

Користувач вимушений збільшувати силу $P_{\text{руч}}$ по мірі опускання штоку через те, що при повністю заповненому бункері сили від тяжіння продукту максимальні.

Тому, при повністю завантаженому бункері силу $P_{\text{руч}}$ можна не враховувати.

Тоді рівняння (11) приймає вигляд:

$$N = \omega \cdot F_{\text{зав}} \cdot k_{\text{зап}} \cdot \left(2 \cdot A_{\text{пит}} \cdot i + H_{\text{зав}} \cdot \rho \cdot f_{\text{тер}} \cdot \frac{D}{2} \right). \quad (12)$$

Робочий отвір кухонних комбайнів як правило має форму еліпса. Його площа визначається формулою:

$$F_{\text{зав}} = \frac{\pi}{4} \cdot L_{\text{бш}} \cdot L_{\text{бд}}, \quad (13)$$

Підставляємо (13) в (12), (6), отримуємо формули для розрахунку потужності, що витрачається на різання і продуктивності кухонного комбайну при нарізанні продуктів:

$$N = \omega \cdot \frac{\pi}{4} \cdot L_{\text{бш}} \cdot L_{\text{бд}} \cdot k_{\text{зап}} \cdot \left(2 \cdot A_{\text{пит}} \cdot i + H_{\text{зав}} \cdot \rho \cdot f_{\text{тер}} \cdot \frac{D_{\text{сер}}}{2} \right); \quad (14)$$

$$Q = k_{\text{зап}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot L_{\text{бш}} \cdot L_{\text{бд}} \cdot h \cdot \omega \cdot \rho \cdot i. \quad (15)$$

Момент опору на валу робочого органу може бути визначений за формулою:

$$M_{\text{оп}} = \frac{\pi}{4} \cdot L_{\text{бш}} \cdot L_{\text{бд}} \cdot k_{\text{зап}} \cdot \left(2 \cdot A_{\text{пит}} \cdot i + H_{\text{зав}} \cdot \rho \cdot f_{\text{тер}} \cdot \frac{D_{\text{сер}}}{2} \right). \quad (16)$$

Отримана формула (16) дозволяє визначати середнє значення моменту опору при різанні. Максимальний момент опору буде мати місце при $i=1$, тобто при умовах, коли ніж суцільний по ширині вікна бункера і кількість ножів така, що в зоні різання постійно знаходиться один з них.

Визначимо теоретичні залежності $N = f(\omega)$ і $Q = f_2(\omega)$ для крупного шинкування моркви, яка є одним з найбільш "важких" овочів.

При розрахунку використовуємо наступні параметри для моркви [1]:

$$A_{\text{пит}} = 350 \text{ Н/м}; \quad \rho = 1,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3; \quad f_{\text{тер}} = 0,1 \text{ (по сталі)}; \quad k_{\text{зап}} = 0,7 \dots 0,9.$$

Висота розташування ріжучих кромek відносно опорної поверхні робочого органу становить $h = 2 \dots 3 \text{ мм}$ [6]. Приймаємо $h = 2,5 \text{ мм}$.

При розрахунку максимальної корисної потужності розглянемо процес різання кромкою, що повністю перекриває робочий отвір, тобто $i_{\text{ш}} = 1$. Висота $H_{\text{зав}} = 220 \text{ мм}$. $D_{\text{сер}} = 90 \text{ мм}$.

При різанні суцільною різальною кромкою ($n_p = 1$). Тоді $l_p = L_{\text{бш}}$.

$$M_{\text{оп max}} = \frac{3,14}{4} \cdot 0,04 \cdot 0,06 \cdot 0,8 \cdot \left(2 \cdot 350 \cdot 1 + 0,22 \cdot 1,3 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot \frac{0,09}{2} \right) = 1,07 \text{ Н·м}.$$

Максимальна потужність при безперервному різанні:

$$N_{\max} = M_{\text{опmax}} \cdot \omega. \quad (17)$$

Визначимо кількість ножів $m_{\max}$, які забезпечують максимальну потужність ($i = 1$). Кількість ножів повинна становити:

$$m_{\max} = \frac{\pi D_{\text{сер}}}{L_{\text{бд}}} = \frac{3,14 \cdot 0,09}{0,06} = 4,71.$$

Кількість ножів може становити: $m = 2; 3; 4$ ($m = 1$ – неможливо, через дисбаланс диска). Тоді потужність:

$$N = N_{\max} \frac{m}{m_{\max}}. \quad (18)$$

$$N(2) = 1,07 \frac{2}{4,71} \omega = 0,446\omega; \quad N(3) = 1,07 \frac{3}{4,71} \omega = 0,669\omega; \quad N(4) = 1,07 \frac{4}{4,71} \omega = 0,892\omega.$$

Робимо висновок, що при нарізанні моркви максимальний момент опору становитиме 0,892 Н·м.

За отриманими формулами можна розраховувати й інші подібні процеси, що відбуваються при роботі кухонного комбайну.

Найбільш раціональними параметрами кухонного комбайну будемо вважати ті, при яких його електропривод буде працювати з максимальним коефіцієнтом корисної дії. Для визначення таких параметрів потрібно знати характеристику електродвигуна і визначити при яких умовах він буде працювати з максимальним ККД.

Аналіз характеристик електродвигуна побутового кухонного комбайну

В приводі кухонного комбайну встановлено електродвигун ДК90-250-12 потужністю 250 Вт і частотою обертання 12000 об/хв.

З характеристик електродвигуна на рис. 3 визначаємо, що з максимальним ККД він працює при значенні моменту 0,1...0,2 Н·м. Частота обертання при цьому становить 10000...12000 об/хв, а споживана потужність 130...170 Вт.

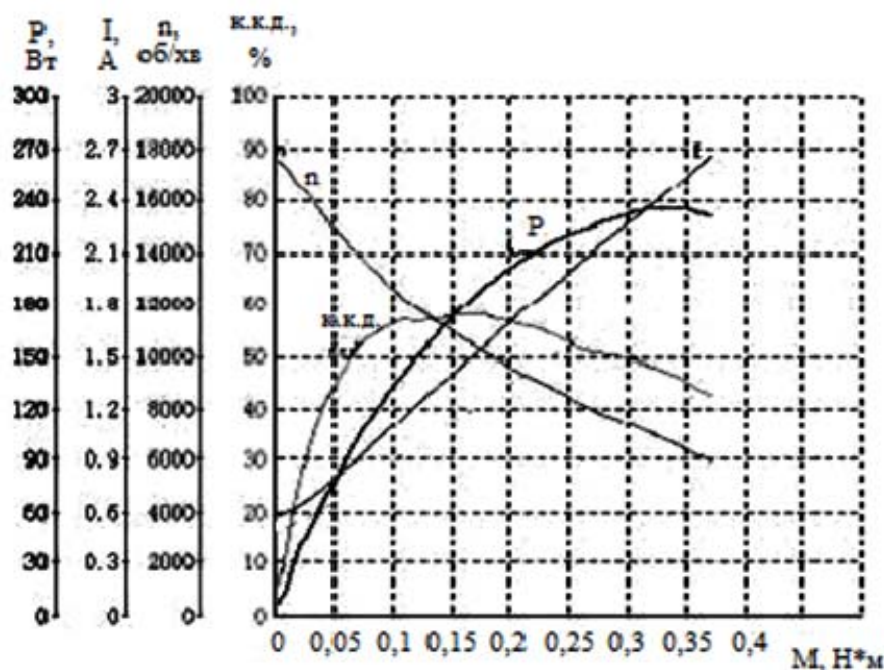


Рис. 3. Робочі характеристики електродвигуна ДК90-250-12

Визначимо верхню границю передаточного відношення зубчастої пасової передачі приводу кухонного комбайну з умови максимального моменту при максимальній швидкості електродвигуна:

$$u_{\max} = \frac{M_{\text{оп}}}{M_{\text{ном}}} = \frac{0,892}{0,2} = 4,46.$$

Частота обертання диску при нарізанні продуктів повинна становити 1000...1500 об/хв [3].

Визначимо нижню границю передаточного відношення зубчастої пасової передачі приводу кухонного комбайну з умови мінімальної частоти обертання двигуна. Найменша можлива стійка частота обертання електродвигуна ДК90-250-12 $n_{\text{об min}} = 2825$ об/хв. Тоді мінімальне передаточне відношення:

$$u_{\min} = \frac{n_{\text{дв min}}}{n_{\text{різ}}} = \frac{2825}{1000} = 2,83.$$

Приймаємо значення передаточного відношення, яке наближено приймемо 3,5.

При $u = 3,5$ максимальна швидкість обертання диску буде:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_{\text{дв}}}{30 \cdot u}. \quad (19)$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot 12000}{30 \cdot 3,5} = 359 \text{ рад/с (3429 об/хв)}.$$

Цієї швидкості буде достатньо для роботи комбайну в режимі блендера.

Теоретична максимально можлива продуктивність кухонного комбайну при різанні буде становити:

$$Q_{\max} = 0,8 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot 0,04 \cdot 0,06 \cdot 0,0025 \cdot 1000 \cdot \frac{3,14}{30} \cdot 1,3 \cdot 10^3 = 0,51 \text{ кг/с}.$$

При кількості ножів 2, 3, 4 теоретична продуктивність становитиме:

$$Q(2) = 0,51 \frac{2}{4,71} = 0,22 \text{ кг/с}; \quad Q(3) = 0,51 \frac{3}{4,71} = 0,33 \text{ кг/с}; \quad Q(4) = 0,51 \frac{4}{4,71} = 0,44 \text{ кг/с}.$$

Реальна продуктивність може бути меншою через нерівномірність попадання продуктів на ножі.

Потужність при кількості ножів 2, 3, 4 становитиме:

$$N(2) = 0,446 \cdot 359 = 160 \text{ Вт}; \quad N(3) = 1,07 \frac{3}{4,71} \omega = 0,669 \cdot 359 = 240 \text{ Вт}; \quad N(4) = 0,892 \cdot 359 = 320 \text{ Вт}.$$

Висновки

В результаті аналітичного дослідження отримано формули, які дозволяють визначати споживану потужність і продуктивність кухонного комбайну при нарізанні харчових продуктів в залежності від геометричних і конструктивних параметрів робочих органів та фізико механічних характеристик оброблюваного матеріалу. Теоретично обґрунтовано можливість ефективного використання системи керування електродвигуном кухонного комбайну зі зворотним за швидкістю і струмом якоря, розроблено електричну схему і визначено її необхідні електричні і конструктивні параметри. Встановлено, що електродвигун приводу кухонного комбайну буде працювати з максимальним ККД (55%) при використанні диску для нарізання овочів і фруктів який має діаметрально протилежні ножі.

Література

1. Кравцевич В.Я., Бондарь Е.С. Современные бытовые электроприборы и машины. / В.Я. Кравцевич, Е.С. Бондарь – М.: Машиностроение, 1987.-224с.: ил
2. Ильинский, Н.Ф. Общий курс электропривода / Н.Ф. Ильинский, В.Ф. Казаченко. М.: Энергоиздат, 1992. 544 с.
3. Соколов В.И. Основы конструирования машин и аппаратов пищевых производств. Учебник для ВУЗов по специальности «Машины и аппараты пищевых производств». М. Машиностроение. 1983. – 447 с.

References

1. Kravceovich V.Ja., Bondar' E.S. Sovremennye bytovye jelektroprybory i mashyny. / V.Ja. Kravceovich, E.S. Bondar' – М.: Mashinostroenie, 1987.-224s.: il
2. Il'inskij, N.F. Obshhij kurs jelektroprivoda / N.F. Il'inskij, V.F. Kazachenko. М.: Jenergoizdat, 1992. 544 s.
3. Sokolov V.I. Osnovy konstruirovaniya mashin i apparatov pishhevyh proizvodstv. Uchebnik dlja VUZov po special'nosti «Mashiny i apparaty pishhevyh proizvodstv». М. Mashinostroenie. 1983. – 447 s.

Рецензія/Peer review : 19.04.2018 р.

Надрукована/Printed :07.07.2018 р.
Рецензент: к.т.н., проф. Кармаліта А.К.

ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ШАФИ ХОЛОДИЛЬНИКА

В роботі представлено результати визначення частотних характеристик системи автоматичного регулювання (САР) шафи холодильника в розімкнутому чи замкнутому станах. Дослідження елементів та систем автоматичного регулювання виконуються на основі спеціальних частотних характеристик. Для визначення необхідної інформації про поведінку ланки в реальних умовах треба виконати експеримент, коли на вхід ланки подається синусоїдальний сигнал, на виході ланки з'явиться в якості вихідної величини також синусоїдальний, який буде відрізнятися від вхідного синусоїдального сигналу амплітудою та кутом зсуву фаз. Відношення вихідного сигналу до вхідного дасть нам значення амплітудно-фазової характеристики (АФХ) елемента чи САР. Розглянуто розв'язання поставленої задачі з використанням різних програмних середовищ, таких як LabVIEW, MathCad, MatLab.

Ключові слова: логарифмічна амплітудно-частотна характеристика, амплітудно-фазова частотна характеристика, LabVIEW, MathCad, MatLab.

P.S. MAIDAN, E.O. ZOLOTENKO, O.O. KOROTYCH, S.I. PUNDYK
Khmelnytskyi National University

DETERMINATION OF FREQUENCY CHARACTERISTICS OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF THE REFRIGERATOR

The paper presents the results of determination of the frequency characteristics of the automatic control system (ACS) of the refrigerator in open or closed states. Investigation of elements and systems of automatic regulation is performed on the basis of special frequency characteristics. In order to determine the necessary information about the behavior of the link in real conditions, an experiment must be performed when the sinusoidal signal is fed to the input of the link; at the output of the link, the sinusoidal output will also be output, which will be different from the input sinusoidal signal by the amplitude and phase shift angle. The ratio of the output signal to the input will give us the value of the amplitude-phase characteristic (AFS) of the element or ACS. The decision of the problem with using different software environments such as LabVIEW, MathCad, MatLab is considered. Using the LabVIEW software environment requires knowledge of a graphical programming language for constructing flowcharts and using cycles and embedded mathematical functions. The introduction of values in the formulas that describe a closed ACS must be performed in the reverse order. The easiest in calculations is the software product MathCad. To determine the frequency characteristics, only the transmission function of the open ACS and the values of the coefficients that are included in the expression will suffice. MathCad software using built-in functions calculates the amplitude-frequency and phase-frequency characteristics and builds the graphical dependencies we need. The built-in functions of the Matlab software environment can not only calculate the transfer functions of the open-source ACS, build logarithmic frequency-frequency and phase-frequency charts, but also calculate the stability of the phase and amplitude. The determination of frequency characteristics of ACS, in the example of the refrigerator, clearly demonstrated that the use of software products and environments (LabVIEW, MathCad, Matlab) increases the accuracy of the determination of system stability reserves. But it requires knowledge not only of the theory of automatic control, but also of the basics of writing the necessary file-programs to bring the transfer functions in the necessary form.

Key words: logarithmic amplitude-frequency characteristic, amplitude-phase frequency characteristic, LabVIEW, MathCad, MatLab.

Вступ

Дослідження елементів та систем автоматичного регулювання виконуються на основі спеціальних частотних характеристик. Наприклад, якщо на вхід ланки подати вхідну величину $X_{\text{вх}}$, на виході з'явиться вихідна величина $X_{\text{вих}}$. Тому, для визначення необхідної інформації про поведінку ланки в реальних умовах треба виконати експеримент, коли на вхід ланки подається синусоїдальний сигнал, тобто $X_{\text{вх}} = X_{\text{вх.мах}} \cdot \sin(\omega \cdot t)$. На виході ланки з'явиться в якості вихідної величини також синусоїдальний сигнал $X_{\text{вих}} = X_{\text{вих.мах}} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$ (при запізненні вихідної величини – $\varphi < 0$), який буде відрізнятися від вхідного синусоїдального сигналу амплітудою та кутом зсуву фаз (рис. 1). Ці амплітуда та кут зсуву фіксуються для конкретної частоти ω [1, 2, 3].

Відношення вихідного сигналу до вхідного дасть нам значення амплітудно-фазової характеристики (АФХ) елемента чи САР.

Аналіз останніх джерел

При представленні синусоїдального сигналу вектором на комплексній площині відношення векторів вихідного та вхідного сигналів буде також вектором. Амплітуда останнього буде дорівнювати відношенню амплітуди вихідного сигналу до амплітуди вхідного сигналу, а кут нахилу до дійсної вісі буде дорівнювати φ . Математично це можна представити так:

$$\begin{aligned}
 W(j\omega) &= \frac{X_{\text{вих}}(t)}{X_{\text{вх}}(t)} = \frac{X_{\text{вихmax}} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)}{X_{\text{вхmax}} \cdot \sin(\omega \cdot t)} = \frac{X_{\text{вихmax}} \cdot e^{j(\omega t + \varphi)}}{X_{\text{вхmax}} \cdot e^{j\omega t}} = \\
 &= \frac{X_{\text{вихmax}}}{X_{\text{вхmax}}} \cdot e^{j\varphi} = A \cdot e^{j\varphi} = A \cdot (\cos \varphi + j \sin \varphi) = A \cos \varphi + j A \sin \varphi = \\
 &= U(\omega) + jV(\omega).
 \end{aligned} \quad (1)$$

Амплітуда A і кут φ АФХ залежать від кругової частоти сигналу ω . При зміні частоти ω змінюється A і φ , тому вектор АФХ функції також зміниться за величиною та напрямком. Повну картину дає зміна ω від 0 до ∞ . При цьому кінець вектора АФХ буде описувати годограф – умовну лінію. Ця лінія і називається АФХ або амплітудно-фазовою частотною характеристикою (АФЧХ) елемента або системи (рис. 1).

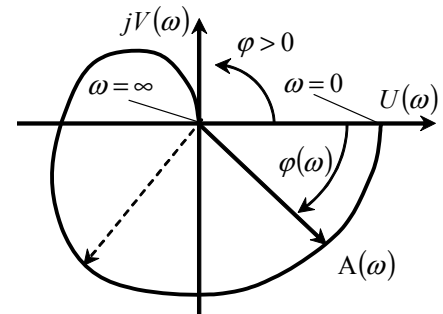


Рис. 1. Амплітудно-фазова частотна характеристика

Також в якості частотних характеристик використовують окремі графічні залежності відношення амплітуд вихідної та вхідної величин A та кута зсуву фаз φ від частоти ω . При чому в першому випадку, значення відношення амплітуд відкладають в логарифмічному масштабі в децибелах (дБ). Значення ω в обох випадках відкладається в логарифмічному масштабі. Такий підхід обумовлений тим, що для багатьох ланок можна в якості характеристик використовувати прямі лінії. Залежність відношення амплітуд A в децибелах від ω називається ЛАЧХ – логарифмічною амплітудно-частотною характеристикою ($L(\omega)$). А залежність кута зсуву фаз – ЛФЧХ – логарифмічною фазово-частотною характеристикою ($\varphi(\omega)$) [4].

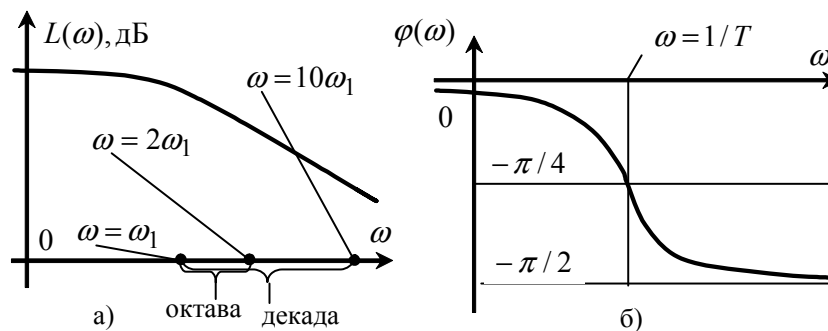


Рис. 2. ЛАЧХ (а) та ЛФЧХ(б) аперіодичної ланки першого порядку

Значення відношення амплітуд в децибелах визначається таким чином: $L(\omega) = 20 \lg A(\omega)$.

Відкладається ω на горизонтальній вісі або в октавах, або в декадах. При октавах – значення сусідніх рівномірних поділок ω відрізняються в 2 рази, при декадах – в 10 разів [1, 2, 3].

Приклади логарифмічних характеристик наведено на рис. 3.

У вираз відповідної передаточної функції роблять підстановку $p = j\omega$, де $j = \sqrt{-1}$, ω – частота, що може змінюватись від 0 до ∞ , або в деяких випадках від $-\infty$ до $+\infty$.

У загальному випадку АФХ має вигляд:

$$W(j\omega) = \frac{Q(j\omega)}{P(j\omega)}$$

– комплексна величина. Її можна записати так:

$$W(j\omega) = U(\omega) + j \cdot V(\omega),$$

де $U(\omega)$ – дійсна частина характеристики, $jV(\omega)$ – уявна частина характеристики, а параметри вектора АФХ:

$$A(\omega) = \sqrt{[U(\omega)]^2 + [V(\omega)]^2} \text{ – амплітудно-частотна характеристика (АЧХ); } \varphi(\omega) = \arctg \left[\frac{V(\omega)}{U(\omega)} \right] \text{ –}$$

фазово-частотна характеристика (ФЧХ).

Наприклад, визначення АФХ аперіодичної ланки 1-го порядку [4]:

$$W(p) = \frac{k}{Tp+1} \rightarrow W(j\omega) = \frac{k}{Tj\omega+1} = \frac{k}{1+T^2 \cdot \omega^2} - j \cdot \frac{kT\omega}{1+T^2 \cdot \omega^2};$$

$$U(\omega) = \frac{k}{1+T^2 \cdot \omega^2}, V(\omega) = \frac{kT\omega}{1+T^2 \cdot \omega^2}; A = \frac{k}{\sqrt{1+T^2 \cdot \omega^2}}; \varphi = 90^\circ - \arctg(T\omega);$$

При деяких ω : $\omega = 0, A = k, \varphi = 0$; $\omega = \frac{1}{T}, A = \frac{k}{\sqrt{2}}, \varphi = -\frac{\pi}{4}$; $\omega = \infty, A = 0, \varphi = -\frac{\pi}{2}$.

Найчастіше виникає необхідність побудови логарифмічних характеристик розімкнутої системи. За допомогою них можна оцінювати динамічні властивості замкнутої системи.

Розімкнуту систему можна розглядати як групу послідовно з'єднаних ланок. При цьому результуюча амплітуда визначається як добуток амплітуд (АФХ) або сума логарифмів (ЛАЧХ), а результуючий кут зсуву – як суму фазочастотних ЛФЧХ характеристик відповідних ланок (рис. 3):

$$A_{\Sigma}(\omega) = \prod_{i=1}^n A_i(\omega); \varphi(\omega) = \sum_{i=1}^n \varphi_i(\omega); L_{\Sigma}(\omega) = \sum_{i=1}^n L_i(\omega). \quad (2)$$

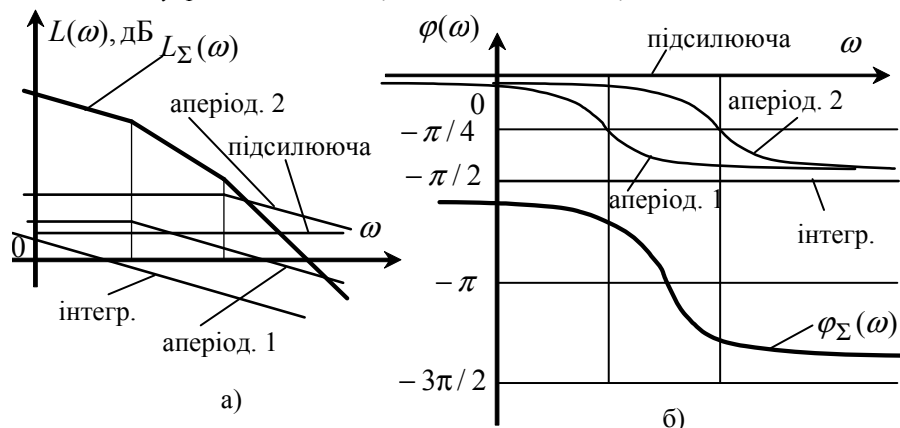


Рис. 3. ЛАЧХ (а) та ЛФЧХ(б) групи послідовно з'єднаних ланок

Виклад основного матеріалу

В якості прикладу для визначення частотних характеристик обираємо САР шафи холодильника описану раніше [3, 4].

САР описується наступним рівнянням:

$$W(p) = \frac{k_p}{(\tau_{xm} \cdot p + 1) \cdot (T_u \cdot p + 1) \cdot (T_d \cdot p + 1)}, \quad (3)$$

де τ_{xm} – час запізнення спрацювання холодильної машини, $\tau_{xm} = 0,004[c]$;

T_u – стала часу шафи, $T_u = 0,01[c]$;

T_d – стала часу пневмодатчика, $T_d = 0,003[c]$;

k_p – коефіцієнт передачі розімкнутої системи, $k_p = 350$ [4].

Використаємо декілька способів визначення частотних характеристик САР шафи холодильника.

1. Спосіб «графоаналітичний» [3]

Для САР шафи холодильника створимо її частотні характеристики для розімкнутої системи. Коло головного від'ємного зв'язку можна представити як чотири послідовно з'єднані ланки. Ці ланки таких типів: підсилювальна з коефіцієнтом передачі k_{pxm} , та три аперіодичних ланки першого порядку із сталими часу T_d , T_u та T_{xm} із загальними коефіцієнтами передачі k_d , k_u , k_{xm} відповідно. Задаємо конкретні значення цих чотирьох коефіцієнтів передачі: $k_{pxm} = 10,2$, $k_d = 0,7$, $k_u = 0,7$, $k_{xm} = 7$.

Першим кроком є визначення коефіцієнтів передачі у децибелах:

$$k_d = 20 \cdot \lg(0,7) = -3,1\text{дБ}; k_{pxm} = 20,2\text{дБ}; k_{xm} = 17\text{дБ}; k_u = -3,1\text{дБ}; k_p = 50,8\text{дБ}.$$

Другий крок – знаходження критичних частот для конкретних ланок: $\omega_i = 1\text{с}^{-1}$ (для ідеальної інтегруючої ланки);

$$\omega_u = 1/T_u = 1/0,01 = 100\text{с}^{-1}, \omega_d = 1/T_d = 1/0,003 = 333,3\text{с}^{-1}, \omega_{xm} = 1/T_{xm} = 1/0,004 = 250\text{с}^{-1}.$$

Третій крок – визначаємось з діапазоном відображення частоти ω . Мінімальна критична частота всіх ланок – 1с^{-1} , максимальна критична частота – 100с^{-1} . Додамо декаду зліва та декаду справа. Тому

діапазон ω оберемо в межах (масштаб – логарифмічний) $0,1 \text{ с}^{-1} \dots 1000 \text{ с}^{-1}$. На горизонтальній вісі частоти ω відкладаємо 5 поділок на однаковій відстані одна від одної (рис. 4). Ці поділки приймуть декадні значення 0,1, 1,0, 10, 100, 1000.

Четвертий крок – визначаємось з діапазоном значень $L(\omega)$. Максимальне значення коефіцієнтів – 50,8 дБ, мінімальне значення коефіцієнтів – (-3,1) дБ, тому вертикальну рівномірну вісь $L(\omega)$ будуємо від (-3,1) дБ до +50,8 дБ.

П'ятий крок – знаходимо положення критичних частот відносно поділок шкали ω у декадах. Частота $333,3 \text{ с}^{-1}$ розміщується від поділки 100 с^{-1} на відстані $\lg(333,3/100) = 0,47$ дек, а частота 250 с^{-1} – на 0,39 дек. Частота 100 с^{-1} співпадає з поділкою шкали.

Шостий крок має два різних варіанти виконання: перший – будуємо ЛАЧХ всіх ланок і ЛАЧХ розімкнутої САР як суму всіх ЛАЧХ ланок (рис. 4), другий – будуємо відразу ЛАЧХ САК. В останньому випадку це робиться так: знаходимо точку 1 як точку перетину координат критичної частоти інтегруючої ланки (1 с^{-1}) та коефіцієнта передачі розімкнутої САР у децибелах ($31 \text{ дБ} = (-3,1) \text{ дБ} + (-3,1) \text{ дБ} + (20,2 \text{ дБ}) + (17 \text{ дБ})$). Проводимо пряму горизонтальну лінію до перетину з ординатою критичної частоти шафи (100 с^{-1}) у точці 2. Від цієї точки 2 вправо вниз проводимо пряму лінію з нахилом (-20) дБ/дек до перетину з критичною частотою холодильної машини (250 с^{-1}) у точці 3. Від точки 3 вправо проводимо пряму лінію з нахилом (-40) дБ/дек до перетину з критичною частотою датчика ($333,3 \text{ с}^{-1}$) у точці 4. Від точки 4 вправо вниз проводимо пряму лінію з нахилом (-60) дБ/дек. Відрізки цих чотирьох ліній і будуть наближеною ЛАЧХ розімкнутої САР шафою холодильника.

Сьомий крок – точно під площиною графіків ЛАЧХ розміщуємо площину графіків ЛФЧХ так, щоб поділки осей ω співпали. Будуємо графіки ЛФЧХ окремих ланок і ЛФЧХ всієї системи як суму ЛФЧХ ланок (рис. 4).

Знаходимо важливу для визначення стійкості замкнутої САР частоту $\omega_\phi = -\pi$ точки 5 перетину ЛФЧХ САК із ординатою $-\pi$. З геометричних міркувань ця точка розміститься точно посередині між поділками критичних частот і її частотна координата становить 0,14 дек вправо від поділки 100 с^{-1} або 160 с^{-1} [3].

2. Спосіб автоматизований

Наявність спеціалізованих математичних пакетів дає можливість використати ПК для розрахунку частотних характеристик розімкнутих чи замкнутих САР.

2.1 З використанням програмного середовища LabVIEW [5]

Знайдемо аналітично АФЧХ з передавальної функції за допомогою формальної зміни комплексної перемінної $W(s) = W(j\omega)$.

Передавальна функція об'єкта керування після заміни матиме вигляд.

$$W^{ок}(p) = \frac{k_{ш}}{(T_{ш} \cdot s + 1)} = \frac{k_{ш}}{(T_{ш} \cdot j\omega + 1)}, \quad (4)$$

де $k_{ш}$ – коефіцієнт передачі шафи, $k_{ш} = 0,7 [\text{град}/\text{Вм}]$ [4].

Передавальна функція замкнутої системи після підстановки чисел та заміни комплексної перемінної матиме наступний вигляд:

$$W(p) = \frac{W_1 \cdot W_{ок}}{1 + W_2 \cdot W_1 \cdot W_{ок}} = \frac{\frac{71,4}{(0,004 \cdot p + 1)} \cdot \frac{0,7}{(0,01 \cdot p + 1)}}{1 + \left(\frac{0,7}{(0,03 \cdot p + 1)} \cdot \frac{71,4}{(0,004 \cdot p + 1)} \cdot \frac{0,7}{(0,01 \cdot p + 1)} \right)}.$$

Програма представляє собою два паралельних циклічних блоки з обмеженою кількістю ітерацій (яка вираховується з показників характеристик САР за частотою та кроком) та окремо коефіцієнтів чисельників та знаменників передавальних ланок та об'єкта керування у вигляді одновимірних масивів даних, котрі, в свою чергу, обраховуються за заданими в елементах обрахунку формулами. Елементи обрахунку представляють собою стандартні підпрограми поліноміальних обрахунків, в яких числа розглядаються в комплексному вигляді, після чого за отриманими результатами будується графік, що виводиться на лицюву панель.



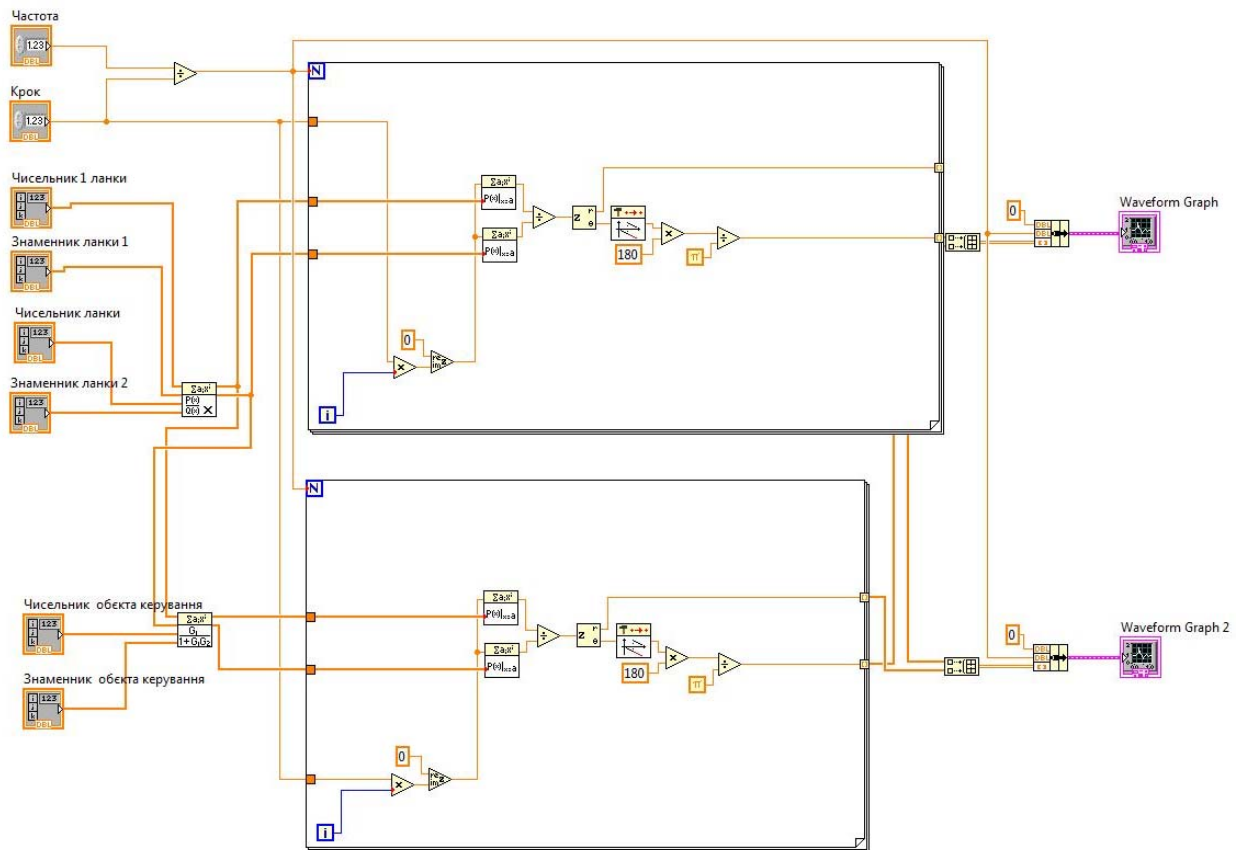


Рис. 5. Блок-схема програми для обрахунку частотних характеристик САР

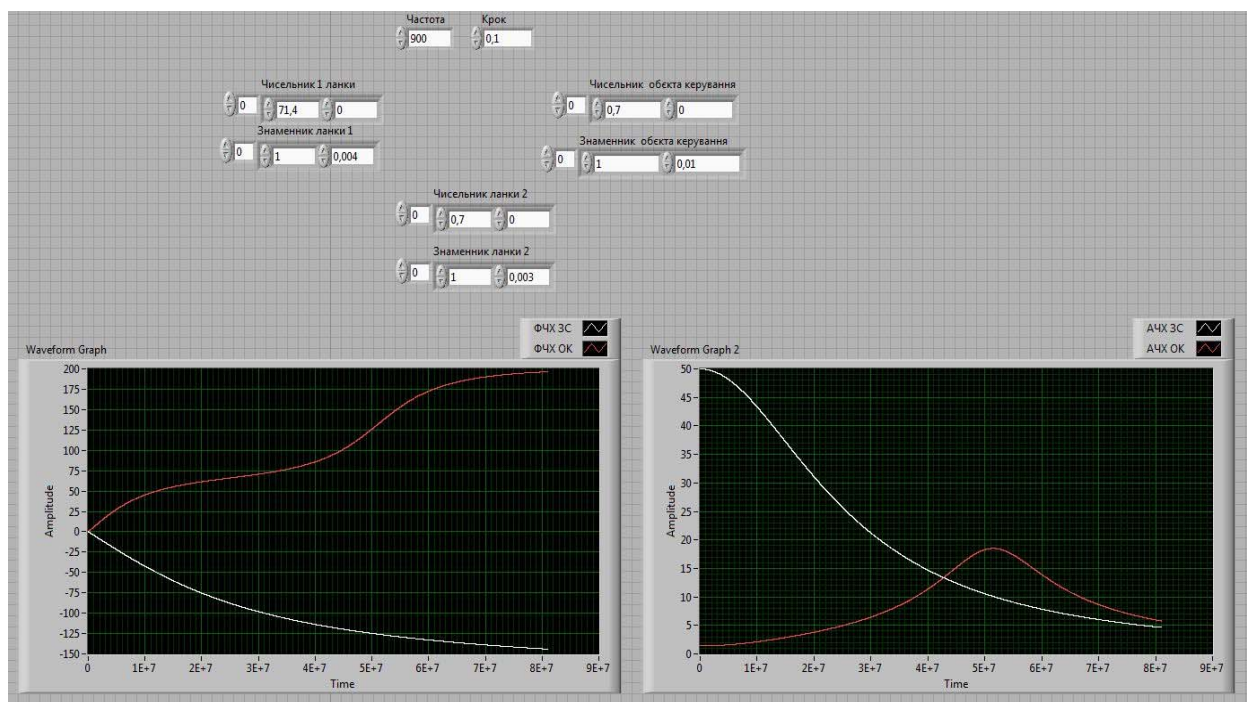


Рис. 6. Передня панель програми для обрахунку частотних характеристик САР

2.2.3 використання програмного продукту MathCad [6]

Побудуємо АФХ, ЛАЧХ і ЛФЧХ розімкнутої САР шафи холодильника (рис. 7). Текст у рамках – необов'язковий для роботи програми коментар. При розгляді АФХ обов'язково треба звернути увагу на проходження її біля точки з координатами $(-1,0)$.

Стрибок ЛФЧХ при значенні $\varphi = -\pi$ з'явився від обмеженості представлення функції $\arg(W)$. Ускладненням програми можна позбутися такого недоліку. З графіків характеристик видно, що ЛАЧХ не приймає значення 0.

Tsh = 0.01 Td = 0.003 Txp = 0.004 kp = 350 Значення параметрів системи

$p(\omega) = \omega \cdot j$

Оператор p - комплексне число (j) і функція від ω

$\omega = 0.1, 0.2, \dots, 900$

Частота ω змінюється від 0.1 до 900 з кроком 0.1

кр

Формула обчислення передавальної функції розімкнутої САР в залежності від оператора

$$W(\omega) = \frac{kp}{(Tsh \cdot p(\omega) + 1) \cdot (Td \cdot p(\omega) + 1) \cdot (Txp \cdot p(\omega) + 1)}$$

$U(\omega) = \text{Re}(W(\omega))$ Дійсна частина АФХ

$V(\omega) = \text{Im}(W(\omega))$ Уявна частина АФХ

$$A_{\text{дБ}}(\omega) = \sqrt{(U(\omega))^2 + (V(\omega))^2}$$

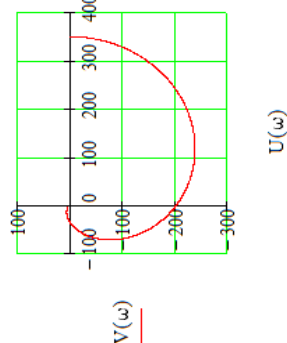
Амплітудночастотна характеристика (АЧХ)

$\phi(\omega) = \arg(W(\omega))$

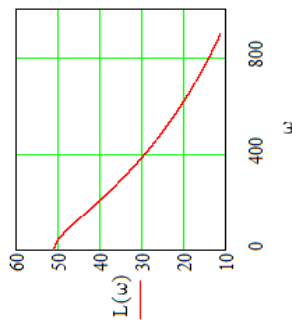
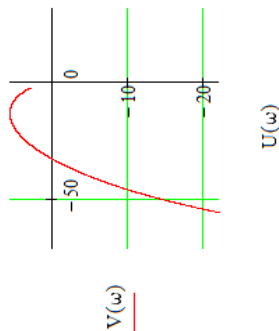
Фазочастотна характеристика (ФЧХ)

$$L_{\text{дБ}}(\omega) = 20 \cdot \log(A(\omega))$$

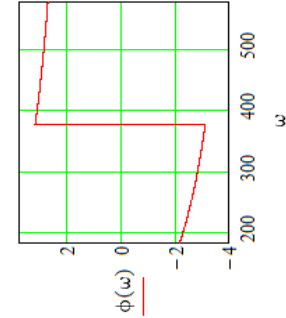
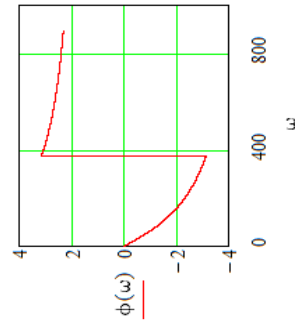
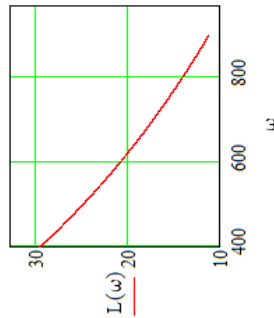
Логарифмічна амплітудночастотна характеристика (ЛАЧХ)



АФХ при різних діапазонах розглядання



ЛАЧХ при різних діапазонах розглядання



ЛФЧХ при різних діапазонах розглядання (перекручено)

Рис. 7. Файл Mathcad для побудови АФХ, ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнутої САР

2.3 З використанням програмного середовища MatLab [7]

Функції пакету Matlab дозволяють створювати модель у вигляді передавальної функції, а також розраховувати графіки її ЛАЧХ та ЛФЧХ, обчислювати запаси стійкості по фазі і амплітуді.

Припустимо, передавальна функція розімкнутого контуру моделі виглядає наступним чином:

$$G(p) = \frac{k_p}{1,2 \cdot 10^{-7} p^3 + 8,2 \cdot 10^{-5} p^2 + 0,017 p + 1}$$

Функція **tf** створює модель у вигляді передавальної функції. Командний рядок в робочому вікні **Command Window** в загальному випадку виглядає так:

$$\text{sys} = \text{tf}(\text{num}, \text{den}),$$

де *num* і *den* – вектори-рядки коефіцієнтів поліномів чисельника і знаменника, розташованих в порядку убавання ступенів. Результат виводиться після натискання кнопки **Enter** (рис. 8).

Функція **margin(sys)** (рис. 8) дозволяє обчислити і побудувати логарифмічні частотні характеристики розімкнутої САР із зазначенням запасів її стійкості.

Для більш наочного зображення можна встановити градування графіка натисканням правої кнопки миші і меню **Grid**.

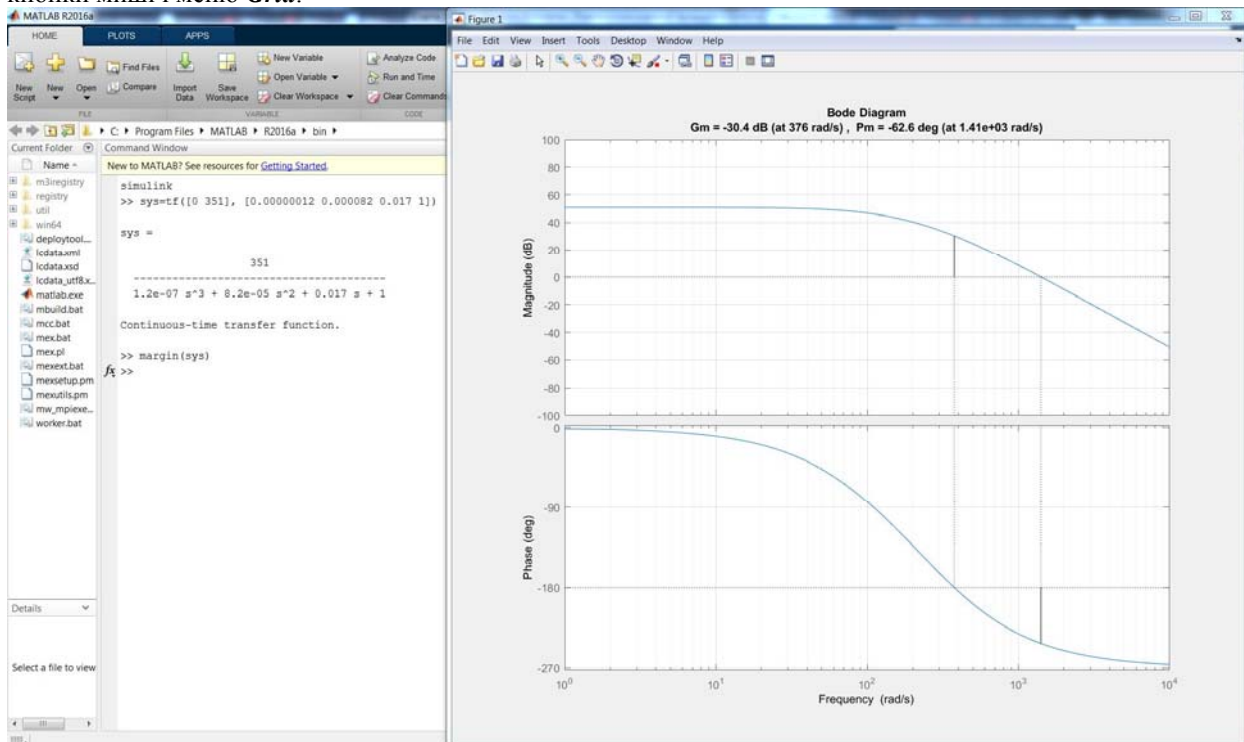


Рис. 8. Приклад розрахунку в робочому вікні Command Window та ЛАЧХ та ЛФЧХ із зазначенням запасів стійкості

Організація покрокового побудови ЛЧХ

Покрокова побудова ЛЧХ в програмному середовищі Matlab. Для цього слід в робочому вікні **Command Window** черзі ввести передавальні функції всіх ланок і передавальну функцію розімкнутого контуру. Потім вивести графіки ЛАЧХ на одному аркуші з допомогою функції **bode**. У загальному вигляді запис командного рядка виглядає так:

$$\text{bode}(\text{sys1}, \text{sys2}, \dots, \text{sysN})$$

Для схеми на рисунку 9 програма буде виглядати так, як це наведено у програмі нижче.

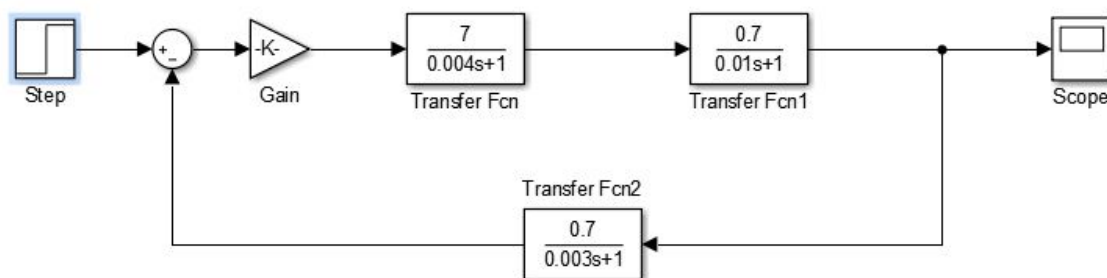


Рис. 9. Структурна схема моделі САР шафи холодильника

Програма для обрахунку частотних характеристик САР шафи холодильника:

```

>> sys1=tf([10.2])
sys1 =
    10.2
Static gain.
>> sys2=tf([0 7], [0.004 1])
sys2 =
    7
-----
    0.004 s + 1
Continuous-time transfer function.
>> sys3=tf([0 0.7], [0.01 1])
sys3 =
    0.7
-----
    0.01 s + 1
Continuous-time transfer function.
>> sys4=tf([0 0.7], [0.003 1])
sys4 =
    0.7
-----
    0.003 s + 1
Continuous-time transfer function.
>> sys5=tf([0 0 0 350], [0.00000012 0.000082 0.017 1])
sys5 =
    350
-----
    1.2e-07 s^3 + 8.2e-05 s^2 + 0.017 s + 1
Continuous-time transfer function.
>> bode(sys1,sys2,sys3,sys4,sys5)

```

Результати розрахунку представлені на рисунку 10. Якщо натиснути правою кнопкою миші, відкриється меню, в якому можна подивитися який колір передавальної функції відповідає (**Sistem**), виставити ґрадування (**Grid**). Для зміни параметрів графіка (наприклад, товщини лінії, кольору) потрібно натиснути **Edit - Current Object Properties**.

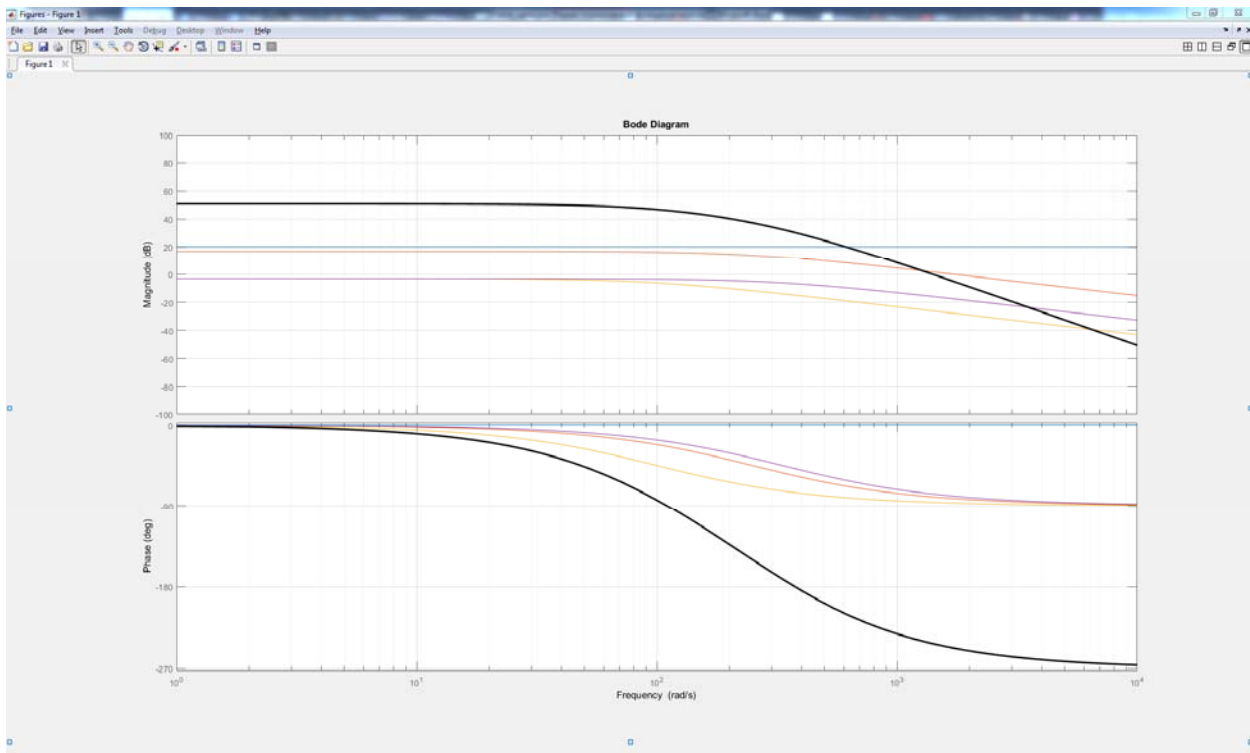


Рис.10. Графіки ЛАЧХ і ЛФЧХ окремих ланок і результуючі САР (виділені жирною лінією)

Запас стійкості САР шафи холодильника складає 30,4 дБ.

Висновки

Найлегшим при розрахунках є програмний продукт MathCad. Для визначення частотних характеристик вистачить лише передавальної функції розімкнутої САР та значення коефіцієнтів, які входять у вираз. Програмний продукт MathCad використовуючи вбудовані функції прорахує амплітудно-частотну і фазово-частотну характеристики та побудує необхідні нам графічні залежності.

Використання програмного середовища LabVIEW потребує знань із графічної мови програмування для побудови блок-схем та використання циклів і вбудованих математичних функцій. Введення значень у формули, які описують замкнену САР, потрібно виконувати в оберненому порядку.

Вбудовані функції програмного середовища Matlab можуть не лише розраховувати передаточні функції розімкнутої САР, будувати графіки логарифмічних амплітудно-частотної та фазово-частотної характеристик, а і обчислювати запаси стійкості по фазі і амплітуді.

Дослідження частотних характеристик САР, на прикладі САР шафи холодильника, наочно довело, що застосування програмних продуктів та середовищ (LabVIEW, MathCad, Matlab) підвищує точність визначення запасів стійкості систем, але вимагає знань не лише із теорії автоматичного керування, а і основ написання необхідних файл-програм для приведення передавальних функцій у потрібний вигляд.

Література

1. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування / Попович М.Г., Ковальчук О.В. – К. : Либідь, 1997. – 544 с.
2. Власов К.П. Теория автоматического управления : учебное пособие / Власов К.П. – Х. : Изд-во Гуманитарный центр, 2007. – 526 с.
3. Теорія автоматичного керування : конспект лекцій для студентів спеціальності „Обладнання легкої промисловості та побутового обслуговування” / Г.Ф. Воронін. – Хмельницький : ТУП, 2002. – 50 с.
4. Майдан П.С. Оцінка стійкості замкнутої системи автоматичного регулювання за допомогою частотних критеріїв / П.С. Майдан, Г.Ф. Воронін, Е.О. Золотенко, А.В. Буряк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 6. – С. 42–50.
5. Васильев В.Г. LabVIEW для изучающих теорию автоматического управления : учебное пособие / В.Г. Васильев. – Тверь, 2012. – 159 с.
6. Теорія автоматичного керування. Лабораторний практикум для студентів спеціальностей „Обладнання легкої промисловості та побутового обслуговування” і „Електропобутова техніка”. Частина 1. «Аналіз лінійних систем автоматичного керування» / Г.Ф. Воронін, С.Л. Горященко. – Хмельницький : ТУП, 2003. – 60 с.
7. Борисевич А.В. Теория автоматического управления: элементарное введение с применением MATLAB / Борисевич А.В. – СПб : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 200 с.

References

1. Popovych M.H., Koval'chuk O.V. Teoriya avtomatichnoho keruvannya. – K.: Lybid', 1997. – 544 s.
2. Vlasov K.P. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya. Uchebnoe posobyie. - X.: Yzd-vo Humanyarnyy tsentr, 2007. - 526 s.
3. Teoriya avtomatichnoho keruvannya. Konspekt lektsiy dlya studentiv spetsial'nosti „Obladnannya lehkoji promyslovosti ta pobutovoho obsluhovuvannya” / H.F.Voronin. – Khmel'nyts'kyi: TUP, 2002. – 50 s.
4. Ocinka stijkosti zamknuтой sy'stemy` avtomatychnogo regulyvannya za dopomogoy chastyotny'x kry'teriyiv / Majdan P.S., Voronin G.F., Zolotenko E.O., Buryak A.V. // Visny'k Xmel'ny'cz'kogo nacional'nogo universy'tetu. Texnichni nauky. – 2017. – № 6. – S.42–50.
5. Vasy'lev V.H. LabVIEW dlya yzuchayushchykh teoryyu avtomaticheskogo upravleniya. Uchebnoe posobyie. / V.H. Vasy'lev. - Tver', 2012. – 159 s.
6. Teoriya avtomatichnoho keruvannya. Laboratornyy praktykum dlya studentiv spetsial'nostey „Obladnannya lehkoji promyslovosti ta pobutovoho obsluhovuvannya” i „Elektropobutova tekhnika”. Chastyna 1. «Analiz liniynykh system avtomatichnoho keruvannya» / H.F. Voronin, S.L. Horyashchenko. – Khmel'nyts'kyi: TUP, 2003. – 60 s.
7. Borysevych A.V. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya: elementarnoe vvedeniye s pryimeneniyem MATLAB. - SPb.: Yzd-vo Polytekh. un-ta, 2011. - 200 s.

Рецензія/Peer review : 13.05.2018 р.

Надрукована/Printed : 13.07.2018 р.

Рецензент: : к.т.н., проф. Кармаліта А.К.

РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ СЕРЕДНЬОЇ ВИСОТИ ЗАЗОРУ ТА ПИТОМОЇ ПЛОЩІ ШОРСТКОЇ ПОВЕРХНІ КОНТАКТУ БЕЗЗМАЩУВАЛЬНИХ ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВИХ УЩІЛЬНЕНЬ

На основі теорії стохастичних процесів розроблені методи розрахунку основних характеристик контакту спряжених поверхонь беззмашувальних циліндро-поршневих ущільнень. Результатом є створення інженерних методів розрахунку герметичності (тривалості натікання газу) в беззмашувальних циліндро-поршневих металополімерних ущільненнях. В статті розглядається пружний контакт сильно анізотропної шорсткої поверхні (полімерна поверхня) з гладкою (металева поверхня). Поставлено задачу розробити інженерні методи розрахунку основних характеристик контакту спряжених поверхонь беззмашувальних циліндро-поршневих металополімерних ущільнень – середньої висоти зазору та питомої площі шорсткої поверхні контакту, а також виконати аналіз точності розроблених методів.

Ключові слова: контакт; номінальний контактний тиск; середня висота зазору; питома площа шорсткої поверхні контакту; тривалість натікання газу; беззмашувальні циліндро-поршневі ущільнення; профілограма, теорія стохастичних полів.

O.G. TYMOSHCHUK

Khmelnytskyi National University

DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF ACCURACY OF CALCULATION METHODS MEDIUM HEIGHTS COMPLETED AND CURRENT PLATES SHORT SURFACE OF CONTACT OF NON-MAKING CYLINDRO-PISTON SEALS

On the basis of the theory of stochastic processes, methods for calculating the main characteristics of the contact of the conjugated surfaces of the non-greasy cylinder-piston seals are developed. The result is the creation of engineering methods for calculating the tightness (duration of gas leakage) in the non-greasy cylinder-piston metal-polymer seals. The article deals with the elastic contact of a strongly anisotropic rough surface (polymeric surface) with a smooth (metal surface). The task is to develop engineering methods for calculating the main characteristics of the contacting surfaces of the non-greasy cylinder-piston metal-polymer seals - the average height of the gap and the specific area of the rough surface of the contact, as well as perform an analysis of the accuracy of the developed methods. It is proved that the asymptotic formula of the specific surface area of a rough, strongly anisotropic surface coincides with the gradient formula for this surface. With the help of the Flaeche program [8], the ratio of the specific surface area of a rough, strongly anisotropic surface with a second order spectral moment is calculated. In order to determine the average clearance height, the exact formula derived on the basis of which the calculated (engineering) formula is derived. The values calculated for the exact and calculated formula of the average gap height are not more than 0.14 at $K < 1$ and not more than 0.01 at $K > 1$. To determine the specific surface area of the rough, strongly anisotropic surface, the exact formula, on the basis of which two variants of the calculated (engineering) formula of the specific area of the rough surface of contact of the conjugated surfaces are obtained. Values calculated on the exact and estimated formulas of the specific surface area of rough surface do not differ by more than 0.063, or by 0.6%.

Keywords: contact; nominal contact pressure; average clearance height; specific area of the rough surface of the contact; duration of gas flow; non-greasy cylinder-piston seals; profile graph, theory of stochastic fields.

Вступ

В силу законів кінематики руху елементів кінематичної пари, шорсткі поверхні спряження циліндро-поршневих ущільнень можна розглядати як поверхні з сильною анізотропією, тобто їх можна характеризувати на підставі профілограми, що записана в поперечному напрямку. Оскільки задача про контактування двох шорстких поверхонь може бути зведена до задачі про контактування гладкої площини з еквівалентною шорсткою поверхнею [1, 2], тому використовується саме така розрахункова схема. Підставою для використання такої розрахункової схеми є і те, що в беззмашувальних циліндро-поршневих ущільненнях найчастіше використовуються металополімерні пари [3], а для них характерно те, що середньоарифметичне відхилення Ra точок профілю полімерного матеріалу є значно більшим за аналогічний показник металевої поверхні. З огляду на сказане вище, в статті розглядається пружний контакт сильно анізотропної шорсткої поверхні (полімерна поверхня) з гладкою (металева поверхня).

Постановка проблеми

Семенюк М.Ф. [4, 5] розглядав профілограму, записану в напрямку θ на шорсткій поверхні $z=z(x,y)$ як реалізацію стохастичного процесу $z = z(r)$. Вважається, що процес $z(r)$ є стаціонарним нормальним із середнім

$$\overline{z(r)} = 0 \quad (1)$$

і кореляційною функцією

$$K_{\theta}(r) = \lim_{L_0 \rightarrow \infty} \frac{1}{2L_0} \int_{-L_0}^{L_0} z(r_1) z(r_1 + r) dr_1, \quad (2)$$

Спектральна функція зв'язана з кореляційною функцією перетворенням Фур'є:

$$\Phi_{\theta}(k') = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_{\theta}(r) e^{-ik'r} dr. \quad (3)$$

Виклад основного матеріалу

Необхідно розробити інженерні методи розрахунку основних характеристик контакту спряжених поверхонь беззмасуваньних циліндро-поршневих металополімерних ущільнень – середньої висоти зазору та питомої площі шорсткої поверхні контакту.

Середня висота зазору може бути розрахована як відношення міжконтактного об'єму до номінальної площі контакту, що омивається середовищем – газом чи рідиною:

$$H_s = \frac{V}{1-\eta}, \quad (4)$$

де η – відносна фактична площа контакту.

Перетворимо знаменник формули (4), користуючись наступною формулою [8]:

$$\eta = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{u}{\sqrt{2}}\right), \quad (5)$$

і отримаємо

$$1-\eta = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(-\frac{u}{\sqrt{2}}\right), \quad (6)$$

де u – ефективний рівень деформації.

На підставі формули міжконтактного об'єму, розрахованого як об'єм простору, обмеженого шорсткою деформованою поверхнею і площиною, що перетинає поверхню на рівні u :

$$V = \frac{m_0^{1/2}}{2} \left[\left(\frac{2}{\pi} \right)^{1/2} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) + u \operatorname{erfc}\left(-\frac{u}{\sqrt{2}}\right) \right], \quad (7)$$

і формули (6) формула (4) має наступний вигляд:

$$H_s = m_0^{1/2} \left\{ u + \left[\left(\frac{\pi}{2} \right)^{1/2} \exp\left(\frac{u^2}{2}\right) \operatorname{erfc}\left(-\frac{u}{\sqrt{2}}\right) \right]^{-1} \right\}. \quad (8)$$

Дослідимо граничні випадки формули (8). У випадку малих навантажень, коли $u \rightarrow \infty$, отримаємо:

$$H_s \rightarrow m_0^{1/2} u, \quad (9)$$

де $m_0 = \frac{\pi}{2} R a^2$ – спектральний момент нульового порядку.

У випадку великих навантажень, коли $u \rightarrow -\infty$, маємо наступне. Користуючись асимптотичним представленням додаткового інтегралу ймовірностей [9], для нашого випадку маємо:

$$\left(\frac{\pi}{2} \right)^{1/2} \exp\left(\frac{u^2}{2}\right) \operatorname{erfc}\left(-\frac{u}{\sqrt{2}}\right) \rightarrow -u. \quad (10)$$

Підставивши (10) в (8), отримаємо:

$$H_s \rightarrow 0. \quad (11)$$

Ми отримали якісно правильний результат – із збільшенням навантаження середня висота зазору прямує до нуля.

На підставі формули (8) і формули [10]

$$1 - \exp(-K) - \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{u}{\sqrt{2}}\right) = 0. \quad (12)$$

за допомогою програми Spiel [8] розрахований зв'язок середньої висоти зазору з комплексом умов контактування

$$K = \frac{1,83 \sigma_n}{Eq}, \quad (13)$$

де σ_n – номінальне напруження в контакт;

E – зведений модуль Юнга;

q – градієнт шорсткої поверхні.

Отримані результати представлені на рис.1.

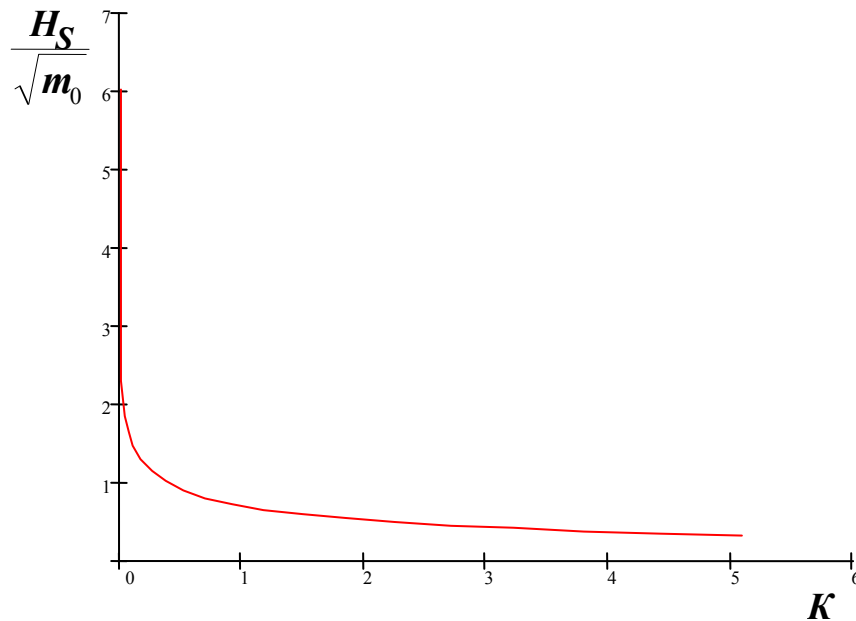


Рис. 1. Залежність середньої висоти зазору від комплексу умов контактування

Залежність, представлена на рис. 1, була апроксимована формулою:

$$\frac{H_S}{\sqrt{m_0}} = \begin{cases} -8,025 + 3,898 \ln(9,236 - C), & (C < 0); \\ 190,9 \exp[-(9,14 + C)^{0,78}] & (C \geq 0) \end{cases} \quad (14)$$

Формула (14) отримана в результаті розрахунків за програмами Appr_Hs_1, Appr_Hs_2 [8]. Вона якісно правильно описує поведінку рівня деформації при зміні номінального навантаження, оскільки з неї випливає, що:

$$\lim_{\sigma_n \rightarrow 0} H_S = \infty ;$$

$$\lim_{\sigma_n \rightarrow \infty} H_S = 0.$$

Визначимо питому площу шорсткої, сильно анізотропної поверхні S , тобто відношення площі шорсткої поверхні S_s до номінальної площі контакту A_a . Очевидно, що величина, яка розглядається, є безрозмірною.

Для розрахунку величини S в [11] використана формула:

$$S = \frac{1}{2m_2\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{1}{4m_2^2}\right) \left[K_0\left(\frac{1}{2m_2}\right) + K_1\left(\frac{1}{2m_2}\right) \right], \quad (15)$$

де $m_2 = m_0(\pi \cdot D_0)^2$ – спектральний момент другого порядку;

$K_0(\dots)$, $K_1(\dots)$ – модифіковані функції Бесселя.

Величина S в [11] названа питомою довжиною профілограми. Очевидно, що у випадку шорстких, сильно анізотропних поверхонь вона є також і питомою площею шорсткої поверхні.

Виходячи з визначення питомої площі, ясно, що для гладкої поверхні, тобто поверхні, для якої $m_2 = 0$, величина S повинна дорівнювати 1. Перевіримо, чи задовольняє цій умові формула (15).

Враховуючи асимптотичні представлення для модифікованих функцій Бесселя [12], при $m_2 \rightarrow 0$ маємо:

$$K_0\left(\frac{1}{2m_2}\right) \rightarrow \sqrt{\pi m_2} \exp\left(-\frac{1}{2m_2}\right);$$

$$K_1\left(\frac{1}{2m_2}\right) \rightarrow \sqrt{\pi m_2} \exp\left(-\frac{1}{2m_2}\right);$$

$$S \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2m_2}} \exp\left(\frac{1}{4m_2^2} - \frac{1}{2m_2}\right).$$

Таким чином отримуємо, що, якщо виходити з формули (15), то $\lim_{m_2 \rightarrow 0} S = \infty$. Цей результат свідчить про те, що формула (15) неправильна.

Інша формула для розрахунку величини S наведена в [13]. В цій роботі величина, яка розглядається, названа довжиною реалізації гаусівського процесу. Ця формула має наступний вигляд:

$$S = \frac{\beta \exp(\beta^2)}{\sqrt{2\pi}} [K_0(\beta^2) + K_1(\beta^2)], \quad (16)$$

де $\beta = 1/(2m_2)$.

Перевіримо, чи задовольняє ця формула умові $\lim_{m_2 \rightarrow 0} S = 1$. При $m_2 \rightarrow 0$ (відповідно $\beta \rightarrow \infty$) отримуємо:

$$K_0(\beta^2) \rightarrow \frac{1}{\beta} \sqrt{\frac{\pi}{2}} \exp(-\beta^2);$$

$$K_1(\beta^2) \rightarrow \frac{1}{\beta} \sqrt{\frac{\pi}{2}} \exp(-\beta^2);$$

$$S \rightarrow 1.$$

Таким чином, потрібна умова виконується.

Перевіримо тепер, як веде себе формула (16) при $\beta \rightarrow 0$. Ясно, що із збільшенням шорсткості, коли $m_2 \rightarrow \infty$ (відповідно $\beta \rightarrow 0$), повинна виконуватись умова $S \rightarrow \infty$. Використовуючи результати [12], для нашого випадку маємо:

$$K_0(\beta^2) \rightarrow -2 \ln \beta;$$

$$K_1(\beta^2) \rightarrow \frac{1}{\beta^2}.$$

Таким чином, отримуємо:

$$S \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left(\frac{1}{\beta} - \beta \ln \beta \right).$$

Користуючись правилом Лопіталя, маємо:

$$\lim_{\beta \rightarrow 0} \beta \ln \beta = 0.$$

Отже, маємо $S \rightarrow \infty$.

Хоча формула (16) і задовольняє необхідним умовам, все таки вона викликає сумніви. Якщо проаналізувати процес її виводу [13], то стає очевидним, що аргументом модифікованих функцій Бесселя в цій формулі не може бути величина β^2 . Таким чином, є потреба ще раз повернутись до виводу формули питомої площі шорсткої, сильно анізотропної поверхні.

Розглянемо стаціонарний гаусівський профіль $z(r)$. Довжина профілю на одиничному інтервалі обчислюється за формулою:

$$L = \frac{1}{l} \int_0^l [1 + (z')^2]^{1/2} dr,$$

де l – номінальна довжина профілю; $z' = dz/dr$.

Математичне сподівання величини L (тобто питома довжина профілю, вона ж питома площа поверхні S) рівне:

$$S = E(L) = E \left\{ \frac{1}{l} \int_0^l [1 + (z')^2]^{1/2} dr \right\} =$$

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi m_2}} \int_{-\infty}^{\infty} [1 + (z')^2]^{1/2} \exp\left[-\frac{(z')^2}{2m_2}\right] dz' = \sqrt{\frac{2}{\pi m_2}} \int_0^{\infty} [1 + (z')^2]^{1/2} \exp\left[-\frac{(z')^2}{2m_2}\right] dz' . \quad (17)$$

При перетвореннях в (17) беремо до уваги, що спектральний момент другого порядку m_2 – це дисперсія величини z' .

Щоб можна було порівнювати наші результати з [13], позначимо, як і в [13], $\beta = 1/(2m_2)$. Крім того, позначимо $y = (z')^2$. Тоді (17) набуває вигляду:

$$S = \sqrt{\frac{\beta}{\pi}} \int_0^{\infty} (1+y)^{1/2} y^{-1/2} \exp(-\beta y) dy . \quad (18)$$

Відомий наступний результат [14]:

$$\int_0^{\infty} x^{\nu-1} (x+\gamma)^{-\rho} \exp(-\mu x) dx = \gamma^{\frac{\nu-\rho-1}{2}} \mu^{\frac{\rho-\nu-1}{2}} \exp\left(\frac{\mu\gamma}{2}\right) \Gamma(\nu) W_{\frac{1-\nu-\rho}{2}, \frac{\nu-\rho}{2}}(\mu\gamma) , \quad (19)$$

де $W_{\lambda, \chi}(\dots)$ – функція Уіттекера;

$\Gamma(\dots)$ – гама-функція.

Оскільки в нашому випадку

$$\nu = \frac{1}{2}; \quad \gamma = 1; \quad \rho = -\frac{1}{2}; \quad \mu = \beta ,$$

то з врахуванням (19) формула (18) набуває вигляду:

$$S = \frac{1}{\sqrt{\beta}} \exp\left(\frac{\beta^2}{2}\right) W_{\frac{1}{2}, \frac{1}{2}}(\beta) . \quad (20)$$

Скориставшись рекурентними формулами, наведеними в [14], отримаємо:

$$W_{\frac{1}{2}, \frac{1}{2}}(\beta) = \sqrt{\beta} W_{0,0}(\beta) + \frac{1}{2} W_{-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}}(\beta) ; \quad (21)$$

$$W_{\frac{1}{2}, \frac{1}{2}}(\beta) = \sqrt{\beta} W_{0,1}(\beta) - \frac{1}{2} W_{-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}}(\beta) . \quad (22)$$

На підставі (21) і (22) маємо:

$$W_{\frac{1}{2}, \frac{1}{2}}(\beta) = \frac{\sqrt{\beta}}{2} [W_{0,0}(\beta) + W_{0,1}(\beta)] . \quad (23)$$

Враховуючи зв'язок функцій Уіттекера з модифікованими функціями Бесселя [14], а саме:

$$W_{0,\chi}(z) = \sqrt{\frac{z}{\pi}} K_{\chi}\left(\frac{z}{2}\right) ,$$

маємо:

$$W_{\frac{1}{2}, \frac{1}{2}}(\beta) = \frac{\beta}{2\sqrt{\pi}} \left[K_0\left(\frac{\beta}{2}\right) + K_1\left(\frac{\beta}{2}\right) \right] . \quad (24)$$

Підставивши (24) в (20), отримаємо:

$$S = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\frac{\beta}{2}} \exp\left(\frac{\beta}{2}\right) \left[K_0\left(\frac{\beta}{2}\right) + K_1\left(\frac{\beta}{2}\right) \right] . \quad (25)$$

Якщо тепер порівняти формулу (25) з формулою (16), отриманою в [13], то стане ясно, в чому полягають помилки останньої формули. В ній замість $\beta/2$ вказано β^2 , а замість $\sqrt{\beta/2}$ вказано β .

Підставивши в (25) позначення $\beta = 1/(2m_2)$, остаточно отримаємо формулу:

$$S = \frac{1}{2\sqrt{2\pi m_2}} \exp\left(\frac{1}{4m_2}\right) \left[K_0\left(\frac{1}{4m_2}\right) + K_1\left(\frac{1}{4m_2}\right) \right] . \quad (26)$$

Перевіримо якісну поведінку формули (26). Для гладких поверхонь, коли $m_2 \rightarrow 0$, маємо:

$$\begin{aligned} K_0\left(\frac{1}{4m_2}\right) &\rightarrow \sqrt{2\pi m_2} \exp\left(-\frac{1}{4m_2}\right); \\ K_1\left(\frac{1}{4m_2}\right) &\rightarrow \sqrt{2\pi m_2} \exp\left(-\frac{1}{4m_2}\right); \\ S &\rightarrow 1. \end{aligned}$$

При збільшенні шорсткості, коли $m_2 \rightarrow \infty$, отримаємо:

$$\begin{aligned} K_0\left(\frac{1}{4m_2}\right) &\rightarrow \ln(4m_2); \\ K_1\left(\frac{1}{4m_2}\right) &\rightarrow 4m_2; \\ S &\rightarrow \sqrt{\frac{2m_2}{\pi}} + \frac{\ln(4m_2)}{2\sqrt{2\pi m_2}}. \end{aligned}$$

Застосувавши правило Лопітала, отримуємо асимптотичну формулу для випадку великих значень m_2 :

$$S \rightarrow \sqrt{\frac{2m_2}{\pi}}. \quad (27)$$

Ясно, що при $m_2 \rightarrow \infty$ маємо $S \rightarrow \infty$.

Таким чином, виведена формула (26) задовольняє усім потрібним умовам. Проаналізувавши формулу (27), приходимо до цікавого висновку – асимптотична формула питомої площі шорсткої, сильно анізотропної поверхні збігається з формулою градієнта цієї поверхні.

Виведемо тепер на підставі точної формули (26) апроксимуючу залежність, якою можна було б користуватись в практичних розрахунках. Для цього потрібно оцінити можливий інтервал зміни величини m_2 . З формули градієнта поверхні маємо:

$$m_2 = \frac{\pi}{2} q^2.$$

Фізичний зміст градієнта поверхні q наступний. Градієнт q – це середнє значення абсолютної величини тангенсів кутів нахилу нерівностей поверхні. Кути нахилу нерівностей реальних шорстких поверхонь складають декілька градусів, тому буде більш ніж достатньо, якщо обмежити величину q значенням 1. Відповідно для m_2 отримаємо, що для реальних поверхонь виконується нерівність $m_2 < 1,5$.

На підставі формули (26) за допомогою програми Flacche [8] розрахований зв'язок питомої площі шорсткої, сильно анізотропної поверхні з спектральним моментом другого порядку. Отримані результати представлені на рис. 2.

Залежність, представлена на рис. 2, була апроксимована формулою:

$$S = 1 + 0,352 m_2^{0,821}. \quad (28)$$

Вона якісно правильно описує поведінку питомої площі при зміні спектрального моменту другого порядку, оскільки з неї випливає наступне:

$$\begin{aligned} \lim_{m_2 \rightarrow 0} S &= 1; \\ \lim_{m_2 \rightarrow \infty} S &= \infty. \end{aligned}$$

Формулу (28) можна привести до такого вигляду, коли вона міститиме лише стандартні показники шорсткості, передбачені ГОСТ 2789–73. Спектральний момент другого порядку має вигляд

$$m_2 = 2\pi^3 \left(\frac{Ra}{S_m} \right)^2, \quad (29)$$

де Ra – середньоарифметичне відхилення точок профілю шорсткої поверхні;

S_m – середній крок нерівностей профілю по середній лінії.

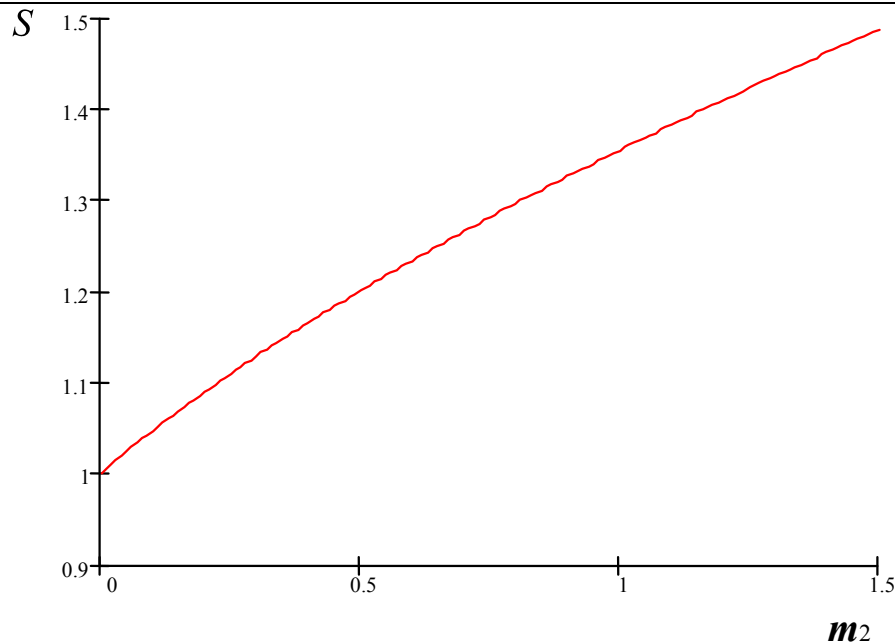


Рис. 2. Залежність питомої площі поверхні від спектрального моменту другого порядку

Підставивши (29) в (28), отримаємо такий варіант розрахункової формули:

$$S = 1 + 10,45 \left(\frac{Ra}{S_m} \right)^{1,643}. \quad (30)$$

Висновки

Для визначення середньої висоти зазору виведена точна формула

$$H_s = m_0^{1/2} \left\{ u + \left[\left(\frac{\pi}{2} \right)^{1/2} \exp \left(\frac{u^2}{2} \right) \operatorname{erfc} \left(-\frac{u}{\sqrt{2}} \right) \right]^{-1} \right\},$$

на основі якої отримана розрахункова (інженерна) формула:

$$\frac{H_s}{\sqrt{m_0}} = \begin{cases} -8,025 + 3,898 \ln(9,236 - C), & (C < 0); \\ 190,9 \exp[-(9,14 + C)^{0,78}] & (C \geq 0) \end{cases}.$$

Значення, розраховані за точною та розрахунковою формулою середньої висоти зазору різняться не більше, ніж на 0,14 при $K \leq 1$ та не більше, ніж на 0,01 при $K > 1$.

Для визначення питомої площі шорсткої, сильно анізотропної поверхні виведена точна формула

$$S = \frac{1}{2\sqrt{2\pi m_2}} \exp \left(\frac{1}{4m_2} \right) \left[K_0 \left(\frac{1}{4m_2} \right) + K_1 \left(\frac{1}{4m_2} \right) \right].$$

Показано, що асимптотична формула для випадку великих значень m_2 має вигляд:

$$S \rightarrow \sqrt{\frac{2m_2}{\pi}}.$$

і збігається з формулою градієнта цієї поверхні.

Досліджена залежність питомої площі шорсткої, сильно анізотропної поверхні від спектрального моменту другого порядку.

На підставі точної формули отримані два варіанти розрахункової формули:

$$S = 1 + 0,352 m_2^{0,821}$$

та

$$S = 1 + 10,45 \left(\frac{Ra}{S_m} \right)^{1,643}.$$

Значення, розраховані за точною та розрахунковими формулами питомої площі шорсткої поверхні різняться не більше, ніж на 0,063, або на 0,6%.

Література

1. Francis H.A. Application of spherical indentation mechanics to reversible and irreversible contact between rough surfaces // *Wear*. – 1977. – V. 45. – N 2. – P. 221 – 269.
2. Nayak P.R. Random process model of rough surfaces in plastic contact // *Wear*. – 1973. – V. 26. – P. 305 – 333.
3. Новиков И.И. Бесшмазочные поршневые уплотнения в компрессорах / Новиков И.И., Захаренко В.П., Ландо Б.С. – Л. : Машиностроение, 1981. – 238 с.
4. Семенюк Н.Ф. Исследование топографии поверхностей методом случайного поля и разработка расчётных методов оценки фактической площадки контакта при трении твёрдых тел : дис. ... канд. техн. наук / Семенюк Н.Ф. – Якутск, 1983. – 149 с.
5. Semenjuk N.F. Entwicklung von Berechnungsverfahren der Reibungs- und Verschleißtheorie mit Hilfe des Modells stochastischer Felder: Diss. B an der Technischen Hochschule Zittau. – Zittau, 1991. – 160 s.
6. Калда Г.С. Разработка методов расчёта контактных перемещений и герметичности металлополимерных сопряжений с помощью модели случайного поля : дис. ... канд. техн. наук / Калда Г.С. – Хмельницкий, 1989. – 184 с.
7. Бачинская Н.К. Исследование контактных характеристик шероховатых, сильно анизотропных поверхностей : дис. ... канд. техн. наук / Бачинская Н.К. – Хмельницкий, 1994. – 166 с.
8. Тимошук О.Г. Розробка методів розрахунку та експериментального дослідження герметичності безшмазувальних циліндро-поршневих ущільнень : дис. ... канд. техн. наук / Тимошук О.Г. – Хмельницький, 2003. – 386 с.
9. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами / под ред. М. Абрамовица и И. Стигана ; пер. с англ. – М. : Наука, 1979. – 832 с.
10. Тимошук О.Г. Інженерні методи розрахунку міжконтактного об'єму і ефективного рівня деформації безшмазувальних циліндро-поршневих ущільнень / О.Г. Тимошук, М.Ф. Семенюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2005. – № 1. – С. 16–21.
11. Свириденко А.И. Механика дискретного фрикционного контакта / Свириденко А.И., Чижик С.А., Петраковец И.И. – Минск : Наука і техника, 1990. – 272 с.
12. Хусу А.П. Шероховатость поверхностей (теоретико-вероятностный подход) / Хусу А.П., Витенберг Ю.Р., Пальмов В.А. – М. : Наука, 1975. – 344 с.

References

1. Francis H.A. Application of spherical indentation mechanics to a reversible and irreversible contact between rough surfaces // *Wear*. - 1977. - V. 45. - N 2. - P. 221-269.
2. Nayak P.R. Random process model of rough surfaces in plastic contact // *Wear*. - 1973. - V. 26. - P. 305 - 333.
3. Novikov I.I., Zakharenko V.P., Lando B.S. Lubricating piston seals in compressors. - L.: Mechanical Engineering, 1981. - 238 p.
4. Semenjuk N.F. Investigation of the topography of surfaces by random field method and elaboration of rigorous methods for evaluating the actual contact area for solids friction: Dis. ... Candidate tech sciences - Yakutsk, 1983. - 149 p.
5. Semenjuk N.F. Entwicklung von Berechnungsverfahren der Reibungs- und Verschleißtheorie mit Hilfe des Modells stochastischer Felder: Diss. B an der Technischen Hochschule Zittau. - Zittau, 1991. - 160 S.
6. Kalda G.S. Development of methods for calculation of contact displacements and tightness of metal-poly-dimensional conjugations using a random field model: Dis. ... Candidate tech sciences - Khmel'nitsky, 1989. - 184 p.
7. Bachinskaya N.K. Investigation of contact characteristics of rough, strongly anisotropic surfaces: Dis. ... Candidate tech sciences - Khmel'nitsky, 1994. - 166 p.
8. Tymoshchuk O.G. Development of calculation methods and experimental study of tightness of non-greasy cylinder-piston seals: Dis. ... Candidate tech sciences - Khmel'nitsky, 2003. - 386 p.
9. Handbook of special functions with formulas, graphs and mathematical tables / Ed. M. Abramovets and I. Stigan: Per. from english - Moscow: Nauka, 1979. - 832 p.
10. Tymoshchuk O.G., Semenjuk M.F. Engineering methods for calculating the intercontact volume and effective level of deformation of non-greasy cylinder-piston seals / Bulletin of Khmel'nitsky National University. Technical sciences. - 2005. - №1. - P. 16-21.
11. Sviridenko A.I., Chizhik S.A., Petrakovets I.I. Mechanics of discrete friction contact. - Mn.: Nauka and technics, 1990. - 272 p.
12. Husu A.P., Vitenberg Y., Palmov V.A. Roughness of surfaces / theoretic-probabilistic approach /. - Moscow: Nauka, 1975. - 344 p.

Рецензія/Peer review : 06.05.2018 р.

Надрукована/Printed : 11.07.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

І.Г. ДОБРОТВОР

Тернопільський національний економічний університет

Д.П. СТУХЛЯК

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ У ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТНИХ ПОКРИТТЯХ ДЛЯ РІЗНИХ ДИСПЕРСНИХ НАПОВНЮВАЧІВ

На основі проведених випробувань побудовано модель та здійснено аналіз параметрів епоксидних композитних покриттів із дисперсними наповнювачами різної природи. Встановлено рекомендації для формування оптимальних покриттів на основі мінімізації залишкових внутрішніх напружень матеріалу. Вказано межі параметрів, що не рекомендуються для експлуатації.

Ключові слова: композит, олігомер, наповнювач, вміст, покриття, товщина, напруження.

I.G. DOBROTVOR

Ternopil National Economical University

D.P. STUKHLYAK

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

RESIDUAL STRESSES INVESTIGATION IN EPOXYD COMPOSITE COATING FOR DIFFERENT DYSPERSE FILLERS

In most of the cases the exploitation of mechanisms and machines depends on maintainability of working details surfaces. The most popular reason of nodes becoming out-of-work is wearing out of the surfaces mentioned above. Such details recovery can be obtained with the help of usage of polymer composite materials in the capacity of coatings. The most effective method is to use thermosetting materials, including those that are formed on the basis of epoxy-diane oligomers. Usage of polyethylenepolyamine in the capacity of the hardener gives an opportunity to form coatings on wear-out working surfaces with complex configurations without usage of complicated technical equipment. Residual stresses appear during epoxy composite coating formation. Coating thickness influence is quite ambiguous for the values of the given residual stresses. Residual stress is one of the parameters that define material behavior during operations; it impacts on stress-response and maintainability of composite coatings of surface details. Estimation of dependences of residual stresses of composite with fillers (oxides and carbides) on coating thickness and material filling capacity is investigated. Investigation results of uninterrupted change of residual stresses towards increasing thickness coating are analyzed. It gives an opportunity to define thickness values of composite film. Residual stresses are increasing for the given thickness values being investigated. The increase of residual stresses should be avoided in order to preserve coating operation parameters. Estimation of positive conditions for coating formation was also conducted. MathCAD-15 application usage gives an opportunity to visualize residual stresses values in epoxy composites. Improvement of defining accuracy of the given parameters is possible while applying differential operators with usage of qualitative theory of differential equations.

Key words: composite, oligomer, filler, content, coating, thickness, stress.

Постановка проблеми

В основі фізичних методів регулювання структури і властивостей полімерних композитів є вплив вмісту та природи наповнювача на структуроутворення і ступінь зшивання епоксидної матриці, що визначає властивості матеріалів у процесі експлуатації. Одним з факторів, що визначають властивості матеріалу у процесі експлуатації є залишкові напруження, які впливають на адгезійну міцність. Стійкість до спрацювання та ремонтоздатність композитних покриттів поверхонь деталей. Метою досліджень є аналіз залежностей залишкових напружень композиту з наповнювачами – оксидами та карбідами, від товщини покриття та степені наповнення матеріалу.

Аналіз останніх джерел

Об'єктом дослідження вибрано епоксидіановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84), який характеризується незначною усадкою, високою адгезійною та когезійною міцністю, технологічністю при нанесенні на довговимірні поверхні складного профілю, розвинутою сировинною базою [1–3]. Враховуючи умови їх формування на робочих поверхнях деталей машин, для зшивання епоксидного зв'язувача використано твердник поліетиленполіамін (ТУ 6-05-241-202-78). Більшість матеріалів на основі епоксидного зв'язувача використовують у вигляді покриттів [4, 5].

Виклад основного матеріалу

Методика досліджень. Виготовлення композиту виконували шляхом введення у матрицю дисперсних наповнювачів, після чого здійснювали суміщення компонентів протягом 5 хвилин з додаванням твердника поліетиленполіаміну (ПЕПА). Залишкові напруження у покриттях визначали залежно від природи та вмісту наповнювачів, використовуючи консольний метод (рис.1). Покриття різної товщини (0,1 – 1,5 мм) формували згідно з ГОСТ 4648-71 на сталевій основі з товщиною $\delta=0,3$ мм. Як наповнювачі використовували дисперсні (63 мкм) матеріали: оксид міді, електрокорунд, карбід бору та карбід кремнію. У процесі зшивання на межі поділу фаз “захисне покриття – металева основа” формуються зв'язки, що зумовлює виникнення залишкових напружень стиску. Внаслідок цього у процесі зшивання олігомера спостерігали деформацію консолі (у вигляді основи з покриттям), абсолютне значення N якого визначали після періоду $\tau = 72$ год. процесу тверднення матеріалу. Формування зразків відбувалося протягом 12 год. З метою стабілізації структурних процесів у матриці, зразки після витримки протягом 3-х часової термообробки при $T = 393 \pm 3K^\circ$ повільно охолоджували до температури $T = 293 \pm 2K^\circ$ та витримували 10-

12 годин на повітрі з наступним проведенням випробувань. Дослідження залишкових напружень з наповнювачами дисперсністю 63 мкм: карбід бору, карбід кремнію, оксид алюмінію (електрокорунд) та оксид міді з концентраціями 0; 20; 30; 40; 50; 60 та 80 мас. ч. наповнювача на 100 мас. ч. олігомера проводили (1) з кількістю зразків $n = 6$. Покриття наносили на пластину із сталі Ст.3 товщиною $\delta = 0,3$ мм.

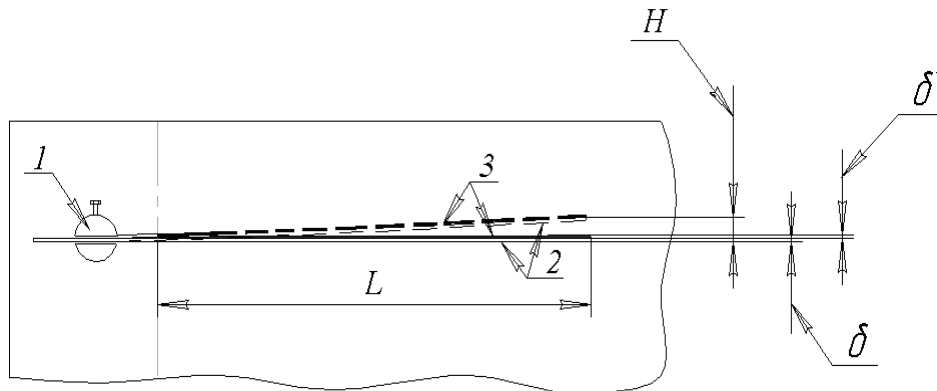


Рис. 1. Схема формування зразків для дослідження залишкових напружень у захисних покриттях:

1 – опора, до якої кріпиться зразок із покриттям;

2 – основа зі сталі Ст.3;

3 – захисне покриття;

H – відхилення пластинки-основи від початкового положення;

L – довжина пластинки-основи з покриттям; δ – товщина пластинки-основи; δ^* – товщина покриття.

Величину залишкових напружень $\sigma_{\text{зал}}$ визначали за формулою:

$$\sigma_{\text{зал}} = \frac{HE \delta^3}{3L^2 (\delta + \delta^*) \delta^*}, \quad (1)$$

де

H – відхилення пластинки-основи від початкового положення;

E – модуль пружності пластинки-основи ($E = 2 \cdot 10^5$ МПа);

L – довжина пластинки-основи з покриттям ($L = 7$ см);

δ – товщина пластинки-основи ($\delta = 0,3$ мм);

δ^* – товщина покриття, мм.

Таблиця 1 (а, б, в, г).

Залишкові напруження $\sigma_{\text{зал}}(q, \delta)$ (МПа) композитів для різного вмісту наповнювачів q (мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру):

а) ненаповнений олігомер

δ мм мас. ч.	(0.1; 0.2)	(0.2; 0.3)	(0.3; 0.4)	(0.4; 0.5)	(0.5; 0.6)
ЕД-20	3,43	4,48	3,15	3,52	4,31

б) наповнювач – карбід кремнію

δ мм q , мас.ч.	(0.1; 0.18)	(0.18; 0.26)	(0.26; 0.34)	(0.34; 0.42)	(0.42; 0.5)
SiC 20	4,75	3,04	2,13	4,44	4,23
SiC 30	6,74	6,03	5,93	5,31	6,26
SiC 40	8,13	6,74	6,16	5,95	4,91
SiC 50	6,32	7,76	5,30	5,08	4,71
SiC 60	2,98	2,58	6,21	4,74	4,66
SiC 80	2,85	5,67	5,40	5,55	4,87

в) наповнювач – карбід бору

δ мм q , мас.ч.	(0.1; 0.18)	(0.18; 0.26)	(0.26; 0.34)	(0.34; 0.42)	(0.42; 0.5)
B4C 20	2,35	4,62	5,56	4,58	4,44
B4C 30	3,07	5,11	5,08	4,16	4,23
B4C 40	6,14	5,73	6,47	5,11	5,36
B4C 50	4,23	6,03	5,52	4,95	5,35
B4C 60	4,49	5,38	7,04	5,37	5,74
B4C 80	3,83	6,71	5,01	5,64	4,28

г) наповнювач - електрокорунд

δ мм q, мас.ч.	(0.1; 0.2)	(0.2; 0.3)	(0.3; 0.4)	(0.4; 0.5)	(0.5; 0.6)
Al ₂ O ₃ 20	5,90	6,34	5,45	5,76	5,27
Al ₂ O ₃ 30	8,04	7,95	6,05	5,34	5,44
Al ₂ O ₃ 40	10,63	10,57	8,14	6,67	5,90
Al ₂ O ₃ 50	10,68	11,38	10,74	8,01	7,01
Al ₂ O ₃ 60	8,44	8,69	8,20	6,65	6,42
Al ₂ O ₃ 80	8,36	9,76	8,62	7,38	6,17

д) наповнювач – оксид міді

δ мм q, мас.ч.	(0.1; 0.2)	(0.2; 0.3)	(0.3; 0.4)	(0.4; 0.5)	(0.5; 0.6)
CuO 20	6,78	7,26	6,78	5,68	5,34
CuO 30	7,18	7,65	8,34	6,33	5,51
CuO 40	8,30	7,18	7,67	6,27	5,67
CuO 50	10,64	7,46	8,16	6,95	5,91
CuO 60	10,84	6,82	7,61	6,62	5,79
CuO 80	7,57	6,35	7,34	7,20	5,90

Обґрунтування методів аналізу дискретних замірів (табл. 1 а-г) ґрунтується на введенні в ході обробки результатів замірів випробувань функції відліків, що характеризує графічні залежності залишкових напружень покриттів від двох основних параметрів. При встановленні адекватності вимірюваного параметру (товщини покриття та вмісту наповнювача) і вимірювального математичного апарату досліджуваних характеристик (залишкові напруження) використовували можливість вибору зернистості для параметрів та значень функції f відліків [6]. Така функція f дозволяє виявляти параметри досліджуваної системи у момент часу t в елементі об'єму dx та у околі точки замірів $X(x_1, x_2, \dots, x_N)$, кожна із координат якої має скінченну множину значень.

Представимо однотипні елементи простору, залежні від їх розміщення в однорідному середовищі деякої області в околі точки X , яка містить ресурс і елементи, як деяку синергічну єдність, що в результаті створює систему, яка дозволяє з відповідною точністю визначити значення залишкових напружень. Під ресурсом будемо розуміти набір структурних, хімічних і фізичних параметрів елементарних комірок зв'язувача, які можуть змінюватися з плином часу. Під системою будемо розуміти синергічну суму параметрів елементарних комірок у даний момент часу. Елементи (або комірки) такої системи можуть обмінюватися між собою ресурсами у вигляді "миттєвих" парних взаємодій.

З метою побудови функції дискретних відліків f одного із вибраних компонент ресурсу (табл. 1) складемо діаграму розподілу, у якій елементи розміщені у порядку зростання. Далі вказуємо для кожного з них дискретну величину n_x , вміщеного у ньому ресурсу із певного діапазону. Однак, побудоване таким чином наближення функції відліків f може і не бути оптимальним для моделювання процесу ресурсообміну між елементами у зв'язувачі. Крім того, така функція не є диференційована і не інтегровна, що ускладнює роботу з нею. Оцінюючи кількісно густину розміщення об'єктів n_x вздовж осі x і представляючи її графічно у вигляді стовпців n_x^l на відрізках Δx з довжиною l одиниць x . Отримана дискретна функція n_x^l також може бути не достатньо інформативною, порівняно з попередньою, а тому на кожному з наступних етапів аналізу наближення функції відліків збільшували крок дискретизації залежності (2) вибраного параметру оцінки ресурсу.

У випадку, коли отриману гістограму n_x^k можна буде апроксимувати гладкою огинаючою кривою $f(x)$, стане можливо записати аналітично вигляд функції відліків і проводити над ними дослідження залишкових напружень. Таку функцію для кожного вибраного моменту часу t називали зернистою функцією відліків $f(x)$ дискретності $L = \{l_1, l_2, \dots, l_s\}$. Кількість s інтервалів n_x^k , $k=1, \dots, s$; залежить від об'єму N вибірки ресурсу n_x . Для оцінки нижньої межі s для великих N використовували формулу Старджеса:

$$s \approx \log_2 N + 1.$$

Оцінку зернистості l_i , де: i – номер ітерації, проводили шляхом мінімізації похибки Δ_i при чисельному обчисленні похідної функції $f(x)$ на деякому інтервалі зміни просторовоподібної лінійної (або часової) змінної x :

$$\Delta_i = \left| \frac{df(x)}{dx} - \frac{f(x+l_i) - f(x)}{l_i} \right|. \quad (2)$$

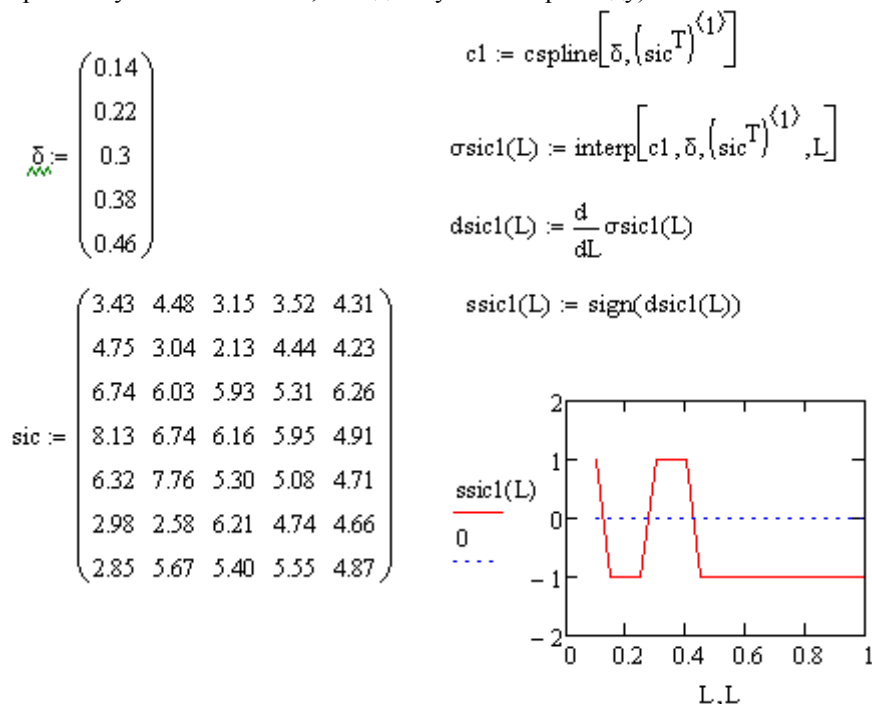
Це пов'язано із наявністю похибок вимірювання, які зокрема зумовлені дискретним представленням числових даних (2). Звідси можна зробити висновок про те, що значення кроку l_i не потрібно вибирати дуже малим, інакше за рахунок похибок обчислення $f(x)$ чисельний результат диференціювання буде невірним. Крім того, малий крок суттєво впливає на швидкість та об'єм подальших обчислень. У результаті

дискретизації змінної $x_k = x_0 + kh$, $h = \underset{i}{opt}(l_i)$, $k=1, \dots, s$; отримали послідовність значень функції дискретних відліків $f_k = f(x_k)$ як зважених δ -функцій зміни x .

Спектр оптимального кроку h суттєво залежить від структури досліджуваного середовища. Тому за його характеристиками (екстремуми, періодичність, монотонність) можна стверджувати про клас і структуру ділянок середовища. У даній роботі середовище покриття, що представляє собою тонку плівку композиту із відповідним наповненням характеризується залишковими напруженнями, які суттєво впливають на експлуатаційні характеристики досліджуваного об'єкта.

Отримані результати випробувань проаналізовано за допомогою програми MathCAD (лістинг 1) у припущенні неперервної зміни залишкових напружень відносно зростаючої товщини покриття з метою визначення таких діапазонів величин товщини плівок композитів, для яких залишкові напруження матеріалу зростають [7–9]. Останній факт із необхідністю приведе до виникнення дефектів матеріалу, що є негативним явищем при експлуатації покриттів, а тому не може бути рекомендованим для використання.

Лістинг 1 (не применшуючи загальності, наведено у якості прикладу).



Програма (лістинг 1) на основі MathCAD-15 дозволяє візуалізацію залежності знаку процесу зміни величини залишкових напружень покриттів із використанням наповнених дисперсіями карбиду кремнію композитів із наповненням 20 мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру. Матриця sic побудована на основі даних 1-го рядка таблиці 16. Вектор-стовбець δ містить координати серединних точок рядка δ цієї таблиці. У даному прикладі аналітично визначено, що критичною товщиною покриттів для ненаповненого олігомеру є товщина: (0.3-0.35) мм [10].

Таблиця 2.

Діапазони товщин покриттів для наповнювачів – карбідів із зростаючими залишковими напруженнями

Наповнювач, мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру	Діапазони критичних товщин, мм	Наповнювач, мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру	Діапазони критичних товщин, мм
SiC 20	0,3-0,35	B4C 20	0,3-0,35
SiC 30	0,25-0,3	B4C 30	0,4-0,45
SiC 40	0,2-0,25 0,35-0,4	B4C 40	0,4-0,45
SiC 50	--	B4C 50	0,2-0,25 0,4-0,45
SiC 60	0,3-0,35	B4C 60	0,35-0,4

Для наповнених епоксидних композитів отримано ряд діапазонів товщини покриттів, для яких при нанесенні захисних шарів слід уникати з метою збереження експлуатаційних характеристик покриття (табл. 2, 3). Більш детальне дослідження можливе із використанням диференціальних операторів та із застосуванням якісної теорії диференціальних рівнянь [11]. Такий підхід здійснювався у попередніх дослідженнях авторів [9, 12].

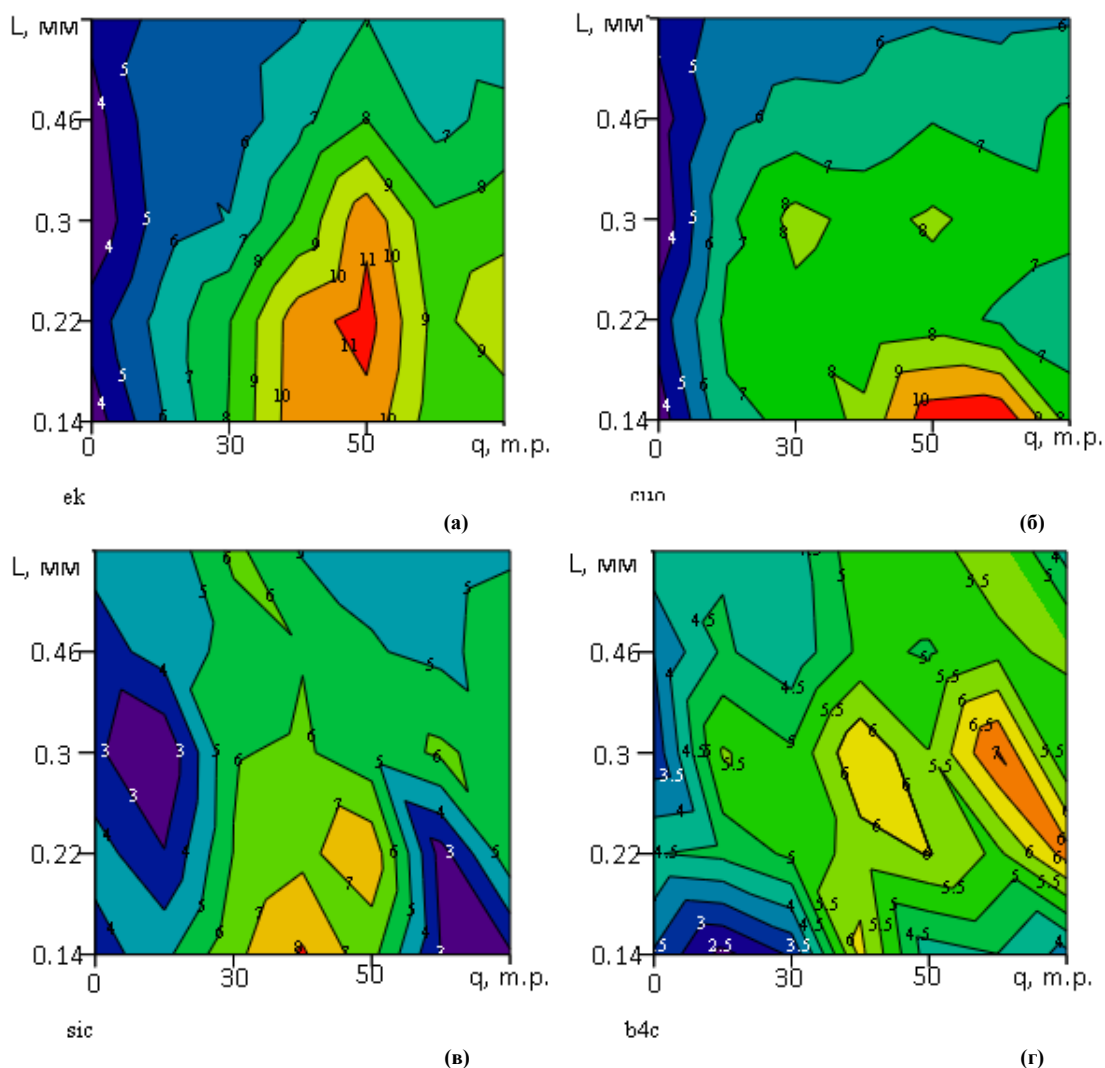


Рис. 2. Діаграми залежностей від товщини покриття L та вмісту наповнювача q внутрішніх напружень у епоксидних композитних покриттях із наповнювачами: (а) електрокорунд, (б) оксид міді, (в) карбід кремнію, (г) карбід бору

Таблиця 3

Діапазони товщини покриттів для наповнювачів – оксидів із зростаючими залишковими напруженнями

Наповнювач, мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру	Діапазони критичних товщин, мм	Наповнювач, мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру	Діапазони критичних товщин, мм
Al_2O_3 20	0,3-0,35	CuO 20	0,3-0,35
Al_2O_3 30	0,3-0,35	CuO 30	0,4-0,45
Al_2O_3 40	0,35-0,4	CuO 40	0,15-0,2 0,4-0,45
Al_2O_3 50	--	CuO 50	0,2-0,25 0,4-0,45
Al_2O_3 60	0,4-0,45	CuO 60	0,2-0,25 0,4-0,45
Al_2O_3 80	0,4-0,45	CuO 80	0,4-0,45

Лінії рівня на діаграмах (рис. 2 а-г) при визначеній оптимальній точності замірів (2) показують, що залишкові напруження покриттів змінюються нерівномірно відносно товщини покриття та вмісту дисперсного наповнювача. Існують області скалярного поля L - q (вміст-товщина) із незначними внутрішніми напруженнями (<3 МПа) та напруженнями високими (>7 МПа). Проміжні зони, за згаданими областями можуть по різному впливати на експлуатаційні характеристики покриттів (табл. 4).

**Діапазони критичних та сприятливих для формування
епоксидних композитних покриттів для різних дисперсних наповнювачів**

Наповнювач	Діапазони критичних параметрів	Діапазони сприятливих параметрів
Al ₂ O ₃	35-55 мас.ч., 0,14-0,3 мм	0-15 мас.ч.
CuO	45-65 мас.ч. 0-0,2 мм	0-10 мас.ч.
SiC	35-40 мас.ч. 0-0,15 мм	0-20 мас.ч. + 55-80 мас.ч. 0-0,3 мм
B ₄ C	55-80 мас.ч. 0,2-0,35 мм	0-10 мас.ч. + 0-10 мас.ч. 0-0,2 мм

Висновки

Проведені дослідження дозволили виділити критичні зони параметрів покриття із високими рівнями внутрішніх напружень а також сприятливі діапазони умов для формування покриттів із низькими значеннями внутрішніх напружень. Отримано також діапазони товщини покриттів для наповнювачів із зростаючими залишковими напруженнями, які не сприяють довговічності покриттів. Отримані результати дозволяють забезпечити умови довговічності покриттів із дисперсними наповнювачами на основі епоксикомпозитних різного функційного призначення.

Література

1. Stukhljak P., Dobrotvor I., Mytnyk M., Mykytyshyn A. Investigation of the phenomena revealed on phase interface in epoxide-composites. Przetworstwo tworzyw. Polymer processing. 2017 (styczen-luty) – N1 (175)/23, p. 53-63.
2. Добротвор І. Аналіз систем розпізнавання образів структури композитів / І. Добротвор, П.Стухляк, А.Микитишин, М. Митник. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2018. – 224 с.
3. Dobrotvor I. Layers density determination on phases verges division in epoxocomposites with the disperse fillers / I. Dobrotvor, P. Stukhljak, A. Buketov, I. Sorivka. Оралдын ғылым жаршысы. – 2012. - № 2(38). – С.117–126.
4. Paliy I., Zahorodnia D., Pigovsky Y., Dobrotvor I., Bykovyy P., Krylov V. Structural Statistic Method Identifying Facial Images by Countour Characteristic Points IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, 23-27 September 2015, Warsaw, Poland, pp.295-298.
5. Stukhljak P., Dobrotvor I., Mytnyk M., Mykytyshyn A. Investigation of the phenomena revealed on phase interface in epoxide-composites. Przetworstwo tworzyw. Polymer processing. 2017 (styczen-luty) – N1 (175)/23, - P. 53-63.
6. Овчинников П. П. Вища математика / П. П. Овчинников. – К. : Техніка, 2000. – Ч. 2. – 792 с.
7. Dunets O., Wolf C., Sachenko A., Hladij G., Dobrotvor I. Multi-agent System of IT Project Planning The 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications 21-23 September, 2017, Bucharest, Romania, vol. 1, P. 548-552. – ISBN 978-1-586-0696-4.
8. Патент № 89682. Україна МПК C09D 163/00. Спосіб отримання модифікованого епоксикомпозитного покриття / П.Д. Стухляк, І.Г. Добротвор, В.В. Карташов ; заявник і патентовласник Тернопільський нац. техн. ун-т. – Заявл. 09.12.2013. – Бюл. № 20.
9. Технологія нанесення захисних покриттів на основі оцінок характеристик структур епоксикомпозитів / П. Стухляк, І. Добротвор, М. Митник, О. Ястубчак // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2014. – № 3 (75). – С. 114–121.
10. Добротвор І. Умови стаціонарності процесів тверднення наповнених епоксидних композитів / І. Добротвор, Д. Стухляк // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції: Транспорт: механічна інженерія, експлуатація, матеріалознавство (ТМІЕТ – 2017). – С. 115.
11. Добротвор І. Моделювання оптичних характеристик структур епоксикомпозитів параметрами операторних перетворень / І. Добротвор, Д. Стухляк, А. Каплун // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2015. – № 2 (78). – С. 144–152.
12. Стухляк П. Дослідження і моделювання залежностей залишкових напружень епоксикомпозитних покриттів від вмісту дисперсних часток / П. Стухляк, І. Добротвор, І. Сорівка, В. Карташов, О. Вербицький // Науковий вісник ХДМІ : науковий журнал – Херсон : Видавництво ВНЗ

References

1. Stukhljak P., Dobrotvor I., Mytnyk M., Mykytyshyn A. Investigation of the phenomena revealed on phase interface in epoxide-composites. *Przetworstwo tworzyw. Polymer processing*. 2017 (styczen-luty) – N1 (175)/23, p. 53-63.
2. Dobrotvor I. Analiz system rozpoznawania obraziv struktury kompozytiv / I. Dobrotvor, P. Stukhliak, A. Mykytyshyn, M. Mytnyk. – Ternopil : TNTU imeni Ivana Puliuia, 2018. – 224 s.
3. Dobrotvor I. Layers density determination on phases verges division in epoxycomposites with the disperse fillers / I. Dobrotvor, P. Stukhljak, A. Buketov, I. Sorivka. *Огальдым нылым жаршысы*. – 2012. - № 2(38). – С. 117–126.
4. Paliy I., Zahorodnia D., Pigovsky Y., Dobrotvor I., Bykovyy P., Krylov V. Structural Statistic Method Identifying Facial Images by Countour Characteristic Points IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, 23-27 September 2015, Warsaw, Poland, pp.295-298.
5. Stukhljak P., Dobrotvor I., Mytnyk M., Mykytyshyn A. Investigation of the phenomena revealed on phase interface in epoxide-composites. *Przetworstwo tworzyw. Polymer processing*. 2017 (styczen-luty) – N1 (175)/23, - P. 53-63.
6. Ovchynnykov P. P. Vyscha matematika / P. P. Ovchynnykov. – K. : Tekhnika, 2000. – Ch. 2. – 792 s.
7. Dunets O., Wolf C., Sachenko A., Hladij G., Dobrotvor I. Multi-agent System of IT Project Planning The 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications 21-23 September, 2017, Bucharest, Romania, vol. 1, P. 548-552. – ISBN 978-1-586-0696-4.
8. Patent № 89682. Ukraina MPK C09D 163/00. Sposib otrymannia modifikovanoho epoksykompozytnoho pokryttia / P.D. Stukhliak, I.H. Dobrotvor, V.V. Kartashov ; zaiavnyk i patentovlasnyk Ternopilskiy nats. tekhn. un-t. – Zaiavl. 09.12.2013. – Biul. № 20.
9. Tekhnolohiia nanesennia zakhysnykh pokryttiv na osnovi otsinok kharakterystyk struktur epoksykompozytiv / P. Stukhliak, I. Dobrotvor, M. Mytnyk, O. Yastubchak // *Visnyk Ternopils'koho derzhavnogo tekhnichnogo universytetu*. – 2014. – № 3 (75). – С. 114–121.
10. Dobrotvor I. Umovy statsionarnosti protsesiv tverdnennia napovnenykh epoksydnykh kompozytiv / I. Dobrotvor, D. Stukhliak // *Materialy mizhnarodnoi naukovo-tehnichna konferentsii: Transport: mekhanichna inzheneriia, ekspluatatsiia, materialoznavstvo (TMIET – 2017)*. – С. 115.
11. Dobrotvor I. Modeliuvannia optychnykh kharakterystyk struktur epoksykompozytiv parametramy operatornykh peretvoren / I. Dobrotvor, D. Stukhliak, A. Kaplun // *Visnyk Ternopils'koho derzhavnogo tekhnichnogo universytetu*. – 2015. – № 2 (78). – С. 144–152.
- Stukhliak P. Doslidzhennia i modeliuvannia zalezhnosti zalyshkovykh napruzhen epoksykompozytnykh pokryttiv vid vmistu dyspersnykh chastok / P. Stukhliak, I. Dobrotvor, I. Sorivka, V. Kartashov, O. Verbytskyi // *Naukovyi visnyk KhDMI : naukovyi zhurnal – Kherson : Vydavnytstvo VNZ «KhDMI»*. – 2012. – № 2(7). – С. 217–222.

Рецензія/Peer review : 22.05.2018 р.

Надрукована/Printed : 10.07.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ
ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ ПЕРЕРЫВИСТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

В статье предложена математическая модель, описывающая расчет параметрических колебаний при прерывистом резании. Действующие на резец внезапно приложенные силовые параметрические возмущения отрицательно влияют на износ резца и качество обрабатываемой поверхности. В технической литературе для определения устойчивых и неустойчивых состояний технологической системы используется метод сшивания с учетом условий периодичности. Аналитические расчеты амплитуд параметрических колебаний в научно-технической литературе практически отсутствуют. Разработанная математическая модель позволяет выполнить расчеты амплитуд колебаний с учетом того, что начальные условия при последующих врезаниях и выходах инструмента задаются не произвольно, а являются решением уравнений на предыдущих врезаниях и выходах, что позволяет точнее задавать условия сшивания.

Ключевые слова: резание, нагрузка, параметрические колебания, устойчивость, уравнения движения.

A.A. ORGIJAN, V.V. STRELBITSKIY, I.M. TVORISCHUK
Odessa national polytechnic university

SIMULATION OF PARAMETRIC VIBRATIONS IN BORING PROCESS OF NON-CONTINUOUS SURFACES

Finishing operations grinding (boring) is often performed on holes with a discontinuous surface. Such a surface is formed in the presence of grooves, samples, as well as at intersections of the hole being treated with others. Periodic repetition of the cutting in and out of the tool causes, with intermittent cutting, higher-level oscillations than with continuous cutting. The discontinuity of the surface being treated leads to a periodic rupture of the connection between the elements of the elastic system of the machine. Thus, the closed dynamic system of the machine becomes a system with variable characteristics. If we disturb the state of equilibrium of such a system, then there will be some kind of oscillations, they can not be called free, since one of its parameters periodically changes in the system, but they can not be called forced, since the external action is not a disturbing force, but enter into the component part of the equations of motion. Such oscillations can be correctly called parametric. Parametric resonance arises with an infinite number of values of the disturbance frequency, and the ratio of the oscillation frequency to the frequency of the parameter variation (p / ω) can be equal, etc. Therefore, the problem of studying parametric oscillations is an actual problem. The article proposes a mathematical model describing the calculation of parametric oscillations during intermittent cutting. The suddenly applied force parametric disturbances acting on the cutter negatively affect the wear of the tool and the quality of the machined surface. In technical literature, the method of stitching is used to determine the stable and unstable states of a technological system, taking into account the conditions of periodicity. There are practically no analytical calculations of the amplitudes of parametric oscillations in the scientific and technical literature. The developed mathematical model makes it possible to perform calculations of the oscillation amplitudes taking into account the fact that the initial conditions for subsequent insertions and tool terminals are not arbitrarily set, but are solutions of the equations on previous inserts and exits, which makes it possible to specify the cross-linking conditions more accurately.

Keywords: cutting, load, parametric oscillations, stability, equations of motion.

Постановка проблемы. Финишные операции обтачивания (расточивания) часто выполняются на отверстиях с прерывистой поверхностью. Такая поверхность образуется при наличии пазов, выборок, а также при пересечениях обрабатываемого отверстия с другими.

Периодические повторения врезания и выхода инструмента вызывают при прерывистом резании колебания более высокого уровня, чем при непрерывном резании [1–4].

Прерывистость обрабатываемой поверхности приводит к периодическому разрыву связей между элементами упругой системы станка. Таким образом, замкнутая динамическая система станка становится системой с переменными характеристиками. Если нарушить состояние равновесия такой системы, то возникнут своеобразные колебания: их нельзя назвать свободными, так как в системе периодически изменяется один из ее параметров, но их нельзя назвать и вынужденными, так как внешнее воздействие не является возмущающей силой, а входят в составную часть уравнений движения. Такие колебания называются параметрическими [1, 2]. Параметрический резонанс возникает при бесчисленном множестве значений частоты возмущения, причем отношение собственной частоты колебаний технологической

системы (ТС) к частоте изменения параметра (p/ω) может равняться $\frac{1}{2}$; 1 ; $\frac{3}{2}$; 2 ; $\frac{5}{2}$ и т.д.

Поэтому проблема исследования параметрических колебаний является актуальной задачей.

Анализ последних публикаций. В технической литературе, посвященной исследованию обработки прерывистых поверхностей, вопросу устойчивости процесса резания уделено не достаточно внимания [3, 4].

Следует отметить, что приведенные в них данные обладают малой информативностью и не показывают всех особенностей процесса обработки.

Поэтому **целью исследования** является теоретическое исследование влияния факторов, вызывающих явление параметрического резонанса при точении, на ширину областей неустойчивости, установление влияния параметров технологической системы на динамику процесса растачивания прерывистых отверстий.

Изложение основного материала. Параметрические колебания описываются уравнением Хилла типа [1, 2]:

$$\ddot{y} + p^2 [1 - 2\nu\varphi_1(t)]y = 0,$$

$$\varphi_1(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } iT < t < iT + \Delta T, \\ 0 & \text{при } iT + \Delta T < t < (i+1)T. \end{cases}$$

где $p^2 = \frac{c}{m} + \frac{Kp}{2m} - \frac{b^2}{4m^2}$; $2\nu = \frac{Kp}{2mp^2}$;

c – жесткость технологической системы;

m – приведенная к резцу масса ТС;

Kp – коэффициент резания;

2ν – коэффициент возбуждения колебаний;

b – коэффициент демпфирования.

Пользуясь условиями периодичности решений и сшивая нами получено условие устойчивости в общем случае, когда жесткость системы изменяется по кусочно-постоянному закону с произвольным промежутком времени Δt [5]. На рис.1 приведены расчеты колебаний системы и заштрихованы области устойчивости, по оси x отложены значения $(p/\omega)^2$, по оси y – угол наклона луча (2ν).

Для аналитического расчета амплитуд колебаний разработана методика математического моделирования параметрических колебаний.

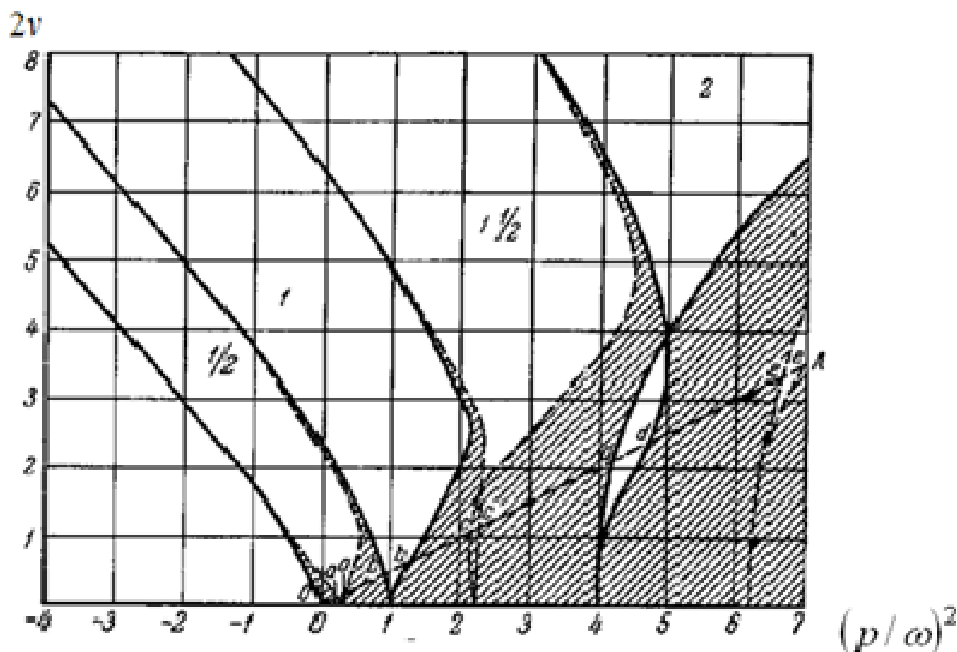


Рис. 1. Амплитуды и области устойчивости (заштрихованы) параметрических колебаний

Уравнения движения при прерывистом резании могут быть представлены в виде

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + (C + \nu_0 Kp)x = 0, \quad (1)$$

где ν_0 принимает значение 0 или 1 в определенные интервалы времени, соответствующие резанию или без резания.

Уравнение (1) запишем в виде

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + C\nu_0 x = 0. \quad (2)$$

Таким образом, при резании имеем

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + (C + Kp)x = 0, \quad (3)$$

а при прохождении паза уравнение примет вид

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + Cx = 0.$$

Параметры m , b , C и Kp – известны.

Решения уравнения (2) представим в виде

$$x(t) = Ax_1(t) + Bx_2(t), \quad (4)$$

где $x_1(t)$ и $x_2(t)$ – два линейно независимых решения уравнения (2), а A и B – произвольные постоянные.

Подставляя в уравнение (2) искомое решение вида $\exp(t)$, запишем

$$e^{pt}(mp^2 + bp + C_v) = 0. \quad (5)$$

Это равенство должно быть тождественно по отношению к параметру t .

Характеристическое уравнение дифференциального уравнения (2), являющегося следствием тождества (5), имеет вид

$$mp^2 + bp + C_v = 0. \quad (6)$$

Найдем корни квадратного уравнения (6)

$$p_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4mc}}{2m}. \quad (7)$$

Конкретизируем формулу (4), для 3-х значений дискриминанта:
при значении дискриминанта $D=b^2 - 4mc > 0$,

$$x(t) = A \exp(p_1 t) + B \exp(p_2 t), \quad (8)$$

при значении дискриминанта $D=b^2 - 4mc = 0$,

$$x(t) = (A + B) \exp(p_1 t), \quad (9)$$

при значении дискриминанта $D < 0$,

$$x(t) = e^{\alpha t} (A \cos \beta t + B \sin \beta t), \quad (10)$$

где

$$p_{1,2} = \alpha \pm j\beta, \quad \alpha = -\frac{b}{2m}; \quad \beta = \frac{(4mc - b^2)^{0,5}}{2m}.$$

Для определения постоянных A, B в уравнение (10) по начальному условию $x(t_0)$ запишем

$$x(t_0) = e^{\alpha t_0} (A \cos \beta t_0 + B \sin \beta t_0), \quad (11)$$

Производная для выражения (10) имеет вид

$$\dot{x}(t) = e^{\alpha t} (A \cos \beta t + B \sin \beta t) + e^{\alpha t} (-A\beta \sin \beta t + B\beta \cos \beta t),$$

Для определения постоянных A, B в уравнение (10) по начальным условиям для неизвестного решения уравнения (2), заменим t на t_0 в выражении для производной:

$$\dot{x}(t_0) = e^{\alpha t_0} [A(\alpha \cos \beta t_0 - \beta \sin \beta t_0) + B(\alpha \sin \beta t_0 + \beta \cos \beta t_0)], \quad (12)$$

Решая систему уравнений (11) и (12), определяя переменные A и B по начальным условиям для решения (10), запишем это решение для первого интервала при резании ($v=1$):

$$\begin{aligned} A &= \exp(-\alpha_1 t_0) \left[x(t_0) \cos \beta_1 t_0 - \frac{1}{\beta_1} (\dot{x}(t_0) - \alpha_1 x(t_0)) \sin \beta_1 t_0 \right], \\ B &= \exp(-\alpha_1 t_0) \left[x(t_0) \sin \beta_1 t_0 + \frac{1}{\beta_1} (\dot{x}(t_0) - \alpha_1 x(t_0)) \cos \beta_1 t_0 \right]. \end{aligned} \quad (13)$$

Для дальнейшего построения математической модели важно отметить следующее обстоятельство. При изучении устойчивости при прерывистом резании для перемещений и скорости решения сшивают вначале каждого интервала (при $t=(0+i)$, где $i=0,1,2,\dots$), а также внутри каждого интервала в зависимости от промежутков времени с резанием и без резания, причем T период интервала равен времени одного оборота инструмента или заготовки. В настоящей модели для получения решений при прерывистом резании задаются начальные условия в начале процесса, а в конце каждого интервала времени, где происходит переход от колебаний при резании к свободным колебаниям без резания (и наоборот), определяются начальные условия из решений, полученных на предыдущем интервале. Таким образом, на каждом последующем интервале и внутри него вычисляются соответствующие начальные условия.

Таким образом, по аналогии с (13), как и при решении системы (11) или (12), получаем

$$\begin{aligned} A_v^n &= \exp(-\alpha_v t_n) \left[x(t_n) \cos \beta_v t_n - \frac{1}{\beta_v} (\dot{x}(t_n) - \alpha_v x(t_n)) \sin \beta_v t_n \right], \\ B_v^n &= \exp(-\alpha_v t_n) \left[x(t_n) \sin \beta_v t_n + \frac{1}{\beta_v} (\dot{x}(t_n) - \alpha_v x(t_n)) \cos \beta_v t_n \right]. \end{aligned} \quad (14)$$

Выражение (14) отражают разные интервалы наличия резания или его отсутствия с помощью индекса v , а символом n отражен номер пары смежных интервалов, причем на каждой паре расположен один интервал с резанием и один интервал без резания (на одном интервале вынужденные колебания, а на другом – свободные колебания).

Таким образом, выражение (10) с учетом ограничения указанных выше пар интервалов с номером “ n ” нагруженности и ненагруженности может быть записано так:

$$x(t) = (A_V^n \cos \beta_V t + B_V^n \sin \beta_V t) \exp(\alpha_V t). \quad (15)$$

Из (15) легко получаем основное аналитическое решение

$$x(t) = (AB)_V^n \exp(\alpha_V t) \sin(\phi_V^n + \beta_V t), \quad (16)$$

$$\text{где } \alpha_V = -\frac{b}{2m}; \beta_V = \frac{\sqrt{4m(c + \nu K_p) - b^2}}{2m}, \nu = \begin{cases} 0 - \text{а́нòυδὰçáíεã,} \\ 1 - \text{íàò δὰçáíεϋ.} \end{cases}, \quad (17)$$

Выражения (17) получены из приведенных выше формул (9), (10) и (11), однако здесь имеется привязка к интервалам нагрузки и ее отсутствия.

В процессе преобразования выражения (15) и приведения к виду (16), получаем:

$$(AB)_V^n = \sqrt{x^2(t_n) + \frac{1}{\beta^2} (\dot{x}(t_n) - \alpha_V x(t_n))^2},$$

и

$$\phi_V^n = \arctg \frac{B_V x(t_n)}{\dot{x}(t_n) - \alpha_V x(t_n)}. \quad (18)$$

В выражении (18) символами $x(t_n)$ и $\dot{x}(t_n)$ обозначены начальные условия для решения уравнения (2) на левом конце каждого из смежных интервалов (рис. 2).

На рис. 2 приведены решения уравнения (18), определяющие амплитуды колебаний резца.

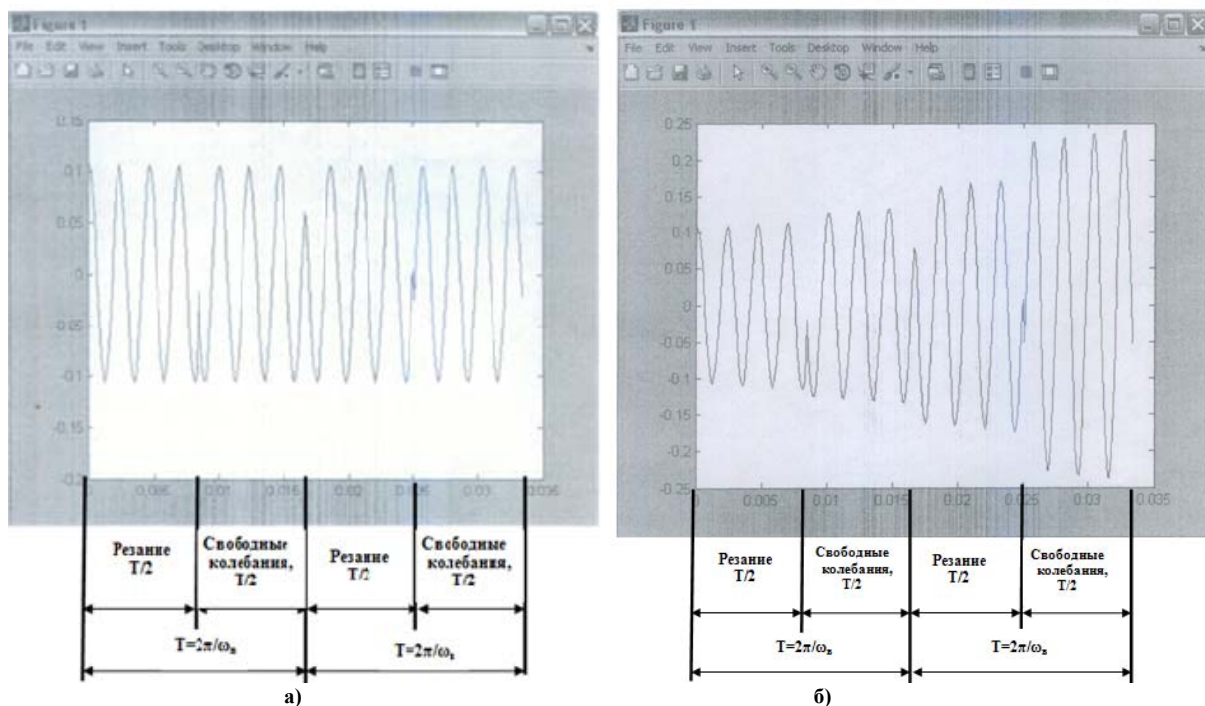


Рис. 2. Амплитуды колебаний (расчет) при резании с одним пазом, при значениях параметров ТС: $n = 3600$ Гц, $m = 0,00004$ кг·с²·мм⁻¹, $c = 300$ кг·мм⁻¹, $K_p = 0,700$ кг·мм⁻¹, $b = 0,001$ кг·с·мм⁻¹ (а) и $b = -0,001$ кг·с·мм⁻¹ (б)

На рис. 2 видно изменение траектории движения резца из-за изменения фазовых углов.

Таким образом, главная идея предложенного математического моделирования процесса прерывистого резания состоит в том, что начальное условие для следующего интервала рассчитывается на основе использования решения уравнения на данном интервале. Это нужно понимать так, что для определения начальных условий для каждого следующего интервала необходимо использовать выражение (16) на текущем интервале и применить метод сшивания решений на смежных интервалах с учетом условий периодичности.

Выводы

Анализируя полученные в работе теоретические зависимости устойчивости ТС при прерывистом резании, можно сделать вывод, что предложенная модель позволяет повысить точность расчетов амплитуд колебаний и условий сшивания уравнений с учетом того, что начальные условия при последующих врезаниях и выводах инструмента являются решением уравнений на предыдущих врезаниях и выходах.

Література

1. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко, Д.Х. Янг, У. Уивер. – М. : Машиностроение, 1985. – 472 с.
2. Ден-Гартог Д.П. Механические колебания / Д.П. Ден-Гартог. – М. : Физматгиз, 1960. – 574 с.
3. Копелев Ю.Ф. Параметрические колебания станков при резании : автореф. дис. ... д-ра техн. Наук : 05.03.01 / ЭНИМС ; Ю.Ф. Копелев. – М., 1985. – 32 с.
4. Оргиян А.А. Условие параметрической неустойчивости замкнутой динамической системы расточного станка / А.А. Оргиян, Е.В. Зюзина // Резание и инструмент в технологических системах : междунар. науч.-техн. сб. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2006. – Вып.70. – С. 362–369.
5. Оргиян А. А. Интенсивность параметрических резонансов при прерывистом резании / А.А. Оргиян, И.М. Творишук // Сучасні технології в машинобудуванні = Modern technologies in mechanical engineering : зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ", 2014. – Вип. 9. – С. 124–133.

References

1. Timoshenko S.P. Kolebaniya v injenernom dele / S.P. Timoshenko, D.H. YAng, U. Uiver. – M. : Mashinostroenie, 1985. – 472 s.
2. Den-Gartog D.P. Mehanicheskie kolebaniya / D.P. Den-Gartog. – M. : Fizmatgiz, 1960. – 574 s.
3. Kopelev YU.F. Parametricheskie kolebaniya stankov pri rezanii : avtoref. dis. ... d-ra tehn. Nauk : 05.03.01 / ENIMS ; YU.F. Kopelev. – M., 1985. – 32 s.
4. Orgiyan A.A. Uslovie parametricheskoy neustoychivosti zamknutoy dinamicheskoy sistemyi rastochного stanka / A.A. Orgiyan, E.V. Zyuzina // Rezanіe і instrument v tehnologicheskіh sistemah : mejdunar. nauch.-tehn. sb. – Harkov : NTU «HPI», 2006. – Vyip.70. – S. 362–369.
5. Orgiyan A. A. Intensivnost parametricheskіh rezonansov pri preryivistom rezanii / A.A. Orgiyan, I.M. Tvorischuk // Suchasni tehnologii v mashinobuduvanni = Modern technologies in mechanical engineering : zb. nauk. pr. – Harkiv : NTU "HPI", 2014. – Vip. 9. – S. 124–133.

Рецензія/Peer review : 10.05.2018 р.

Надрукована/Printed : 16.07.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ВИКОРИСТАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ СТРУКТУРИ ЕЕС

В статті розглянутий напрям розвитку сучасної електроенергетики, який передбачає створення локальних електричних систем, що використовують енергію поновлюваних джерел енергії. Розглянута мережа з кількома локальними джерелами енергії, яка оптимізована з обмеженнями як по максимальній енергії, забезпеченій ЕЕС, так і по якості енергії. Проблема оптимізації вирішувалася шляхом мінімізації загальних витрат та обмеження якості, що виражалось як обмеження по коефіцієнту спотворення потужності. Для практичного виконання оптимізації запропоновано повторний підхід на базі методу крутого спуску, де, починаючи з прийнятного рішення, кожне локальне джерело оновлює вироблений струм для того, щоб звести до мінімуму загальну вартість мережі. При кожному повторенні кроки відповідають різним локальним джерелам і різним гармонікам. Кожне оновлення виконується заповненням обмежень по енергії та якості, тому статус мережі зростає через прийнятні рішення. Дане рішення може виконуватись розподіленим способом кожним локальним джерелом за умови, що враховані параметри мережі.

Ключові слова: локальні джерела електроенергії, оптимізація структури ЕЕС, мінімізація витрат, якість енергії.

V.A. MATVIJCHUK, O.O. RUBANENKO

Vinnytsia National Agrarian University

N.V. SOBCHUK

Vinnytsia National Technical University

USE OF SMALL HYDROPOWER PLANTS FOR IMPROVEMENT OF ELECTRIC SUPPLY OF ENTERPRISES

The article deals with the direction of development of modern electric power engineering, which involves the creation of local electrical systems that use the energy of renewable energy sources. The network with several local energy sources is considered, which is optimized with restrictions on both maximum energy, provided by the PS, and on the quality of energy. The problem of optimization was solved by minimizing total costs and limiting quality, which was expressed as a limitation on the power distortion coefficient. For practical optimization, a recurrent approach based on the steep descent method has been proposed, where, starting with an acceptable solution, each local source updates the generated current in order to minimize the total cost of the network. Each repeat, the steps correspond to different local sources and different harmonics. Each update is filled with energy and quality constraints, so the network status grows through affordable solutions. This solution can be executed in a distributed way by each local source, provided that the network parameters are taken into account.

Key words: local power sources, optimization of the power system structure, cost minimization, energy quality.

Вступ. В розвинених країнах світу особливого розвитку сьогодні набувають системи електроенергетики, які відповідають підвищеним вимогам щодо надійності, економічності і екологічності їх функціонування. Одним із основних напрямів вирішення даної проблеми є створення локальних електричних систем (ЛЕС), які використовують енергію розподілених джерел енергії (РДЕ), до яких відносяться переважно відновлювальні джерела енергії. При цьому основоположним в процесі підвищення ефективності ЛЕС є розробка критеріїв та методик оцінки ефективності схем функціонування, для забезпечення оптимальних режимів використання енергоносіїв. Зазвичай, ключовим в режимах функціонування ЛЕС є питання їх планування, організації і контролю з метою отримання максимального економічного ефекту у вигляді прибутку, формування якого в цілому залежить і від надійності роботи ЛЕС та якості електроенергії.

В ЛЕС у якості РДЕ можуть одночасно використовуватися малі ГЕС, сонячні та вітрові електростанції. Перевагами малих ГЕС є те, що за наявності водосховищ (що характерно для нашої місцевості) вони можуть працювати за найбільш вигідним для енергетичної системи і споживачів графіком, зокрема, під час ранішнього і вечірнього максимуму навантаження. Ці ж переваги в електропостачанні припадуть на біогазовим установкам.

Таким чином, електроенергетичні системи (ЕЕС) майбутнього символічно можна представити на рисунку 1, де 1 – промислові споживачі, 2 – соціально-побутові споживачі, 3 – традиційні великі електростанції, 4 – малі ГТУ-ТЕЦ, 5 – міні- та мікро-ГЕС, 6 – вітрові електроустановки, 7 – сонячні електростанції, 8 – паливні елементи, 9 – поршневі двигун-генератори, 10 – накопичувачі енергії, 11 – біогаз.

Як видно з рис. 1, ЕЕС майбутнього повинні поєднувати традиційні джерела електроенергії, без яких проблематичне електропостачання великих споживачів та забезпечення доцільних темпів зростання електроспоживання, а також розподілене генерування [1].

РДЕ вводяться, перед усім, з метою забезпечення найкращих показників роботи ЕЕС. По-перше, їхня робота повинна відповідати режиму максимальної ефективності (швидкість вітру, близька до номінальної для даного типу вітроустановки, високий рівень сонячної радіації, наявність необхідного рівня води). По-друге, вони можуть вносити вклад в підтримку напруги мережі в заданому діапазоні. По-третє,

вони можуть забезпечувати якість електроенергії на необхідному рівні, вносячи в мережу гармонійні струми [2].

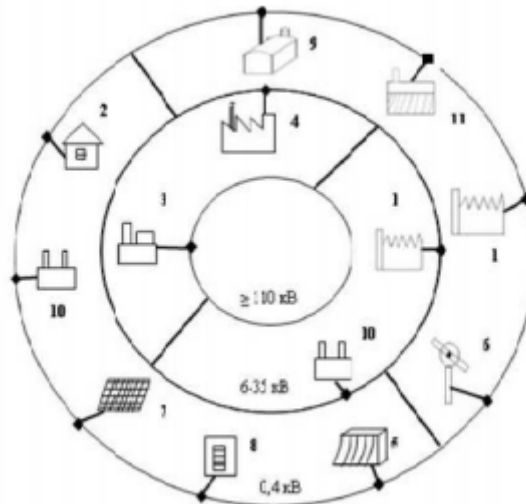


Рис. 1. Електроенергетична система майбутнього

При оптимізації використання РДЕ слід брати до уваги всі ці аспекти. Тому комунікаційна інфраструктура повинна мати інформацію про мережу, синхронізацію і контроль локальних джерел. Така інфраструктура буде базуватись на комунікаційному протоколі, який необхідно скласти відповідно до обраної стратегії мережевого менеджменту [3].

Мета роботи – оптимізація структури ЕЕС при використанні локальних джерел електроенергії.

Результати дослідження. В даній роботі розглядається мережа з кількома локальними джерелами енергії. Кожне джерело має різні експлуатаційні витрати, пропорційні виробленій активній енергії. Мінімізація загальних витрат забезпечується при балансі енергії джерела і споживанням її споживачем. При цьому мережа оптимізована з обмеженнями як по максимальній енергії, забезпеченій ЕЕС, так і по якості енергії [4].

Розглянемо електричну мережу, що живиться двома класами джерел:

1. Головним джерелом (ГД), з'єднаним з загальними шинами.
2. Локальними відновлювальними джерелами, що знаходяться в мережі.

Джерела мають обмеження по активній генерованій енергії та максимальній потужності. Тому РДЕ не можуть повністю забезпечити навантаження мережі. Для запобігання значним втратам в лінії, до лінійних джерел під'єднується частина поряд розташованих споживачів і віддалених від головного джерела. Споживачі, що розташовані поблизу ГД, забезпечуються енергією від нього [5].

При створенні моделі ЛЕС передбачається, що електричні параметри можуть бути представлені в діапазоні частот як К гармонік, при цьому відношення між струмами і напругами для кожної гармоніки лінійні. Схема заміщення електричної мережі показана на рис. 2.

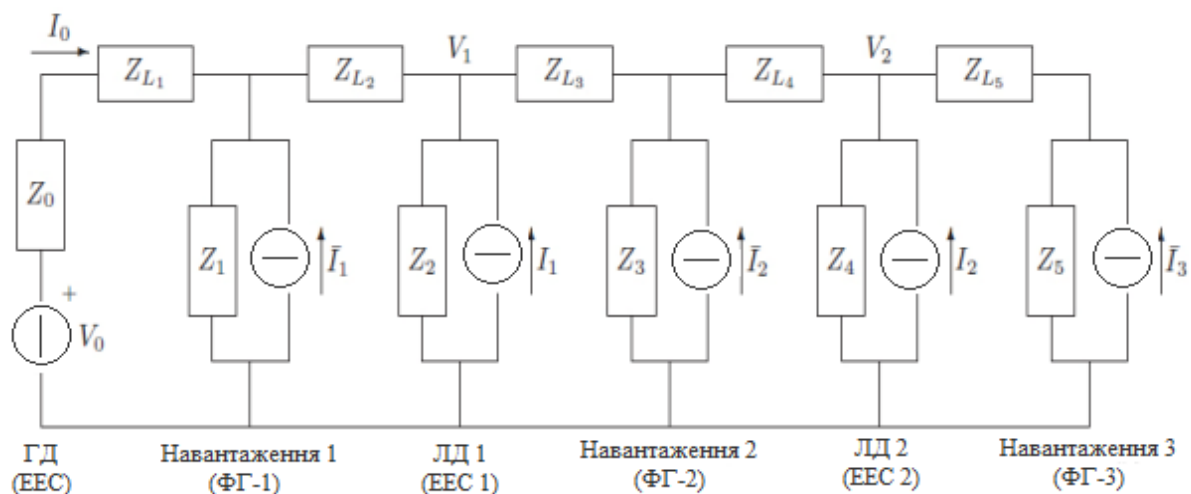


Рис. 2. Схема заміщення електричної мережі

На схемі заміщення електричної мережі (рис. 2) в позначеннях пропущено індекс гармоніки ^(k).

Кожне локальне джерело являє собою генератор активного струму, тобто паралельно ідеальному джерелу струму I_m^k підключено імпеданс відповідного генератора Z_{LDm}^k , де $k = 1, 2, \dots, K$ позначає номер гармоніки і $m = 1, 2, \dots, M$ позначає номер локального джерела. При цьому головне джерело змодельоване як джерело напруги з ідеальним генератором напруги V_0^k послідовно з імпедансом відповідного генератора Z_0^k . Вектор струмів, що забезпечується M локальними джерелами, при гармоніці k позначається як

$$I^{(k)} = [I_1^{(k)}, \dots, I_m^{(k)}]^T \in C^M, \quad (1)$$

а вектор всіх локально генерованих струмів як

$$I = [I^{(1)T}, \dots, I^{(K)T}]^T \in C^{MK}. \quad (2)$$

На рисунку 2 навантаження зображене як генератори, поглинаючі струм, і ввімкнені паралельно з відповідним імпедансом. Фіксовані струми ідеального генератора, що характеризують L навантажень, позначаються як I_l^k , де $l = 1, 2, \dots, L$. Імпеданси ділянок ліній позначені Z_{Li}^k .

Для лінійної мережі згідно з принципом суперпозиції забезпечується лінійне відношення (в діапазоні заданих частот):

$$I_0^{(k)} = a^{(k)} I^{(k)} + \alpha^{(k)} \quad (3)$$

$$V_m^{(k)} = b_m^{(k)} I^{(k)} + \beta_m^{(k)}, m > 0, \quad (4)$$

де вектори ряду $a^{(k)}$ і $b_m^{(k)}$ обидва розміром M , залежать від імпедансів лінії та навантаження і від топології специфічної мережі, постійні $\alpha^{(k)}$ та $\beta_m^{(k)}$ також залежать від струмів навантаження $\bar{I}_l^{(k)}$ та від V_0^k .

Активна енергія, генерована кожним джерелом, гармонікою k може бути записана як функція генерованих струмів:

$$P_m^{(k)} = I^{(k)H} R_m^{(k)} I^{(k)} + I^{(k)H} p_m^{(k)} + p_m^{(k)H} I^{(k)}, \quad (5)$$

де $R_m^{(k)}$ та $p_m^{(k)}$ – відповідно, коефіцієнти $M \times M$ – матриці ряду M -розмірного вектора.

$$R_m^{(k)} = \begin{cases} 0 & m = 0 \\ e_m^T b_m^{(k)} + b_m^{(k)H} e_m & m > 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$p_m^{(k)} = \begin{cases} a^{(k)H} V_0^{(k)} & m = 0 \\ e_m^T \beta_m^{(k)} & m > 0 \end{cases} \quad (7)$$

з e_m вектором рядка довжини M , чий m -й компонент ≥ 1 .

Для отримання загальної активної енергії від m локальних джерел можна просумувати активні енергії по гармоніках.

$$P_m = \sum_{k=1}^K p_m^{(k)}, \quad (8)$$

де $m = 1, 2, \dots, M$.

Припустимо, що кожне джерело має власну вартість, яка, як ми вважаємо, пропорційна виробленій активній потужності P_m , $m = 0, \dots, M$, тобто локальне джерело має вартість $c_m P_m$, де c_m – питома вартість на одиницю потужності. В загальному випадку $c_0 > c_m$, $m \neq 0$, то є лінійні джерела, як правило, менш дорогі, ніж головне джерело. В деяких випадках питому вартість ЕЕС можна навіть прирівняти до нуля, при використанні, наприклад, відновлювальних джерел (малі ГЕС, ВЕС або СЕС). Зазначимо, що витрати можуть змінюватись з часом і будуть пропорційні виробленій активній потужності.

Оптимізаційна проблема має два обмеження. Перше – це обмеження по максимальній активній генерованій енергії кожним ЛД.

$$0 \leq P_m \leq P_{\max, m} \quad (9)$$

Друге обмеження зв'язане з показниками якості електроенергії, а саме досягненням мінімального значення зсуву фаз між струмом і напругою. При цьому досягається баланс виробленої і споживаної енергії.

Проблема оптимізації може бути записана як мінімізація загальних витрат

$$\min C(I) = \min \sum_{m=0}^M c_m p_m \quad (10)$$

та обмеження якості, яке виражається як обмеження по коефіцієнту спотворення потужності коефіцієнтом $\bar{\lambda}$, а саме:

$$\lambda = \frac{|P_0|}{\sqrt{2 \sum_{k=1}^K |V_0^{(k)}|^2} \cdot \sqrt{2 \sum_{k=1}^K |V_0^{(k)}|^2}} \geq \bar{\lambda}, \quad (11)$$

тут P_0 – активна енергія головного джерела.

При вирішенні рівнянь з заданими обмеженнями питання оптимізації – це квадратична задача з квадратичними обмеженнями, яка потребує специфічних числових методів розрахунку.

Для практичного виконання оптимізації пропонується повторний підхід на базі методу крутого спуску, де, починаючи з прийнятого рішення, кожне ЛД оновлює вироблений струм для того, щоб звести до мінімуму загальну вартість мережі. При кожному повторенні, кроки відповідають різним ЛД і різним гармонікам. Кожне оновлення виконується заповненням обмежень по енергії та якості, тому статус мережі зростає через прийнятні рішення. Дане рішення може виконуватись розподіленим способом кожним ЛД, за умови, що враховані параметри мережі.

Висновки. В роботі розроблено підхід до оптимізації структури ЕЕС з локальними джерелами електроенергії за критерієм мінімізації загальних витрат та накладанням двох обмежень – по максимальній активній енергії, генерованій кожним локальним джерелом і за показниками якості енергії, а саме, досягненням мінімального значення зсуву фаз між струмом і напругою.

Література

1. Кобец Б. Б. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid / Б. Б. Кобец, И. О. Волкова. – М. : ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.
2. Воропай Н. И. Распределенная генерация в электроэнергетических системах / Н. И. Воропай // Матер. Междунар. научно-практической конф. «Малая энергетика-2005», 2005. – С. 9–11.
3. Четошников Л. М. Управление электроэнергией и сервисориентированные сети / Л. М. Четошников, Н. И. Смоленцев, С. А. Четошников // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. – 2012. – № 16(275). – С. 98–102.
4. Четошников Л. М. Использование локальных источников в умных сетях с требованиями качества энергии / Л. М. Четошников // Ползуновский вестник. – 2013. – № 4-2. – С. 199–204.
5. Агроскин В. Распределённая генерация, перспективы и проблемы / В. Агроскин // ЭСКО. – 2003. – № 7(19) июль. – С. 5–8.
6. Z. Fan, G. Kalogridis, C. Efthymiou, M. Sooriyabandara, M. Serizawa, and J. McGeehan, “The New Frontier of Communications Research: Smart Grid and Smart Metering,” in ACM E-Energy Conference, Passau, Germany, Apr. 2010.

References

1. Kobets B. B. Innovatsionnoe razvitie elektroenergetiki na baze kontseptsii Smart Grid / B. B. Kobets, I. O. Volkova. – M. : IATS Energiya, 2010. – 208 s.
2. Voropay N. I. Raspredelennaya generatsiya v elektroenergeticheskikh sistemah / N. I. Voropay // Mater. Mejdunar. nauchno prakticheskoy konf. «Malaya energetika-2005», 2005. – S. 9–11.
3. CHetoshnikova L. M. Upravlenie elektroenergiey i servisorientirovannyye seti / L. M. CHetoshnikova, N. I. Smolentsev, S. A. CHetoshnikov // Vestnik YUUrGU. Seriya: Energetika. – 2012. – № 16(275). – S. 98–102.
4. CHetoshnikova L. M. Ispolzovanie lokalnykh istochnikov v umnykh setyah s trebovaniyami kachestva energii / L. M. CHetoshnikova // Polzunovskiy vestnik. – 2013. – № 4-2. – S. 199–204.
5. Agroskin V. Raspredelennaya generatsiya, perspektivy i problemy / V. Agroskin // ESKO. – 2003. – № 7(19) iyul. – S. 5–8.
6. Z. Fan, G. Kalogridis, C. Efthymiou, M. Sooriyabandara, M. Serizawa, and J. McGeehan, “The New Frontier of Communications Research: Smart Grid and Smart Metering,” in ACM E-Energy Conference, Passau, Germany, Apr. 2010.

Рецензія/Peer review : 26.05.2018 р.

Надрукована/Printed : 05.07.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 675.026.22:546.284-31

С.О. БІЛІНСЬКИЙ, А.Г. ДАНИЛКОВИЧ

Київський національний університет технологій та дизайну

ВИГОТОВЛЕННЯ ШКІР СВІТЛИХ КОЛЬОРІВ З НАПІВФАБРИКАТУ ХРОМОВОГО ДУБЛЕННЯ

Досліджено вплив витрат хімічних реагентів на склад наповненого шкіряного напівфабрикату за п'ятьма технологіями додублювання-наповнювання шкіряного напівфабрикату. Встановлено кореляцію складу наповненого напівфабрикату від витрат хімічних інгредієнтів композиції. Досліджено фізико-хімічні і фізико-механічні властивості наповненого шкіряного напівфабрикату. Встановлено вплив хімічного складу на комплекс властивостей сформованого напівфабрикату в післядубильних процесах.

Ключові слова: напівфабрикат хромового дублення, додублювання-наповнювання, фізико-хімічні властивості напівфабрикату, шкіри світлих кольорів.

S.O. BILINSKIY, A.H. DANYLKOYCH

Kyiv National University of Technologies and Design

PRODUCING OF LIGHT-COLOURED LEATHER FROM SEMI-FINISHED PRODUCT OF CHROME TANNING

Development of the add-duplicating-filling of leather semi-finished product of chrome tanning with the use of nano-silica in the manufacture of light-coloured leather. The influence of the cost of chemical reagents on the composition of the filled leather semi-finished product, based on the five technologies of add-duplicating-filling of leather semi-finished products, was investigated. In this work, samples of semi-finished product of chrome tanning of the plant were used after its planning to a thickness of 1.4 mm in the size of 20 × 100 mm. The technologies of add-duplicating-filling of leather semi-finished products presuppose the use of nanoclay together with acrylic dispersion and subsequent fixation of chemical reagents with alumina-potassium alum. The technological process is carried out at a temperature of 30-32 °C and pH of a medium of 5.8-6.0 in polyethylene containers in a volume of 1 dm³, with constant stirring of their contents for 1.5-2.0 hours. and gradual addition of reagents to the working solution. The influence of the chemical composition of the add-duplicating-filling composition on the complex of physic-chemical and physic-mechanical properties of the formed semi-finished product in post-tanning processes was established. The developed technology of add-duplicating-filling of semi-finished product of chrome tanning provides the formation of elastic skins of light colours with the increased elasticity at the uniaxial deformation and reduced rigidity.

Keywords: semi-finished product of chrome tanning, add-duplicating-filling, physic-chemical properties of semi-finished product, light-coloured leather.

Вступ

Ефективність використання шкіряної сировини при виготовленні еластичних шкір, усунення сировинних і технологічних дефектів є актуальною проблемою для отримання конкурентоздатних високоякісних натуральних матеріалів. Це досягається, в основному, в процесах додублювання і наповнювання шкіряного напівфабрикату завдяки подальшого формування його структури. Слід відзначити, що додублювання шкіряного напівфабрикату сполуками хрому (III) використовується в технологіях виробництва шкір з підвищеною гідротермічною стійкістю. Однак, враховуючи екологічну небезпечність вмісту сполук хрому в стічних водах [1] актуальною проблемою можна вважати виключення сполук хрому на стадії додублювання-наповнювання при отриманні шкір світлих кольорів в технології виготовлення еластичних шкір.

В технологіях виготовлення еластичних шкір на стадії додублювання-наповнювання використовується широкий асортимент неорганічних, природних, синтетичних і полімерних матеріалів. Відомо використання сполук цирконію [2], які надають напівфабрикату високу шліфуємість, але зменшують його видовження при деформуванні. Розроблена композиція на основі сполук алюмінію, кремнезему, сульфату тетракіс (гідроксиметил) фосфонію (THPS) [3] для отримання шкір білого кольору. При цьому температура гідротермічної стійкості шкіри складає 86 °C. Результати дослідження використання в технологічних обробленнях шкіряного напівфабрикату композиції на основі нано-SiO₂ і оксазолідину [4] свідчать про рівномірність розподілу в його структурі нано-SiO₂ навіть при концентрації меншій ніж 5 мас. %. При цьому розмір частинок наповнювача можна контролювати в діапазоні 60–150 нм. Встановлено, що при концентрації SiO₂ понад 7 % більшість частинок агрегують і їх розмір перевищує 400 нм. Шкіра оброблена оксазолідиннано-SiO₂ композицією характеризується підвищеною стійкістю до утворення плісняви. При цьому спостерігається значне зниження вмісту твердих частинок та підвищення біорозкладності органічних сполук у стічних водах.

На практиці для наповнювання частіше всього використовують одночасно рослинні та синтетичні дубителі. Для того, щоб отримати необхідний технологічний ефект, процеси додублювання та наповнення виконуються диференційовано з врахуванням асортименту шкір. У роботі [5] описана технологія комбінованого оброблення шкіряного напівфабрикату хромового дублення з використанням танідів мімози з оксазолідином. Отримана шкіра характеризується високими фізичними і технічними властивостями, які відповідають вимогам стандарту до шкір, отриманих з сировини великої рогатої худоби. Технологію

додублювання шкіряного напівфабрикату [6] з використанням танідів з кори квебрахо застосовують для виготовлення шкір для верху взуття. Відзначається, що застосування смол з рослинними дубителями забезпечує отримання рівної лицьової поверхні якісного забарвлення шкіри при зменшеній витраті натурального дубителя на 50 %. Для додублювання-наповнювання напівфабрикату хромового дублення використано водний екстракт з листя хни [7]. За властивостями отримані шкіри та економічною і технічною доцільністю використання екстракту як реагенту для додублювання відповідають значенням показників шкір додублених екстрактом мімози.

Автори [8] розробили перспективні технології виготовлення шкір нових видів, зокрема «Еко-шкіра» і «Біо-шкіра». В розробленій технології виготовлення шкір реалізовані різні комбінації рослинних дубителів з алюмосилікатами і синтетичним дубителем. Фізико-хімічні показники отриманих шкір за комбінованим методом оброблення відповідають вимогам стандартів для одягових шкір. Слід відзначити, що використання рослинних дубителів призводить до підсилення забарвлення шкіряної поверхні, що виключає можливість виготовлення шкір світлих кольорів.

Для наповнення хромованого напівфабрикату також застосовують водні дисперсії поліакрилатів та інші водорозчинні синтетичні полімери. Серед досліджених полімерів-наповнювачів найбільший вплив на властивості шкіри виявляють аміносмоли [9, 10], які відрізняються високою здатністю вибірково поглинатись напівфабрикатом і надавати шкірі необхідної щільності. Слід відзначити додублювально-наповнювальний вплив на шкіряний напівфабрикат діметилсечовини та її модифікованих похідних – мелаїно-формальдегідні та діціандіамідної смоли, які отримують конденсацією альдегідів із сечовиною, мелаїном й діціандіамідом. Перевага аміносмол [11] полягає у тому, що шкіра добре наповнена з щільним й міцним лицьовим шаром, який має високу здатність до шліфування. На практиці діціандіамідні смоли застосовують для введення в напівфабрикат у комбінації з неорганічними, рослинними чи синтетичними дубителями. На відміну від модифікованої амінофуразанформальдегідної смоли, використання сульфатованого мелаїноформальдегідного олігомеру [12] для додублювання хромового напівфабрикату підвищує його наповненість, еластичність і зафарбованість. Однак, при цьому шкіри після додублювання містять до 10 мг/кг вільного екологічно шкідливого формальдегіду.

При використанні кополімерів, синтезованих на основі акрилової кислоти [13] отримані шкіри характеризуються підвищеною еластичністю. Використання водних емульсій кополімерів бутилакрилату і стиролу з різним розміром частинок забезпечило формування шкір з підвищеними показниками термостабільності, міцності та еластичності [14]. При цьому знижується забрудненість стічних вод підприємства. Авторами роботи [15] показано, що при наповненні шкіряного напівфабрикату дисперсіями полімалеїнату і поліакрилатами різної молекулярної маси із збільшенням розміру частинок з 17 до 562 нм відбувається зменшення пористості й паропроникності неоздобленої шкіри хромового дублення для верху взуття з сировини ВРХ при введенні полімеру на початку процесу. В той час як при використанні дисперсій полімерів на завершальній стадії рідинного оздоблення спостерігається деяке підвищення цих показників.

Поряд з неорганічними та синтетичними полімерами для додублювання-наповнювання шкіряних матеріалів хромового дублення використовують їх композиції зі сполуками хрому (III) для формування шкір з необхідним комплексом пружно-пластичних властивостей і розширення асортименту матеріалів. Для зменшення витрат сполук хрому розроблено спосіб алюмо-хромового оброблення напівфабрикату [16], який передбачає використання уротропіну, сірчаної кислоти, сполук хрому та алюмо-калієвого галууну в присутності мурашиної кислоти та бікарбонату натрію у кислому середовищі. Отримані шкіри порівняно з контрольними характеризувались підвищеною наповненістю, відсутністю пухливатості та вищою якістю.

Автори роботи [17] пропонують заміну хрому (III) на алюміній (IV) при додублюванні велюру та нубуку. Наводяться способи додублювання велюру з козлини та нубуку з опойка солями Al (III) у присутності мурашиної кислоти та бікарбонату натрію за температури 60 °C у кислому середовищі. Однак обмежене застосування сполук алюмінію для оброблення видубленого солями хрому напівфабрикату пов'язане з низькою їх стійкістю у робочих розчинах та ускладненнями, які виникають при емульсійному жируванні шкіряного напівфабрикату. Структурні дослідження наповненого шкіряного напівфабрикату кремнійорганічними сполуками [18] комбінацією органосилікону і сполук хрому (III) показали, що при збільшенні концентрації органосилікону в напівфабрикаті підвищується однорідність його пористої структури зі збільшенням пористості та термостійкості. При цьому аналогічний ефект спостерігається при зменшенні вмісту сполук хрому (III) в наповнювальній композиції. Автори вважають, що жорстка і стабільна трьохмірна структура SiO₂, що утворена в колагенових волокнах, забезпечує підвищення гідротермічної стійкості наповненого напівфабрикату. Композиція на основі кремнезему з додаванням сполук хрому (III) [19] дозволяє зменшити залишковий вміст хрому в стічних водах з 70 до 90 % та знизити хімічне і біологічне споживання кисню. Отримані шкіри характеризуються пластичністю, шовковистою мереживкою та рівномірним ворсом після шліфування.

Отже, в технологіях додублювання-наповнювання шкіряного напівфабрикату хромового дублення при виготовленні світлих кольорів шкір використовуються композиції, що включають синтетичні полімери, сполуки кремнію та алюмосилікати. Слід відзначити суттєвий недолік композицій, що включають сполуки хрому, щодо їх екологічної безпеки при використанні.

Постановка завдання

Метою роботи є розробка технології додублювання-наповнювання шкіряного напівфабрикату

хромового дублення з використанням нанокремнезему при виготовленні шкір світлих кольорів. При цьому завданнями роботи є:

- аналіз технологій додублювання-наповнювання хромового напівфабрикату з використанням рослинних, синтетичних, низькомолекулярних і високомолекулярних реагентів;
- порівняльний аналіз технологій додублювання-наповнювання шкіряного напівфабрикату хромового дублення;
- визначення хімічного складу, фізико-хімічних та фізико-механічних властивостей шкір світлих кольорів.

Матеріали і методи дослідження

В роботі використано зразки напівфабрикату хромового дублення виростка після його стругання на товщину 1,4 мм розміром 20×100 мм. За кожним варіантом технології оброблялось 20 зразків, отриманих за методом асиметричної бахтарми [20] з чепрочної частини напівфабрикату.

Для додублювання-наповнювання використано ряд хімічних реагентів:

- пірогенний аеросил А-300 з розміром частинок 4–50 нм, питомою поверхнею 300 м²/г та масовою часткою оксиду кремнію (II) не менше 99,9 % виробництва Калушського хіміко-металургійного комбінату (Україна);
- акриловий полімер аніонного характеру retanal RCN-40 хімічної компанії «Cromogenia-Units, S.A.» (Іспанія) з рН 6,8, сухим залишком 39,8 % і в'язкістю 12·10³ сПз;
- екстракт квебраховий натуральний з вмістом танінів 80,5 % маси сухої речовини, доброякісність 89,3 % (Китай);
- жирувальний матеріал Trupol RA як суміш сульфатованих і сульфитованих синтетичних та натуральних жирів аніонного типу з вмістом активної речовини 70 %, рН 10 % емульсії 7,5 виробництва фірми Trumpler (Німеччина);
- алюмо-калієвий галун KAl(SO₄)·12H₂O.

Хімічні та фізико-хімічні властивості наповненого шкіряного напівфабрикату визначали за методиками [20, 21]. Фізико-механічні дослідження виконані на розривній машині марки РМ-250м при швидкості деформування 90 мм·хв⁻¹. Для встановлення пористості зразків напівфабрикату використано гас. Жорсткість матеріалу визначали на приладі ПЖУ-12м. Точність визначення фізико-хімічних показників напівфабрикату складала 5–7 %.

Результати та їх обговорення

Процес додублювання шкіряного напівфабрикату проводився після його повної нейтралізації сумішшю формиату і бікарбонату натрію [22] за температури 30–32 °С з наступним промиванням протягом 10 хв. Технологічний склад наповнювальних композицій за варіантами 1–5 наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Склад технологічних оброблень шкіряного напівфабрикату

Інгредієнт складу	Варіант технології				
	1	2	3	4	5
	Витрата інгредієнту, % маси напівфабрикату				
Аеросил А-300	0	1,0	1,5	2,0	3,0
Trupol RA	–	0,5	0,75	1,0	1,5
Retanal RCN-40	6	3	–	6	–
Екстракт квебрахо	–	4	7	–	–
Trupol RA	7	6,5	5,25	6,0	5,5
Галун алюмінієво-калієвий	4	4	4	4	4

Як видно з табл. 1, витрата аеросилу А-300 у варіанті 4 була в три рази більшою порівняно з варіантом 2. Слід відзначити, що аналіз хімічного складу кремнезему і рослинних дубителів за їх функціональними групами може свідчити про ефективність заміни зафарбованих танінів високодисперсним алюмосилікатним мінералом. При цьому максимальна витрата акрилової дисперсії була у варіанті 4, екстракту квебрахо – 3, а витрата жирувального реагенту в усіх варіантах складала 7 % маси напівфабрикату, з яких 50 % додавали до робочого розчину разом з аеросилом А-300.

Процес додублювання-наповнювання напівфабрикату проводився при рідинному коефіцієнті 2, температурі 30–32 °С, рН середовища 5,8–6,0 та постійному перемішуванні компонентів в об'ємі 1 дм³ зі швидкістю обертання 16–18 хв.⁻¹ Після оброблення напівфабрикату аеросил-жирувальною сумішшю протягом 15 хв у робочий розчин дозували акрилову емульсію чи екстракт квебрахо і продовжували оброблення ще 30–40 хв, потім додавали жирувальний інгредієнт, а ще через 30 хв. – алюмо-калієвий галун. Через 20 хв відпрацьований розчин зливали і отриманий напівфабрикат промивали при 20–22 °С протягом 10 хв. Процес додублювання-наповнювання завершувався при рН середовища 4,4.

Отже тривалість процесу додублювання-наповнювання напівфабрикату залежно від варіанту оброблення тривала від 1 год 15 хв до 2,0 год. Отриманий напівфабрикат підлягав сушильно-зволожувальним процесам і операціям. Перед випробуваннями отримані зразки напівфабрикату кондиціонували в ексікаторі протягом доби за нормальних умов.

Результати хімічного аналізу зразків наповненого напівфабрикату (табл. 2) свідчать про кореляцію складу наповненого напівфабрикату з витратою хімічних інгредієнтів. При цьому вміст голинної речовини (ГР) в наповненому напівфабрикаті зменшується зі збільшенням вмісту інгредієнтів наповнювальної композиції і досягає мінімального значення у четвертому варіанті технології. Одночасно спостерігається зменшення співвідношення жирувальних реагентів і високодисперсного оксиду кремнію зі збільшенням його вмісту в напівфабрикаті, що може свідчити про зниження ступеня наповнення.

Таблиця 2

Хімічний склад шкіряного напівфабрикату

Показник	Варіант технології				
	1	2	3	4	5
Масова частка, %: вологи	12,8	13,0	13,1	12,6	12,7
– голинної речовини	74,7	72,0	74,6	69,9	72,2
– золи	5,6	7,2	6,9	8,7	10,5
– оксиду хрому (III)	4,1	3,9	3,8	3,6	3,3
– оксид кремнію	–	1,4	1,9	2,8	3,9
– речовин, що екстрагуються органічними розчинниками	9,1	8,9	8,1	9,8	11,0
– полімерні сполуки	7,3	3,4	–	6,9	–
– зв'язані дубильні речовини	–	8,4	11,9	–	–

Примітка. Інгредієнти шкіри наведені в розрахунку на абсолютно суху масу зразків

За фізико-хімічними властивостями зразки напівфабрикату (табл. 3), отримані за технологічним варіантом 4, досягають максимальних значень. При цьому уявна питома маса відповідно має мінімальне значення. Слід відзначити, що отримані шкіри можна віднести до світлих кольорів.

Таблиця 3

Фізико-хімічні властивості наповненого шкіряного напівфабрикату

Показник	Варіант технології				
	1	2	3	4	5
Температура зварювання напівфабрикату, °C	115,0	114,0	115,0	114,0	113,0
Товщина шкіри, мм	1,54	1,58	1,47	1,62	1,50
Уявна питома маса, кг/м ³	0,643	0,648	0,659	0,638	0,649
Об'ємний вихід шкіри ¹ , см ³ /100 г ГР	239,0	246,5	234,0	256,5	244,5
Пористість зразків, %	56,5	57,0	56,0	59,0	57,0

Примітка. ¹Для розрахунку використано ГР і уявну питому масу зразків після їх кондиціонування

Як свідчать дослідження фізико-механічних властивостей наповненого шкіряного напівфабрикату (табл. 4) при введенні аеросилу А-300 в склад наповнювальної композиції до 2 % спостерігається збільшення відносного видовження при 10 МПа до 32 %. При цьому показник жорсткості знижується на 28 %, а межа міцності лицьового шару наближається до міцності шкіри. При витраті аеросилу А-300 3 % маси напівфабрикату (варіант 5) спостерігається деяке зниження міцності лицьового шару, відносного видовження при 10 МПа і зростання жорсткості.

Таблиця 4

Фізико-механічні властивості наповненого шкіряного матеріалу

Показник	Варіант технології				
	1	2	3	4	5
Межа міцності при розтягуванні, МПа	22,9	21,5	20,2	22,7	21,0
Межа міцності лицьового шару, МПа	22,9	20,3	17,0	22,0	18,7
Відносне видовження при навантаженні 10 МПа, %	29,0	31,0	29,0	32,0	27,0
Відносне видовження при розриві, %	59,0	54,0	58,0	62,5	60,0
Жорсткість шкіри, сН	32,0	27,0	31,0	25,0	29,0

Отже, за комплексом фізико-хімічних і фізико-механічних властивостей отриманий шкіряний матеріал при витраті аеросилу 2 % маси напівфабрикату, акрилової дисперсії 6 % і жирувальних речовин 7 % за технологією 4, завдяки відсутності танідів у розробленій технології, незважаючи на наявність в складі напівфабрикату сполук хрому, можна вважати оптимальним для формування еластичних шкір світлих кольорів.

Висновки

1. Аналіз науково-технічної літератури з технологій додублювання-наповнювання шкіряного напівфабрикату хромового дублення з сировини великої рогатої худоби свідчить про актуальність виключення з післядубильних процесів дубильних сполук хрому при виготовленні еластичних шкіряних матеріалів світлих кольорів.

2. Реалізовані технології додублювання-наповнювання шкіряного напівфабрикату характеризуються відсутністю сполук хрому завдяки використанню нанокремнезему і акрилової дисперсії відповідно з

витратою до 3 і 6 % маси напівфабрикату при суттєвій економії рослинних дубителів в технологічному процесі.

3. Встановлено вплив хімічного складу наповнювальної композиції на комплекс фізико-хімічних і фізико-механічних властивостей сформованого шкіряного напівфабрикату в післядубильних процесах. Розроблена технологія додублювання-наповнювання напівфабрикату хромового дублення забезпечує формування еластичних шкір з сировини великої рогатої худоби з високим об'ємним виходом – 256 см³/100 г голиної речовини та підвищеною еластичністю при одновісній деформації й зниженою жорсткістю. Отримані зразки шкіри відповідають вимогам ДСТУ 3115-95 на шкіряні матеріали для швейних виробів та системі управління якістю за міждержавним стандартом «ISO 9001:2008». Дана технологія додублювання-наповнювання шкіряного напівфабрикату хромового дублення може бути рекомендована для виготовлення еластичних шкір світлих кольорів і впровадження у промислове виробництво.

Літератури

1. Cai S. Inverse chrome tanning technology based on wet white tanned by Al-Zr complex tanning agent / S. Cai, Y. Zeng, W. Zhang, Y. N. Wang, B. Shi // JALCA. – 2015. – Vol. 110. – P. 114–120.
2. Охмат О. А. Суміщення процесів фарбування, додублювання та нейтралізації при виробництві шкір для верху взуття хромцирконієвого методу дублення / О. А. Охмат, Г. В. Цеменко // Вісник ДАЛПУ. – 2000. – № 3. – С. 47–50.
3. Wet white leather: A new combination tanning system / N. N. Fathima, T. Prem Kumar, D. Ravi Kumar, J. Raghava Rao, B. Unni Nair // JALCA. – 2006. – Vol. 101. – № 2. – P. 58–65.
4. Nano-SiO₂ oxazolidine combination tannage: Potential for chrome-free leather // L. Yan, Z. Luo, H. Fan, Y. Liu, H. Li, B. Peng, B. Shi // JALCA. – 2008. – Vol. 92. – № 6. – P. 252–257.
5. Combined organic tanning based on mimosa and oxazolidine: development of a semi-industrial scale process for high-quality bovine upper leather / A. D'Aquino, N. Barbani, G. D'Elia et al. // SLTC. – 2013. – Vol. 1. – N 1. – P. 9–15.
6. Виноцкий В. Д. Наполнение и додубливание хромовых кож полимерами нового поколения. Сообщение 2 / В. Д. Виноцкий, О. П. Лебедев, Л. Л. Макаров-Землянский, Л. И. Гинзбург, С. В. Горбатов // Кож.-обувн. пром-сть. – 2003. – № 1. – С. 33–34.
7. Musa A. E. Henna extract: can it be an alternative retanning agent? / A. E. Musa, B. Madchan, W. Madhalulatchan, S. Sadulla, J. A. Gasmelseed // JALCA. – 2008. – Vol. 103. – N 6. – P. 188–193.
8. Gürlür Karaman D. Possibilities of usage of alkali aluminosilicates as tanning material in chromium-free leather production / D. Gürlür Karaman, G. Gülümser // JTATK. – 2016. – Vol. 26. – N 1. – S. 117–124.
9. Островская А. В. Фторсодержащие аминсодержащие и их применение в кожевенном производстве / А. В. Островская, А. В. Чернова, И. И. Латфулин // Вестник Казан. технол. ун-ва. – 2010. – № 11. – С. 584–585.
10. Гилясов Е. А. Аминофуразановая смола как наполняющий и додубливающий реагент в производстве кожи / Е. А. Гилясов, А. В. Петрова, А. В. Островская // Новые технологии и материалы легкой пром-сти. – Казань. – 2009. – С. 36–40.
11. Water-based anionic sulfonated melamine formaldehyde condensate oligomer as retanning agent for leather processing / S. N. Jaisankar, S. Gupta, Y. Lakshminarayana, J. Kanakaraj, A. B. Mandal // J. Amer. Leather Chem. Assoc. – 2010. – Vol. 105. – P. 289–296.
12. Water-based anionic sulfonated melamine formaldehyde condensate oligomer as retanning agent for leather processing / S. N. Jaisankar, S. Gupta, Y. Lakshminarayana, J. Kanakaraj, A. B. Mandal // J. Amer. Leather Chem. Assoc. – 2010. – Vol. 105. – P. 289–296.
13. Ma J. Z. Elasticity studies on leather retanned with various types of acrylic polymers / J. Z. Ma, H. Lu // J. Amer. Leather Chem. Assoc. – 2008. – Vol. 103, Issue 11. – P. 363–369.
14. Nashy E. H. A. Novel retanning agents for chrome tanned leather based on emulsion-nano particles of styrene/butyl acrylate copolymers / E. H. A. Nashy, A. L. Hussein, M. M. J. Essa // J. Amer. Leather Chem. Assoc. – 2011. – Vol. 106, Issue 9. – P. 241–248.
15. Fordzyun Yu. Level of comfort: artificial and natural shoe materials. A comprehensive assessment / Yu. Fordzyun, O. Andreyeva, L. Maistrenko // Key Engineering Materials. – 2013. – Vol. 559. – P. 25–30.
16. Бейсеуов К. Алюмохромовое дубление со сниженным расходом хрома, совмещенное с самоподшелачиванием и наполнением дермы / К. Бейсеуов, Д. Т. Ходжав, А. М. Сакиев // Изв. ВУЗов. Технол. легк. пром-сти. – 1991. – № 6. – С. 118.
17. Basak N. Replaning chrome by aluminium retanning in the production of suede and nubuck leathers / N. Basak, S. Bhattacharya // World Leather. – 2000. – № 14. – P. 43–44.
18. Variation of pore structure of organosilicone-modified skin collagen matrix / Y. Li, B. Wang, Z. Li, L. Li // JAPS. – 2017. – Vol. 134. – № 19. – 44831 (P. 1 of 10).
19. Fathima N. N. Augmentation of garment sheepskin type properties in goatskins: Role of chromium-silica tanning agent / N. N. Fathima, J. R. Rao, B. U. Nair // JSLTC. – 2003. – Vol. 87. – 227–232.
20. Данилкович А. Г. Аналитический контроль в производстве кожи и меха. Лаб. практикум : учеб. пособие / Данилкович А. Г., Чурсин В. И. – М. : НИЦ Инфра-М, 2016. – 176 с.

21. Хренников Н. С. Химико-технологический контроль в кожевенном производстве / Н. С. Хренников, Н. А. Крысанова. – М. : Изд-во «Лёгкая индустрия», 1967. – 337 с.
22. Данилкович А. Г. Технологія і матеріали виробництва шкіри / Данилкович А. Г., Мокроусова О. Р., Охмат О. А. ; під ред. А. Г. Данилковича. – К. : Фенікс, 2009. – 580 с.

References

1. Inverse chrome tanning technology based on wet white tanned by Al-Zr complex tanning agent / S. Cai, Y. Zeng, W. Zhang, Y. N. Wang, B. Shi // JALCA. – 2015. – Vol. 110. – P. 114–120.
2. Okhmat A. A. Sovmeshcheniye protsessov okrashivaniya, dodublyuvannya i neytralizatsii pri proizvodstve kozh dlya verkha obuvi khromtsirkoniyevogo metoda dubleniya / A. A. Okhmat, G. V. Tsemenko // Vestnik GALPU. – 2000. – № 3. – S. 47-50.
3. Wet white leather: A new combination tanning system / N. N. Fathima, T. Prem Kumar, D. Ravi Kumar, J. Raghava Rao, B. Unni Nair // JALCA. – 2006. – Vol. 101. – № 2. – P. 58–65.
4. Nano-SiO₂ oxazolidine combination tannage: Potential for chrome-free leather // L. Yan, Z. Luo, H. Fan, Y. Liu, H. Li, B. Peng, B. Shi // JALCA. – 2008. – Vol. 92. – № 6. – P. 252–257.
5. Combined organic tanning based on mimosa and oxazolidine: development of a semi-industrial scale process for high-quality bovine upper leather / A. D'Aquino, N. Barbani, G. D'Elia et al. // SLTC. – 2013. – Vol. 1. – N 1. – P. 9–15.
6. Napolneniye i dodublvaniye khromovykh kozh polimera novogo pokoleniya. Soobshcheniye 2 / V. D. Vinitskiy, A. P. Lebedev, L. L. Makarov-Zemlyanskiy, L. I. Ginzburg, S. V. Gorbakov // Kozh.-obuvnaya. prom-st'. – 2003. – № 1. – S. 33-34.
7. Henna extract: can it be an alternative retanning agent? / A. E. Musa, B. Madchan, W. Madhalulatchan, S. Sadulla, J. A. Gasmelseed // JALCA. – 2008. – Vol. 103/– N 6. – P. 188–193.
8. Gürlür Karaman D. Possibilities of usage of alkali aluminosilicates as tanning material in chromium-free leather production / D. Gürlür Karaman, G. Gülümser // JTATK. – 2016. – Vol. 26. – N 1. – S. 117–124.
9. Ostrovskaya A. V. Ftorsoderzhashchiye aminomoly i ikh primeneniye v kozhevenno proizvodstve / A. V. Ostrovskaya, A. V. Chernova, I. I. Latfulin // Vestnik Kazan. tekhnol. univ. – 2010. – № 11. – S. 584-585.
10. Gilyasov Ye. A. Aminofurazanovaya smola kak napolnyayushchiy i dodubltyayushchiy reagent v proizvodstve kozhi / Ye. A. Gilyasov, A. Petrova, A. V. Ostrovskaya // Novyye tekhnologii i materialy logkoy prom-sti. - Kazan'. – 2009. – S. 36-40.
11. Water-based anionic sulfonated melamine formaldehyde condensate oligomer as retanning agent for leather processing / S. N. Jaisankar, S. Gupta, Y. Lakshminarayana, J. Kanakaraj, A. B. Mandal // J. Amer. Leather Chem. Assoc. – 2010. – Vol. 105. – P. 289–296.
12. Water-based anionic sulfonated melamine formaldehyde condensate oligomer as retanning agent for leather processing / S. N. Jaisankar, S. Gupta, Y. Lakshminarayana, J. Kanakaraj, A. B. Mandal // J. Amer. Leather Chem. Assoc. – 2010. – Vol. 105. – P. 289–296.
13. Ma J. Z. Elasticity studies on leather retanned with various types of acrylic polymers / J. Z. Ma, H. Lu // J. Amer. Leather Chem. Assoc. – 2008. – Vol. 103, Issue 11. – P. 363–369.
14. Nashy E. H. A. Novel retanning agents for chrome tanned leather based on emulsion-nano particles of styrene/butyl acrylate copolymers / E. H. A. Nashy, A. L. Hussein, M. M. J. Essa // J. Amer. Leather Chem. Assoc. – 2011. – Vol. 106, Issue 9. – P. 241–248.
15. Fordzyun Yu. Level of comfort: artificial and natural shoe materials. A comprehensive assessment / Yu. Fordzyun, O. Andreyeva, L. Maistrenko // Key Engineering Materials. – 2013. – Vol. 559. – P. 25–30.
16. Beyseuov K. Alyumokhromovoye dubleniye so snizhennym raskhodom khroma, sovmeshchennoye s samopodshchelachivaniyem i napolneniyem dermy / K. Beyseuov, D. T. Khodzhaeva, A. M. Sakiyev // Izv. VUZov. Tekhnol. legk. prom-sti. – 1991. – № 6. – S.118.
17. Basak N. Replaning chrome by aluminium retanning in the production of suede and nubuck leathers / N. Basak, S. Bhattacharya // World Leather. – 2000. – № 14. – P. 43–44.
18. Variation of pore structure of organosilicone-modified skin collagen matrix / Y. Li, B. Wang, Z. Li, L. Li // JAPS. – 2017. – Vol. 134. – № 19. – 44831 (P. 1 of 10).
19. Fathima N. N. Augmentation of garment sheepskin type properties in goatskins: Role of chromium-silica tanning agent / N. N. Fathima, J. R. Rao, B. U. Nair // JSLTC. – 2003. – Vol. 87. 227–232.
20. Danilkovich A. G. Analiticheskiy kontrol' v proizvodstve kozhi i mekha. Lab. praktikum: ucheb. posobiye / Danilkovich A. G., Chursin V. I. – M.: NITS Infra-M, 2016. – 176 s.
21. Khrennikov N. S. Khimiko-tekhnologicheskii kontrolsh' v kozhevenno proizvodstve / N. S. Khrennikov, N. A. Krysanova. – M.: Izd-vo «Logkaya industriya», 1967. – 337 s.
22. Danilkovich A. G. Tekhnologiya i materialy proizvodstva kozhi / Danilkovich A. G., Mokrousova O. G., Okhmat A. A. ; pod red. A. G. Danilkovich. – M.: Feniks, 2009. – 580 s.

Рецензія/Peer review : 18.05.2018 р.

Надрукована/Printed : 11.07.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Злотенко Б. М.

МОДЕЛЬ І АЛГОРИТМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ПЕРВИННОЇ ПЕРЕРОБКИ ЛУБ'ЯНОЇ СИРОВИНИ

Метою даного дослідження є розроблення моделі та алгоритму управління технологічними процесами первинної переробки луб'яної сировини – лляної соломи і трести для одержання волокна різного функціонального призначення з визначеними фізико-механічними характеристиками: вмістом костри, розщепленістю, середньою масодовжиною, лінійною густиною, розривним навантаженням. Розроблена модель і алгоритм управління технологічним процесом одержання льоноволокна розкриває можливість виділяти з луб'яної сировини волокно з необхідними показниками якості, які будуть задовольняти вимоги текстильних, целюлозно-паперових та хімічних виробництв.

Ключові слова: модель управління, технологічні процеси, луб'яна сировина, фізико-механічні характеристики, алгоритм.

N.A. KRUGLAYA, S.S. BABICH

Kherson National Technical University

MODEL AND ALGORITHM OF MANAGEMENT BY TECHNOLOGICAL PROCESSES OF THE PRIMARY TREATMENT OF LOBBY RAW MATERIALS

The purpose of this research is to develop a model and algorithm for controlling the technological processes of primary processing of bast raw material - flax straw and truss for the production of fibers of various functional purposes with the determined physical and mechanical characteristics: the contents of the bonfire, splitting, average mass length, linear density, bursting load. The development of the algorithm of choice for the technologist of an optimized technological process can be carried out on the basis of the well-known classical methodology of decision-making. The decision-making model is a logical mathematical description of components and functions that reflect the existing properties of the simulated process. Using the above approach, taking into account the model of technological process for obtaining linen fibers of various functional purposes, an algorithm for selecting a rational technological process is created. Using the experience of solving identical problems, based on the mathematical model of the technological process, we develop an algorithm for selecting a rational technological process. The algorithm was created using the model of the technologist's activity in the concrete production conditions of the primary processing plants of bast raw material on the basis of the program of making operational decisions. The first block of the algorithm describes the introduction into the ECM of information on qualitative parameters of flax fiber, depending on its functional purpose, which must be obtained as a result of primary processing of bast raw material, as well as information on qualitative physical and mechanical properties of raw materials. In the second block of the algorithm, the choice of a regression model for calculating the quality of the fiber is carried out, depending on the parameters of the adjustment of the mountaineering equipment. The developed model and algorithm of control of the technological process of obtaining flax fiber reveals the possibility of isolating from bast raw fiber with the necessary quality indicators that will satisfy the requirements of textile, pulp and paper and chemical industries.

Key words: model of control, technological processes, bulk raw material, physical and mechanical characteristics, algorithm.

Постановка задачі

Вхідною інформацією для розроблення управління технологічними процесами переробки луб'яної сировини являються фізико-механічні характеристики волокна визначеного функціонального призначення, які лежать в основі його подальшої переробки на текстильних, целюлозно-паперових, хімічних виробництвах. Такими характеристиками є вміст костриці, розщепленість, середня масодовжина, лінійна густина, розривне навантаження. Для функціонування системи управління технологічними процесами первинної переробки луб'яної сировини необхідна інформація, за допомогою яких технологічних прийомів буде можливим проводити регулювання процесу одержання льоноволокна того чи іншого призначення. У зв'язку з необхідністю забезпечення вимог до організації технологічних процесів з мінімальними втратами якості, технологію необхідна інформація, яка б давала можливість приймати необхідні рішення забезпечення програмного управління технологічним процесом одержання волокна за оптимізованими режимами та параметрами. Для цього необхідно, в першу чергу, здійснити розробку алгоритму управління технологічними процесами первинної переробки луб'яної сировини.

Аналіз досліджень та публікацій

Розроблення алгоритму вибору технологом оптимізованого технологічного процесу може бути здійснено на основі відомої класичної методології прийняття рішень [1–4]. Прийняття рішень – це процес, який за своєю складністю і характером подібний до процесу мислення людини. Прийняття рішень включає три основні етапи: визначення умов за яких приймається рішення: пошук, розробка, аналіз можливих варіантів, вибір альтернативного рішення з великої кількості можливих варіантів за яких досягається визначена мета для особи, яка це рішення приймає (ОПР). Це рішення підтримується шляхом побудови моделі прийняття рішень. Тому, основною метою даного дослідження є розроблення моделі та алгоритму управління технологічними процесами первинної переробки луб'яної сировини – лляної соломи і трести для одержання волокна різного функціонального призначення з визначеними фізико-механічними характеристиками: вмістом костри, розщепленістю, середньою масодовжиною, лінійною густиною, розривним навантаженням.

**Основна частина. Створення алгоритму вибору раціонального технологічного процесу
первинної переробки луб'яної сировини**

Модель прийняття рішень є логічним математичним описом компонентів і функцій, які відображають існуючі властивості модельованого процесу. Функціональну модель системи підтримки прийняття рішень M і модель процесу управління M' задаємо відображеннями:

$$\begin{aligned} M &: R \times Z \times S \rightarrow X, \\ (1) \quad M' &: X \times R_0 \times S_0 \rightarrow Y, \end{aligned} \quad (2)$$

де R, R_0 – множина ресурсів;

S, S_0 – множина стану відповідної системи і об'єкту управління;

Z – множина цілей, поставлених метасистемою;

X – множина управлінських дій;

Y – множина наслідків.

Зовнішнє середовище задає стан S, S_0 для системи прийняття рішень і об'єкту управління. Метасистема задає ресурс R і ціль Z . Як результат функціонування моделі, виникає велика множина наслідків Y .

Правило прийняття рішень Φ для даного прикладу, яке знаходять за допомогою, наприклад, методів дослідження операцій, запишемо у формі:

$$\Phi: Y \times Z \times E, \quad (3)$$

Де E – множина упорядкованих елементів, які відображають якість управління.

Аналогічним шляхом можуть бути одержані моделі для випадків обліку ризиків і невизначеності.

Основними факторами, які визначають процес прийняття рішень, є ситуація, яка потребує прийняття рішень дії на об'єкт, що управляється – управляюче рішення X і процес пошуку рішення $\varphi = C(X)$.

Подамо формальну модель автоматизованого пошуку рішення у формі кортежу:

$$E = (T, I, W, D_i, D_x, Z, P, Q, \theta, V, \varphi), \quad (4)$$

де T, D_i, Z, Q і θ – множина відповідно моментів часу, допусків значень, цілей управління, зв'язків між I та X і закономірностей поведінки об'єкта;

I і W – інформація про стан відповідного об'єкта і навколишнього середовища;

D_x – область допустимих значень;

P – дані про систему оцінки переваг перед особами, які приймають рішення (ОПР);

V – можливі інформаційні технології (моделі, алгоритми, технічні засоби та ін.);

φ – відображення, яке характеризує процес пошуку рішення.

Для реалізації відображення $\varphi: 1 \rightarrow X$ пропонується така послідовність етапів прийняття рішень:

формування проблемної ситуації C

$$\varphi_1 = (T, I, D, W, Z, C), \quad (5)$$

класифікація ситуації

$$\varphi_2 = (C, K_1, K_2, P_1),$$

(6)

де K_1, K_2 і P_1 – множина відповідно класів ситуацій, правил класифікації і експертних переваг під час оцінки ситуації ($P_1 \subset P$);

вибір стратегії пошуку рішень

$$\varphi_3 = (C, Q, \theta, R_1, R_2, N),$$

(7)

де R_1 – ресурси для ліквідації проблемної ситуації;

R_2 і N – множина переваг під час вибору стратегії і стратегій пошуку управлінських рішень (коригування виробничих планів, заміна ресурсів та ін.)

побудова моделі пошуку рішення

$$\varphi_4 = (C, K_1, K_2, P_3, N), \quad (8)$$

де P_3 – множина переваг ОПР під час моделювання;

конструювання процедури пошуку рішення

$$\varphi_5 = (M, V, P_4, A),$$

(9)

де V, P_4 і A – множина відповідно можливостей ЕОМ, переваг ОПР під час конструювання процедури пошуку рішень і алгоритмічних процесів пошуку рішень; формування варіанта рішень

$$\varphi_6 = (M, A, X, F, P_5), \quad (10)$$

де F – множина критеріїв оцінки вигідності рішення;
вибір рішення

$$\varphi_7 = (M, F, P_6, x^*), \quad (11)$$

де P_6 – множина переваг перед вибором рішення;

x^* – найкраще рішення, прийняте ОПР на основі критеріальних оцінок.

Проаналізовані етапи процесу пошуку рішень управління дають можливість сформулювати постановку задачі адаптації, яка заключається у визначенні процесу пошуку A керуючих дій X , відповідно до стану об'єкта I і впливу навколишнього середовища W . Процес пошуку альтернатив складається з трьох основних функціональних блоків:

– блок формування ситуації C ; включає опис ситуації C на визначеній мові на основі аналізу інформації про стан об'єкта I і зовнішнього середовища W і досвіду ОПР, функціонування цього блоку, який містить етапи φ_1 і φ_2 визначимо наступним відображенням:

$$\psi_1 : I \times W \times P \rightarrow S, \quad (12)$$

– блок конструювання моделі M , призначений для створення логіко-математичних моделей пошуку альтернатив рішень відповідних поточній проблемній ситуації, функціонування цього блоку, який містить етапи φ_3 і φ_4 , подамо так:

$$\psi_2 : S \times C \times P \rightarrow M, \quad (13)$$

– блок визначення процедури пошуку A , призначений для формування і вибору альтернативних дій на базі моделі M , процедури пошуку альтернатив рішення A і системи переваг ОПР; функціонування цього блоку, який включає етапи φ_5 , φ_6 , φ_7 визначимо таким відображенням:

$$\psi_3 : M \times A \times P \rightarrow X, \quad (14)$$

Наведені етапи процесу пошуку рішень за рахунок конструювання нових і корегування існуючих елементів процесу пошуку дають можливість адаптувати модель пошуку альтернативних рішень до існуючої ситуації.

Процес формалізації задач прийняття рішень в конкретній предметній області і технічному процесі одержання льоноволокна різного функціонального призначення, можливо спрощено подати у вигляді моделі, вираженої сукупністю множин:

$$M = (X, A, Y, F), \quad (15)$$

де X , A , Y – множини, відповідно управляючих, фіксованих і тих, що управляються параметрами середовища;

F – множина функціональних залежностей, які зв'язують елементи X , A , Y .

Використовуючи викладений вище підхід з врахування моделі технологічного процесу одержання лляних волокон різного функціонального призначення, створено алгоритм вибору раціонального технологічного процесу. При цьому враховано досвід діяльності технолога (ОПР) в конкретних виробничих умовах заводів з первинної переробки луб'яної сировини: льонотрести та льоносоломки. Вхідною інформацією є вихідна інформація технологічного процесу про фізико-механічні властивості одержуваної готової продукції такі як вміст костри у волокні, розщепленість, середня масодовжина, лінійна густина і розривне навантаження.

Для зменшення затрат на обробку інформації і гарантії її використання створюється банк даних, в який вводиться матеріали про параметри і режими традиційної технології переробки луб'яної сировини та інформація про можливі варіанти їх удосконалення.

Використовуючи досвід рішення ідентичних задач, на основі математичної моделі технологічного процесу, розробляємо алгоритм вибору раціонального технологічного процесу. Алгоритм створено з використання моделі діяльності технолога в конкретних виробничих умовах заводів первинної переробки луб'яної сировини на основі програми прийняття оперативних рішень (рис. 1).

В першому блоці алгоритму (1) описано введення в ЕВМ інформації про якісні параметри льоноволокна в залежності від його функціонального призначення, які необхідно одержати в результаті первинної переробки луб'яної сировини, а також інформації про якісні фізико-механічні властивості сировини. В другому блоці алгоритму (2) здійснюється вибір регресивної моделі для розрахунку якості волокна в залежності від параметрів налаштування роботи м'яльно-тіпального обладнання.

Основними змінними, які введені в модель є X_1 – тиск в м'яльних вальцях, X_2 – глибина заходження рифлів у м'яльній машині.

В третьому блоці (3) на основі розробленої моделі розраховуються значення середньої масодовжини і лінійної густини вмісту костри та розривного навантаження за оптимальними параметрами

настроювання м'яльно-тіпального обладнання.

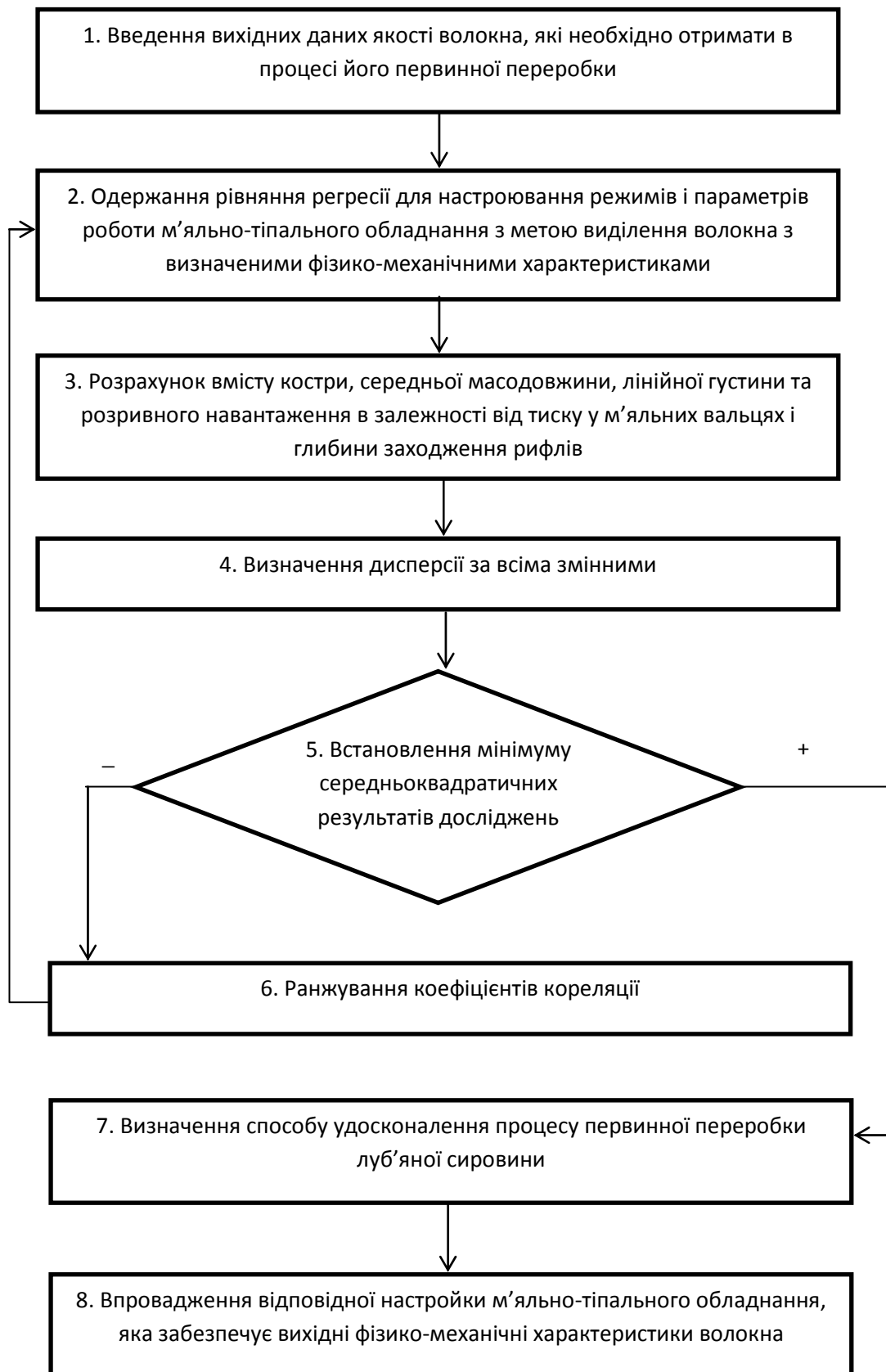


Рис. 1. Алгоритм управління технологічним процесом одержання лляного волокна з визначеними фізико-механічними характеристиками

В четвертому блоці (4) визначаються дисперсії адекватності і повторюваності показників якості обробленого волокна.

У п'ятому блоці (5) розраховуються середня квадратична похибка і вибираються найкращі

комбінації змінних. Якщо мінімум не буде досягнуто, необхідно здійснити перехід до шостого блоку ранжування коефіцієнтів кореляції. Потім повернутися до другого блоку і знову одержати рівняння регресії для розрахунку середньої масодовжини лінійної густини, розривного навантаження та вмісту костриці.

Якщо мінімум досягнуто, то переходимо до визначення способу настроювання технологічного процесу первинної переробки луб'яної сировини (сьомий блок) (7).

У восьмому блоці (8) впроваджується визначена у сьомому блоці технологічна схема процесу одержання волокон різного функціонального призначення.

Висновок

На основі одержаної математичної моделі і алгоритму управління технологічним процесом одержання льоноволокна різного функціонального призначення розкривається можливість виділяти з луб'яної сировини волокно з необхідними фізико-механічними характеристиками відповідно до вимог визначених областей його подальшої переробки в текстильному, целюлозно-паперовому, хімічному виробництвах.

Література

1. Говорущенко Т.О. Методологія оцінювання достатності інформації для визначення якості програмного забезпечення : монографія / Т.О. Говорущенко. – Хмельницький : Хмельницький національний університет, 2017. – 310 с.
2. Нестеров В.П. Программированный выбор технологического процесса: О законченных научно-исследовательских работах в высших учебных заведениях УССР / Нестеров В.П., Колосокова Т.А. / КТИЛП. – К., 1975. – № 8. – С. 20–22.
3. Рогальский Ф.Б. Информационные технологии в ситуационном управлении производственно-экономическими системами / Ф.Б. Рогальский // Вестник ХГТУ. – 2000. – № 1 (7). – С. 110–116.
4. Баронов В.В. Информационные технологии и управление предприятием / Баронов В.В., Калёнов Г.Н., Попов Ю.И. – Компания АйТи, 2004. – 328 с.

References

1. Govoruschenko T.O. Methodology for assessing the adequacy of information for determining the quality of software: monograph / T.O. Govoruschenko - Khmelnytsky: Khmelnytsky National University. 2017 - 310 p.
2. Nesterov V.P., Kolosokova T.A. Programmed selection of technological process: On completed research work in higher educational institutions of the USSR / KTILP. - K., 1975. - No. 8. - P. 20-22.
3. Rogalsky F.B. Information technologies in situational management of production and economic systems // Vestnik KHTU. - 2000. - No. 1 (7). - P. 110-116.
4. Baronov V.V. Information technology and enterprise management / Baronov V.V., Kal'onov G.N., Popov Y.I. // AiTi Company, 2004 - 328 p.

Рецензія/Peer review : 04.05.2018 р.

Надрукована/Printed : 05.07.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Валько М.І.

УДК 535.37, 541.14

Н.М. ЗАЩЕПКИНА, В.В. ТАРАНОВ, О.А. НАКОНЕЧНИЙ, Р.Ю. ДОВГАЛЮК

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЗАСТОСУВАННЯ БАРВНИКІВ ВИЗНАЧЕНИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ В ЯКОСТІ ОПОРНИХ ЗРАЗКІВ РЕЄСТРАЦІЇ КВАНТОВОГО ВИХОДУ ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ

Метою роботи є огляд та удосконалення засобів контролю оптичних характеристик здатних до люмінесценції органічних сполук. Об'єкт досліджень – реєстрація квантового виходу люмінесценції барвників ксантенового ряду вибраних концентрацій. В процесі роботи було проведено огляд методик визначення якісних та кількісних показників органічних сполук певного хімічного складу та їх інформативних параметрів що базуються на основі спектрофотометричних (оптично стимульована люмінесценція) методах дослідження показників хімічних речовин. Проаналізовано шляхи вдосконалення підходів до використання напівпровідникових УФ-світлодіодів у якості джерел збудження квантового виходу люмінесценції та фотодіодів і фотодіодних матриць у якості первинних перетворювачів для визначення відносних концентрацій вибраних органічних сполук методами оптично стимульованої люмінесценції. Наукова новизна роботи полягає у вдосконаленні класичних методів реєстрації квантового виходу люмінесценції, з використанням сучасної елементної бази та апробація макету вимірювальної установки з потужними УФ-світлодіодами в якості джерела світла та малошумним фотодетектором з широким динамічним діапазоном, призначеним для реєстрації квантового виходу люмінесценції досліджуваних зразків.

Ключові слова: Родамін 6G, ксантен, вимірювання спектру, первинний перетворювач, PIN-світлодіод, джерело освітлення, фотодіодний детектор, люмінесцентний метод, довжини хвиль, експрес-метод.

N.M. ZASHCHEPKINA, V.V. TARANOV, O.A. NAKONECHNYI, R.JU. DOVGALJUK
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

IMPROVEMENT OF DETERMINATION OPTICAL CHARACTERISTICS WHEAT GRAINS WITH ELECTROMAGNETIC RADIATION IN THE NEAR INFRARED REGION OF THE SPECTRUM

The purpose of the work is to review and improve the means of controlling the optical characteristics of luminescence-capable organic compounds. The object of research is the registration of the quantum yield of luminescence dyes of the xanthine series of selected concentrations. In operation conducted inspection methods for determining qualitative and quantitative indicators of organic compounds specific chemical composition and their informative parameters based on spectrophotometric (optically stimulated luminescence) research methods performance chemicals. The ways of improving approaches to using semiconductor UV LEDs as excitation sources luminescence quantum yield and photodiodes and photodiode matrix as primary transducers to determine the relative concentrations of organic compounds chosen method of optically stimulated luminescence. The scientific novelty of the work is to improve the classical methods of recording the quantum yield of luminescence, using a modern element base and testing the model of a measuring device with powerful UV-light-emitting diodes as a light source and a low-noise photodetector with a wide dynamic range designed to record the quantum yield of luminescence of the samples under investigation.

Keywords: Rhodamine 6G, Xanten, measuring range, the primary converter, PIN-LED light source, photodiode detector, luminescent method, wavelengths, rapid method.

Вступ

У зв'язку зі стрімким розвитком різних галузей промисловості в Україні і світі широкого застосування набули різні типи органічних та неорганічних харчових добавок різної хімічної природи (барвники, стабілізатори, емульгатори, консерванти та ін.). В процесі виробництва, зберігання та транспортування харчової продукції. для підвищення смакових якостей, привабливості зовнішнього вигляду, терміну придатності дуже часто використовують речовини що мають певний ступінь небезпеки для кінцевого споживача, виявити які в продуктах досить важко. Про наявність таких сполук в продуктах виробники часто або взагалі не вказують на етикетках, або значно занижують концентрації домішок в готовому продукті. Потрапляння в організм даних супутніх сполук в незначних кількостях не несуть значного негативного впливу на організм людини, проте при щоденному вживанні вони можуть дуже негативно позначатися на здоров'ї.

Враховуючи все вищесказане, досить перспективним є застосування оптичних методів експрес-аналізу кількісних та якісних показників органічних речовин, до яких відносяться усі без винятку харчові продукти (в лабораторних та виробничих умовах), з яких найбільш ефективними по відношенню затрати/результат є саме люмінесцентні методи аналізу.

В оптичних аналітичних методах дослідження якісних і кількісних властивостей продуктів харчування використовується ультрафіолетова (УФ), видима та інфрачервона (ІЧ) області спектру електромагнітного випромінювання. Методи, засновані на дослідженні спектрів виборчого поглинання випромінювання аналізованою речовиною, та реєстрації квантового виходу люмінесценції спричиненого внаслідок дії збуджуючого випромінювання становлять основу спектро- і фотометрії. Для кожної речовини спектри поглинання та випромінювання індивідуальні і залежать від будови речовини та поточних параметрів навколишнього середовища [1, 5].

Головною метою наших досліджень було провести порівняльний аналіз доступних на даний час оптичних методів контролю інформативних показників вибраних органічних речовин що відповідають

умовам експрес діагностики та можуть бути застосовані при поточних операціях контролю параметрів досліджуваних зразків. Особливу увагу було приділено методам та засобам що мають високу вибірковість та достатню точність вимірювань у рамках експрес-тестів, є мало затратним та потребують вимірювального обладнання з низькою металоємністю, а також характеризуються відсутністю впливу на об'єкт дослідження.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано та вирішено наступні задачі:

- проведено огляд методик визначення якісних та кількісних показників органічних сполук певного хімічного складу та їх інформативних параметрів що базуються на основі спектрофотометричних (оптично стимульована люмінесценція) методах дослідження хімічних речовин.

- зроблено вибір методів та засобів аналізу органічних речовин, що мають найкращі показники по відношенню затрати/отриманий результат, та відповідають вимогам експрес діагностики, із забезпеченням достатньої чутливості, селективності, та точності вимірів;

- проаналізовано шляхи вдосконалення підходів до використання напівпровідникових УФ-світлодіодів у якості джерел збудження квантового виходу люмінесценції та фотодіодів і фотодіодних матриць у якості первинних перетворювачів для визначення відносних концентрацій вибраних органічних сполук методами оптично стимульованої люмінесценції.

Експериментальна частина

Основною сортовою ідентифікаційною характеристикою більшості органічних сполук при впливі на них електромагнітним випромінюванням оптичного діапазону являються спектри збудження та поглинання, а також інтенсивність квантового виходу люмінесценції. Принципова схема установки для вимірювання цих характеристик зображена на рис. 1. Як джерело Д може використовуватися джерело світла як з безперервним спектром випромінювання, так і з лінійчатим спектром. При використанні джерела світла з безперервним спектром випускання, наприклад, ксенонові лампи, довжина хвилі збудження задається диспергуючим елементом $ДЕ_1$, а дисперсор $ДЕ_2$ формує довжини хвиль в необхідному діапазоні вимірювання спектра люмінесценції. При вимірюванні спектру збудження, навпаки, довжини хвилі випромінювання фіксується дисперсором $ДЕ_2$, тоді як довжини хвиль збудження покроково задаються в необхідному діапазоні за допомогою диспергуючого елемента $ДЕ_1$.

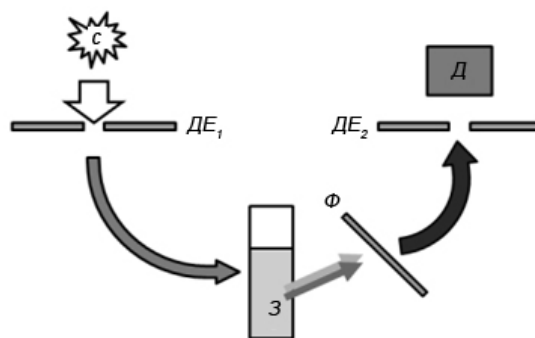


Рис. 1. Схема установки для вимірювання люмінесценції [1]: С – джерело (ксенонова лампа або УФ-світлодіод), $ДЕ_1$ і $ДЕ_2$ – диспергуючі елементи, 3 – зразок, Ф – фільтр, Д – детектор

Подібну конструкцію в тому чи іншому вигляді має більшість промислових вимірювальних комплексів здатних до реєстрації спектрів поглинання та квантового виходу люмінесценції досліджуваних зразків. Зйомку спектрів люмінесценції та поглинання розчинів доцільно проводити, маючи в своєму розпорядженні джерело і детектор під кут, щоб уникнути попадання не поглиненої частки збуджуючого випромінювання на детектор.

У випадку роботи із спектрометрією поглинання для якісного аналізу досліджуваних зразків та флуоресцентною спектрофотометрією для кількісного визначення відносних концентрацій даних речовин у багатокомпонентній системі в рідкій фазі, першочерговим завданням є визначення кроку сканування спектру та ефективного діапазону довжин хвиль в якому знаходяться максимуми поглинання та рекомбінаційного випромінювання молекул досліджуваних речовин. Смуги поглинання в електронному спектрі характеризуються довжиною хвилі та інтенсивністю, вимірюваними в максимумі. Положення смуги на шкалі довжин хвиль визначається різницею енергій станів, між якими відбувається перехід. Інтенсивність смуги поглинання визначається ймовірністю переходу.

Структурний елемент молекули, відповідальний за появу смуги поглинання в спектрі, називають хромофором. Поглинання світла даними ізольованим хромофором типова, тобто має певне значення $\lambda_{\max}$ і $\varepsilon_{\max}$ смуги поглинання. Деякі атоми або групи атомів, приєднані до хромофорної системи, зміщують характерні смуги поглинання. Такі атоми і групи називаються ауксохромами [1].

Всі ці та інші взаємозалежності, використовуються для встановлення будови хімічного з'єднання, вивчення впливу різних умов на стан молекул досліджуваної речовини.

Таблиця 1

Характеристичне поглинання типових хромофорів [2]

Хромофор	$\lambda_{\max}$, нм	$\varepsilon_{\max}$, л, моль $\cdot$ см
C = C	180	10000
C = C – C = C	220	20000
C ₆ H ₅	200	7000
- N = N -	350	100
Cl ⁻	181	10000
Br ⁻	199,5	11000
I ⁻	226	12600
OH ⁻	194	12600
NO ₃ ⁻	302,5	7500

Аніони деяких елементів при певних ступенях окислення, наприклад хрому, марганцю у вигляді сполук K₂Cr₂O₇, K₂CrO₄, KMnO₄, поглинають в різних частинах видимого діапазону. Катіони елементів перших періодів системи Менделєєва у видимій та ближній УФ-частинах спектра не поглинають, тобто їх розчини безбарвні [11].

Як видно з табл. 1, молекулярні спектри поглинання в УФ і видимій областях (особливо в УФ) мають низьку специфічність – смуги поглинання багатьох хромофорів перекриваються, вони широкі і дуже сильно спотворюються домішками, зміщуються під дією розчинників. Тому проводити ідентифікацію невідомої речовини тільки по її спектру поглинання практично не можна, за винятком деяких іонів і їх сольватоккомплексів, наприклад, лантанодів (елементи 58-71) актиноідів (елементи 90-103), які мають дискретну структуру, подібну до структури спектрів атомарних газів [4, 11].

Однією із важливих умов достовірної детекції відгуків досліджуваних зразків при методиках люмінесцентної фотометрії є необхідність відмежувати явище люмінесценції від інших способів випромінювання світла молекулами. За визначенням С. І. Вавилова, люмінесценцією тіла в даній спектральній області називають надлишок випромінювання над температурним за умови, що це надмірне випромінювання має кінцеву тривалість, що перевищує період світлових коливань.

Фото- і спектрофотометричні методики кількісного визначення розроблені для більшості контрольованих компонентів харчових продуктів, дуже багатьох компонентів промислової продукції.

У вихідному (не збудженому) стані молекули перебувають на найнижчому з можливих енергетичних рівнів (див. рис. 2), тобто на нижньому коливальному підрівні основного стану. У органічних молекул, що мають систему зв'язаних подвійних зв'язків, це стан синглетний, при якому спіни електронів на верхній заповненій орбіталі (S₀) антипаралельні.

Зазвичай доводиться вирішувати зворотну задачу: знаючи структуру спектра поглинання, будувати схему електронних рівнів. Приклад такої побудови наведено на рис. 2 [6].

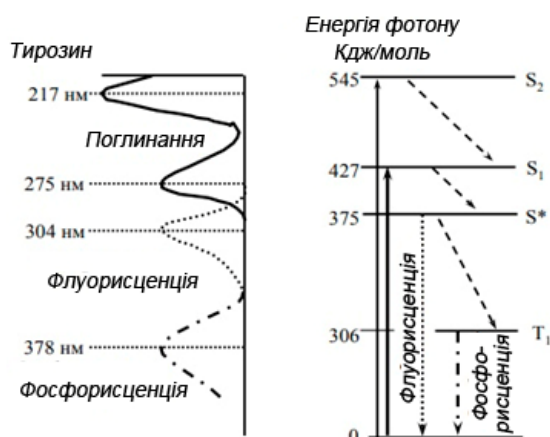


Рис. 2. Схеми енергетичних рівнів і електронних переходів за спектрами поглинання і люмінесценції [6]. Зліва: спектри поглинання і люмінесценції в шкалі енергії фотонів, положення максимумів вказані в нанометрах; справа: енергетичні електронні рівні

Якісний люмінесцентний аналіз заснований на порівнянні форми спектрів досліджуваної суміші речовин з формою спектра індивідуальних сполук, які можуть входити до складу досліджуваної суміші. З причин, викладених нижче, необхідно використовувати розчини з низькою оптичною щільністю (наприклад, менше 0,1), інакше потрібно враховувати ефекти екранування і реабсорбції. Як і в випадку абсорбційної спектрофотометрії, для ідентифікації флуоресціюючої речовини найбільше значення мають положення максимуму, наявність та характер тонкої структури спектрів, півширина смуг флуоресценції. Важлива

особливість флуоресценції суміші декількох з'єднань полягає в тому, що спектр суміші змінюється при зміні довжини хвилі збудження, оскільки при різних довжинах хвиль можуть переважно порушуватися різні сполуки.

У випадку кількісного визначення флуоресцентної речовини в розчині на кювету з розчином здатної до флуоресценції речовини падає монохроматичний пучок світла з потужністю I_0 . Кількість поглиненої світлової енергії дорівнює $I_0 \cdot (1 - T)$, де T — пропускання розчину. Із загальної кількості поглинених фотонів частина, рівна квантовому виходу флуоресценції η , висвітлиться зразком в різних напрямках і в усій спектральній області люмінесценції. З цього загального світлового потоку за допомогою світлофільтрів або монохроматора можна виділити і сфокусувати на приймач світла світловий потік, який буде зареєстрований у вигляді фотоструму $I_{\text{люм}}$ [3, 6]:

$$I_{\text{люм}} = K \cdot I_0 \cdot (1 - T) \cdot \eta \quad (1)$$

Таким чином, інтенсивність люмінесценції $I_{\text{люм}}$ пропорційна інтенсивності збуджуючого світла I_0 , квантовому виходу люмінесценції η , коефіцієнту поглинання світла $(1 - T)$.

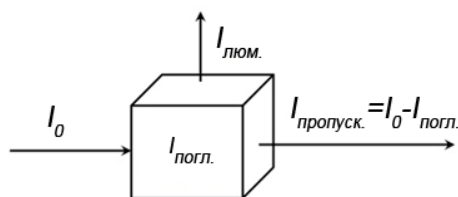


Рис. 3. Схема проведення кількісного люмінесцентного аналізу [3]

Коефіцієнт пропорційності K залежить від тілесного кута, в межах якого зібране світло люмінесценції, ширини вирізуючої монохроматором або світлофільтром спектральної області, пропускання монохроматора або світлофільтру і чутливості приймача світла (рис. 4).

Основна частина наших досліджень проводилася на базі та з використанням обладнання науково-дослідного підприємства «ЛАМБІТ» інституту колоїдної хімії та хімії води ім. А. В. Думанського НАН України, результатом чого стала розробка макету вимірювального засобу «Люмінес» здатного до визначення відносних концентрацій слабोलюмінесціюючих сполук в колоїдних розчинах з межею виявлення 10^{-4} – 10^{-6} мг флуоресцена на 1000 мл. Застосований у досліді випромінювач – 2-канальна система світлодіодів з довжинами хвиль 365 нм та 385 нм, загальною світловипромінювальною потужністю 1 Вт в УФ-діапазоні. Детектор: PIN-фотодіод, верхнє зчитування. Динамічний діапазон: 6 log, залежить від хімічної природи досліджуваних речовин. При виборі способу детекції виходу люмінесценції досліджуваних зразків ми зупинилися на способі реєстрації люмінесценції при якому фотоприймач розміщено під кутом 90° до нормалі проходження збуджуючого випромінювання.

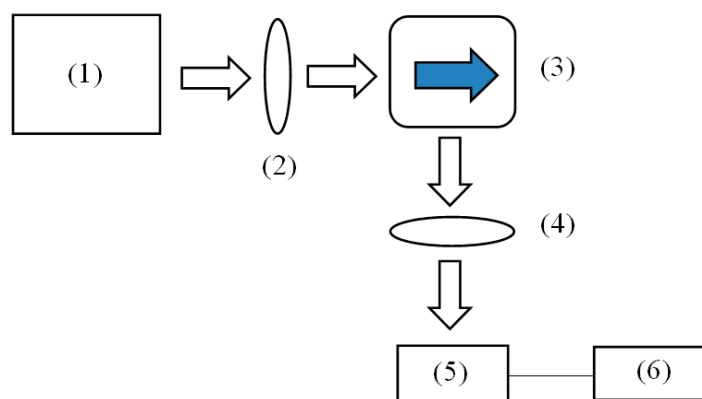


Рис. 4. Функціональна схема малогабаритного одного вимірювального каналу люмінесцентного реєстратора (вимірювача)

Для перших експериментальних робіт були обрані водні розчини барвників Родамін 6G та Нільський синій у якості тестових зразків. Спектри поглинання даних речовин у водному розчині знаходяться в області 500–650 нм [9], що добре узгоджується зі спектром випромінювання сучасних напівпровідникових джерел (LED). В кожному каналі експериментального пристрою використано світлодіодний випромінювач серії LTPL-C034UVH365 (1) з робочою вихідною потужністю 480 мВт в області 60 градусів, оптична формуюча система – короткофокусний об'єктив (2), кварцова кювета (3) з оптичним ходом до 10 мм. Реєстрацію люмінесценції здійснювали за допомогою напівпровідникового малопотужного фотоприймача TSL267 фірми «TAOS» (5) з аналого-цифровою обробкою (6). Для екранування випромінювання збудження використовували синьо-зелений світлофільтр СЗС-21. Синьо-зелений світлофільтр СЗС-21 має діапазон поглинання в області 620–1500 нм, в комбінації зі склом ОС-11, ОС-12, ОС-13, ОС-14 дозволяє виділення

ділянок спектру в області 520-600 нм. Функціональна схема макету вимірювальної установки представлена на рис. 4.

Застосований нами у першій частині досліджень ксантеновий барвник Родамін 6G (R6G) або Родамін 590 є катіонним барвником з сильним поглинанням у видимому спектрі та високим показником виходу флуоресценції. R6G широко використовується як барвник для відслідковування наявності домішок у воді. Деякі приклади застосування родамін-барвника – флуоресцентна мікроскопія, проточна цитометрія, флуоресцентна кореляційна спектроскопія та інші [12].

Відзначено, що спектр випромінювання барвника R6G має два відмінні піки, на довжинах хвиль 550 нм та 602 нм. Концентрація барвника R6G впливає на ці максимуми. Зі зростанням концентрації R6G пік викидів зміщується з 550 нм, в якому домінує мономер, до 602 нм, в якому переважають димерні випромінювання.

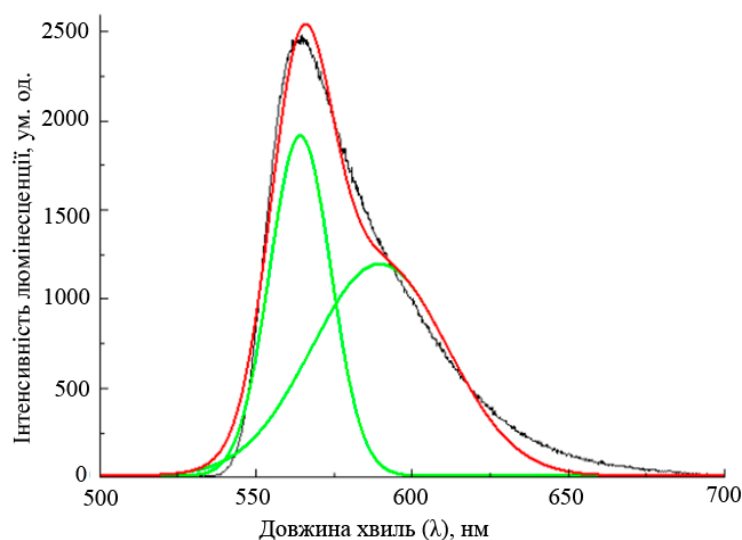


Рис. 5. Порівняння піків емісії та спектрів випромінювання люмінесценції Родамін G (R6G) визначених концентрації (г/мл) в колоїдному розчині (багатокомпонентна система)

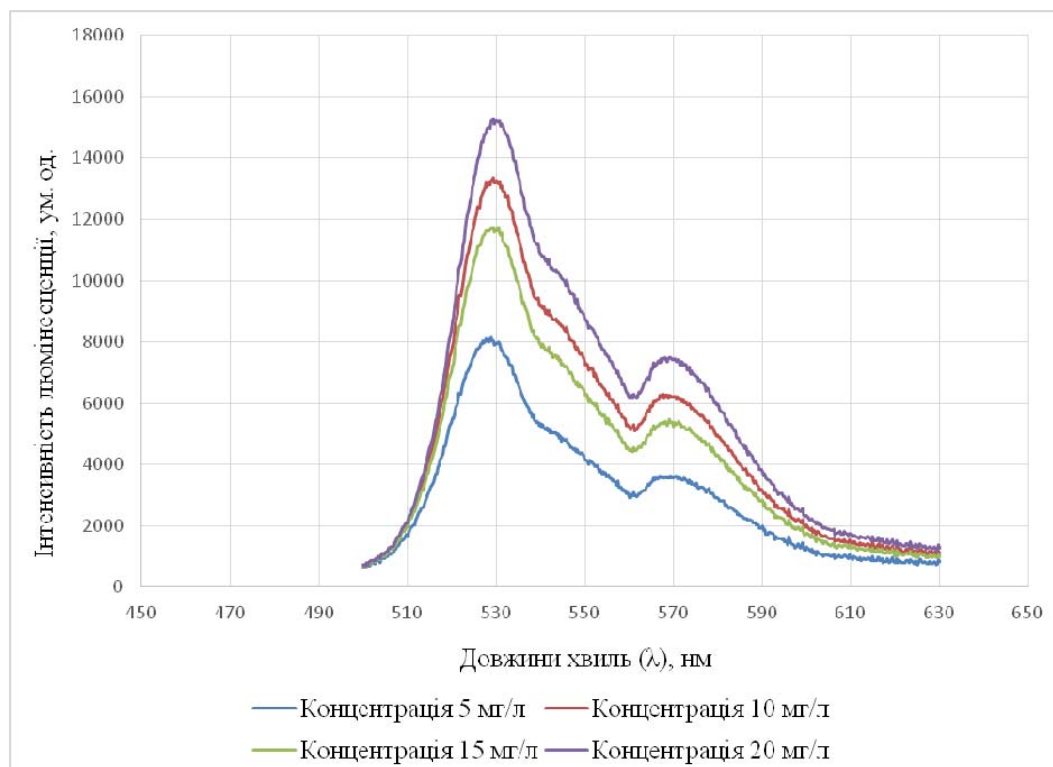


Рис. 6. Зміна інтенсивності (у відносних одиницях) люмінесценції залежно від концентрації (від 5 мг до 20 мг) барвника Родамін 6G у воді.

Родамін-барвники, що належать до сімейства ксантен, мають відмінну фотостабільність та фотофізичні властивості. Родамін 6G як і його попередники, має ксантен хромофор і показує високий

флуоресцентний квантовий вихід. Чутливість визначення люмінесценції R6G у водних розчинах становить до $\sim 1 \cdot 10^{-15}$ г/мл з межею виявлення $6 \cdot 10^{-15}$ г/мл. Робоча крива лінійна понад чотири порядки і може бути продовжена до більш високих концентрацій [10].

В результаті проведення вимірів із використанням приладу формування і обробки сигналу (ПФОС) відгуків досліджуваних зразків на базі плати розширення Arduino UNO R3 (мікроконтролер ATmega328) і використанням синьо-зеленого світлофільтру СЗС-21 були отримані наступні залежності інтенсивності квантового виходу люмінесценції від концентрації (мг/л) при роботі із розчином в воді барвником Родамін 6G різних концентрацій [7, 8]

В даному випадку, динамічний діапазон вимірюваних значень по напрузі становив 18000 відносних одиниць що відповідають робочому діапазону по напрузі $U_{\text{роб.}} = 2,4\text{--}32,4$ В на виході фотодетектору з підключеним трансімпедантним підсилювачем.

Висновки

У випадку кількісного визначення хімічних сполук використовуються методи флуоресценції, які включають в себе різні операції з розділення, очищення складових, обробки продукту флуорохромами та ін. Абсолютна чутливість люмінесцентного методу досить висока. Відносна концентрація речовини також може бути дуже малою, – для яскраво люмінесцюючих речовин вона становить величину порядку 10^{-10} г/г. Даний метод застосовують для кількісного визначення поліциклічних органічних сполук, вітамінів, білків, нітратів, сульфідів, ціанідів, токсичних металів у складі продуктів, для діагностики псування овочів, плодів і виявлення в продуктах консервантів, лікарських препаратів, канцерогенних речовин та ін.

Якщо збудження люмінесценції здійснюється монохроматичним світлом, то з'являється можливість виміряти залежність інтенсивності люмінесценції від довжини хвилі збуджувального світла. Характер цієї залежності ясний з рівняння (1).

Оскільки квантовий вихід флуоресценції для конкретної флуоресціюючої речовини, відповідно до закону Вавілова, від довжини хвилі збудження не залежить (так само як і константа K), ясно, що форма спектра збудження повторює форму залежності від довжини хвилі коефіцієнта поглинання, тобто функції $(1 - T) = f(\lambda)$. Таким чином враховуючи Стоксів зсув і правило Левшина можна вибрати спектральний діапазон досліджень, у якому буде знаходитися максимум енергії квантового виходу люмінесценції. Виділивши «спектральне вікно» певного діапазону за допомогою смугових фільтрів і оптичного скла з відомим коефіцієнтом поглинання, можна проводити в ньому вимірювання інтенсивності люмінесценції без використання складних диспергуючих елементів на базі монохроматорів та дифракційних решіток.

Проведені нами дослідження квантового виходу люмінесценції вибраних хімічних сполук та наведені в роботі статистичні дані показують переваги використання сильно люмінесцюючих речовин, до яких відносяться усі без винятку натуральні та штучні барвники, в якості опорних зразків для калібрування вимірювального засобу придатного до вимірювання квантового виходу люмінесценції. Дані сполуки заданих концентрацій дозволяють калібрувати динамічний діапазон вимірювального засобу у досить широких межах, та можуть служити джерелами опорного сигналу у випадку застосування вимірювального каналу контролю у схемі дослідів.

Література

1. Власова И. В. Методология спектрофотометрического анализа смесей органических соединений. Проблема неаддитивности светопоглощения / И. В. Власова, В. И. Вершинин, Т. Г. Цюпко // Журн. аналит. химии. – 2011. – Т. 66, № 1. – С. 25–33.
2. Глоба И.И. Оптические методы и приборы контроля качества / Глоба И.И. – Минск : БГТУ, 2003. – 424 с.
3. Григорьянц А.Г. Инструментальные методы контроля состава и свойств полидисперсных сред / А.Г. Григорьянц, М.А. Коротаева, В.И. Алехнович, И.Н. Шиганов // Наука и образование : научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2012. – № 2. – С. 51–64.
4. Орлова А.О. Анализ многокомпонентной смеси по двумерным спектрам люминесценции. Современные технологии. Труды молодых ученых ИТМО / под ред. С.А. Козлова. – СПб : СПб ГИТМО (ТУ), 2001. – С. 24–31.
5. Перьков И. Г. Спектры аддитивных свойств и их модификация в неселективных методах анализа многокомпонентных систем / И. Г. Перьков // Журн. аналит. химии. – 1991. – Т. 46. – Вып. 10. – С. 2069–2087.
6. Прикладная физическая оптика / под ред. В.А. Москалева. – СПб : Политехника, 1995. – 316 с.
7. Специфікація мікроконтролеру ATmega328 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf.
8. Специфікація плати розширення Arduino UNO R3 на базі мікроконтролера ATmega328 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.farnell.com/datasheets/1682209.pdf>.
9. Niki K., Kiso Y., Takeuchi T. et al. // Analytical Methods. – 2010. – V.2. – P. 678–683.
10. Sugiarto I.T. Analysis of dual peak emission from Rhodamine 6G organic dyes using photoluminescence // I.T. Sugiarto, Isnaeni and K.Y. Putri Research Center for Physics – Indonesian Institute of

Sciences Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Indonesia – 2017. – V. 10. – P. 312–314.

11. Valeur, B.; Berberan-Santos, M.N. *Molecular Fluorescence: Principles and Applications*, 2nd ed.; Wiley-VCH: Weinheim, Germany, 2013, P. 138–142.

12. Würth C.I. Determination of the absolute fluorescence quantum yield of rhodamine 6G with optical and photoacoustic methods – providing the basis for fluorescence quantum yield standards. // Würth C.I., González M.G., Niessner R., Panne U., Haisch C., Genger U.R.: *Talanta*, 2012. – Vol. 90. – P. 30–37.

References

1. Vlasova I. V. Metodologiya spektrofotometricheskogo analiza smesey organicheskikh soedineniy. Problema neadditivnosti svetopogloscheniya / I. V. Vlasova, V. I. Vershinin, T. G. TSyupko // *Jurn. analit. himii.* – 2011. – T. 66, № 1. – S. 25–33.
2. Globa I.I. Opticheskie metody i pribory kontrolya kachestva / Globa I.I. – Minsk : BG TU, 2003. – 424 c.
3. Grigoryants A.G. Instrumentalnye metody kontrolya sostava i svoystv polidispersnykh sred / A.G. Grigoryants, M.A. Korotaeva, V.I. Alehnovich, I.N. SHiganov // *Nauka i obrazovanie : nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Bauman.* – 2012. – № 2. – S. 51–64.
4. Orlova A.O. Analiz mnogokomponentnoy smesi po dvumernym spektram lyuminestsentsii. *Sovremennyye tehnologii. Trudy molodykh uchenykh ITMO* / pod red. S.A. Kozlova. – SPb : SPb GITMO (TU), 2001. – S. 24–31.
5. Perkov I. G. Spektry additivnykh svoystv i ih modifikatsiya v neselektivnykh metodah analiza mnogokomponentnykh sistem / I. G. Perkov // *Jurn. analit. himii.* – 1991. – T. 46. – Vyip. 10. – S. 2069–2087.
6. *Prikladnaya fizicheskaya optika* / pod red. V.A. Moskaleva. – SPb : Politehnika, 1995. – 316 c.
7. Spetsyfikatsiya mikrokontroleru ATmega328 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf.
8. Spetsyfikatsiya platy rozshyreniya Arduino UNO R3 na bazi mikrokontrolera ATmega328 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.farnell.com/datasheets/1682209.pdf>.
9. Niki K., Kiso Y., Takeuchi T. et al. // *Analytical Methods.* – 2010. – V.2. – P. 678–683.
10. Sugiarto I.T. Analysis of dual peak emission from Rhodamine 6G organic dyes using photoluminescence // I.T. Sugiarto, Isnaeni and K.Y. Putri Research Center for Physics – Indonesian Institute of Sciences Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Indonesia – 2017. – V. 10. – P. 312–314.
11. Valeur, B.; Berberan-Santos, M.N. *Molecular Fluorescence: Principles and Applications*, 2nd ed.; Wiley-VCH: Weinheim, Germany, 2013, P. 138–142.
12. Würth C.I. Determination of the absolute fluorescence quantum yield of rhodamine 6G with optical and photoacoustic methods – providing the basis for fluorescence quantum yield standards. // Würth C.I., González M.G., Niessner R., Panne U., Haisch C., Genger U.R.: *Talanta*, 2012. – Vol. 90. – P. 30–37.

Рецензія/Peer review : 22.06.2018 р.

Надрукована/Printed : 11.07.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.Г. Здоренко

УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗКРІЙНОГО УСТАТКУВАННЯ ШВЕЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ

В роботі виконано аналіз сучасної технології розкрою матеріалу та сучасного розкрійного обладнання на предмет різки рулонів матеріалу. Запропоновано конструкцію пристрою для поперечного розрізання рулонних матеріалів, що має переваги за рахунок застосування каретки з механізмом транспортування, як додаткового модуля розкрійної стрічкової машини. При цьому підвищується якість процесу різання, а також зменшуються енергоємність та металоємність пристрою.

Ключові слова: розкрій текстильних матеріалів, розкрійне обладнання, швейне виробництво, параметри розкрою, рулонні матеріали.

S.V.SMUTKO, V. V. MYTSA, S.P.LISEVYCH, V.S. NEYMAK
Khmelnytsky National University

IMPROVEMENT CUTTING EQUIPMENT OF SEWING ENTERPRISES

The article presents the results of development cutting equipment of sewing enterprises. The quality of the product is laid already at the stage of cutting the textile materials into parts. At present, the level of development of the technology of clothing manufacturing has increased considerably, based on the experience gained by enterprises on the implementation of scientific developments. Therefore, there was a need for updating and replenishing information on the details of sewing details and developments. In the work the analysis of modern technology of cutting materials and modern cutting equipment for the purpose of cutting materials rolls. The construction of a device for transverse cutting of roll materials, which has advantages due to the use of the carriage with the transport mechanism as an additional module of the cutting tape machine, is proposed. In this case, the quality of the cutting process increases, as well as the energy intensity and metal content of the device are reduced.

Keywords: cutting of textile materials, cutting equipment, clothing manufacture, cutting parameters, rolled materials.

Вступ

Висока якість крою є одним з основних факторів, що визначають конкурентоспроможність товарів швейної промисловості. Важливе місце у вирішенні цього завдання належить підготовчो-розкрійному виробництву швейних підприємств, зокрема процесам розкрою матеріалів, які визначають якість виготовлених виробів, їх матеріаломісткість і трудомісткість. Застосування високопродуктивного обладнання на базі раціональних методів обробки швейних виробів, забезпечує високу ефективність виготовлення виробів. Підвищення вимог до якості деталей крою викликано також впровадженням автоматизованих швейних машин, ефективність роботи яких в значній мірі визначається точністю і чистотою зрізів деталей.

Сучасне розкрійне обладнання дозволяє завантажити основні цехи, надаючи матеріалу необхідну форму і розміри. Підготовка тканини займає важливе місце, і розкрійне устаткування для швейного виробництва представляє собою комплекс різноманітних верстатів і механізмів.

Якість виробу закладається вже на етапі розкрою текстильних матеріалів на деталі і з загальної кількості дефектів у виробі значний відсоток виникає через неточний крій. Розкрій текстильних матеріалів пов'язаний з рядом труднощів і недоліків, які полягають у швидкому затупленні ріжучого інструменту, у значній кількості дефекту по лінії розрізу деталі через відносне зміщення шарів настилу і відхилення стрічкового ножа при поворотах, розміру деталі що розкроюється і від вібрації стрічкового ножа, амплітуда якого може досягати 6-8 мм. Підвищення точності може бути досягнуто за рахунок оптимізації параметрів розкрою і удосконалення конструкції розкрійного устаткування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Останнім часом у зв'язку з появою широкого асортименту нових матеріалів з різним волокнистим складом і властивостями усе більше уваги приділяється вдосконаленню способів розкрою деталей одягу. Широке розповсюдження отримало обладнання для виконання нетипових операцій, за рахунок чого поліпшуються умови праці й культура виробництва.

У теперішній час значно зріс рівень розвитку технології виготовлення одягу, заснований на накопиченому підприємствами практичному досвіді роботи із впровадження наукових розробок. Тому виникла необхідність у оновленні й поповненні відомостей з питань розкрою деталей швейних виробів.

Аналіз науково-технічної літератури, патентних матеріалів, експозицій міжнародних виставок галузевого характеру, а також вивчення практичного стану справ зі створення сучасних зразків технологічного обладнання для здійснення процесу розкрою вказує на обмежену їх кількість.

Мета і завдання дослідження

Метою даної роботи є покращення процесу розкрою рулонних матеріалів, спрямованого на досягнення точного крою, зниження матеріаломісткості і трудомісткості виготовлення виробів шляхом удосконалення конструкції стаціонарної розкрійної стрічкової машини (СРЛМ).

Виходячи з поставленої мети, слід вирішити такі завдання:

- виконати аналіз сучасної технології розкрою матеріалу;
- виконати аналіз сучасного розкрійного обладнання на предмет різки рулонів матеріалу;
- запропонувати конструкцію пристрою для поперечного розрізання рулонних матеріалів.

Виклад основного матеріалу

Широка різноманітність видів одягу, матеріалів, з яких він виготовляється, конструктивно-

технологічних рішень з урахуванням індивідуальних особливостей людини призводять до необхідності створення гнучких технологічних виробництв. Однак сучасне економічне положення легкої промисловості не завжди відповідає можливостям реалізації гнучкості в організаційно-технічних рішеннях.

На підприємствах індустрії моди все ще використовується застаріле технологічне обладнання при одночасній появі сучасного багатофункціонального, комп'ютеризованого обладнання, частково комплексно реалізуються сучасні інформаційні технології в сфері надання послуг [1].

Механізація і автоматизація процесів виготовлення одягу в швейній промисловості здійснюються за різними напрямками. Вибір напрямку, його розвиток і широке впровадження в практику швейного виробництва в значній мірі залежать від загального рівня науково технічного прогресу не тільки в швейної, але і в суміжних галузях народного господарства, стану технології одягу, застосовуваних матеріалів, а також рівня розвитку ряду передумов, необхідних для здійснення механізації і автоматизації швейного виробництва.

Одним з основних напрямків механізації процесів швейного виробництва є підвищення рівня технічної оснащеності промисловості - впровадження сучасних машин, устаткування волого-теплової обробки, засобів малої механізації, заміна ручних операцій машинними [2].

Проте не менш важливим напрямком механізації та автоматизації процесів виготовлення одягу є удосконалення конструкції деталей одягу.

Удосконалення процесів виготовлення швейних виробів шляхом широкого застосування при виготовленні різних деталей і вузлів одягу машин, оснащених пристроями для рулонної подачі, що дозволяють різко скоротити непродуктивні витрати на виконання допоміжних і додаткових операцій. В даний час рулонне подання широко застосовують при обробці мішкловини (підкладки) внутрішніх кишень, поясів штанів і спідниць, низу штанів, комірв в жіночому легкому одязі, бортів халатів, поясів фартухів і ін.

При рулонній подачі деталі подаються з рулону в робочу зону, обробляються і зазвичай виводяться із зони у вигляді рулонів або стрічки. Тим самим відкривається можливість уникнути захоплення кожної деталі, введення її в направляюче пристосування і зняття обробленої деталі. Досить виконати ці операції з першою деталлю рулону. При квазірулонній подачі необхідна додаткова операція - формування рулону з розкритих деталей, наступні операції не відрізняються від рулонного варіанту. При рулонній і квазірулонній подачі забезпечуються умови якнайповнішого використання швидкості машини, оскільки машинний час практично дорівнює загальному часу виконання операції, тобто досягається перекриття машинного часу в часі виконання допоміжних прийомів. При рулонному завантаженні-вивантаженні напівфабрикатів різко зменшується значення часу холостого ходу, що поряд з істотним зростанням продуктивності при рулонному поданні відкривають виключно сприятливі умови автоматизації обробки і складання деталей. Відпадає необхідність у створенні складних пристроїв поштучної подачі деталей, спрощуються методи орієнтації деталей в робочій зоні, механізми виведення деталей з робочої зони [3].

Метод рулонного завантаження устаткування при всіх його позитивних якостях має істотний недолік - область його застосування невелика через різні відтінки матеріалу що перероблюється. В основному він може застосовуватися для виготовлення оздоблювальних елементів з контрастних тканин і деталей з тканин без суттєвих відтінків. Перспективне також застосування цього методу для виготовлення виробів, що складаються з однієї деталі, наприклад постільної білизни.

Слід підкреслити ще одну перевагу рулонної подачі - скорочення часу на розкрій деталей. Проте широке застосування рулонного подання наштовхується на ряд складнощів. Наприклад, в деяких випадках не допускаються різні відтінки деталей, зібраних в рулон, і інших деталей виробу. Небажане також збільшення витрати тканини (деталі, що подаються з рулону, доводиться виключати з розкладки і викроювати окремо) і т.п.

Однак описаний підхід може застосовуватися в тих випадках коли різниця у відтінках незначна або несуттєва для зовнішнього вигляду виробу.

Вибираючи схему складання виробу, слід використовувати обробку верхніх країв і низу штанів та спідниць по розгорнутому контуру. При обробці чоловічих штанів доцільно застосовувати рулонну подачу напівфабрикату. При обробці верхніх зрізів штанів з рулону можуть подаватися пояса, тасьми, хомутики, а при обробці нижніх зрізів - тасьма. В інших випадках доводиться спочатку поштучно розкриті деталі з'єднувати в рулон, а потім подавати з цього рулону.

В швейній промисловості використовують декілька типів розкрийного обладнання, а саме: пересувні, стаціонарні зі стрічковими ножами та автоматизовані розкрийні комплекси. Згадане розкрийне обладнання, як правило, застосовується для розкрою настилів тканини. Для отримання рулонного напівфабрикату дане обладнання не використовується.

Існують пристрої, що призначені для поперечної різки рулону матеріалу [3, 4], які є автономними конструкціями, що включають механізм подачі матеріалу та механізм різання. В механізмах різання, як правило, застосовуються пластинчаті ножі, які рухаються зворотно - поступально, перпендикулярно до руху матеріалу, або жорстко закріплені. Недоліками даних пристроїв є висока металоємність і енергоємність та низька якість зрізу матеріалів, що обумовлена використанням пластинчатого ножа.

Для покращення якості зрізу та зменшення енергоємності та металоємності пропонується конструкція пристрою для поперечного розрізання рулонних матеріалів, що може бути застосована в комплексі з існуючими стаціонарними розкрийно-стрічковими машинами [5]. Поставлене завдання досягається тим, що пристрій складається з каретки, в яку вкладають рулон матеріалу та механізму її транспортування. Пристрій відрізняється тим, що розрізання рулону на бобіни виконується стрічковим ножом, при цьому каретка, механізм транспортування каретки та датчики положення монтуються на стільниці стрічкової машини.

Пристрій для поперечного розрізання рулонного матеріалу представлено на рис.1.

Пристрій для поперечного розрізання рулонних матеріалів складається з каретки 1, механізму транспортування каретки 2, датчиків положення 3, крокового двигуна 4, фіксаторів 5 та 6, направляючої планки 7, транспортуючих роликів 8, фіксуєної пластини 9. Пристрій закріплюється на столі розкрійної стрічкової машини 10.

Каретка 3 рухається за допомогою транспортуючих роликів 8 по спеціальній направляючій планці 7, яка попередньо встановлюється на стільниці стрічкової машини 10 на місце захисної пластини перпендикулярно до площини руху стрічкового ножа. Каретка 3 приводиться в рух механізмом транспортування 2, який представляє собою зубчато-пасову передачу. Зубчастий пас жорстко з'єднаний з корпусом каретки за допомогою фіксуєної пластини 9. Механізм транспортування каретки закріплюється на стільниці стрічкової машини паралельно направляючій планці 7 за допомогою фіксаторів 5 та 6. Фіксатор 5 виконаний з можливістю регулювання натягу паса.

Пристрій працює наступним чином. Попередньо спресований рулон матеріалу вкладають в паз каретки, при цьому його один край має виступати за межі каретки в зоні різання на величину, що дорівнює ширині бобіни, яку необхідно відрізати. При вмиканні крокового двигуна 4 відбувається швидкий рух каретки 1 на рухомий ніж розкрійної машини. При досягненні кареткою лівого датчика положення 3, розташування якого залежить від товщини рулону, швидкість руху зменшується і відбувається процес різання. При досягненні кареткою правого датчика положення 3 відбувається зупинка каретки з наступним зворотним ходом та зупинкою в початковому положенні. Відрізана частина вилачується, а рулон зміщують до обмежувальної пластини. Далі цикл повторюється.

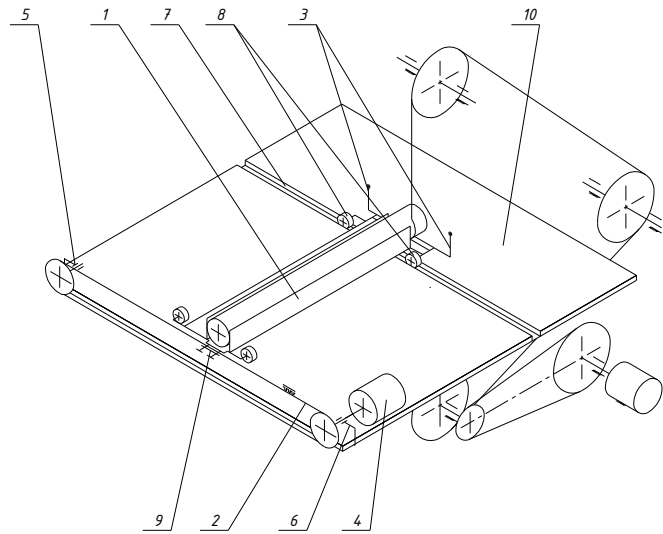


Рис. 1. Пристрій для поперечного розрізання рулонних матеріалів

Висновки

Порівняльний аналіз установки з прототипом показує, що запропонований пристрій для поперечного розрізання рулонних матеріалів має переваги за рахунок застосування каретки з механізмом транспортування, як додаткового модуля розкрійної стрічкової машини, при цьому підвищується якість процесу різання, а також зменшуються енергоємність та металоємність пристрою.

Література

1. Кулаженко Е.Л. Ресурсосберегающие технологии в швейной промышленности : курс лекций / Е.Л. Кулаженко, Н.В. Ульянова. УО "ВГТУ". – Витебск : УО "ВГТУ", 2011. – 87 с.
2. Баубеков С.Д. Проектирование инновационного оборудования швейной промышленности : учебник / Баубеков С.Д. – Тараз : Типография ИП «Бейсенбекова А.Ж.», 2015. – 240 с.
3. Баубеков С. Д. Совершенствование и расчет устройства для автоматизированной контурной обработки деталей изделия легкой промышленности : монография / С. Д. Баубеков, К. С. Таукебаева. – Москва : Издательский дом Академии Естествознания, 2016. – 200 с.
4. А.с. СССР № SU 1379379 A1, МПК D06 H7/18. Устройство для поперечной резки материала / Смирнов Л.Д., Шумилов Ю.М. – Заявл. 7.07.1986. Оpubл. 07.03.1988.
5. Патент на корисну модель 116499 UA, МПК D06H 7/02 (2006.01). Пристрій для поперечного розрізання рулонних матеріалів / Прибега Д.В, Смутко С.В. ; заявник Хмельницький національний університет – № u 2016 12039 ; заявл. 28.11.2016; опубл. 25.05.2017, Бюл. № 10, 2017 р.

References

1. Кулаженко Е.Л. Ресурсосберегающие технологии в швейной промышленности : курс лекций / Е.Л. Кулаженко, Н.В. Ульянова. УО "ВГТУ". – Витебск : УО "ВГТУ", 2011. – 87 с.
2. Баубеков С.Д. Проектирование инновационного оборудования швейной промышленности : учебник / Баубеков С.Д. – Тараз : Типография ИП «Бейсенбекова А.Ж.», 2015. – 240 с.
3. Баубеков С. Д. Совершенствование и расчет устройства для автоматизированной контурной обработки деталей изделия легкой промышленности : монография / С. Д. Баубеков, К. С. Таукебаева. – Москва : Издательский дом Академии Естествознания, 2016. – 200 с.
4. А.с. СССР № SU 1379379 A1, МПК D06 H7/18. Устройство для поперечной резки материала / Смирнов Л.Д., Шумилов Ю.М. – Заявл. 7.07.1986. Оpubл. 07.03.1988.
5. Патент на корисну модель 116499 UA, МПК D06H 7/02 (2006.01). Пристрій для поперечного розрізання рулонних матеріалів / Прибега Д.В, Смутко С.В. ; заявник Хмельницький національний університет – № u 2016 12039 ; заявл. 28.11.2016; опубл. 25.05.2017, Бюл. № 10, 2017 р.
6. Patent na korysnu model 116499 UA, МПК D06H 7/02 (2006.01). Prystrii dlia poperechnoho rozrizannia rulonnykh materialiv / Prybeha D.V, Smutko S.V. ; zaiavnyk Khmelnytskyi natsionalnyi universytet – № u 2016 12039 ; zaiavl. 28.11.2016; opubl. 25.05.2017, Biul. № 10, 2017 r.

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ МЕТОДИКИ ПОКРАЩЕННЯ СКЛАДУ СУМІШЕВОГО БІОПАЛИВА З РОСЛИННИХ ОЛІЙ

В статті наведені аналітичні і теоретичні шляхи збільшення ефективної потужності машинних агрегатів та визначення впливу цього підвищення на техніко-економічні та екологічні показники роботи дизельного двигуна внутрішнього згорання. Використання біопалив на основі олій рослинного походження дозволяє зменшити використання мінерального палива і покращити екологічні показники. Проте при використанні палива, в якому вміст біокомпонента перевищує 50%, спостерігається погіршення техніко-економічних показників дизельного двигуна. Тому проведений детальний аналіз роботи силового агрегату на різних видах сумішевого палива та встановлені закономірності впливу зміни відсоткового складу палива на техніко-економічні показники двигуна. Показано переваги використання біопалив на основі рослинних масел в дизельних двигунах. Запропоновано методики визначення оптимального складу сумішевих палив, що містять мінеральне дизельне паливо і метиловий ефір рапсової олії. У методиках узагальнений критерій оптимальності визначаємо з виведення двох приватних критеріїв. В якості критерію паливної економічності $\eta_{\text{е}}$ прийнято ефективний ККД двигуна, а в якості критерію токсичності відпрацьованих газів JNO_x - викид найбільш значущого токсичного компонента - оксиди азоту. Наведено переваги застосування різних біопалив з рослинних олій у двигунах внутрішнього згорання. Були проаналізовані різні методики і вибрана оптимальна для покращення складу сумішевого біопалива, що містить різний відсотковий склад. При застосуванні розглянутих методик проведені оптимізаційні розрахунки дизельного двигуна Д-240 на різних видах палива. Визначено, що серед досліджуваних сумішевих палив найкращими техніко-економічними характеристиками володіє суміш, що містить 70% мінерального палива і 30% біопалива на основі ріпаквої олії. До того ж, найкращі екологічні показники досягаються при регулюванні складу дозованої паливної суміші при зміні частоти обертання колінчастого валу двигуна.

Ключові слова: дизельний двигун, нафтове дизельне паливо, рапсова олія, метиловий ефір рапсової олії, сумішеве біопаливо, екологічні характеристики, токсичність відпрацьованих газів.

I.V. GUNKO, S.A. BURLAKA, R.O. YAROSHUK

Vinnitsia National Agrarian University

CHOICE OF THE OPTIMUM METHOD OF IMPROVING THE COMPOSITION OF THE MIXED BIOPUFF FROM WINE OILS

The article provides analytical and theoretical ways of increasing the effective power of machine aggregates and determining the impact of this increase on the technical and economic and environmental performance of the diesel engine of internal combustion. The use of biofuels on the basis of vegetable oils helps to reduce the use of mineral fuel and improve environmental performance. However, when using fuel, in which the content of the biocomponent exceeds 50%, there is a deterioration of the technical and economic indicators of the diesel engine. Therefore, a detailed analysis of the power unit's operation on various types of blended fuel has been carried out and the regularities of the effect of a percentage change in fuel composition on the technical and economic parameters of the engine have been established. The advantages of using biofuels based on vegetable oils in diesel engines are shown. The methods of determining the optimal composition of mixed fuels containing mineral diesel fuel and rapeseed methyl ester are proposed. In the methods of generalization, we determine the optimality criterion from the derivation of two private criteria. As a criterion of fuel efficiency $\eta_{\text{е}}$ we adopted effective efficiency of the engine, and as a criterion of toxicity of exhaust gases JNO_x - emission of the most significant toxic component - nitrogen oxides. The advantages of using different biofuels from vegetable oils in internal combustion engines are presented. Different techniques were analyzed and the optimal choice was chosen for improving the composition of mixed biofuels containing different percentage composition. At application of the considered methods conducted optimization calculations diesel engine D-240 on various types of fuel. It has been determined that among the studied blended fuels the best technical and economic characteristics are the mixture containing 70% mineral fuel and 30% biofuel based on rapeseed oil. In addition, the best environmental performance is achieved when adjusting the composition of the metered fuel mixture when changing the frequency of rotation of the crankshaft of the engine.

Keywords: diesel engine, oil diesel fuel, rapeseed oil, rapeseed methyl ester, mixed biofuels, environmental characteristics, toxicity of exhaust gases.

Вступ

В даний час основна частина моторних палив виготовляється з нафти. Разом з тим все більше знаходять використання інші види енергії, що називаються альтернативними [1; 4]. До 2020 р. в Європі планується перевести близько чверті (23%) всього автомобільного парку на альтернативні палива: природний газ – 10% (23,5 млн автомобілів), біогаз – 8% (18,8 млн. автомобілів), водень (паливні елементи) – 5% (11,7 млн автомобілів). Підвищений інтерес до проблеми використання альтернативних палив в двигунах внутрішнього згорання обумовлений виснаженням нафтових ресурсів, підвищенням цін на нафту і нафтопродуктів, і нарізною необхідністю вирішення екологічних проблем, викликаних зростанням числа транспортних засобів.

Необхідно відзначити перспективність використання альтернативних палив. В якості сировини для виробництва палив можуть бути використані відходи лісозаготівлі і лісопереробки, деревина, продукти і відходи сільськогосподарського виробництва, відходи харчової промисловості, біогази, водорості та інші морські біоресурси. Використання палив рослинного походження забезпечує кругообіг вуглекислого газу в атмосфері, оскільки при спалюванні біопалива в двигунах внутрішнього згорання в атмосферу надходить

приблизно така ж кількість вуглекислого газу, що поглинається в процесі вирощування сировини. Це призводить до зменшення викиду парникових газів і запобігає виникненню парникового ефекту.

При роботі дизельних двигунів на біопаливах, як правило, відзначається помітне зменшення емісії токсичних компонентів у відпрацьованих газах (ВГ). У першу чергу, це відноситься до димності ВГ і викидів інших продуктів неповного згорання палива, число яких при використанні біопалив знижується в 1,5-2 рази. Слід зазначити, що за своїми фізико-хімічними властивостями біопаливо ближче до дизельного палива, ніж до бензину: воно має порівняно високу щільність і в'язкість, погану випаровуваність. Тому використання можливе лише в дизелях, з меншою чутливістю до властивостей застосовуваного палива. До того ж дизельні двигуни, працюючи з великим ступенем стиску і коефіцієнта надлишку повітря, характеризуються кращими показниками паливної економічності і токсичності ВГ. Разом з тим біопалива мають фізико-хімічні властивості, що відрізняються від властивостей мінерального дизельного палива (ДП).

Мета і задачі роботи

Тому при переобладнанні двигунів, спочатку адаптованих до роботи на ДП, при переобладнанні на біопаливо, виникає ряд проблем, пов'язаних з організацією робочих процесів, в першу чергу - подачі палива, розпилювання палива, сумішоутворення і згорання. При цьому можливе порушення вихідних регулювань дизелів, погіршення ряду експлуатаційних показників, збільшення зносу деталей двигуна і зменшення ресурсу роботи.

Аналіз останніх досліджень

Однією з проблем, що виникає при адаптації дизеля до роботи на сумішевих біопаливах, є вибір складу цих сумішей. Оpubліковані в технічній літературі дані, [2; 5; 6], не дозволяють однозначно визначити найбільш використовуваний склад сумішевих біопалив. На сучасному етапі розвитку машинобудування найважливішим показником роботи дизелів є токсичність ВГ, тобто викиди в атмосферу нормованих токсичних компонентів - оксидів азоту NO_x , моно оксиду вуглецю CO , незгорілих вуглеводнів CH_x і твердих частинок, основними компонентами яких є сажа (вуглець C) [3; 7; 8]. Це обумовлено як погіршенням екологічної ситуації, так і жорсткістю вимог до нормативної документації на токсичність ВГ. Недостатньо високі екологічні показники дизелів, що працюють на нафтових ДП, також є причиною до більш широкого використання біопалив. Як зазначено вище, найбільшого використання набула рапсова олія, але можливе використання інших рослинних олій (сонячної, соєвої та ін.) [4].

Таблиця 1

Фізико-хімічні властивості досліджуваних палив

Фізико-хімічні властивості	Палива						
	ДП	МЕРО	95% ДТ + 5% МЕРО	90% ДТ + 10% МЕРО	80% ДТ + 20% МЕРО	60% ДТ + 40% МЕРО	40% ДТ + 60% МЕРО
Щільність при 20 °С, кг/м ³	830	877	832	835	839	848	858
В'язкість кінематична при 20 °С, мм ² /с	3,8	8,0	3,94	4,09	4,41	5,2	6,0
Теплота згорання нижча, МДж/кг	42,5	37,8	42,2	41,9	41,5	40,5	39,6
Кількість повітря, необхідна для згорання 1 кг речовини, кг	14,3	12,6	14,2	14,1	14,0	13,6	13,3
Зміст, % по масі							
С	87,0	77,6	86,5	86,1	85,1	83,2	81,4
Н	12,6	12,2	12,6	12,5	12,5	12,4	12,3
О	0,4	10,2	0,9	1,4	2,4	4,4	6,3
Загальний вміст сірки, % по масі	0,2	0,002	0,19	0,18	0,16	0,12	0,08

Виклад основного матеріалу

При використанні сумішевих біопалив різного складу питома ефективна витрата палива g_e не в повній мірі характеризує ефективність процесу згорання, оскільки палива мають різну теплотворну здатність. Тому в процесі оптимізації складу сумішевого палива в якості критерію оптимальності, що характеризує паливну економічність, обрано ефективний ККД двигуна η_e . В якості приватних критеріїв оптимальності, вибрано токсичність ВГ, вміст нормованих токсичних компонентів - оксидів азоту NO_x , моно оксиду вуглецю CO , незгорілих вуглеводнів CH_x . Крім того, необхідно врахувати викиди сажі або твердих частинок. Але визначення димності ВГ практично більш доступно, ніж визначення викиду твердих

частинок. Для вибору найбільш доцільною методики оптимізації складу сумішевого палива запропоновані наступні три методики. У першій методиці узагальнений критерій оптимальності J_o формується у вигляді виведення двох приватних критеріїв. В якості критерію паливної економічності J_{he} прийнятий ефективний ККД двигуна, а в якості критерію токсичності ВГ J_{NOx} - викид найбільш значущого токсичного компонента ВГ оксидів азоту.

Такий узагальнений критерій оптимальності можна записати у вигляді:

$$J_o = J_{\eta_e} \times J_{NOx} = \frac{\eta_{eD}}{\eta_{ei}} \times \frac{C_{NOxi}}{C_{NOxD}} \quad (1)$$

де η_{eD} і C_{NOxD} - ефективний ККД і концентрація оксидів азоту дизеля, що працює на нафтовому ДП; η_{ei} і C_{NOxi} - ефективний ККД і концентрація оксидів азоту у ВГ на сумішевих паливах. Цей узагальнений критерій оптимальності відрізняється простотою і порівняно невеликим обсягом необхідних розрахунків, але не враховує викид ряду нормованих токсичних компонентів - монооксиду вуглецю CO , незгорілих вуглеводнів CHx і сажі C .

У другій методиці узагальнений критерій оптимальності J_o формується у вигляді суми приватних критеріїв, що характеризують паливну економічність J_{η_e} , викид з ВГ оксидів азоту J_{NOx} , монооксиду вуглецю J_{CO} , незгорілих вуглеводнів J_{CHx} , а також димність ВГ J_{Kx} :

$$J_o = J_{\eta_e} + J_{NOx} + J_{CO} + J_{CHx} + J_{Kx} = \frac{\eta_{eD}}{\eta_{ei}} + \frac{C_{NOxi}}{C_{NOxD}} + \frac{C_{COi}}{C_{COD}} + \frac{C_{CHxi}}{C_{CHxD}} + \frac{K_{xi}}{K_{xD}} \quad (2)$$

де C_{COD} , C_{CHxD} , K_{xD} - концентрації моно оксиду вуглецю і вуглеводнів у ВГ дизеля, що працює на ДТ, а також димність ВГ; C_{COi} , C_{CHxi} , K_{xi} концентрації монооксиду вуглецю і вуглеводнів у ВГ дизеля, що працює на сумішевому паливі того ж складу, а також димність ВГ.

Третя методика передбачає формування узагальненого критерію оптимальності j_o у вигляді суми приватних критеріїв, аналогічній виразу (2), але вводяться високі коефіцієнти, що характеризують значимість кожного з доданків:

$$J_o = \alpha_{\eta_e} J_{\eta_e} + \alpha_{NOx} J_{NOx} + \alpha_{CO} J_{CO} + \alpha_{CHx} J_{CHx} + \alpha_{Kx} J_{Kx} = \alpha_{\eta_e} \frac{\eta_{eD}}{\eta_{ei}} + \alpha_{NOx} \frac{C_{NOxi}}{C_{NOxD}} + \alpha_{CO} \frac{C_{COi}}{C_{COD}} + \alpha_{CHx} \frac{C_{CHxi}}{C_{CHxD}} + \alpha_{Kx} \frac{K_{xi}}{K_{xD}} \quad (3)$$

Відповідно до трьох запропонованих методик у кожній вузловій точці визначалися значення узагальнених критеріїв оптимальності з використанням виразів (1), (2) і (3) при роботі на кожному з досліджуваних палив. Потім в кожній вузловій точці визначався склад палива, при якому узагальнений критерій має мінімальне значення. Цей склад палива і приймався за оптимальний. З використанням розроблених методик оптимізації складу сумішевого біопалива та зазначених результатів експериментальних досліджень дизеля, працюючого на сумішевих біопаливах, проведені оптимізаційні розрахунки складу біопалив - сумішей ДП і МЕРО. В результаті розрахункових досліджень розраховано три базові характеристики оптимального складу біопалива, представлені на рис 2.

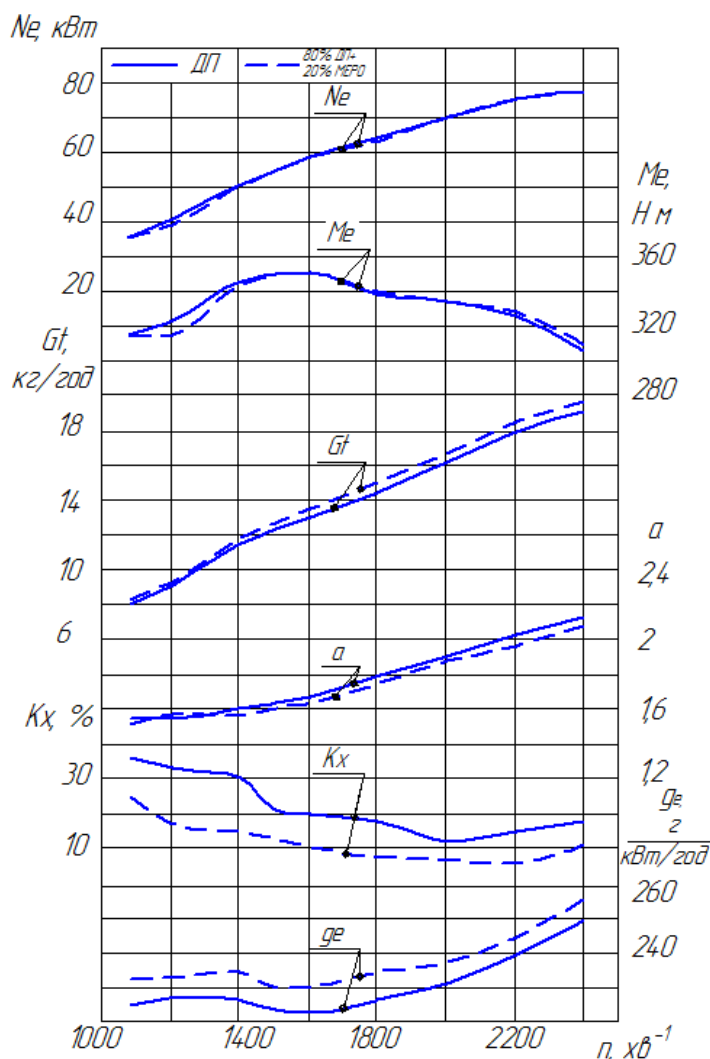


Рис. 1. Залежність ефективної потужності N_e , крутного моменту M_e , годинної витрати палива G_T , коефіцієнта надлишку повітря α , димності ВГ K_x і питомої ефективної витрати палива g_e від частоти обертання n колінчастого вала дизеля Д-240 на різних режимах при використанні різних палив

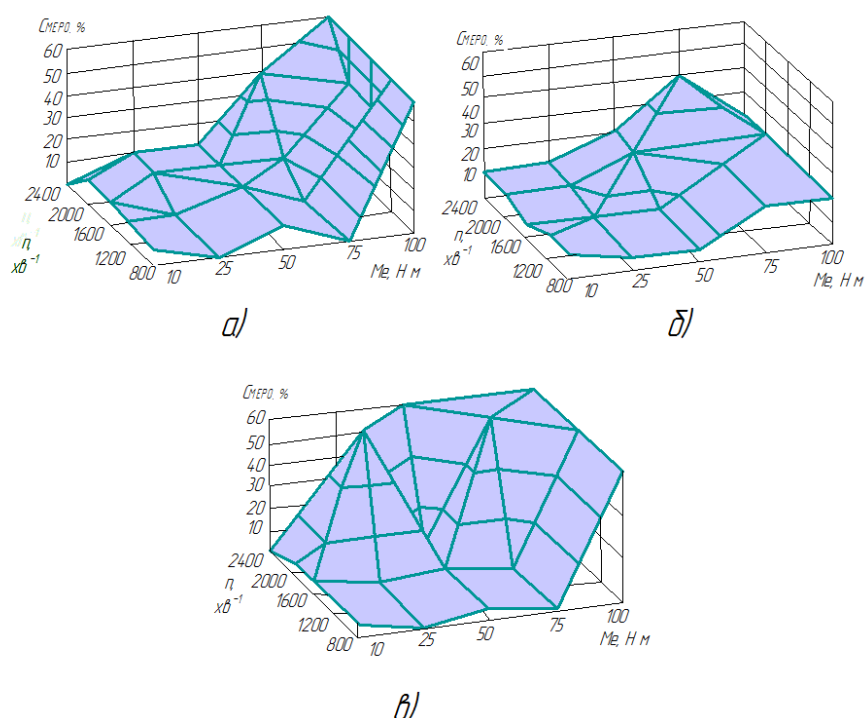


Рис. 2. Базові характеристики оптимального складу біопалива
а) за критерієм 1; б) за критерієм 2; в) за критерієм 3

Таблиця 2

Показники дизельного двигуна при різних складах сумішевого біопалива і формуванні різних оптимізованих характеристик складів сумішевого біопалива

Склад суміші	e_{NOx} , г/(кВт·год)	e_{CO} , г/(кВт·год)	e_{CHx} , г/(кВт·год)	Димність ВГ, % за шкалою Хартриджа на режимах повного навантаження		g_e , г/(кВт·г од)	Ефективний ККД двигуна η_e	Сумарний коефіцієнт ефективності ВГ A_{BG}
				$n = 2400$ хв ⁻¹	$n = 1500$ хв ⁻¹			
100 % ДП	7,286	2,834	0,713	18,0	21,0	245,8	0,345	245,3
95 % ДП + 5% МЕРО	6,894	2,234	0,626	18,0	17,0	249,2	0,342	204,4
90 % ДП + 10% МЕРО	6,718	2,199	0,658	13,5	16,0	253,6	0,338	194,0
80 % ДП + 20% МЕРО	6,542	2,096	0,727	11,0	13,0	256,5	0,338	164,7
60 % ДП + 40% МЕРО	7,441	2,021	0,692	10,0	7,5	261,3	0,339	116,9
40 % ДП + 60% МЕРО	7,759	1,932	0,681	7,0	8,5	265,0	0,342	128,4
Критерій № 1	7,216	2,075	0,745	7,0	7,5	257,7	0,339	116,2
Критерій № 2	6,555	2,155	0,685	11,0	13,0	255,1	0,338	164,6
Критерій № 3	6,796	2,081	0,671	7,0	7,5	256,7	0,342	113,5

Отримані значення цих коефіцієнтів свідчать про те, що серед розглянутих сумішевих біопалив найкращими екологічними характеристиками володіє суміш 60% ДП і 40% МЕРО. При роботі на цій суміші коефіцієнт агресивності ВГ виявився мінімальним: $A_{BG} = 116,9$. Це значення в два рази нижче в порівнянні з роботою на ДП ($A_{BG} = 245,3$). серед отриманих базових характеристик складу сумішевого біопалива найкращими екологічними властивостями відрізняється характеристика № 3 (рис. 2, в). При її реалізації досягається мінімальне значення сумарного умовного коефіцієнта агресивності ВГ: $A_{BG} = 113,5$ (табл. 2). Слід також відмітити, що при формуванні базової характеристики № 3 досягається поліпшення показників паливної економічності в порівнянні з роботою на суміші 60% ДП і 40% МЕРО. У першому випадку ефективний ККД η_e дорівнював 0,342, а в другому – 0,339.

Висновки

Представлені результати розрахунково-експериментальних досліджень підтверджують ефективність використання сумішевих біопалив в вітчизняних дизельних двигунах і необхідність оптимізації складу сумішевого біопалива. При цьому доцільно проводити порівняльну оцінку екологічних характеристик різних сумішевих біопалив з використанням розроблених методик. Проведені розрахунки підтвердили ефективність запропонованих методик. Для оцінки сумарною токсикологічної агресивності ВГ дизеля, що працює на різних паливах, рекомендовано використовувати сумарний умовний коефіцієнт агресивності ВГ A_{BG} .

Розрахунки показали, що найкращими екологічними характеристиками володіє суміш 60% ДТ і 40% МЕРО. При роботі дизеля типу Д-240 на цій суміші коефіцієнт агресивності ВГ виявився мінімальним: $A_{BG} = 116,9$. Це значення в два рази нижче в порівнянні з роботою на нафтовому ДП ($A_{BG} = 245,3$). Показана доцільність регулювання складу розглянутих сумішей відповідно змінам частоти обертання і навантаження на двигун. Найкращі результати отримані для базової характеристики на рис. 4, в, побудованої за методикою з використанням виразу (3).

Література

1. Самокиш М.І. Двигуни сільськогосподарських енергетичних засобів : навч. посібник для студ. інж.-техн. спец. вищ. навч. с.-г. закл. I–IV рівнів акредитації / М. І. Самокиш, М. М. Клевцов, А. М. Божок, І. М. Бендера ; за ред. М. І. Самокиша, М. М. Клевцова. – К. : Урожай, 1998. – 320 с.
2. Николаенко А.В. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей / А.В. Николаенко. – М. : Колос, 1984. – 335 с., ил.
3. Сандомирський М. Г. Трактори та автомобілі. Ч. І. Автотракторні двигуни : навч. посіб. / М. Г. Сандомирський, М. Ф. Бойко, А. Т. Лебедев та ін. ; за ред. проф. А. Т. Лебедева. – К. : Вища школа., 2000. – 357 с. : іл.
4. Дикун Т.В. Аналіз ефективності використання біодизельного палива в двигунах внутрішнього зростання / Т.В. Дикун, П.І. Полянський // Нафтогазова енергетика. – 2015. – № 1 (23). – С. 86–93.
5. Яцковський В. І. Сучасні методи розрахунків ДВЗ / В. І. Яцковський, І. В. Гунько, О. В. Гуцаленко. – Вінниця, РВВ ВНАУ, 2016. – 132 с.
6. Абрамчук Ф.І. Автомобільні двигуни : підручник / Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І. – К. : Арістей, 2004. – 476 с.
7. Девянин С.Н. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / Девянин С.Н., Марков В.А., Семенов В.Г. – М. : Издательский центр ФГОУ ВПО МГАУ, 2007. – 340 с. : ил.
8. Семенов В.Г. Анализ показателей работы дизелей на нефтяных и альтернативных топливах растительного происхождения / В.Г. Семенов // Вісник НТУ "ХПІ" : збірка наукових праць. – Харків : НТУ "ХПІ", 2002. – № 3. – С. 177–197.

References

1. Samokish M.I. Engines of agricultural energy: training. tutorial for studio engineer special higher tutor s.-g. shut up I - IV levels of accreditation / M. I. Samokish, M. M. Klevtsov, A. M. Bozhok, I. Bender; for ed. M.I. Samokish, M. M. Klevtsova. - K.: Harvest, 1998. – 320 p.
2. Nikolaenko AV Theory, design and calculation of autotractor engines / AV Nikolaenko - M. : Kolos, 1984. - 335 p.
3. Sandomirskiy MG Tractors and cars. Ch.I. Motor-vehicle engines: teaching. manual / M G. Sandomirsky, M. F. Boiko, A. T. Lebedev and others; for ed. prof. A. T. Lebedev. - K. : Higher school., 2000. - 357 p.
4. Dikuun T.V., Polyansky P.I. Analysis of the efficiency of using biodiesel fuel in engines of internal growth / Oil and gas power engineering. 2015 №1 (23). - p. 86-93.
5. Yakkovsky VI Modern methods of calculating the ICE / V. I. Yatskovsky, I. V. Gunko, O. V. Gutsalenko. - Vinnytsya, RVV VNAU, 2016.-132 p.
6. Abramchuk F.I., Gutarevich Yu.F., Dolganov K. E., Timchenko I.I. Automotive Engines: Tutorial. - K. : Aristei, 2004. - 476 pp.
7. Devyanin SN, Markov VA, Semenov VG Vegetable oils and fuel based on them for diesel engines. - Moscow: Publishing Center of State University of Agricultural Science, Moscow State University, 2007. - 340 p. Il.
8. Semenov VG Analysis of performance indicators of diesel engines on petroleum and alternative fuels of vegetable origin. - The Bulletin of the NTU. "KHPT: Collection of scientific works. Kharkiv: NTU" KhPI - 2002, No. 3. - p.177-197.

Рецензія/Peer review : 15.05.2018 р.

Надрукована/Printed : 16.07.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 004.9: 004.89

Т.О. ГОВОРУЩЕНКО, О.В. ПОМОРОВА, О.О. ПАВЛОВА

Хмельницький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА НА ОСНОВІ ОНТОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ СПЕЦИФІКАЦІЙ ВИМОГ ДО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Метою даного дослідження є моделювання діяльності інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для оцінювання специфікації вимог до ПЗ. У статті вперше запропоновані теоретико-множинні, базові онтологічні моделі нефункційних характеристик ПЗ, онтологічні моделі нефункційних характеристик конкретного ПЗ, а також модель діяльності інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для оцінювання специфікацій вимог до ПЗ.

Ключові слова: програмне забезпечення (ПЗ), програмний проект, специфікація вимог до програмного забезпечення, нефункційні характеристики програмного забезпечення, онтологія, інтелектуальний агент.

T. O. HOVORUSHCHENKO, O. V. POMOROVA, O. O. PAVLOVA

Khmelnitsky National University

MODELING THE ACTIVITY OF ONTOLOGY-BASED INTELLIGENT AGENT FOR EVALUATING THE SOFTWARE REQUIREMENTS SPECIFICATIONS

The aim of this study is the modeling the activity of the ontology-based intelligent agent for evaluating the software requirements specifications. The conducted analysis of the known ontology-based intelligent agents has shown that they do not solve the problem of quantifying the sufficiency of information in the software requirements specification for determining the software non-functional characteristics. In this paper, the set-theoretical models of software non-functional characteristics, base (universal) ontological models of software non-functional characteristics, and ontological models of non-functional characteristics of the concrete software are first time developed. These models are based on the considering the requirements of the standards of ISO 25010:2011 and ISO 25023:2016, and provide the basis for choosing the sufficient amount of information for evaluating the non-functional characteristics of software. The proposed ontology-based intelligent agent during its activity uses the base ontologies of the software non-functional characteristics as known facts, with which the agent compares the information, obtained from the specification of the requirements for concrete software, in the form of real ontologies. On the basis of this comparative analysis, the ontology-based intelligent agent evaluates the information of the software requirements specification and decides on further actions. The intelligent agent provides: the conclusion about the sufficiency or insufficiency of information in the specification, numerical evaluations of the level of sufficiency of information for determining each software non-functional characteristics; numerical evaluation of the level of sufficiency of information for determining all software non-functional characteristics. The model of activity of the ontology-based intelligent agent for evaluating the software requirements specifications is first time developed in the paper. This model is based on the comparative analysis of ontologies and is the theoretical basis for the development of methods of activity of the ontology-based intelligent agent.

Keywords: software, software project, software requirements specification, non-functional software characteristics, ontology, intelligent agent.

Вступ

Особливої уваги у напрямку розроблення та впровадження ефективних інформаційних технологій на сьогодні потребує галузь інженерії програмного забезпечення (ПЗ), оскільки помилки та відмови ПЗ загрожують катастрофами, які призводять до людських жертв, екологічних катаклізмів, значних часових та фінансових втрат.

На сьогодні в галузі інженерії ПЗ реалізована велика кількість програмних проектів, наявна статистика успішних та неуспішних рішень та результатів, але відсутні ефективні інформаційні технології, які б дали можливість отримати всю корисну інформацію з наявної статистики. Відомі інформаційні технології передбачають людинно-машинну взаємодію на всіх етапах опрацювання інформації, тобто всю інформацію інтерпретує людина, що для галузі інженерії ПЗ часто призводить до втрат істотної інформації і до виникнення помилок на ранніх етапах життєвого циклу. Відтак *актуальною задачею* є розроблення для галузі інженерії ПЗ інформаційних технологій нової генерації, в яких людина усувається з процесів опрацювання інформації та здобуття знань.

Наразі людство все частіше покладається на ПЗ при вирішенні складних задач, стрімко зростає кількість програмних проектів з високою вартістю. Але, як показує статистика [1, 2], частка проблемних програмних проектів складає порядку половини всіх програмних проектів, а частка провальних програмних проектів складає порядку 1/5 всіх програмних проектів, тобто успішними програмними проектами, на які можна покладатись і на які варто витратити кошти, є лише 1/3 всіх програмних проектів. Значна кількість помилок вноситься у ПЗ на початкових етапах життєвого циклу ПЗ. Переважна більшість аварій, пов'язаних із ПЗ, виникли через помилки у специфікації вимог [3]. Отже, успішність реалізації програмного проекту (як вчасне виконання програмного проекту в рамках виділеного бюджету та з реалізацією всіх необхідних можливостей та функцій) суттєво залежить від ранніх етапів життєвого циклу ПЗ, тому *актуальною та важливою задачею* є автоматизоване оцінювання рівня відпрацювання початкових етапів життєвого циклу ПЗ на основі аналізу специфікацій (зокрема, оцінювання достатності інформації у специфікації вимог до ПЗ

як ключової складової успішності програмних проєктів), причому особливої уваги потребують нефункційні характеристики ПЗ (наприклад, якість, надійність, функційна придатність, ефективність, сумісність, супроводжуваність, можливість переносу, захищеність, зручність використання).

Актуальність та важливість задачі автоматизованого оцінювання початкових етапів життєвого циклу ПЗ на основі аналізу специфікацій та необхідність розроблення агентно-орієнтованої інформаційної технології оцінювання початкових етапів життєвого циклу ПЗ на основі онтологічного підходу. *Задачею даного дослідження є моделювання діяльності інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для оцінювання специфікацій вимог до ПЗ.*

Огляд інтелектуальних агентів на основі онтологічного підходу для галузі інженерії програмного забезпечення

Перевагами використання онтологій є системний підхід до вивчення предметної галузі, можливість цілісного подання відомої інформації предметної галузі, виявлення дублювань та прогалин у знаннях на основі візуалізації відсутніх логічних зв'язків. Онтології визначаються як ключова технологія для розвитку семантичного вебу, оскільки надають можливість доступу, розуміння та аналізу інформації інтелектуальними агентами [4].

Інтелектуальний агент (ІА) – система, котра спостерігає за навколишнім середовищем, взаємодіє з ним, а її поведінка раціональна в тому сенсі, що агент розуміє суть власних дій, і ці дії скеровані на досягнення певної мети [5]. Таким агентом може виступати програмна система, бот, сервіс. Інтелектуальний агент використовує під час свого функціонування інформацію, отриману з навколишнього середовища, аналізує її, зіставляючи з уже відомими йому фактами і, на основі результатів аналізу, приймає рішення про подальші дії.

Ідеї використання онтологій для галузі інженерії ПЗ присвячено ряд робіт: запропоновано методи та засоби побудови програмних систем на основі онтологічних моделей задач [6]; розроблено онтологічні моделі та методи формування нормативного профілю при сертифікації ПЗ [7]; запропоновано онтологічний підхід до специфікування властивостей програмних систем та їх компонентів [8]; розроблено підходи трасування вимог до ПЗ на основі зв'язаних онтологій [9-11]; запропоновано використання доменної онтології для аналізу ПЗ та засобів реінжинірингу [12]; розроблено онтологічну модель для опису та визначення предметних і операційних знань щодо забезпечення якості ПЗ [13]; розроблено онтології та заванені онтології предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення» (частини «Якість ПЗ», «Якість ПЗ. Метричний аналіз», «Специфікація вимог до ПЗ») [14].

Розв'язанню задачі розроблення інтелектуальних агентів на основі онтологічного підходу для галузі інженерії ПЗ також присвячено ряд досліджень. Так, автори [15] досліджують застосування онтологій для агентно-орієнтованої програмної інженерії, пропонують інструмент, який використовує існуючі онтологічні конструкції для створення програмного коду, а також експериментально підтверджують переваги застосування агентів на основі онтологій для галузі інженерії ПЗ. Робота [16] присвячена усуненню невизначеності у вимогах до ПЗ та покращенню спілкування зацікавлених сторін шляхом впровадження інтелектуальних агентів на основі онтологічного підходу. Автори [17] пропонують розроблення інтелектуального агента на основі онтології для мінімізації існуючої семантичної невизначеності при розробленні специфікації вимог до ПЗ природньою (іспанською) мовою, для автоматичного отримання основних елементів специфікації та для автоматичної побудови діаграми цілей. У роботі [18] онтологічні агентно-орієнтовані моделі використовують для формалізації первинних вимог до ПЗ з метою зниження витрат на прикладі розроблення додатків для Ambient Assisted Living для пацієнтів із хворобою Паркінсона. Автори [19] пропонують завдання-орієнтовану архітектуру на основі агентно-орієнтованої парадигми та онтологічного дизайну для систем підтримки прийняття рішень (на прикладі клінічної системи для відділення невідкладної допомоги), яка дозволяє ітеративно переносити функційні вимоги в архітектурні компоненти. В роботі [20] надано основу для формального подання та перевірки вимог і забезпечення функційної правильності обмежених ресурсами контекстних систем критичного застосування у вигляді інтелектуальних агентів на основі онтологічного підходу.

Проведений аналіз відомих інтелектуальних агентів на основі онтологічного підходу показав, що вони не розв'язують задачу кількісного оцінювання рівня відпрацювання початкових етапів життєвого циклу ПЗ на основі аналізу специфікацій (зокрема, оцінювання достатності інформації у специфікації вимог до ПЗ). Єдиним рішенням в галузі оцінювання достатності інформації у специфікаціях вимог до ПЗ є робота [14], в якій запропоновано теоретичні та прикладні засади інформаційної технології оцінювання достатності інформації щодо якості у специфікаціях вимог до ПЗ та розроблено онтології предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення» (частини «Якість ПЗ», «Якість ПЗ. Метричний аналіз», «Специфікація вимог до ПЗ»).

Моделі нефункційних характеристик програмного забезпечення

Відповідно до стандарту ISO 25010:2011, такі нефункційні характеристики ПЗ, як функційна придатність (*Fs*), ефективність (*Pe*), зручність використання (*Ub*), надійність (*Rb*), сумісність (*Cb*), захищеність (*Scr*), супроводжуваність (*Mb*), можливість переносу (*Pb*) є функціями від декількох підхарактеристик, тоді *представимо кожну з вищевказаних характеристик як функцію від підхарактеристик*:

$$Fs = f_1(FCom, FCor, FAppr), \quad (1)$$

де $FCom$ – функційна повнота, $FCor$ – функційна коректність, $FAppr$ – функційна доцільність;

$$Pe = f_2(Tb, Ru, Cc), \quad (2)$$

де Tb – поведінка у часі, Ru – поведінка ресурсів, Cc – ємність (місткість);

$$Ub = f_3(Ar, Lb, Ob, Uep, Uia, Ab), \quad (3)$$

де Ar – розпізнавання доцільності, Lb – можливість вивчення, Ob – керованість, Uep – захист від помилок користувача, Uia – естетичність інтерфейсу користувача, Ab – доступність;

$$Rb = f_4(Mat, Avb, Ft, Rcv), \quad (4)$$

де Mat – зрілість, Avb – наявність (доступність), Ft – відмовостійкість, Rcv – відновлюваність;

$$Cb = f_5(Ce, Ib), \quad (5)$$

де Ce – співіснування, Ib – взаємодія;

$$Scr = f_6(Conf, Int, Nr, Acb, Auth), \quad (6)$$

де $Conf$ – конфіденційність, Int – цілісність, Nr – невідхилюваність, Acb – підзвітність, $Auth$ – ідентичність;

$$Mb = f_7(Mod, Rub, Anb, Mdjb, Tsb), \quad (7)$$

де Mod – модульність, Rub – повторне використання, Anb – аналізованість, $Mdjb$ – модифікованість, Tsb – тестованість;

$$Pb = f_8(Adb, Inb, Rpb), \quad (8)$$

де Adb – адаптованість, Inb – можливість інсталяції, Rpb – можливість заміни.

Тоді множини підхарактеристик нефункційних характеристик ПЗ мають вигляд:

$A = \{FCom, FCor, FAppr\}$ – множина підхарактеристик функційної придатності;

$B = \{Tb, Ru, Cc\}$ – множина підхарактеристик ефективності;

$C = \{Ar, Lb, Ob, Uep, Uia, Ab\}$ – множина підхарактеристик зручності використання;

$D = \{Mat, Avb, Ft, Rcv\}$ – множина підхарактеристик надійності;

$E = \{Ce, Ib\}$ – множина підхарактеристик сумісності;

$F = \{Conf, Int, Nr, Acb, Auth\}$ – множина підхарактеристик захищеності;

$G = \{Mod, Rub, Anb, Mdjb, Tsb\}$ – множина підхарактеристик супроводжуваності;

$H = \{Adb, Inb, Rpb\}$ – множина підхарактеристик можливості переносу.

Водночас, кожна підхарактеристика нефункційних характеристик ПЗ є функцією певних атрибутів, описаних у стандарті ISO 25023:2016. Залежності підхарактеристик нефункційних характеристик від атрибутів представимо в наступному вигляді:

$$FCom = \varphi_1(Nof, Ficn, Faq, Fic), \quad (9)$$

де Nof – кількість функцій, $Ficn$ – повнота функційної реалізації, Faq – функційна адекватність, Fic – покриття функційної реалізації;

$$FCor = \varphi_2(Ot, Nic, Ndi, Ca, Pc), \quad (10)$$

де Ot – час роботи, Nic – кількість неточних обчислень, з якими стикаються користувачі, Ndi – кількість елементів даних, Ca – обчислювальна точність, Pc – точність (відповідність);

$$FAppr = \varphi_3(Ot, Nof, Ficn, Faq, Fic, Pc); \quad (11)$$

$$Tb = \varphi_4(Ot, Nmot, Rt, Noe, Tnt, Tskt, Mathr), \quad (12)$$

де $Nmot$ – кількість задач, Rt – час реакції, Noe – кількість оцінок, Tnt – час обробки, $Tskt$ – час задачі, $Mathr$ – середнє значення пропускну здатності;

$$Ru = \varphi_5(Ot, Nofl, Noe, Niore, Uwt, Nmre, Ntre, Tcc, Iou, Nolcd, Ioll, Mmu, Mtu, Mote), \quad (13)$$

де $Nofl$ – кількість відмов, $Niore$ – кількість помилок введення-виведення, Uwt – час очікування користувача під час використання пристрою введення-виведення, $Nmre$ – кількість помилок пам'яті, $Ntre$ – кількість помилок передачі даних, Tcc – потужність (ємність) передачі даних, Iou – кількість буферів при використанні введення-виведення, $Nolcd$ – безпосередня кількість рядків коду, $Ioll$ – ліміт завантаження пристроїв введення-виведення, Mmu – максимум використовуваної пам'яті, Mtu – максимум використовуваної передачі даних, $Mote$ – середня поява помилки передачі;

$$Cc = \varphi_6(Ndi, Ncu, Cbw, Mathr, Sdb), \quad (14)$$

де Ncu – кількість одночасних користувачів, Cbw – ширина смуги комунікації, Sdb – розмір бази даних;

$$Ar = \varphi_7(Nof, Nott, Niodi, Cnd, Fua, Uaio), \quad (15)$$

де $Nott$ – кількість посібників, $Niodi$ – кількість елементів даних введення-виведення, Cnd – повнота описів, Fua – зрозумілість функціоналу, $Uaio$ – зрозумілість входів та виходів;

$$Lb = \varphi_8 (Nof, Ot, Efl, Nmot, Hfq, Eudhs, Haa, Cudh), \quad (16)$$

де *Efl* – простота вивчення функціоналу, *Hfq* – частота звертань до довідки, *Eudhs* – ефективність документації користувача та системи допомоги, *Haa* – доступність довідки, *Cudhf* – повнота документації користувача та довідкового фонду;

$$Ob = \varphi_9 (Nof, Ot, Ecr, Nsf, Nuec, Nac, Niore, Nop, Niwccvd, Nmi, Nie, Pha, Neum), \quad (17)$$

де *Ecr* – частота корекції помилок, *Nsf* – кількість екранів або форм, *Nuec* – кількість помилок або змін користувача, *Nac* – кількість спроб налаштування, *Nop* – кількість операцій, *Niwccd* – кількість елементів, які можна перевірити на наявність дійсних даних, *Nmi* – кількість виконаних повідомлень, *Nie* – кількість елементів інтерфейсу, *Pha* – фізична доступність, *Neum* – кількість легко зрозумілих повідомлень;

$$Uep = \varphi_{10} (Nurs, Nuec, Otpdo, Nouheo, Niewusc, Nacie, Necwusc, Tnect, Nfiuet, Tnfrtc, Tniop), \quad (18)$$

де *Nurs* – кількість невдало відновлених ситуацій, *Otpdo* – час роботи під час спостережень, *Nouheo* – кількість випадків операційних помилок користувача, *Niewusc* – кількість вхідних помилок, які користувач успішно виправляє, *Nacie* – кількість спроб коригування вхідних помилок, *Necwusc* – кількість помилкових умов, які користувач успішно виправляє, *Tnect* – загальна кількість перевірених помилкових умов, *Nfiuet* – кількість функцій, виконаних з толерантністю до помилки користувача, *Tnfrtc* – загальна кількість функцій, що вимагають можливості толерантності, *Tniop* – загальна кількість некоректних шаблонів операцій;

$$Uia = \varphi_{11} (Nie, Nige, Dipu, Disu, Dea, Drwmu), \quad (19)$$

де *Nige* – кількість графічних елементів інтерфейсу, *Dipu* – ступінь збільшення задоволення користувача, *Disu* – ступінь збільшення задоволеності потреб користувача, *Dea* – ступінь ергономічної привабливості, *Drwmu* – ступінь використання метафор реального світу;

$$Ab = \varphi_{12} (Ewschuusd, Ewusd, Ffrusd, Susd, Ppsa), \quad (20)$$

де *Ewschuusd* – обсяг, до якого програмним забезпеченням можуть користуватись користувачі з обмеженими можливостями, *Ewusd* – ефективність роботи користувачів з обмеженими можливостями, *Ffrusd* – свобода від ризику для користувачів із обмеженими можливостями, *Susd* – задоволення потреб користувачів з обмеженими можливостями, *Ppsa* – наявність властивостей, які підтримують доступність;

$$Mat = \varphi_{13} (Ot, Noft, Nofl, Ps, Ntc, Nrf, Ncf, Fdatc, Frn, Frl, Mtbf, Tmy, Elfd, Fdy), \quad (21)$$

де *Noft* – кількість збоїв, *Ps* – розмір продукту, *Ntc* – кількість тестових випадків, *Nrf* – кількість фіксованих відмов, *Ncf* – кількість усунутих (виправлених) збоїв, *Fdatc* – щільність відмов відносно до тестових випадків, *Frn* – роздільна здатність відмов, *Frl* – усунення збоїв, *Mtbf* – середній час між відмовами, *Tmy* – випробувальний термін, *Elfd* – орієнтовна щільність прихованих збоїв, *Fdy* – щільність збоїв;

$$Avb = \varphi_{14} (Ot, Ttdwsis, Nob, Tdt), \quad (22)$$

де *Ttdwsis* – загальний час, протягом якого програма перебуває у стані зростання, *Nob* – кількість спостережуваних несправностей, *Tdt* – загальна тривалість простоїв;

$$Ft = \varphi_{15} (Nofl, Ntc, Nbd, Nof, Nio), \quad (23)$$

де *Nbd* – кількість несправностей, *Nio* – кількість недозволених операцій;

$$Rcv = \varphi_{16} (Ot, Nbd, Ttr, Dt, Nrs, Nrn, Ray), \quad (24)$$

де *Ttr* – час ремонту, *Dt* – тривалість простою, *Nrs* – кількість перезапусків, *Nrn* – кількість відновлень, *Ray* – відновлюваність (можливість перезапуску);

$$Ce = \varphi_{17} (Ot, Nofl, Nof, Ndi); \quad (25)$$

$$Ib = \varphi_{18} (Ot, Ndftr, Ndfbe, Nip, Deay), \quad (26)$$

де *Ndftr* – кількість форматів даних, пов'язаних інструментом, *Ndfbe* – кількість форматів даних для обміну, *Nip* – кількість протоколів інтерфейсу, *Deay* – обмінність даних;

$$Conf = \varphi_{19} (Ot, Nio, Ntc, Nidc, Ndi, Nat, Ncr, Aca, Ndiced, Ndibred), \quad (27)$$

де *Nidc* – кількість випадків пошкодження даних, *Nat* – кількість типів доступу, *Ncr* – кількість контрольованих вимог, *Aca* – керованість доступу, *Ndiced* – кількість елементів даних, які правильно зашифровані та розшифровані, *Ndibred* – кількість елементів даних, які потребують шифрування та розшифрування;

$$Int = \varphi_{20} (Ot, Nio, Ntc, Nidc, Ndi, Nat, Ncr, Aca); \quad (28)$$

$$Nr = \varphi_{21} (Nepuds, Nernrp), \quad (29)$$

де *Nepuds* – кількість подій, оброблених за допомогою цифрового підпису, *Nernrp* – кількість подій, що вимагають властивості невідхилення (неприпинення);

$$Acb = \varphi_{22}(Nasdrsl, NaaO), \quad (30)$$

де *Nasdrsl* – кількість доступів до системи та даних, записаних у системний журнал, *NaaO* – кількість дійсно набутих доступів;

$$Auth = \varphi_{23}(Npam), \quad (31)$$

де *Npam* – кількість наданих методів перевірки автентичності;

$$Mod = \varphi_{24}(Ot, Nofl, Nrf, Nmm, Nv, Nof, Nm), \quad (32)$$

де *Nmm* – кількість внесених змін, *Nv* – кількість змінних, *Nm* – кількість модулів;

$$Rub = \varphi_{25}(Fcy, Nfcy, Vrn, Aay, Tay, Cra), \quad (33)$$

де *Fcy* – функційна спільність, *Nfcy* – нефункційна спільність, *Vrn* – міцність варіабельності, *Aay* – застосовність, *Tay* – пристосованість, *Cra* – заміна компонентів;

$$Anb = \varphi_{26}(Nofl, Ndi, Ert, Nirbl, Ndf, Atc), \quad (34)$$

де *Ert* – час помилки, *Nirbl* – кількість елементів, необхідних для запису в журналі, *Ndf* – кількість необхідних діагностичних функцій, *Atc* – можливість аудиту сліду;

$$Mdfb = \varphi_{27}(Ot, Nrv, Nrf, Ert, Nof, Ccca, Ntcpbm, Ntspam), \quad (35)$$

де *Nrv* – кількість переглянутих версій, *Ccca* – можливість управління змінами, *Ntcpbm* – кількість проблем протягом певного періоду до модифікації, *Ntspam* – кількість проблем за той же період після модифікації;

$$Tsb = \varphi_{28}(Ot, Ntc, Nrf, Nbtfr, Ntdos, Ncp), \quad (36)$$

де *Nbtfr* – кількість необхідних вбудованих тестових функцій, *Ntdos* – кількість тестових залежностей на інших системах, *Ncp* – кількість контрольних точок;

$$Adb = \varphi_{29}(Nof, Ot, Nofl, Puf, Ndi, Nds, Aads, Hea, Sea, Noftwnca, Tnfwtde), \quad (37)$$

де *Puf* – портативна дружність користувача, *Nds* – кількість структур даних, *Aads* – адаптивність структур даних, *Hea* – адаптивність апаратного оточення, *Sea* – адаптивність програмного оточення, *Noftwnca* – кількість операційних функцій, завдання яких не були виконані або неадекватні, *Tnfwtde* – загальна кількість функцій, які були випробувані за різних умов;

$$Inb = \varphi_{30}(Nofl, Nso, Nis, Eoi), \quad (38)$$

де *Nso* – кількість операцій налаштування, *Nis* – кількість кроків інсталяції, *Eoi* – простота інсталяції;

$$Rpb = \varphi_{31}(Nof, Ndi, Net), \quad (39)$$

де *Net* – кількість сутностей.

Тоді множини атрибутів для підхарактеристик нефункційних характеристик ПЗ мають вигляд:

$I = \{Nof, Ficn, Faq, Fic\}$ – множина атрибутів для функційної повноти; $J = \{Ot, Nic, Ndi, Ca, Pc\}$ – множина атрибутів для функційної коректності; $K = \{Ot, Nof, Ficn, Faq, Fic, Pc\}$ – множина атрибутів для функційної доцільності;

$L = \{Ot, Nmot, Rt, Noe, Tnt, Tskt, Mathr\}$ – множина атрибутів для поведінки у часі; $M = \{Ot, Nofl, Noe, Niore, Uwt, Nmre, Ntre, Tcc, Iou, Nolcd, Ioll, Mmu, Mtu, Mote\}$ – множина атрибутів для поведінки ресурсів; $N = \{Ndi, Ncu, Cbw, Mathr, Sdb\}$ – множина атрибутів для ємності (місткості);

$O = \{Nof, Nott, Niodi, Cnd, Fua, Uaio\}$ – множина атрибутів для розпізнавання доцільності; $P = \{Nof, Ot, Efl, Nmot, Hfq, Eudhs, Haa, Cudhf\}$ – множина атрибутів для можливості вивчення; $Q = \{Nof, Ot, Ecr, Nsf, Nuec, Nac, Niore, Nop, Niwccvd, Nmi, Nie, Pha, Neum\}$ – множина атрибутів для керованості; $R = \{Nurs, Nuec, Otpdo, Nouheo, Niewusc, Nacie, Necwusc, Tnect, Nfiuet, Tnftrc, Tniop\}$ – множина атрибутів для захисту від помилок користувача; $S = \{Nie, Nige, Dipu, Disu, Dea, Drwmu\}$ – множина атрибутів для естетичності інтерфейсу; $T = \{Ewschusd, Ewusd, Ffrusd, Susd, Ppsa\}$ – множина атрибутів для доступності;

$U = \{Ot, Nofl, Nof, Ps, Ntc, Nrf, Ncf, Fdatc, Frn, Frl, Mthf, Tmy, Elfd, Fdy\}$ – множина атрибутів для зрілості; $V = \{Ot, Ttdwsis, Nob, Tdt\}$ – множина атрибутів для наявності (доступності); $W = \{Nofl, Ntc, Nbd, Nof, Nio\}$ – множина атрибутів для відмовостійкості; $X = \{Ot, Nbd, Tir, Dt, Nrs, Nrn, Ray\}$ – множина атрибутів для відновлюваності;

$Y = \{Ot, Nofl, Nof, Ndi\}$ – множина атрибутів для співіснування; $Z = \{Ot, Ndftr, Ndfbe, Nip, Deay\}$ – множина атрибутів для взаємодії;

$AA = \{Ot, Nio, Ntc, Nidc, Ndi, Nat, Ncr, Aca, Ndiced, Ndibred\}$ – множина атрибутів для конфіденційності; $AB = \{Ot, Nio, Ntc, Nidc, Ndi, Nat, Ncr, Aca\}$ – множина атрибутів для цілісності;

$AC = \{Nepuds, Nernrp\}$ – множина атрибутів для невідхилюваності; $AD = \{Nasdrsl, Naao\}$ – множина атрибутів для підзвітності; $AE = \{Npm\}$ – множина атрибутів для ідентичності;

$AF = \{Ot, Nofl, Nrf, Nmm, Nv, Nof, Nm\}$ – множина атрибутів для модульності;
 $AG = \{Fcy, Nfcy, Vrn, Aay, Tay, Cra\}$ – множина атрибутів для повторного використання;
 $AH = \{Nofl, Ndi, Ert, Nirbl, Ndf, Atc\}$ – множина атрибутів для аналізованості;
 $AI = \{Ot, Nrv, Nrf, Ert, Nof, Ccca, Ntcpbm, Ntspam\}$ – множина атрибутів для модифікованості;
 $AJ = \{Ot, Ntc, Nrf, Nbf, Ntdos, Ncp\}$ – множина атрибутів для тестованості;

$AK = \{Nof, Ot, Nofl, Puf, Ndi, Nds, Aads, Hea, Sea, Noftwnca, Tnfwtde\}$ – множина атрибутів для адаптованості;
 $AL = \{Nofl, Nso, Nis, Eoi\}$ – множина атрибутів для можливості інсталяції;
 $AM = \{Nof, Ndi, Net\}$ – множина атрибутів для можливості заміни.

Враховуючи отримані множини атрибутів та підхарактеристик нефункційних характеристик ПЗ, отримані функції залежностей характеристик від підхарактеристик і підхарактеристик від атрибутів, а також відношення між поняттями онтології «залежить від», розробимо базові (універсальні) онтологічні моделі нефункційних характеристик ПЗ (принципи розроблення базових онтологічних моделей представлені у [21]). Тоді:

- базова онтологічна модель функційної придатності:

$$O_{Fs} = \{\{Fs, A, I, J, K\}, "depends\ on", \{f_1, \Phi_1, \Phi_2, \Phi_3\}\} = \{\{fsa_1, \dots, fsa_{19}\}, "depends\ on", \{f_1, \Phi_1, \Phi_2, \Phi_3\}\}, \quad (40)$$

де $fsa_1 = Fs$, $\{fsa_2, \dots, fsa_4\} \in A$, $\{fsa_5, \dots, fsa_8\} \in I$, $\{fsa_9, \dots, fsa_{13}\} \in J$, $\{fsa_{14}, \dots, fsa_{19}\} \in K$;

- базова онтологічна модель ефективності:

$$O_{Pe} = \{\{Pe, B, L, M, N\}, "depends\ on", \{f_2, \Phi_4, \Phi_5, \Phi_6\}\} = \{\{pea_1, \dots, pea_{30}\}, "depends\ on", \{f_2, \Phi_4, \Phi_5, \Phi_6\}\}; \quad (41)$$

- базова онтологічна модель зручності використання:

$$O_{Ub} = \{\{Ub, C, O, P, Q, R, S, T\}, "depends\ on", \{f_3, \Phi_7, \Phi_8, \Phi_9, \Phi_{10}, \Phi_{11}, \Phi_{12}\}\} = \{\{uba_1, \dots, uba_{56}\}, "depends\ on", \{f_3, \Phi_7, \Phi_8, \Phi_9, \Phi_{10}, \Phi_{11}, \Phi_{12}\}\}; \quad (42)$$

- базова онтологічна модель надійності:

$$O_{Rb} = \{\{Rb, D, U, V, W, X\}, "depends\ on", \{f_4, \Phi_{13}, \Phi_{14}, \Phi_{15}, \Phi_{16}\}\} = \{\{rba_1, \dots, rba_{35}\}, "depends\ on", \{f_4, \Phi_{13}, \Phi_{14}, \Phi_{15}, \Phi_{16}\}\}; \quad (43)$$

- базова онтологічна модель сумісності:

$$O_{Cb} = \{\{Cb, E, Y, Z\}, "depends\ on", \{f_5, \Phi_{17}, \Phi_{18}\}\} = \{\{cba_1, \dots, cba_{12}\}, "depends\ on", \{f_5, \Phi_{17}, \Phi_{18}\}\}; \quad (44)$$

- базова онтологічна модель захищеності:

$$O_{Scr} = \{\{Scr, F, AA, AB, AC, AD, AE\}, "depends\ on", \{f_6, \Phi_{19}, \Phi_{20}, \Phi_{21}, \Phi_{22}, \Phi_{23}\}\} = \{\{scra_1, \dots, scra_{29}\}, "depends\ on", \{f_6, \Phi_{19}, \Phi_{20}, \Phi_{21}, \Phi_{22}, \Phi_{23}\}\}; \quad (45)$$

- базова онтологічна модель супроводжуваності:

$$O_{Mb} = \{\{Mb, G, AF, AG, AH, AI, AJ\}, "depends\ on", \{f_7, \Phi_{24}, \Phi_{25}, \Phi_{26}, \Phi_{27}, \Phi_{28}\}\} = \{\{mba_1, \dots, mba_{39}\}, "depends\ on", \{f_7, \Phi_{24}, \Phi_{25}, \Phi_{26}, \Phi_{27}, \Phi_{28}\}\}; \quad (46)$$

- базова онтологічна модель можливості переносу:

$$O_{Pb} = \{\{Pb, H, AK, AL, AM\}, "depends\ on", \{f_8, \Phi_{29}, \Phi_{30}, \Phi_{31}\}\} = \{\{pba_1, \dots, pba_{22}\}, "depends\ on", \{f_8, \Phi_{29}, \Phi_{30}, \Phi_{31}\}\}. \quad (47)$$

Онтології (онтологічні база знань), які розробляються за моделями (40)-(47), наповнюються на основі інформації, взятої зі стандартів ISO 25010:2011, ISO 25023:2016.

Тоді онтологічні моделі нефункційних характеристик конкретного ПЗ мають вигляд:

- онтологічна модель функційної придатності:

$$O_{Fs}^{real} = \{\{fsa_1, \dots, fsa_m\}, "depends\ on", \{f_1, \Phi_1, \Phi_2, \Phi_3\}\}, \quad (48)$$

де $m \leq 19$ – кількість атрибутів підхарактеристик функційної придатності, наявних у специфікації вимог до конкретного ПЗ, а також кількість підхарактеристик функційної придатності, які можна обчислити на основі наявних атрибутів;

- онтологічна модель ефективності:

$$O_{Pe}^{real} = \{\{pea_1, \dots, pea_n\}, "depends\ on", \{f_2, \Phi_4, \Phi_5, \Phi_6\}\}; \quad (49)$$

де $n \leq 30$ – кількість атрибутів підхарактеристик ефективності, наявних у специфікації вимог до конкретного ПЗ, а також кількість підхарактеристик ефективності, які можна обчислити на основі наявних атрибутів;

- онтологічна модель зручності використання:

$$O_{Ub}^{real} = \{\{uba_1, \dots, uba_k\}, "depends\ on", \{f_3, \Phi_7, \Phi_8, \Phi_9, \Phi_{10}, \Phi_{11}, \Phi_{12}\}\}; \quad (50)$$

де $k \leq 56$ – кількість атрибутів підхарактеристик зручності використання, наявних у специфікації вимог до конкретного ПЗ, а також кількість підхарактеристик зручності використання, які можна обчислити на основі наявних атрибутів;

- онтологічна модель надійності:

$$O_{Rb}^{real} = \{\{rba_1, \dots, rba_o\}, "depends\ on", \{f_4, \Phi_{13}, \Phi_{14}, \Phi_{15}, \Phi_{16}\}\}; \quad (51)$$

де $o \leq 35$ – кількість атрибутів підхарактеристик надійності, наявних у специфікації вимог до конкретного ПЗ, а також кількість підхарактеристик надійності, які можна обчислити на основі наявних атрибутів;

- онтологічна модель сумісності:

$$O_{Cb}^{real} = \{\{cba_1, \dots, cba_p\}, "depends\ on", \{f_5, \Phi_{17}, \Phi_{18}\}\}; \quad (52)$$

де $p \leq 12$ – кількість атрибутів підхарактеристик сумісності, наявних у специфікації вимог до конкретного ПЗ, а також кількість підхарактеристик сумісності, які можна обчислити на основі наявних атрибутів;

- онтологічна модель захищеності:

$$O_{Scr}^{real} = \{\{scra_1, \dots, scra_q\}, "depends\ on", \{f_6, \Phi_{19}, \Phi_{20}, \Phi_{21}, \Phi_{22}, \Phi_{23}\}\}; \quad (53)$$

де $q \leq 29$ – кількість атрибутів підхарактеристик захищеності, наявних у специфікації вимог до конкретного ПЗ, а також кількість підхарактеристик захищеності, які можна обчислити на основі наявних атрибутів;

- онтологічна модель супроводжуваності:

$$O_{Mb}^{real} = \{\{mba_1, \dots, mba_r\}, "depends\ on", \{f_7, \Phi_{24}, \Phi_{25}, \Phi_{26}, \Phi_{27}, \Phi_{28}\}\}; \quad (54)$$

де $r \leq 39$ – кількість атрибутів підхарактеристик супроводжуваності, наявних у специфікації вимог до конкретного ПЗ, а також кількість підхарактеристик супроводжуваності, які можна обчислити на основі наявних атрибутів;

- онтологічна модель можливості переносу:

$$O_{pb}^{real} = \{\{pba_1, \dots, pba_l\}, "depends\ on", \{f_8, \Phi_{29}, \Phi_{30}, \Phi_{31}\}\}. \quad (55)$$

де $l \leq 22$ – кількість атрибутів підхарактеристик можливості переносу, наявних у специфікації вимог до конкретного ПЗ, а також кількість підхарактеристик можливості переносу, які можна обчислити на основі наявних атрибутів.

Онтології (онтологічні бази знань), які розробляються за моделями (48)-(55), наповнюються на основі інформації, взятої зі специфікації вимог до конкретного програмного забезпечення.

Моделювання діяльності інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для оцінювання специфікацій вимог до програмного забезпечення

Пропонований інтелектуальний агент на основі онтологічного підходу використовує під час свого функціонування базові онтології нефункційних характеристик ПЗ як відомі йому факти, з якими він зіставляє інформацію, отриману зі специфікації вимог до реального ПЗ, представлену у вигляді реальних онтологій, на основі чого оцінює інформацію у специфікації вимог до ПЗ та приймає рішення про подальші дії.

Отже, процес оцінювання специфікації вимог інтелектуальним агентом полягає у: 1) порівнянні онтологій нефункційних характеристик конкретного ПЗ з базовими онтологіями нефункційних характеристик ПЗ з метою виявлення атрибутів, відсутніх у специфікації вимог до ПЗ, за якою реальні онтології були побудовані, а також виявлення підхарактеристик та нефункційних характеристик ПЗ, які неможливо обчислити на основі наявних у специфікації вимог до конкретного ПЗ атрибутів; 2) формуванні висновку про достатність або недостатність інформації у специфікації вимог для визначення кожної нефункційної характеристики ПЗ окремо та для визначення всіх нефункційних характеристик ПЗ разом; 3) розрахунку числових оцінок рівня достатності наявної у специфікації вимог інформації для визначення кожної нефункційної характеристики ПЗ; 4) розрахунку числової оцінки рівня достатності наявної у специфікації вимог інформації для визначення всіх нефункційних характеристик ПЗ.

Нехай $SMM_{Fs} = O_{Fs} \setminus (O_{Fs} \cap O_{Fs}^{real})$, де: $SMM_{Fs} = \{f_{sa_1}, \dots, f_{sa_{(19-m)}}\}$ – множина атрибутів підхарактеристик функційної придатності, відсутніх у специфікації вимог до конкретного ПЗ, а також кількість підхарактеристик функційної придатності, які неможливо обчислити на основі наявних атрибутів; $SMM_{Pe} = O_{Pe} \setminus (O_{Pe} \cap O_{Pe}^{real})$, де: $SMM_{Pe} = \{pea_1, \dots, pea_{(30-n)}\}$ – множина атрибутів підхарактеристик ефективності, відсутніх у специфікації вимог до конкретного ПЗ, а також кількість підхарактеристик ефективності, які неможливо обчислити на основі наявних атрибутів; $SMM_{Ub} = O_{Ub} \setminus (O_{Ub} \cap O_{Ub}^{real})$, де: $SMM_{Ub} = \{uba_1, \dots, uba_{(56-k)}\}$ – множина атрибутів підхарактеристик зручності використання, відсутніх у специфікації вимог до конкретного ПЗ, а також кількість підхарактеристик зручності використання, які неможливо обчислити на основі наявних атрибутів; $SMM_{Rb} = O_{Rb} \setminus (O_{Rb} \cap O_{Rb}^{real})$, де: $SMM_{Rb} = \{rba_1, \dots, rba_{(35-o)}\}$ – множина атрибутів підхарактеристик надійності, відсутніх у специфікації

вимог до конкретного ПЗ, а також кількість підхарактеристик надійності, які неможливо обчислити на основі наявних атрибутів; $SMM_{Cb} = O_{Cb} \setminus (O_{Cb} \cap O_{Cb}^{real})$, де: $SMM_{Cb} = \{cba_1, \dots, cba_{(12-p)}\}$ – множина атрибутів підхарактеристик сумісності, відсутніх у специфікації вимог до конкретного ПЗ, а також кількість підхарактеристик сумісності, які неможливо обчислити на основі наявних атрибутів; $SMM_{Scr} = O_{Scr} \setminus (O_{Scr} \cap O_{Scr}^{real})$, де: $SMM_{Scr} = \{scra_1, \dots, scra_{(29-q)}\}$ – множина атрибутів підхарактеристик захищеності, відсутніх у специфікації вимог до конкретного ПЗ, а також кількість підхарактеристик захищеності, які неможливо обчислити на основі наявних атрибутів; $SMM_{Mb} = O_{Mb} \setminus (O_{Mb} \cap O_{Mb}^{real})$, де: $SMM_{Mb} = \{mba_1, \dots, mba_{(39-r)}\}$ – множина атрибутів підхарактеристик супроводжуваності, відсутніх у специфікації вимог до конкретного ПЗ, а також кількість підхарактеристик супроводжуваності, які неможливо обчислити на основі наявних атрибутів; $SMM_{Pb} = O_{Pb} \setminus (O_{Pb} \cap O_{Pb}^{real})$, де: $SMM_{Pb} = \{pba_1, \dots, pba_{(22-l)}\}$ – множина атрибутів підхарактеристик можливості переносу, відсутніх у специфікації вимог до конкретного ПЗ, а також кількість підхарактеристик можливості переносу, які неможливо обчислити на основі наявних атрибутів.

Продукційні правила для формування висновку щодо достатності або недостатності інформації у специфікації вимог для визначення кожної нефункційної характеристики ПЗ:

- для функційної придатності:

$$\begin{aligned} &\text{if } SMM_{Fs} = \emptyset \text{ then "SRS information is sufficient for Functional Suitability"} \\ &\text{else "SRS information is insufficient for Functional Suitability"} \end{aligned} \quad (56)$$

- для ефективності:

$$\begin{aligned} &\text{if } SMM_{Pe} = \emptyset \text{ then "SRS information is sufficient for Performance Efficiency"} \\ &\text{else "SRS information is insufficient for Performance Efficiency"} \end{aligned} \quad (57)$$

- для зручності використання:

$$\begin{aligned} &\text{if } SMM_{Ub} = \emptyset \text{ then "SRS information is sufficient for Usability"} \\ &\text{else "SRS information is insufficient for Usability"} \end{aligned} \quad (58)$$

- для надійності:

$$\begin{aligned} &\text{if } SMM_{Rb} = \emptyset \text{ then "SRS information is sufficient for Reliability"} \\ &\text{else "SRS information is insufficient for Reliability"} \end{aligned} \quad (59)$$

- для сумісності:

$$\begin{aligned} &\text{if } SMM_{Cb} = \emptyset \text{ then "SRS information is sufficient for Compatibility"} \\ &\text{else "SRS information is insufficient for Compatibility"} \end{aligned} \quad (60)$$

- для захищеності:

$$\begin{aligned} &\text{if } SMM_{Scr} = \emptyset \text{ then "SRS information is sufficient for Security"} \\ &\text{else "SRS information is insufficient for Security"} \end{aligned} \quad (61)$$

- для супроводжуваності:

$$\begin{aligned} &\text{if } SMM_{Mb} = \emptyset \text{ then "SRS information is sufficient for Maintainability"} \\ &\text{else "SRS information is insufficient for Maintainability"} \end{aligned} \quad (62)$$

- для можливості переносу:

$$\begin{aligned} &\text{if } SMM_{Pb} = \emptyset \text{ then "SRS information is sufficient for Portability"} \\ &\text{else "SRS information is insufficient for Portability"} \end{aligned} \quad (63)$$

Продукційне правило для формування висновку щодо достатності або недостатності інформації у специфікації вимог для визначення всіх нефункційних характеристик ПЗ:

$$\begin{aligned} &\text{if } (SMM_{Fs} \cup SMM_{Pe} \cup SMM_{Ub} \cup SMM_{Rb} \cup SMM_{Cb} \cup SMM_{Scr} \cup SMM_{Mb} \cup SMM_{Pb}) = \emptyset \\ &\text{then "SRS information is sufficient" else "SRS information is insufficient"} \end{aligned} \quad (64)$$

Розроблена модель діяльності інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для оцінювання специфікацій вимог до ПЗ відображає особливості оцінювання достатності інформації для визначення нефункційних характеристик ПЗ та є теоретичним підґрунтям для розроблення методів діяльності інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для оцінювання специфікацій вимог до ПЗ.

Висновки

Проведений аналіз відомих інтелектуальних агентів на основі онтологічного підходу показав, що вони не розв'язують задачу кількісного оцінювання достатності інформації у специфікації вимог до ПЗ для визначення нефункційних характеристик ПЗ.

У статті вперше запропоновані теоретико-множинні, базові (універсальні) онтологічні моделі нефункційних характеристик ПЗ, а також онтологічні моделі нефункційних характеристик конкретного ПЗ, які ґрунтуються на врахуванні вимог стандартів ISO 25010:2011 та ISO 25023:2016 і забезпечують підґрунтя для вибору достатнього обсягу інформації для оцінювання нефункційних характеристик ПЗ.

Вперше розроблено також модель діяльності інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для оцінювання специфікацій вимог до ПЗ, яка ґрунтується на порівняльному аналізі онтологій та є теоретичним підґрунтям для розроблення методів діяльності інтелектуального агента на основі онтологічного підходу.

Література

1. Hastie Shane. Standish Group 2015 Chaos Report – Q&A with Jennifer Lynch [Electronic resource] / Shane Hastie, Stéphane Wojewoda. – Electronic data. – Mode of access: <http://www.infoq.com/articles/standish-chaos-2015> (viewed on June 20, 2018). – Title from the screen.
2. A Look at 25 Years of Software Projects. What Can We Learn? – Electronic data. – Mode of access: <https://speedandfunction.com/look-25-years-software-projects-can-learn/> (viewed on June 20, 2018). – Title from the screen.
3. McConnell S. Code complete /S. McConnell. – Microsoft Press, 2013. – 896 p.
4. Андон Ф. И. Semantic Web как новая модель информационного пространства Интернет / Ф. И. Андон, И. Ю. Гришанова, В. А. Резниченко // Проблемы програмування. – 2008. – №2-3. Спеціальний випуск. – С. 417-430.
5. Wooldridge M. Intelligent agents – theory and practice / M. Wooldridge, N. R. Jennings // Knowledge Engineering Review. – 1995. – Vol. 10. – Issue 2. – Pp. 115-152.
6. Burov E. Complex ontology management using task models / E. Burov // International Journal of Knowledge-Based and Intelligent Engineering Systems. – 2014. – Vol. 18. – No. 2. – Pp. 111-120.
7. Shostak I. Ontology approach to realization of information technology for normative profile forming at critical software certification / I. Shostak, I. Butenko // Збірник наукових праць Військового інституту КНУ ім. Т. Г. Шевченка. – 2012. – № 38. – С. 250–253.
8. Бабенко Л. Онтологический подход к спецификации свойств программных систем и их компонентов / Л. Бабенко // Кибернетика и системный анализ. – 2009. – № 1. – С. 180-187.
9. Assawamekin N. Ontology-based multiperspective requirements traceability framework / N. Assawamekin, A. Namfon, T. Sunetnanta, C. Pluempitiwiriyawej // Knowledge Information Systems. – 2010. – No. 3 – Pp. 493-522.
10. Zhang Y. G. Ontological approach for the semantic recovery of traceability links between software artefacts / Y. G. Zhang, R. Witte, J. Rilling, V. Haarslev // IET Software. – 2008. – Vol. 2. – Issue 3. – Pp. 185-203.
11. Leonid K. Ontology and model alignment as a means for requirements validation / K. Leonid, R. Gacitua, M. Rouncefield, P. Sawyer // The 4-th IEEE International Conference on Semantic Computing, September 22-24, 2010 : Proceedings. – Pittsburgh (USA), 2010. – Pp. 46-51.
12. Jin D. Ontology-based software analysis and reengineering tool integration: The OASIS service-sharing methodology / D. Jin, J. R. Cordy // The 21-st IEEE International Conference on Software Maintenance, September 25-30, 2005 : Proceedings. – Budapest (Hungary), 2005. – Pp. 613-616.
13. Bajnaid N. O. An ontological approach to model software quality assurance knowledge domain / N. O. Bajnaid, R. Benlamri, A. Pakstas, Sh. Salekzamankhani // Lecture Notes on Software Engineering. – 2016. – Vol. 4. – No. 3. – Pp. 193-198.
14. Hovorushchenko T. Information Technology for Assurance of Veracity of Quality Information in the Software Requirements Specification / T. Hovorushchenko // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2018. – Vol. 689. – Pp. 166-185.
15. Freitas A. Model-driven engineering of multi-agent systems based on ontologies / A. Freitas, R. H. Bordini, R. Vieira // Applied Ontology. – 2017. – Vol. 12. – Issue 2. – Pp. 157-188.
16. Ossowska K. Exploring an Ontological Approach for User Requirements Elicitation in the Design of Online Virtual Agents / K. Ossowska, L. Szewc, P. Weichbroth, I. Garnik, M. Sikorski // Information Systems: Development, Research, Applications, Education. – 2017. – Vol. 264. – Pp. 40-55.
17. Lezcano-Rodriguez L. A. Ontological characterization of basics of KAOS chart from natural language / L. A. Lezcano-Rodriguez, J. A. Guzman-Luna // Revista Iteckne. – 2016. – Vol. 13. – Issue 2. – Pp. 157-168.
18. Garcia-Magarino I. An ontological and agent-oriented modeling approach for the specification of intelligent Ambient Assisted Living systems for Parkinson patients / I. Garcia-Magarino, J. J. Gomez-Sanz // Hybrid Artificial Intelligent Systems. – 2013. – Vol. 8073. – Pp. 11-20.
19. Wilk S. A task-based support architecture for developing point-of-care clinical decision support systems for the emergency department / S. Wilk, W. Michalowski, D. O'Sullivan, K. Farion, J. Sayyad-Shirabad, C. Kuziemy, B. Kukawka // Methods of Information in Medicine. – 2013. – Vol. 52. – Issue 1. – Pp. 18-32.
20. Rakib A. A formal approach to modelling and verifying resource-bounded context-aware agents / A. Rakib, R. U. Faruqui // Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences Social Informatics and Telecommunications Engineering. – 2013. – Vol. 109. – Pp. 86-96.
21. T. Hovorushchenko. Models and Methods of Evaluation of Information Sufficiency for Determining the Software Complexity and Quality Based on the Metric Analysis Results // Central European Researchers Journal. – 2016. – Vol. 2. – Issue 2. – Pp.42-53.

References

1. Shane Hastie, Stéphane Wojewoda. Standish Group 2015 Chaos Report – Q&A with Jennifer Lynch [Electronic resource]. – Electronic data. – Mode of access: <http://www.infoq.com/articles/standish-chaos-2015> (viewed on June 20, 2018). – Title from the screen.
2. A Look at 25 Years of Software Projects. What Can We Learn? – Electronic data. – Mode of access: <https://speedandfunction.com/look-25-years-software-projects-can-learn/> (viewed on June 20, 2018). – Title from the screen.
3. S. McConnell. Code complete. – Microsoft Press, 2013. – 896 p.
4. F. I. Andon, I. Yu. Grishanova, V. A. Reznichenko. Semantic Web kak novaya model informacionnogo prostranstva Internet. – Problemy Programuvannya. – 2008. – No. 2-3. Special issue. – Pp. 417-430.
5. M. Wooldridge, N. R. Jennings. Intelligent agents – theory and practice // Knowledge Engineering Review. – 1995. – Vol. 10. – Issue 2. – Pp. 115-152.
6. E. Burov. Complex ontology management using task models // International Journal of Knowledge-Based and Intelligent Engineering Systems. – 2014. – Vol. 18. – No. 2. – Pp. 111-120.
7. Shostak, I. Butenko. Ontology approach to realization of information technology for normative profile forming at critical software certification // Zbirnyk naukovykh prats Viyskovogo instytutu KNU im. T. G. Shevchenka. – 2012. – № 38. – С. 250–253.
8. Babenko L. Ontologicheskii podhod k spetsifikatsii svoistv programmnih sistem i ih komponentov. – Kibernetika i systemnyi analiz. – 2009. – No. 1. – Pp. 180-187.
9. N. Assawamekin, A. Namfon, T. Sunetnanta, C. Pluempitiwiriyaewej. Ontology-based multiperspective requirements traceability framework // Knowledge Information Systems. – 2010. – No. 3 – Pp. 493-522.
10. Y. G. Zhang, R. Witte, J. Rilling, V. Haarslev. Ontological approach for the semantic recovery of traceability links between software artefacts // IET Software. – 2008. – Vol. 2. – Issue 3. – Pp. 185-203.
11. K. Leonid, R. Gacitua, M. Rouncefield, P. Sawyer. Ontology and model alignment as a means for requirements validation // The 4-th IEEE International Conference on Semantic Computing, September 22-24, 2010 : Proceedings. – Pittsburgh (USA), 2010. – Pp. 46-51.
12. D. Jin, J. R. Cordy. Ontology-based software analysis and reengineering tool integration: The OASIS service-sharing methodology // The 21 IEEE International Conference on Software Maintenance, September 25-30, 2005 : Proceedings. – Budapest (Hungary), 2005. – Pp. 613-616.
13. N. O. Bajnaid, R. Benlamri, A. Pakstas, Sh. Salekzamankhani. An ontological approach to model software quality assurance knowledge domain // Lecture Notes on Software Engineering. – 2016. – Vol. 4. – No. 3. – Pp. 193-198.
14. T. Hovorushchenko. Information Technology for Assurance of Veracity of Quality Information in the Software Requirements Specification // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2018. – Vol. 689. – Pp. 166-185.
15. Freitas, R. H. Bordini, R. Vieira. Model-driven engineering of multi-agent systems based on ontologies // Applied Ontology. – 2017. – Vol. 12. – Issue 2. – Pp. 157-188.
16. K. Ossowska, L. Szewc, P. Weichbroth, I. Garnik, M. Sikorski. Exploring an Ontological Approach for User Requirements Elicitation in the Design of Online Virtual Agents // Information Systems: Development, Research, Applications, Education. – 2017. – Vol. 264. – Pp. 40-55.
17. L. A. Lezcano-Rodriguez, J. A. Guzman-Luna. Ontological characterization of basics of KAOS chart from natural language // Revista Iteckne. – 2016. – Vol. 13. – Issue 2. – Pp. 157-168.
18. Garcia-Magarino, J. J. Gomez-Sanz. An ontological and agent-oriented modeling approach for the specification of intelligent Ambient Assisted Living systems for Parkinson patients // Hybrid Artificial Intelligent Systems. – 2013. – Vol. 8073. – Pp. 11-20.
19. S. Wilk, W. Michalowski, D. O'Sullivan, K. Farion, J. Sayyad-Shirabad, C. Kuziemy, B. Kukawka. A task-based support architecture for developing point-of-care clinical decision support systems for the emergency department // Methods of Information in Medicine. – 2013. – Vol. 52. – Issue 1. – Pp. 18-32.
- 19.1. Rakib, R. U. Faruqi. A formal approach to modelling and verifying resource-bounded context-aware agents // Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences Social Informatics and Telecommunications Engineering. – 2013. – Vol. 109. – Pp. 86-96.
20. T. Hovorushchenko. Models and Methods of Evaluation of Information Sufficiency for Determining the Software Complexity and Quality Based on the Metric Analysis Results // Central European Researchers Journal. – 2016. – Vol. 2. – Issue 2. – Pp. 42-53.

Рецензія / Peer review: 22.06.2018

Надрукована / Printed:

Рецензент: д.т.н., завідувач кафедри ТКИТ ХНУ, В.В.Мартинюк

МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ СКРИПТ-ВІРУСІВ НА ОСНОВІ ДИНАМІЧНОГО АНАЛІЗУ ПОВЕДІНКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

В роботі представлено метод виявлення скрипт-вірусів на основі динамічного аналізу поведінки програмного забезпечення в комп'ютерних системах. Метод дозволяє забезпечити реагування на нові скрипт-віруси, забезпечуючи захист комп'ютерних систем від як відомого, так і невідомого шкідливого програмного забезпечення типу скрипт-вірусів. Робота системи виявлення скрипт-вірусів здійснюється на основі обробки зібраних в комп'ютерній системі множини ознак скрипт-вірусів, виділення з неї підмножини таких ознак і створення таких необхідних для використання одного з множини класифікаторів, які дозволять виявити скрипт-віруси. Процес використовує апарат «багаторукового бандита» для вибору оптимального класифікатора програмного забезпечення, що дозволяє підвищити достовірність процесу виявлення скрипт-вірусів в комп'ютерних системах.

Ключові слова: скрипт-вірус, кібер-загрози, шкідливе програмне забезпечення, кібер-атака, комп'ютерна система.

S. LYSENKO, A. TSIUZIK
Khmelnytskyi National University

TECHNIQUE FOR SCRIPT-VIRUSES' DETECTION BASED ON THE DYNAMIC ANALYSIS OF THE SOFTWARE BEHAVIOUR IN THE COMPUTER SYSTEMS

The purpose of this paper is to develop a method for the script-viruses' detection based on the dynamic analysis of the software behaviour in the computer systems. The method allows to respond to new samples of script-viruses, providing the protection of the computer systems from both known and unknown samples of malicious scripts. The implementation of the method of detecting the script-viruses is based on the analysis of the set of script-virus features collected in the computer system. In order to detect the script-viruses, the method uses «the multi-armed bandit problem» for the purpose of the selection of the best classifier. The method consists of two stages: the training and the detection stages. In brief the technique involves the following steps: formation of the knowledge about functioning of the script-viruses in the computer systems; the formation of feature vectors of the malicious software; performing analysis of the script-viruses and distinguishing them into the classes; execution of the deletion of the detected malicious samples of the script-viruses.

Keywords: script-virus, computer system, malware, cyber threat, cyber- attack, software.

Вступ. За останні десять років кількість кібер-атак, здійснюваних шкідливим програмним забезпеченням (ШПЗ), непинно збільшується. Існує дві основні причини: все більше користувачів комп'ютерних систем (КС) та компаній проводять соціальні заходи та здійснюють ділові операції в цифровій формі; і все менше зусиль необхідно для успішного проведення кібер-атаки через збільшення кількості інструментів для виконання нападу. Зловмисне програмне забезпечення, зокрема, шкідливе програмне забезпечення, є однією з основних причин випадків кібер-атак. Згідно до звіту безпеки [1], у 2017 році, 16% з 45 мільйонів файлів, що відстежуються в кількох корпоративних мережах, є шкідливими програмами.

Стрімке збільшення шкідливих програм завдає серйозної шкоди широкій громадськості, бізнесу та національній безпеці. Це представляє загрозу цілісності і захисту персональних даних та обчислювальних систем. Розповсюдження шкідливих програм може мати різні наслідки, такі як порушення персональних або корпоративних даних та відмови критичної інфраструктури [2].

Одним з типів ШПЗ скрипт-віруси (script virus) – шкідливе програмне забезпечення, написане на мовах програмування Visual Basic, Basic Script, Java Script, Jscript, Shell тощо. На комп'ютерну систему користувача таке ШПЗ, найчастіше, проникає у вигляді поштових повідомлень, що містять у вкладеннях файли-сценарії. Програми на мовах Visual Basic і Java Script можуть розташовуватися як в окремих файлах, так і вбудовуватися в HTML – документ і в такому разі інтерпретуватися браузером, причому не лише з видаленого сервера, але і з локального диска [3].

Щоб здолати кібер-атаки, здійснювані шкідливим програмним забезпеченням типу скрипт-віруси, методи їх виявлення повинні мати можливість ідентифікувати та блокувати шкідливе програмне забезпечення з комп'ютерних систем або мережевого трафіку.

Одним з підходів до виявлення кібер-загроз, здійснюваних шкідливим програмним забезпеченням типу скрипт-віруси, є залучення механізмів машинного навчання, що надає можливості не лише виявляти, але й запобігати таким загрозам. Такі підходи покладаються на евристичні механізми і нечіткі відповідності, що надає перевагу перед звичайними методами, зокрема перевірки сигнатур [4–10].

З огляду на стан речей, що склався на даний момент, актуальною є задача розроблення методу виявлення ШПЗ типу скрипт-віруси, який мав би евристичну природу. Виявлення нових загроз має здійснюватися на основі динамічного аналізу поведінки програмного забезпечення в КС.

Метод виявлення скрипт-вірусів на основі динамічного аналізу поведінки програмного забезпечення в комп'ютерних системах

В роботі пропонується метод виявлення скрипт-вірусів на основі динамічного аналізу їх поведінки. Метод дозволяє забезпечити реагування на нові зразки ШПЗ типу скрипт-віруси, забезпечуючи захист комп'ютерних систем від як відомих, так і невідомих зразків шкідливих скриптів. Виконання методу виявлення ШПЗ типу скрипт-віруси здійснюється на основі обробки зібраних в комп'ютерній системі множини ознак скрипт-вірусів, а також вибору найоптимальнішого класифікатора для виявлення.

Для виявлення ШПЗ типу скрипт-віруси метод використовує так звану «задачу про багаторукого бандита» вибору оптимального класифікатора даних.

Метод складається з двох етапів:

- етап навчання системи виявлення кібер-загроз;
- етап виявлення ШПЗ типу скрипт-віруси.

Розглянемо кроки функціонування етапу навчання як складового методу виявлення скрипт-вірусів на основі динамічного аналізу їх поведінки:

- формування знань щодо ШПЗ типу скрипт-віруси на основі відомих поведінок;
- формування векторів ознак шкідливого програмного забезпечення типу скрипт-віруси;
- виконання аналізу шкідливого програмного забезпечення типу скрипт-віруси та поділ їх на класи;
- здійснення навчання наявних класифікаторів, необхідних для виявлення шкідливого програмного забезпечення типу скрипт-віруси та віднесення їх до відповідного класу, ґрунтуючись на навчальній вибірці з множини векторів ознак ШПЗ типу скрипт-віруси.

Розглянемо кроки функціонування етапу виявлення кібер-загроз на основі еволюційних алгоритмів:

- збір системної інформації, що вказує на можливу присутність ШПЗ типу скрипт-віруси;
- здійснення виявлення ШПЗ типу скрипт-віруси на основі застосування динамічного аналізу їх поведінки та вибору оптимального класифікатора для виявлення;
- на основі одержаного результату здійснення відповідного реагування на можливу присутність ШПЗ типу скрипт-віруси в КС.

Розглянемо більш детально етап навчання методу виявлення скрипт-вірусів на основі динамічного аналізу їх поведінки в КС більш детально.

Кожен конкретний навчальний зразок ШПЗ типу скрипт-вірус буде виконуватися кілька разів з різною довжиною виконання, яким позначимо множиною $\{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k\}$. Прийнемо кінцевий набір навчальної вибірки моделей навчання $F = \{f_1, f_2, \dots, f_k\}$.

Тренувальні зразки можуть бути сумішшю корисного ПЗ та деяких множини відомих зразків ШПЗ типу скрипт-вірус, які були аналізовані вручну антивірусними організаціями або іншими дослідниками зловмисного програмного забезпечення. Існуючі класифікатори (або алгоритми) можуть бути застосовані для виявлення в функціональному просторі для детектора з найменшою помилкою перехресного підтвердження матимуть вигляд $f_k : X_k \rightarrow Y$. Тут X_k – функціональний простір, отриманий з T_k періоду динамічного аналізу представлених зразків, а Y – простір мітки.

Вибір оптимального класифікатора для виявлення ШПЗ типу скрипт-вірус

З метою вибору оптимального класифікатора для виявлення ШПЗ типу скрипт-вірус метод використовує апарат «багаторукого бандиту» [11–13] (передбачається вибір коротшого періоду динамічного аналізу) на основі контекстної інформації вибірки. Навчання кращого класифікатора серед багатьох є необхідним, тому що на відміну від задач, таких як розпізнавання мови та тексту, де функції аудіо та зображення залишаються відносно постійними, поведінка шкідливих програм типу скрипт-віруси еволюціонує, й існує ймовірність оновлення функціоналу ШПЗ, що спричинить здатність ШПЗ стати невидимим для системи виявлення. Отже, необхідно формування декількох моделей з різною довжиною поведінкових профілів і дозволяти системі вибирати найкращий класифікатор для досягнення високої точності виявлення шляхом захоплення більшої поведінкової активності.

Класифікація шкідливого програмного забезпечення на основі поведінкових функцій.

Класифікація шкідливих програм на основі поведінкових функцій зазвичай моделюється як задача навчання з учителем. Беручи це до уваги, класифікатор шкідливого програмного забезпечення типу скрипт-вірус, який пройшов навчання з позначеними векторами ознак, буде застосовано до векторизованих функцій, щоб обчислити ймовірність того, що зразок є шкідливим. Особливості поведінки шкідливого програмного забезпечення значною мірою залежать від тривалості моніторингу, продуктивність класифікатора, у свою чергу, залежить від τ . Взагалі, збільшення значення τ призводить до точнішого результату роботи класифікатора, а зменшення – до погіршення результатів роботи класифікаторів. Для покращення продуктивності класифікатора шкідливих програм, збільшення тривалості моніторингу поведінки τ призведе до зростання ресурсоемності процесу виявлення.

Для ефективного застосування методу в цілому необхідним є дотримання балансу та компроміс між досягненням високої точності та затрачених ресурсів, пов'язаних зі встановлення значення параметра τ .

Таким чином, метод передбачає залучення множини класифікаторів $f_{\tau_1}, \dots, f_{\tau_k}$, що пройшли навчання з функціями поведінки з іншого періоду моніторингу $\tau_1, \dots, \tau_k$. Для кожної окремої задачі система в режимі реального часу вивчає, який класифікатор найкращий для вибору. Вказаний процес дозволяє інтерпретувати задачу як «задачу про багаторукого бандита» із застосуванням контекстної інформації про шкідливе

програмне забезпечення типу скрипт-віруси.

Формулювання задачі вибору класифікатора. «Задача про багаторукого бандита» включає множину K дій $A = \{a_1, \dots, a_K\}$. У кожній ітерації виконання дій $t = 1, \dots, T$, зроблено одну конкретну дію a_k та отримано винагороду $r_t(k)$ для даної дії. Нагорода $r_t(k)$ вибирається з стаціонарного розподілу ймовірностей, який залежить від дії k . Мета полягає у розробці стратегії, яка максимізує загальну винагороду шляхом вибору повторних дій.

Задача вибору класифікатора шкідливих програм може бути змодельована за допомогою контекстної багаторукої структури бандита.

Модуль вибору контекстної моделі демонструє підтримку кінцевого набору класифікаторів ШПЗ типу скрипт-віруси $F = \{f_1, f_2, \dots, f_k\}$, де $K = \{1, 2, \dots, k\}$, для якого кожен класифікатор $f_k \in F$, який динамічно навчається на основі поведінкових особливостей ШПЗ типу скрипт-віруси з певного часу виконання τ_k і пов'язаний з невідомим і фіксованим розподілом $D[0, 1]$.

У рамках процесу обробки запитів система виявлення вибере та застосує один з k класифікаторів до вектору поведінкових функцій даної вибірки x^t для виведення результату класифікації $y^t = f_k(x^t) \in Y = \{0, 1\}$. Це відповідає ручному вибору, для застосування апарату «задачі про багаторуких бандитів». У нашій моделі винагорода, отримана для модуля, вибравши f_k , є індикаторною функцією $r_t = 1$ ($y^t = y^{*t}$), в якій $y^{*t} \in Y$ є міткою зразка. Значок "1" у двозначному ярлику, на якому Y позначає шкідливе програмне забезпечення, та "0" для корисного програмного забезпечення.

Результат виявлення y^t також може бути прогнозуванням ймовірності (наприклад, $y^t \in Y' = [0, 1]$, значення з діапазону представляють найнижчу та найвищу можливість присутності шкідливого програмного забезпечення).

Варто зазначити, що векторний знак x^t та тренувальні особливості класифікатора f_k походять від поведінкових функцій, зібраних під час динамічного виконання для довжини часу τ_k .

Кожен з класифікаторів має очікувану або середню нагороду, оскільки вона обрана в декілька заходів – точність класифікатора. Приймемо позначення класифікатора, вибраного за часом t як F_t , таким чином, точність довільного класифікатора f_k , позначеного $q(f_k)$, є очікуваною нагородою, якщо вибрано f_k :

$$q(f_k) = E[r_t | F_t = f_k].$$

Точність – це простий та інтуїтивно зрозумілий показник для оцінки системи класифікації. Насправді, більшість динамічних систем, що базуються на системах класифікації шкідливих програм, представили результат оцінки в аналогічній формі вимірювання: точність, відкликання, оцінка $F1$ тощо, ігноруючи витрати, пов'язані з проведенням аналізу динамічних поведінкових особливостей.

Для забезпечення умови збалансованого компромісу між високою точністю аналізу та ресурсоемністю аналізу метод застосовує метрику «якості досвіду» Q_{f_k} .

Метрика «якість досвіду», одержуваного користувачем a^t на момент $t + \tau_k$, вибравши k -й класифікатор з F у момент часу t , є зважена сума точності класифікатора та витрати через τ_k часу динамічного аналізу:

$$Q(f_k) = q(f_k) - \beta c(\tau_k),$$

де $B \in [0, 1]$ – параметр компромісу, який залежить від прикладних вимог.

Метрика «якості досвіду» як вимірювання того, як працює система виявлення на основі хмар. Коротко, ми хочемо максимально збільшити очікування метрика «якості досвіду», визначивши, як довго виконувати кожен зразок, щоб застосувати один із підтримуваних класифікаторів на основі їх оціненого фідбеку, тобто історії метрика «якості досвіду». Оскільки у нас немає істинного значення $Q(f_k)$, ми повинні оцінити його для кожного k , щоб знайти максимум. Один із можливих методів – почати з великого значення k для вивчення якомога більшої кількості поведінкових функцій, доки не буде досягнута ситуація, коли найменший k , що призводить до найвищих емпіричних значень метрики «якості досвіду» серед K , і переходить до конкретного вибору оптимального значення k^* , щоб скористатися перевагами швидкого та точного виявлення. Проте цей жадний метод сприяє неоптимальному результату, оскільки в усіх майбутніх виявленнях вони використовують лише свій попередній відомий найкращий класифікатор, модель поведінки якої може бути неприйнятною для захоплення поведінкової характеристики нових зразків.

Хоча експлуатація корисна для максимального збільшення значення метрики «якості досвіду» на один крок, також необхідно вивчити інші класифікатори, не вибрані жадібним методом, щоб покращити передбачувану точність, оскільки дослідження в перспективі може забезпечити більшу загальну метрика «якості досвіду». Наприклад, якщо було виявлено, що f_1 – це класифікатор з жадібним вибором, тоді як деякі інші класифікатори оцінюються як такі, але невизначені. Невизначеність полягає в тому, що в майбутньому може існувати один із цих інших класифікаторів, які кращі, ніж f_1 , але невідомо, який з них у часі t . Метод передбачає здійснення вибору класифікатора на кожному етапі, і тоді необхідно краще вивчити інші класифікатори та визначити, які з них корисніші в довгостроковій перспективі.

В процесі навчання порівняння метрика «якості досвіду» з різними класифікаторами не є практичним. Краще вимірювання успіху в навчанні – це поняття втрат.

Втрати алгоритму навчання. Враховуючи загальну кількість запитів на виявлення зразка T , яка обробляється відповідно до алгоритму виявлення, сумарні втрати являють собою різницю між загальною метрикою «якості досвіду» шляхом застосування кращого класифікатора та загального метрика «якості досвіду», дотримуючись алгоритму у всіх T -виявленнях.

Метою розробки алгоритму для задачі «багаторукогого бандита» є мінімізація сукупності очікуваних втрат, які очікуються за лінійністю:

$$E[\text{Re } g_A(T)] = T\mu^* - E\left[\sum_{t=1}^T Q_t(A)\right]$$

де $\mu^* = \max_{1 \leq i \leq k} \mu_i$ очікується метрика «якості досвіду» кращого класифікатора. Складність алгоритму $O(\sqrt{KT \log T})$.

Застосування апарату контекстних «багаторуких бандитів» для виявлення скрипт-вірусів

Застосування підходу до виявлення скрипт-вірусів «багаторукими бандитами» на основі залучення метрики «якості досвіду» дозволяє визначити лише класифікатор, який обраний в момент часу t . Будь-яка додаткова інформація про зразок не враховується.

Щоб досягти поставленої мети, метод повинен вивчати овертайми, які класифікатор виконує найкраще для наступного запиту на виявлення. Важливо використати подібність сторонньої інформації та враховувати інформацію в майбутньому процесі навчання. Цю проблему можна природно моделювати як контекстуальну задачу «багаторуких бандитів». Тобто метрика «якості досвіду» виявлення залежить не тільки від обраного класифікатора, але також залежить від того, як вивчається наявна контекстна інформація, щоб отримати найкраще навчання.

Для того, щоб включити контекст зразка скрипт-вірусу в налаштування, метод передбачає спочатку формування контекстної функції із отриманого клієнтського запиту та виконується кластеризація контексту, щоб вибрати класифікатор відповідно до кластерного результату. Для цього необхідно абстрагувати функцію контексту зразка в момент t , використовуючи позначення $\theta^t \in \Theta$, де Θ являє собою d -вимірний функціональний простір. Контекст може містити інформацію про різні властивості файлу зразка скрипт-вірусу, наприклад заголовки файлу та інші стандартні метадані специфікації файлів.

Під цією контекстним формулювання необхідним є невідомий розподіл P через $(\Theta, Q_\Theta(f_1), \dots, Q_\Theta(f_k))$. На кожному кроці вибірка $(\Theta, Q_\Theta(f_1), \dots, Q_\Theta(f_k))$ береться з P , контекст Θ оголошується, а потім для одного класифікатора вибирається алгоритм бандитів, його значення метрики вираз $Q_\Theta Q_\Theta(f_k)$ визначеним. Алгоритм контекстних бандитів вибирає класифікатор для кожного часового інтервалу t на основі попередньої послідовності спостережень $(\Theta^1, f_k^1, Q_{\Theta^1}(f_k^1)), \dots, (\Theta^{t-1}, f_k^{t-1}, Q_{\Theta^{t-1}}(f_k^{t-1}))$ та поточний контекст Θ^t . Очікувані сукупні втрати (втрати навчання) алгоритму V відносно бенчмарку за часом T складають:

$$E[\text{Re } g_\beta(T)] = T\mu_\theta^* - E\left[\sum_{t=1}^T Q'_t(\beta(\theta))\right].$$

Очікувана кумулятивна винагорода дає швидкість конвергенції загальної очікуваної винагороди алгоритму навчання до вартості оптимального рішення. Будь-який алгоритм навчання має складність $O(N^\gamma)$ (для $\gamma < 1$) сходиться до оптимального рішення з точки зору очікуваної винагороди. Іншими словами, метою алгоритму V є мінімізація його втрат, що еквівалентно максимізації загальної винагороди.

Припущення: Контекстна задача «багаторукогого бандита» Ліпшица є парою просторів – контекстний простір Θ та функція F . Екземпляр завдання – це функція $\mu_{\theta \in \Theta} : \Theta \times F \rightarrow [0, 1]$, яка є Ліпшица функцією кожній координаті, тобто $\forall \theta, \theta' \in \Theta, \forall f_k \in F$, існує $M > 0$ і $0 < \alpha \leq 1$ таким, що

$$|\mu_\theta(f_k) - \mu_{\theta'}(f_k)| \leq M|\theta - \theta'|^\alpha$$

Зауваження: вищесказане припущення буде виконуватися, якщо очікуваний метрика «якості досвіду» $\mu_\theta(f)$ обмежена $\forall \theta, f$ і M обраний достатньо великим, а α суттєво малим. хоча перевага надається меншим розмірам M і α , тому що в цьому випадку існує більше інформації про подібність, яка може бути використана, і може призвести до кращої продуктивності системи.

Здійснення навчання контекстних «бандитів» для оптимізації метрики «якості досвіду». З метою виконання оптимізації метрики «якості досвіду» необхідним є здійснення навчання контекстних «бандитів» з цією метою необхідно розглянути питання кластеризації контексту та принципи використання контекстної інформації для оптимізації значення метрики «якості досвіду» через запропоновану контекстуальну модель «багаторукогого бандита». На фазах розвідки відбираються різні

класифікатори, щоб вивчати їх очікувану винагороду. У фазах експлуатації вибирається класифікатор з найкращою оцінкою нагородою, щоб максимізувати класифікаційні нагороди. Етапи дослідження та експлуатації змішані, на відміну від звичайних навчальних підходів, де виконується лише одна фаза тренувань, а потім фаза експлуатації.

Метрика «якості досвіду» для різних класифікаторів буде відрізнятися, оскільки тривалість поведінкових збірок має значний вплив на очікуване значення метрики «якості досвіду» $\mu(f_k^*)$. Класифікатор ШПЗ типу скрипт-віруси на основі поведінки. Збільшення часу виконання буде записувати більш комплексні поведінкові функції, які зазвичай призводять до більш точних результатів. Покращення в основному застосовується для виявлення шкідливих програм, які навмисно або ненавмисно затримують шкідливу поведінку після аналізу. Зрештою, короткий аналіз не охоплюватиме будь-які корисні функції поведінки для такого типу шкідливого програмного забезпечення та, призведе до хибного результату виявлення.

Дослідження контекстної кластеризації функцій. Розглянемо зв'язок між контекстною інформацією та точністю класифікатора $q(fk), q(fk)$, що, у свою чергу, впливає на значення метрики «якості досвіду». Наприклад, дві групи зразків ШПЗ типу скрипт-віруси зі значними властивостями файлів можуть отримувати різні значення метрики «якості досвіду» при застосуванні однакової політики відбору. Наприклад, однією групою є упаковані скрипт-віруси, а інша група неупаковані. Проблема навчання була б простою, якщо б не було контекстної інформації. Але, не використовуючи контекстну інформацію, ефективність алгоритму навчання може бути поганою, оскільки найкращі класифікації «оракула» можуть бути різними для різної контекстної інформації. Оскільки контекстний простір Θ може бути дуже великим і навіть безперервним, навчання найкращого класифікатора «оракула» для кожного окремого контексту $\theta \in \Theta$ є надзвичайно складним, якщо не неможливим. Щоб подолати цю перешкоду, алгоритм навчання спочатку розділить контекстний простір на менші підпростори (тобто кластери контексту) і вивчатиме найкращий класифікатор «оракул» у кожному підпросторі.

Як приклад, розглянемо алгоритм кластерного аналізу K-means як засіб розділу простору контексту. Алгоритм ітераційно виконується для кожної функції контексту навчального зразка скрипт-віруса, щоб віднести його до найближчому центроїду кластера за допомогою метрики евклідової відстані і перерахує середнє значення кожного центроїду за допомогою заданої йому точки.

Алгоритм K-means завжди буде збігатися з деяким кінцевим набором засобів для центроїдів.

Зауважте, що рішення не завжди може бути оптимальним і залежить від початкового налаштування центроїдів. Тому на практиці алгоритм K-means запускається кілька разів з різними випадковими початковими значеннями. Метод передбачає вибір найкращих центроїдів між різними рішеннями, мінімізуючи функцію витрат:

$$J(\ell^1, \dots, \ell^T, v_1, \dots, v_L) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \|\theta^t - v_{\ell^t}\|^2$$

де $\ell^t \in L = \{1, \dots, L\}$, $\ell^t \in L = \{1, \dots, L\}$ – це індекс кластера, до якого віднесено контекст θ^t вибірки, а v_{ℓ^t} – центроїди контекстного кластера.

Для конкретного запиту система виявлення отримує контекстні функції від клієнта як перший крок у транзакції виявлення. Отримана функція повинна бути нормалізованою. Наприклад, якщо включено лише розмір файлу в контекстну функцію, контекстне поле буде нормалізовано щодо максимального розміру файлу та мінімального розміру файлу, отриманого до цих пір. Нормалізовані контекстні функції будуть запускатися за допомогою попередньо вбудованої моделі кластеризації, і кластерний мітку вхідної вибірки буде виявлено. Алгоритм навчання визначатиме оптимальну тривалість трасування для цього зразка на основі мітки контексту та нагороди історії доступних класифікаторів.

Для кожної конкретної вибірки з кластерною міткою y_θ реалізована метрика **метрика** $Q_\theta(f_k) Q_\theta(f_k)$, вибравши f_k – як випадкову величину, взятую з невідомого розподілу із середнім $\mu_\theta(f_k) \mu_\theta(f_k)$, що також спочатку невідома. Однак, можна оцінити очікувану метрика «якості досвіду», спостерігаючи за багатьма реалізаціями винагороди від тестування зразків. Зокрема, найкращим класифікатором у контексті $\theta \in f^*(\theta) := \arg \max_{f_k \in F} \mu_\theta(f_k)$ $\theta \in f^*(\theta) := \arg \max_{f_k \in F} \mu_\theta(f_k)$ і найкраще значення очікуваної метрики «якості досвіду» для контекстного кластера $y_\theta \in \mu_\theta^* := \mu_\theta(f^*(\theta))$ $y_\theta \in \mu_\theta^* := \mu_\theta(f^*(\theta))$. Прийнемо $f^*(\theta) f^*(\theta)$

класифікатором «оракула» для контекстного кластера y_θ . Класифікатори «оракула» не визначені перед виявленням, але замість цього мають бути визначені. Навчання здійснюється шляхом багаторазового тестування зразків з класифікаторами з політикою вибору класифікатора, який повинен бути застосований.

Формальний опис алгоритму виявлення

Пропонований метод залучає алгоритм більшої вірогідності (UCB) [14, 15], але з інформацією про контекстну інформацію та оновлення класифікатора. Формальний опис алгоритму представлений на рисунку 1 (ConUCB). Він використовує зразок контекстної інформації, щоб визначити кращий класифікатор для контексту (таким чином, оптимальну динамічну довжину аналізу) протягом часового горизонту, максимально збільшуючи очікуваний метрика «якості досвіду» користувача служби виявлення шкідливих програм.

Під час процедури навчання алгоритм підтримує декілька лічильників та оцінювану точність $q^{-1}(f_k)$ та метрику $Q^{-1}(f_k)$ та метрику $Q^{-1}(f_k)q^{-1}(f_k)$ для кожного доступного класифікатора $F = (f_1, \dots, f_k)$ з різним контекстом типу v_l . Лічильник N_k^l записує, скільки разів класифікатор f_k був обраний для класифікації зразків, контекст яких v_l до округленого значення t . Лічильник N_k позначає загальну кількість класифікатора f_k , яка вибирається у всіх турах t . Лічильник N – це загальна кількість зразків, які були передані для аналізу. У початковому алгоритмі кожен класифікатор застосовується для кожного типу контексту для ініціалізації передбачуваної метрики $\bar{Q}(f_k)$. Для кожного майбутнього представленого зразка алгоритм спочатку запускає процедуру кластеризації, щоб отримати тип кластеру, а потім обрати класифікатор, беручи до уваги як максимально близькі поточні оцінки, так і дисперсію оцінки. Після вибору класифікатора та запуску виявлення, оцінку метрика «якості досвіду» та відповідних лічильників буде оновлено.

Input: $\alpha \in \mathbb{R}^+$, $\mathcal{S} = \{(\theta^1, \mathbf{x}^1), (\theta^2, \mathbf{x}^2), \dots, (\theta^t, \mathbf{x}^t)\}$,
 $\mathcal{F} = \{f_1, f_2, \dots, f_K\}$, $\mathcal{K} = \{1, \dots, K\}$, $\beta \in [0, 1]$,
 $\mathcal{M} = \{\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_L\}$, $\mathcal{L} = \{1, \dots, L\}$
Output: $\{y^1, \dots, y^t\} \in \{0, 1\}$

- 1: *Initialization:*
- 2: **for** $\ell \in \mathcal{L}$ **do**
- 3: **for** $k \in \mathcal{K}$ **do**
- 4: Randomly select $(\theta^m, \mathbf{x}^m)$
- 5: Set $\bar{q}_\ell(f_k) \leftarrow f_k(\mathbf{x}^m)$
- 6: Set $\bar{Q}_\ell(f_k) \leftarrow \bar{q}_\ell(f_k) - \beta c(\tau_k)$
- 7: Set $N_k^\ell \leftarrow 1$
- 8: **end for**
- 9: Set $N^\ell \leftarrow K$,
- 10: **end for**
- 11: Set $N \leftarrow LK$,
- 12:
- 13: **for** each malware detection request $(\theta^t, \mathbf{x}^t)$ **do**
- 14: $\ell^* = \arg \min_{\ell \in \mathcal{L}} \|\theta^t - \nu_\ell\|^2$
- 15: $k^* = \arg \max_{k \in \mathcal{K}} (\bar{Q}_{\ell^*}(f_k) + \sqrt{\frac{\alpha \ln N^{\ell^*}}{N_k^{\ell^*}}})$
- 16: Set $r_t = f_{k^*}(\mathbf{x}^t)$
- 17: Set $\bar{q}_{\ell^*}(f_{k^*}) \leftarrow \bar{q}_{\ell^*}(f_{k^*}) + \frac{1}{N_{k^*}^{\ell^*}} [r_t - \bar{q}_{\ell^*}(f_{k^*})]$
- 18: Set $\bar{Q}_{\ell^*}(f_{k^*}) \leftarrow \bar{q}_{\ell^*}(f_{k^*}) - \beta c(\tau_{k^*})$
- 19: Set $N^{\ell^*} \leftarrow N^{\ell^*} + 1$
- 20: Set $N_{k^*}^{\ell^*} \leftarrow N_{k^*}^{\ell^*} + 1$
- 21: Set $N \leftarrow N + 1$
- 22: **end for**

Рис. 1. Формальний опис алгоритму ConUCB

Кількість, яка є максимальною в рядку 15 даного алгоритму, – це верхня межа довіри до можливого значення метрики «якості досвіду» класифікатора f_k для конкретного типу контексту, де параметр α контролює ширину довірчого інтервалу. Кожен раз, коли класифікатор f_k вибирається для типу контексту v_l , дисперсія $\bar{Q}_l^*$ зменшується, оскільки N_k^{l*} знаходиться в знаменнику дисперсії. З іншого боку, кожен раз, коли класифікатор, крім f_k , вибирається для типу контексту v_l , термін дисперсії оціночної метрика «якості досвіду» для f_k буде зберігатися незмінним. У той час, коли для певного типу контексту буде

більше часу для класифікатора з нижчою оцінкою вартості, або вже вибраним буде довший час очікування, і, отже, нижча частота вибору.

У алгоритмі 1 видно, що якщо обрано класифікатор з великою варіативністю дисперсії, то цю дію можна розглядати як рішення, оскільки в такому випадку верхня межа є вільною і беручи $\overline{Q_{l^*}}$ як оцінку справжньої очікуваної нагорода є сумнівною. Ймовірно, деякі інші класифікатори перевершують значення f_k . І навпаки, якщо вибрано задачу з великим значенням метрики «якості досвіду», цю дію можна розглядати як шукане рішення. І навпаки, якщо вибирається рука з великим розрахунком $QoE \overline{Q_{l^*}}(f_k) QoE \overline{Q_{l^*}}(f_k)$, можна розглядати дію як експлуаторське рішення. Враховуючи те, що $\sqrt{\frac{\alpha \ln N_k}{N_k^{l^*}}} \sqrt{\frac{\alpha \ln N_k}{N_k^{l^*}}}$ швидко зменшується з кожним вибором k , кількість пошукових рішень обмежена.

Коли $\sqrt{\frac{\alpha \ln N_k}{N_k^{l^*}}}$ стає меншим, середній $\overline{Q_{l^*}}(f_k) \overline{Q_{l^*}}(f_k)$ наближається до справжнього очікуваного $QoE Q_{l^*}(f_k)$, і з високою ймовірністю, що класифікатор, що відповідає максимальному метрика «якості досвіду» для типу контексту, дійсно є оптимальним класифікатором контексту.

Формування множини поведінок ШПЗ типу скрипт-віруси для виконання експериментальних досліджень

Набір даних експерименту включав в себе 3000 портативних виконуваних зразків типу скрипт, серед яких 1500 – скрипт-віруси, а інші 1500 – безпечне програмне забезпечення. Мітка "Істина" отримується за допомогою будь-якого онлайн-сканера, наприклад Virus Total [14].

Експериментальна вибірка розподілена на три підмножини з кожним зразком по 1000.

Перша підмножина для початкової підготовки, друга підмножина для початкового тестування та постійного оновлення класифікаторів, а третя – підмножина для безперервного тестування.

На рисунку 2 показано розрізнення контекстної характеристики перших двох підмножин. У якості контекстної функції метод оперує розміром файлу.

Кількість кластерів визначається на підставі оцінки показника Silhouette, яка дозволила визначити кластери, які є щільними та добре розділеними, що відповідає вимогам кластеризації контексту.

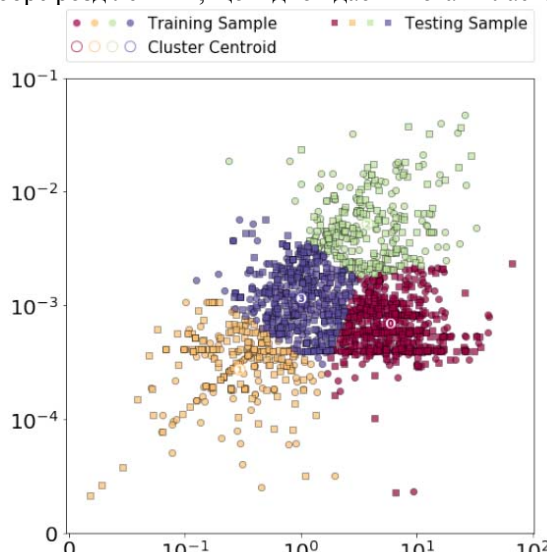


Рис. 2. Розрізнення контекстної характеристики програмного забезпечення

Для оцінки ефективності було використано функцію лінійної вартості, тобто $c(\tau_k) = \tau_k c(\tau_k) = \tau_k$ у визначенні метрика «якості досвіду» та порівнюємо передбачувану очікувану метрика «якості досвіду», отриману шляхом застосування запропонованих алгоритмів, а саме ConUCB та $\mathcal{E}$ -ConUCB, над класифікаторами та очікуваними метрика «якості досвіду», отримані кожним окремим класифікатором.

Перший експеримент використовував початковий набір навчальних даних щодо ШПЗ типу скрипт-віруси з 1000 зразків для побудови динамічних поведінкових класифікаторів та проводив оцінку, використовуючи початковий набір тестів з 1000 зразків. На рисунку 3 показано нормоване значення метрики «якості досвіду» при $\beta = 0.01$. Криві метрика «якості досвіду» отримуються шляхом розрахунку очікуваного значення ста партій за рандомізованими послідовностями вибірки тесту з запропонованим алгоритмом. Два запропонованих алгоритми навчання перевершують всі окремі класифікатори. Алгоритм

ConUCB покращив максимальне значення метрики «якості досвіду» з чотирьох окремих класифікаторів з 91% до 94% після 1000 партій класифікації шкідливих програм. ϵ -ConUCB алгоритм також отримує до 2% нагород. Оскільки експеримент має сталу кількість партій, а використовувана контекстна інформація обмежена розміром секції PE-коду та розміром файлу PE, значно вищий приріст продуктивності може очікуватися, коли буде відтворено більше партій і доступно більше контекстної інформації.

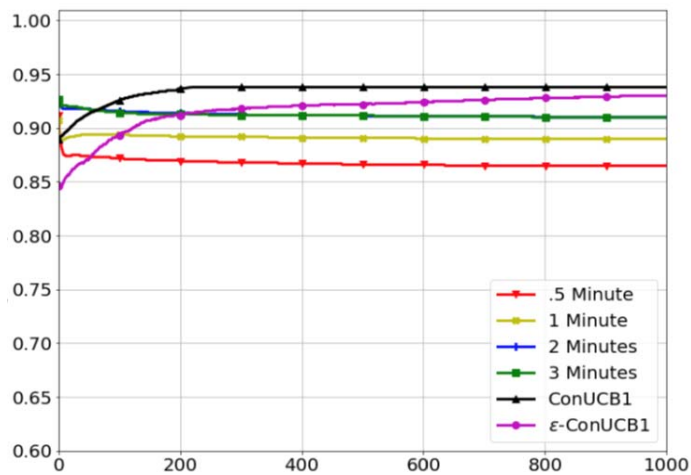


Рис. 3. Нормоване значення метрики «якості досвіду» при $\beta = 0.01$.

На рисунку 4 надано порівняння ефективності алгоритмів з продуктивністю кожного окремого класифікатора. Як і ConUCB, так і ϵ -ConUCB досягли нижчого рівня достовірності виявлення, ніж окремі класифікатори. ConUCB і ϵ -ConUCB збільшили площу під кривою ROC до 96% і 94%.

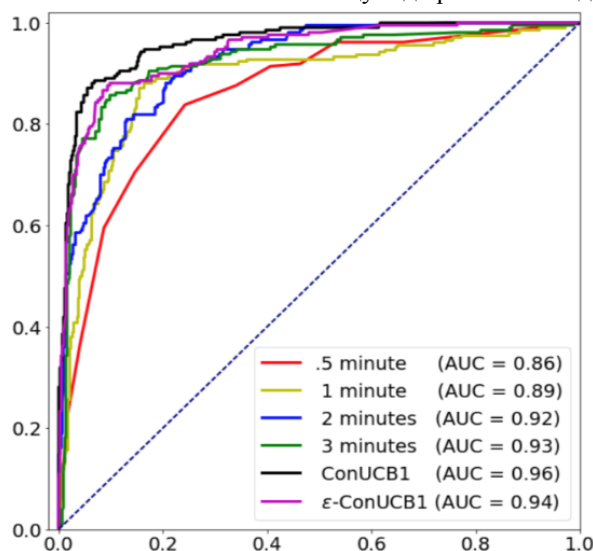


Рис. 4. Порівняння ефективності алгоритмів з продуктивністю кожного окремого класифікатора

На рисунку 5 представлена нормоване значення метрики «якості досвіду» для $\epsilon = 0.1$. У порівнянні з рисунком 4, збільшення значення коефіцієнта витрат зменшить значення метрики «якості досвіду» всіх чотирьох основних класифікаторів, таким чином, зменшиться значення метрики «якості досвіду» для ConUCB і ϵ -ConUCB, оскільки алгоритм, як правило, оптимізується до менш точного класифікатора, який пройшов навчання на 30 секунд пріоритетних характеристик функцій.

Динамічне навчання з контекстною інформацією

З метою дослідження ефективності методу було вивчено кожну дію окремо, із застосуванням алгоритму ConUCB. Рисунок 6 показує етапи вибору класифікатора протягом експерименту з 1000 раундів і показує отриману метрику «якості досвіду». Нижня панель кольорів на малюнку ілюструє всі 1000 дій з використанням чотирьох різних кольорів, кожен з яких представляє окремих класифікатор, який вибирається на кроці. Чотири панелі кольорів, розташовані над ним, ілюструють дії, здійснені під кожним різним контекстним кластером. Кожен рядок з цих чотирьох панелей кольорів включає в себе дії, взяті над зразками, належить до одного контекстного кластера. З чотирьох панелей кольорів на рисунку можна помітити, що кожен контекстний кластер поступово найкраще навчився класифікатором для вибору в конкретному контексті. Наприклад, у перших 200 діях ConUCB не має ніяких переваг для будь-яких

окремих класифікаторів, і кожен класифікатор має таку саму ймовірність вибору. Це відповідає фазі дослідження. З іншого боку, коли «гра» триває до 800-го раунду, алгоритм вступає в фазу експлуатації, оскільки найкращий класифікатор для контексту виділений з високою ймовірністю.

Рис. 7 показує відсоток найкращої дії в різному раунді, застосовуючи ConUCB з $\beta = 0.01$.

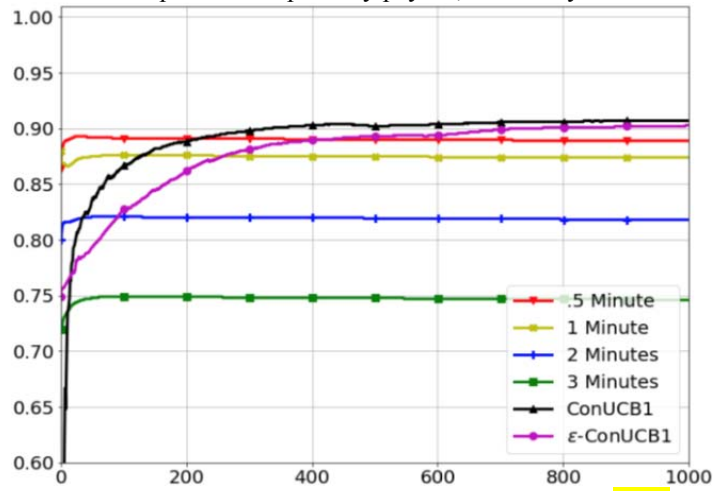


Рис. 5. Нормоване значення метрики «якості досвіду» для $\epsilon = 0.1$

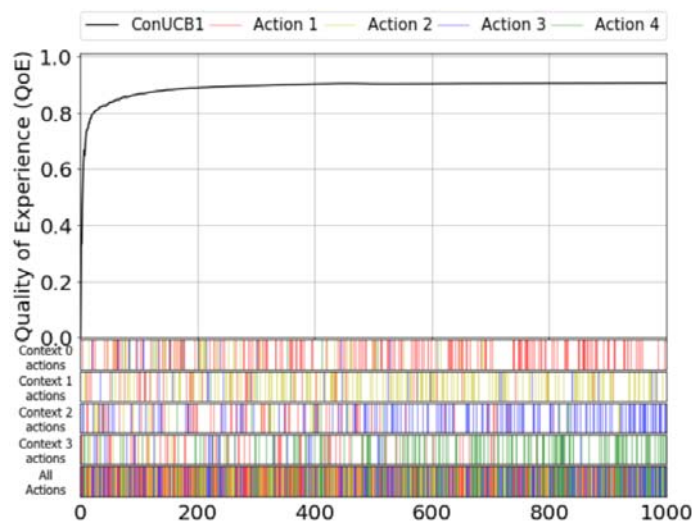


Рис. 6. Нормоване значення метрики «якості досвіду» для кожного раунду

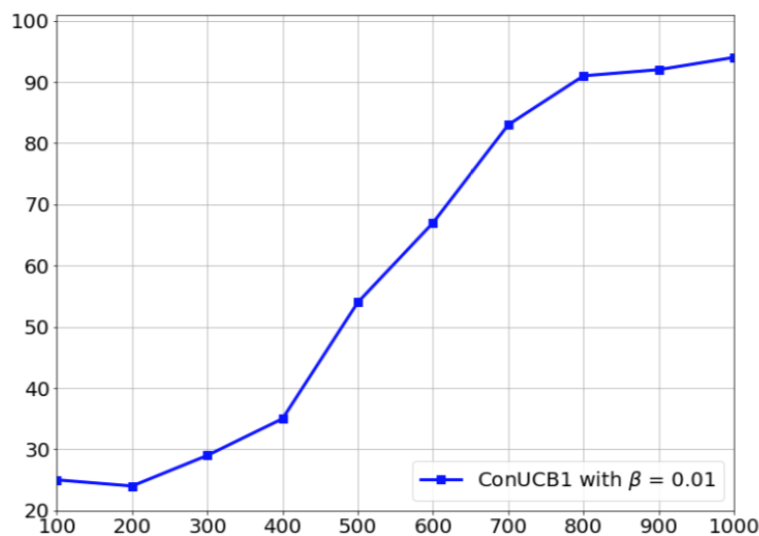


Рис. 7. Відсоток найкращої дії в різному раунді, застосовуючи ConUCB з $\beta = 0.01$

Висновки

Запропоновано метод виявлення скрипт-вірусів на основі динамічного аналізу поведінки програмного забезпечення в комп'ютерних системах.

Метод дозволяє забезпечити реагування на нові скрипт-віруси, забезпечуючи захист комп'ютерних систем від як відомого, так і невідомого шкідливого програмного забезпечення типу скрипт-вірусів.

Робота системи виявлення скрипт-вірусів здійснюється на основі обробки зібраних в комп'ютерній системі множини ознак скрипт-вірусів, виділення з неї підмножини таких ознак і створення таких необхідних для використання одного з множини класифікаторів, які дозволять виявити скрипт-віруси.

Процес використовує апарат «багаторукогого бандита» для вибору оптимального класифікатора програмного забезпечення, що дозволяє підвищити достовірність процесу виявлення скрипт-вірусів в комп'ютерних системах.

Література

1. McAfee Antivirus Solution, "Top 10 malicious programs for PC", 2018. URL: <http://www.securelist.com>
2. Webroot, "Insights from Collective Threat Intelligence", Tech. Rep. April, 2018.
3. R. Perdisci, A. Lanzi, and W. Lee, "McBoost: Boosting Scalability in Malware Collection and Analysis using Statistical Classification of Executables", 2016, pp. 301–310.
4. S. M. Tabish, M. Z. Shafiq, and M. Farooq, "Malware Detection using Statistical Analysis of Byte-Level File Content", CSI-KDD '09 Proceedings of the ACM SIGKDD Workshop on CyberSecurity and Intelligence Informatics, pp. 23–31, 2011.
5. G. Jacob, P. M. Comparetti, M. Neugschwandtner, C. Kruegel, and G. Vigna, "A Static, Packer-Agnostic Filter to Detect Similar Malware samples", vol. 7591 LNCS, pp. 102–122, 2013.
6. LeDoux and A. Lakhotia, "Malware and machine learning", in Intelligent Methods for Cyber Warfare, 2015.
7. M. A. Rajab, L. Ballard, N. Lutz, P. Mavrommatis, and N. Provos, "CAMP: Content-Agnostic Malware Protection", NDSS, 2013.
8. C. Smutz, "GMU-TR-2015-11 Discerning Machine Learning Degradation via Ensemble Classifier Mutual Agreement Analysis," George Mason University, Tech. Rep., 2015.
9. P. Trinius, C. Willems, T. Holz, and K. Rieck, "A Malware Instruction Set for Behavior-Based Analysis", Sicherheit Schutz und Zuverlässigkeit SICHERHEIT, pp. 1–11, 2011.
10. J. Saxe and K. Berlin, "Deep neural network based malware detection using two dimensional binary program features", in Proceedings of the 2015 10th International Conference on Malicious and Unwanted Software (MALWARE), 2015, pp. 11–20.
11. O. Atan, Y. Andreopoulos, C. Tekin, and M. van der Schaar, "Bandit framework for systematic learning in wireless video-based face recognition", IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, vol. 9, no. 1, pp. 180–194, Feb 2015.
12. P. Auer, N. Cesa-Bianchi, and P. Fischer, "Finite-time analysis of the multiarmed bandit problem", Mach. Learn., vol. 47, no. 2-3, pp. 235–256, May 2002.
13. L. Li, W. Chu, J. Langford, and R. E. Schapire, "A Contextual-Bandit Approach to Personalized News Article Recommendation", 2010, p. 10, 2010.
14. "VirusTotal", URL: <https://www.virustotal.com>.

Рецензія/Peer review : 08.05.2018 р.

Надрукована/Printed : 12.07.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

МОДИФІКОВАНИЙ МЕТОД ОСТРІВНОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ТЕКСТОВИХ ДАНИХ

Запропоновано модифікований метод острівної кластеризації текстів, що базується на розбитті графу кореляції термів на групи. Проведено тестування точності та швидкості виконання кластеризації текстових документів за допомогою оригінального методу острівної кластеризації та модифікованого методу.

Ключові слова: кластеризація, острівна кластеризація, розбиття графу, k-medoids

Y.O. YUSYN, T.M. ZABOLOTNYA

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

MODIFIED METHOD OF ISLAND TEXT CLUSTERING

The implementation of clustering of natural-language text data is an important scientific and practical task. Thus, the improvement of existing and the development of new methods of clustering is an urgent task. In this paper, the method of island clustering is considered, in which the step of clustering of the received approximation of the terms co-occurrence graph is highlighted for the further improvement. On the basis of consideration of the original procedure of clustering of the terms co-occurrence graph its disadvantages were identified. As a solution to the described shortcomings of the original procedure of clustering the term correlation graph, using of the graph partitioning procedure in the clustering of the terms co-occurrence graph instead of the described original procedure is proposed. The use of the k-medoids method as a procedure of the terms correlation graph partitioning into groups is proposed. The three most common implementations of the k-medoids method are described: PAM, s-heuristics and clara. The modified method of island text clustering which is based on correlation graph partitioning is proposed. Testing of accuracy and speed of text clustering using the original island text clustering method and the proposed modified method has been carried out. This testing was conducted on two corpuses of news texts. Tests have shown that the results obtained by the proposed modified method of island text clustering is better by 3-8% by the accuracy criterion (depends on the chosen implementation of k-medoids method). At the same time, clustering is slowed down by 4-15%. Thus, the proposed modified method of island text clustering is appropriate to be used in practice in tasks where the accuracy of the results is more important than the speed of clustering execution.

Keywords: clustering, island clustering, graph partitioning, k-medoids.

Вступ

Починаючи з 1950-х років, людство стикнулося з явищем, яке згодом отримало назву «інформаційного вибуху» – невідомим зростанням кількості інформації, що генерується [1]. В першу чергу, це явище стосується текстових документів, що мають місце в науці, бізнесі, навчанні та інших сферах людської діяльності. Наприклад, тільки в 2012 році було згенеровано 2.8 зетабайти текстових даних, і відповідно до результатів проведених досліджень ця цифра на далі тільки зростатиме, подвоюючись кожні два роки [2]. При цьому потенційно корисними є лише 23% згенерованої інформації, а структурованими – лише 5% [2]. Наслідком такого розростання множини текстових документів стала необхідність в розробленні методів автоматичної попередньої систематизації масивів даних перед їх подальшим обробленням та/чи аналізом.

В таких умовах формулювання нових та вдосконалення існуючих методів автоматичної (unsupervised) кластеризації текстових документів, тобто розбиття корпусів документів на наперед не задані підмножини (кластери), стає актуальною задачею [3].

Тут слід відмітити, що оскільки зазвичай результати кластеризації текстів інтерпретуються безпосередньо людиною, остання повинна розуміти зміст знайденого кластеру і чому певні тексти були віднесені саме до нього. Це є важливим фактором, що відрізняє задачу кластеризації текстів від задач кластеризації інших видів даних. З цієї причини в якості критеріїв ефективності методів кластеризації текстів зазвичай використовується точність та швидкість виконання кластеризації тестових попередньо розмічених корпусів.

Постановка завдання

Одним з існуючих ефективних методів кластеризації текстів, що забезпечує зрозумілість процесу отримання кластерів для людини, є метод острівної кластеризації [4].

В основі цього методу лежить виконання двоетапної процедури: на першому етапі передбачено проведення кластеризації термів, з яких складаються документи; на другому етапі – побудова кластерів документів, виходячи з отриманих на першому етапі кластерів термів. Наведемо нижче більш детальний перелік кроків даного методу [4]:

Етап I. Кластеризація термів

1. Попереднє оброблення текстів з вхідної колекції документів: видалення стоп-слів, лематизація тощо.

2. Виділення з текстів множини термів, з яких вони складаються.

3. За необхідності – фільтрація отриманої множини термів (наприклад, в ситуаціях, коли відомі початкові центроїди кластерів або отримана множина є занадто великою).

4. Побудова графу кореляції термів між собою.

5. Попереднє оброблення графу і отримання його наближення.

6. Кластеризація отриманого наближення графу.

Етап 2. Побудова кластерів документів

1. Розбиття документів на кластери на основі отриманих кластерів термів.

В рамках даної роботи автори пропонують зосередити увагу на кластеризації отриманого наближення графу кореляції термів між собою (етап I, крок 6) (далі будемо його називати просто «граф кореляції термів»), оскільки удосконалення цього процесу може сприяти підвищенню точності кластеризації.

Таким чином, **метою** даної роботи є підвищення ефективності кластеризації текстових даних методом острівної кластеризації за критерієм точності шляхом розроблення модифікованого методу острівної кластеризації текстів.

Відповідно до вказаної мети в роботі поставлені і розв'язані такі **задачі**:

- визначення переваг та недоліків оригінальної процедури кластеризації графу кореляції термів;
- розроблення модифікованого методу острівної кластеризації;
- аналіз точності кластеризації текстових документів згідно з модифікованим методом;
- аналіз ефективності розробленого модифікованого методу за критерієм швидкості виконання кластеризації.

Оригінальна процедура кластеризації графу кореляції термів

В роботі [4], що описує метод острівної кластеризації, для кластеризації графу кореляції термів пропонується процедура, що отримує на вхід ребра графу, відсортовані за зменшенням ступеня кореляції термів. В якості позначення для ребра використовується позначення $\langle i, j, \tilde{p}_{ij} \rangle$, де відповідно i та j – це терми (вершини графу), а $\tilde{p}_{ij}$ – ступінь їх кореляції (вага ребра). В рамках процедури кластеризації також використовуються такі терміни та позначення:

- множина незафіксованих кластерів термів G ;
- множина зафіксованих кластерів термів F ;
- множина зафіксованих термів PRO , що включає терми, які відносяться до повністю сформованих кластерів термів;
- параметр T_S , що визначає мінімальні розміри кластерів, що отримуються;
- $Pop(C)$ – множина документів, що буде відповідати цьому кластеру термів.

Кожний кластер термів в рамках даної процедури визначається множиною його термів (вершин) та множиною зв'язків між ними (ребер).

Крім цього, в ході виконання даної процедури часто використовується операція фіксації кластеру термів, яка включає в себе перенесення кластеру термів з множини G до F та додавання всіх термів кластеру до множини PRO .

Кожна ітерація процедури кластеризації графу кореляції термів полягає в отриманні чергового ребра $\langle i, j, \tilde{p}_{ij} \rangle$ та його аналізі, поки не будуть проаналізовані всі ребра графу. Аналіз ребра відбувається наступним чином [4]:

1. Якщо $i \in PRO$ та $j \in PRO$ – перейти до наступного ребра.
2. Якщо $i \in PRO$ – якщо існує кластер, що містить терм j , то він фіксується; інакше – $PRO \leftarrow PRO \cup \{j\}$.
3. Якщо $j \in PRO$ – якщо існує кластер, що містить терм i , то він фіксується; інакше – $PRO \leftarrow PRO \cup \{i\}$.
4. Якщо і терм i , і терм j не належать до жодного кластеру, то до множини G додається кластер, що містить ці два терми і зв'язок між ними.
5. Якщо терми i та j належать до одного кластеру, то до цього кластеру додається зв'язок між ними.
6. Якщо терми i та j належать до різних кластерів C та D – якщо $|Pop(C)| > T_S$ або $|Pop(D)| > T_S$, то обидва кластери термів фіксуються; інакше кластери C та D видаляються з множини G , а замість них до неї додається кластер, що є об'єднанням цих кластерів і зв'язку між i та j .
7. Якщо терм i належить до деякого кластеру, а терм j не належить жодному кластеру – до кластеру, що містить терм i додається терм j та зв'язок між ними.
8. Якщо терм j належить до деякого кластеру, а терм i не належить жодному кластеру – до кластеру, що містить терм j додається терм i та зв'язок між ними.

Коли аналіз всіх ребер закінчено, останнім кроком процедури кластеризації графу кореляції термів є фіксація всіх кластерів термів, що залишилися в множині G . В якості результату кластеризації приймається множина F .

Описана процедура кластеризації графу кореляції термів має такі переваги:

- лінійна залежність обчислювальної складності від кількості ребер графу;
 - всі зв'язки між термами одного кластеру є сильнішими будь-яких інших зв'язків термів цього кластеру з іншими термами.

Проте в багатьох практичних застосуваннях кластеризації текстових документів дана процедура має свої недоліки. Такими недоліками є:

- неможливість ручного встановлення очікуваної кількості кластерів – часто перед виконанням кластеризації вже є припущення про їх кількість;
 - дана процедура виконує неексклюзивну кластеризацію [4] (один терм може потрапити більше, ніж до одного кластеру), коли часто потрібне виконання ексклюзивної кластеризації (один терм – один кластер).

Вирішити описані недоліки може використання іншої процедури для кластеризації графу кореляції термів, яка передбачає ручне встановлення кількості кластерів та ексклюзивну кластеризацію, тобто виконує розбиття графу на групи.

Модифікований метод, що базується на розбитті графу кореляції термів на групи

Таким чином, основною ідеєю запропонованого модифікованого методу острівної кластеризації текстів є використання процедури розбиття графу на групи (graph partitioning) під час кластеризації графу сумісної зустрічальності термів замість описаної оригінальної процедури кластеризації. Інші кроки методу острівної кластеризації текстів в модифікованому методі залишаються без змін.

В рамках даної роботи в якості процедури розбиття графу кореляції термів на групи пропонується використання методу *k-medoids* [5]. Даний метод є модифікацією класичного методу кластеризації даних *k-means*, яка спеціально розроблена для кластеризації графу, оскільки оригінальний метод *k* найближчих не може бути застосований з цією метою. Це пов'язано з тим, що в оригінальному методі в якості центрів кластерів може виступати будь-яка випадкова точка простору вимірювань. У випадку графу встановлення відстані до такої точки є неможливим. Саме тому в методі *k-medoids* накладено обмеження на центроїди, в якості яких можуть виступати лише точки графу.

Найбільш поширеним алгоритмом, що реалізує метод *k-medoids* є РАМ (Partitioning Around Medoids) алгоритм [4]. РАМ використовує жадібний пошук, який може не знайти оптимальне рішення, проте він є швидшим, ніж повноцінний вичерпний пошук.

Алгоритм РАМ складається з таких кроків:

1. На вхід алгоритм отримує граф $G = (V, E, w)$, а також число k – задану кількість кластерів.
2. Ініціалізація: обираємо випадково k вершин в якості початкових медоїдів.
3. Для кожної точки знаходимо найближчий медоїд, формуючи початкове розбиття на кластери.
4. Знаходимо $minCost$, як значення функції втрат від початкової конфігурації.
5. Поки медоїди не стабілізуються, повторюємо наступні кроки алгоритму.
6. Для кожного медоїду m повторюємо кроки 7-12.
7. Для кожної вершини $v \neq m$, що знаходиться всередині кластеру з центром в m повторюємо кроки 8-12.
8. Переміщуємо центр кластеру з m в v .
9. Перерозподіляємо всі вершини між новими медоїдами.
10. Знаходимо $cost$ – значення функції втрат від поточної конфігурації.
11. Якщо $cost < minCost$, запам'ятовуємо медоїди і прирівнюємо $minCost = cost$.
12. Повертаємо медоїд на місце (в m).
13. Робимо найкращу знайдену заміну зі всіх, що розглядалися.

Складність однієї ітерації алгоритму в найгіршому випадку складає $O((n-k)^2 k)$.

Даний алгоритм може бути вдосконаленим за допомогою ще більш жадібної евристики, яка буде проводити пошук найкращої заміни лише по невеликій частині одного кластеру (кількість точок в якій буде задаватись параметром s). Складність однієї ітерації такого алгоритму складає $O(n \cdot k \cdot s)$, при цьому $s \ll n/k$, що радикально зменшує обчислювальну складність алгоритму. В роботі, що розглядає подібний алгоритм, показується, що зниження параметру s до 2 і, навіть, до 1, практично не погіршує різноманітні метрики якості кластерів [6].

Також досить відомою є модифікація РАМ під назвою *slga* [7]. Дана модифікація передбачає в ході ітерації вибір випадковим чином підмножини вершин і кластеризацію підграфу, який вони утворюють. Інші вершини просто розподіляються по найближчим отриманим медоїдам. Втрату інформації (оскільки

кластеризується лише підграф) пропонується компенсувати послідовним виконанням ітерацій на різних підмножинах вершин і вибором найкращого результату за наперед визначеними метриками якості.

Тестування запропонованого модифікованого методу

Точність та швидкість виконання кластеризації запропонованим модифікованим методом острівної кластеризації текстів перевірено на двох корпусах документів.

Перший корпус **B** складається з 50 текстів, присвячених Євробаченню та діяльності компанії SpaceX, відібраних з сайту BBC [8]. В даному корпусі текстів обох тематик порівню – по 25 новин.

Другий корпус **R** складається з 574 текстів, розподілених порівну між сімома різними тематиками. Тексти цього корпусу є попередньо обробленою підмножиною популярного тестового набору Reuters-21578 [9]. Попереднє оброблення даної підмножини полягало в приведенні текстів до формату, з яким працювала програмна реалізація (виділення міток кластерів, перейменування файлів з текстами).

У зв'язку з простотою обох тестових корпусів (кількість текстів кожного кластеру є однаковою, кожен текст належить лише до одного кластеру) в якості міри точності кластеризації використано просте відношення кількості текстів, розподілених правильно за кластерами, до загальної кількості текстів в корпусі.

Програмна реалізація виконана мовою C# на платформі .NET. Для лематизації текстів на першому етапі методу острівної кластеризації використано бібліотеку Stanford CoreNLP [10], портовану на платформу .NET [11].

Точність виконання кластеризації оригінальним методом острівної кластеризації та модифікованим (з різними реалізаціями методу *k-medoids*) наведена на рис. 1. Як очікувалося, запропонований модифікований метод показав кращий результат для всіх реалізацій методу *k-medoids*, ніж оригінальний метод, завдяки ручному встановленню очікуваної кількості кластерів.

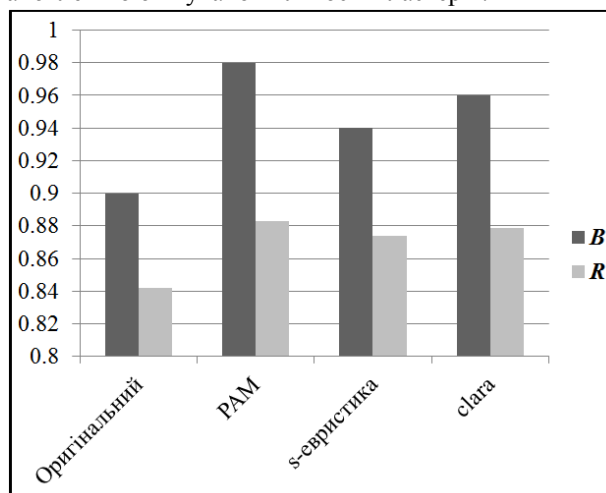


Рис. 1. Точність отриманої кластеризації

Результати тестування швидкості виконання кластеризації тестових корпусів з використанням оригінального та модифікованого методу наведені на рис. 2. Всі значення подані у вигляді співвідношення часу виконання кластеризації модифікованим методом до часу виконання кластеризації оригінальним острівним методом (в %). Таким чином, чим ближче до 0 значення, тим показана краща швидкість кластеризації (менше уповільнення, в порівнянні з оригінальним острівним методом).

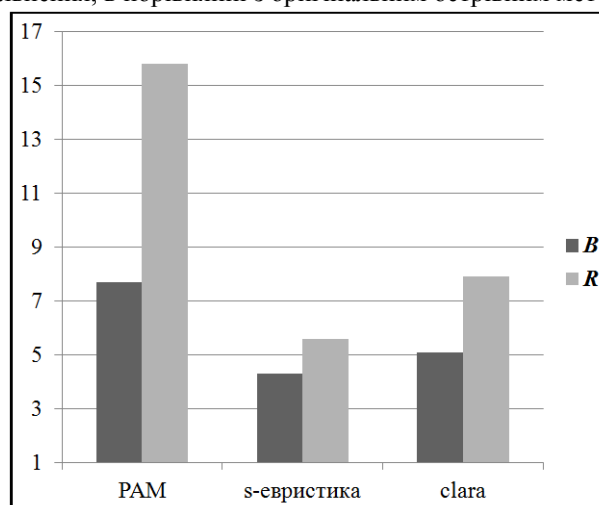


Рис. 2. Швидкість виконання кластеризації

Висновки

В даній роботі запропоновано модифікований метод острівної кластеризації текстових документів, який базується на ідеї розбиття графу кореляції термів на групи, що забезпечує можливість виконання ексклюзивної кластеризації та ручного встановлення очікуваної кількості кластерів. Як показало тестування точності та швидкості виконання кластеризації запропонованим методом, його використання є доцільним при наявності припущень про очікувану кількість кластерів документів та необхідності виконати ексклюзивну кластеризацію.

Можна виділити такі напрями подальшого вивчення та розвитку запропонованого модифікованого методу:

- тестування методу на корпусах відмінної від новинної тематики;
- розроблення модифікації, яка допускає автоматичне визначення кількості кластерів текстів;
- створення програмних бібліотек на різних мовах, що реалізують запропонований метод.

Література

1. Information explosion [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://en.oxforddictionaries.com/definition/information_explosion. – Назва з екрану. – (Дата звернення: 15.12.2017).
2. Gantz J., Reinsel D. The digital universe in 2020: Big data bigger digital shadows and biggest growth in the far east // IDC iView: IDC Anal. Future. – 2012. – № 2007. – С. 1–16.
3. Berry M.W. Survey of Text Mining // Springer. – 2003.
4. Шмудевич М.М. Метод кластеризации текстов, учитывающий совместную встречаемость ключевых терминов, и его применение к анализу тематической структуры новостного потока, а также ее динамики / М.М. Шмудевич, М.В. Киселев, В.С. Пивоваров // Интернет-математика 2005. – 2005. – С. 412–435.
5. Kaufman L. and Rousseeuw P.J. Clustering by means of Medoids. In: Y. Dodge and North-Holland, editor. Statistical Data Analysis Based on the L1-Norm and Related Methods. Springer US. – 1987. – P. 405–416.
6. Michael Ovelgonne Scalable Algorithms for Community Detection in Very Large Graphs. – 2011. – 146 p.
7. Kaufman L. and Rousseeuw P.J. Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis. – 1990. – P. 126–163.
8. BBC News [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.bbc.com/news>. – Назва з екрану. – (Дата звернення: 15.11.2017).
9. Reuters-21578 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.daviddlewis.com/resources/testcollections/reuters21578/>. – Назва з екрану. – (Дата звернення: 13.11.2017).
10. The Stanford CoreNLP Natural Language Processing Toolkit / [C. D. Manning, M. Surdeanu, J. Bauer] // Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: System Demonstrations / [C. D. Manning, M. Surdeanu, J. Bauer]., 2014. – P. 55–60.
11. SimpleNetNlp [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://github.com/yakivysin/SimpleNetNlp>. – Назва з екрану. – (Дата звернення: 15.11.2017).

References

1. Information explosion [accessed 2017 Dec 15]. https://en.oxforddictionaries.com/definition/information_explosion.
2. Gantz J., Reinsel D. The digital universe in 2020: Big data bigger digital shadows and biggest growth in the far east // IDC iView: IDC Anal. Future. – 2012. – №2007. – pp. 1-16.
3. Berry M.W. Survey of Text Mining // Springer. – 2003.
4. Shmulevich M.M., Kiselev M.V., Pivovarov V.S. Metod klasterizatsii tekstov, uchityvayuschiy sov-mestnuyu vstrechaemost klyuchevykh terminov, i ego primenenie k anallzu tematicheskoy strukturyi novostnogo potoka, a takzhe ee dinamiki // Internet-matematika 2005. – 2005. – pp. 412 435.
5. Kaufman, L. and Rousseeuw, P.J., Clustering by means of Medoids. In: Y. Dodge and North-Holland, editor. Statistical Data Analysis Based on the L1-Norm and Related Methods. Springer US. – 1987. – pp. 405–416.
6. Michael Ovelgonne Scalable Algorithms for Community Detection in Very Large Graphs. – 2011. – 146 p.
7. Kaufman, L. and Rousseeuw, P.J. Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis. – 1990. – pp.126–163.
8. BBC News [accessed 2017 Nov 15]. <http://www.bbc.com/news>.
9. Reuters-21578 [accessed 2017 Nov 11]. <http://www.daviddlewis.com/resources/testcollections/reuters21578/>.
10. The Stanford CoreNLP Natural Language Processing Toolkit / [C. D. Manning, M. Surdeanu, J. Bauer] // Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: System Demonstrations / [C. D. Manning, M. Surdeanu, J. Bauer]., 2014. – pp. 55–60.
11. SimpleNetNlp [accessed 2017 Nov 15]. <https://github.com/yakivysin/SimpleNetNlp>.

Рецензія/Peer review : 25.05.2018 р.

Надрукована/Printed : 14.07.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. І.А. Дичка

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ АДАПТИВНОГО ТЕСТУВАННЯ В СИСТЕМАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Розглянуто стан, проблеми і перспективи розробки адаптивних систем дистанційної освіти. Запропонована інформаційна технологія побудови моделі адаптивного тестування із застосуванням методу дихотомії, яка дозволяє підвищити точність обрахунку оцінки рівня знань студента та мінімізувати кількість проведених тестувань. Розроблена математична модель методу дихотомії, на основі якої побудовано алгоритм встановлення рівня знань студента. Виконано експериментальну перевірку та досліджено ефективність застосування розробленого методу в навчальному процесі.

Ключові слова: система дистанційного навчання, адаптивне тестування, метод дихотомії, рівень знань.

M.V. PIKULIAK

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University

INFORMATION TECHNOLOGY OF ADAPTIVE TESTING MODEL CONSTRUCTION IN DISTANCE LEARNING SYSTEMS

The article focuses on the problems of knowledge test control in modern educational systems. An analysis of common methods and test control models was provided. The advantages of applying the theory of latent-structural method for the test determination of current assessment of student's skills and abilities are determined. The mathematical model of the dichotomy method is developed, and the information technology of adaptive testing based on it was proposed. Such technology allows to use sets of test tasks of different complexity arranged in accordance to a student's skills under study. The advantage of such technology is providing the accuracy raising of student's skills assessment and minimization of the number of required tests. The logistic model of knowledge control was studied, and its practicability for successful assessment of the results of students' tests was substantiated. The constructed dichotomy method enables to determine the current level of learners' achievements based on analysis of a successfully passed test of a certain complexity. The sufficient number of different complexity tests to determine the level of acquired skills was analyzed. Based on the proposed algorithm the program implementation of the designed information technology was built and experimental verification of its application in the educational process was conducted. The results of the research proved the efficiency of the application of the designed software module in the educational process both for providing knowledge test control and conducting distance adaptive training.

Keywords: adaptive learning method of classification, cluster analysis, case rule.

Вступ

Проблема достовірного та об'єктивного визначення рівня знань студентів є однією з найважливіших задач побудови навчальних траєкторій у сучасних адаптивних навчальних системах. Особливу увагу при цьому приділяють розробці нових інформаційних технологій для комп'ютерного тестування знань студентів, в основі яких лежать різного роду математичні методи збору й обробки результатів тестування, а також сучасні технології обробки інформації.

У даний час існує безліч найрізноманітніших математичних моделей і підходів, що використовуються для дослідження процесу контролю знань. Вони спираються на різні розділи математики, зокрема теорію ймовірностей, математичну статистику, теорію графів, теорію нечітких множин і нечітку логіку, теорію прийняття рішень і дослідження операцій, комбінаторну топологію та теорію фракталів і багато іншого [1].

Метою даної роботи є розробка інформаційної технології побудови моделі адаптивного тестування на основі методу дихотомії [2], застосування якої дозволяє мінімізувати кількість проведених тестувань та забезпечити визначення достатньої точності оцінки рівня знань студента.

Постановка задачі

Основною проблемою під час використання відомих математичних методів адаптивного тестування є досить трудомісткі операції математичних та алгоритмічних розрахунків, що призводить до складнощів при подальшій програмній реалізації.

Оскільки різні студенти підходять до початку процесу вивчення нової порції інформації з різним початковим рівнем знань, то використання адаптивних технологій під час автоматизованого навчання дозволяє індивідуалізувати навчальний процес як за рахунок врахування особистих характеристик студента, відношенням його до сприйняття нових знань так і врахуванням поточних навчальних успіхів [3].

Тому актуальною є задача подальшого дослідження методик комп'ютерного адаптивного тестування та розробки інструментальних засобів, що дозволяють якісно реалізувати навчальний процес із використанням сучасних інформаційних технологій.

Аналіз методів визначення оцінки рівня знань

В сучасних автоматизованих навчальних системах використовуються різні методи для визначення оцінки отриманих студентом знань: від найпростіших, що враховують тільки процент правильно-виконаних завдань – до найскладніших, що беруть до уваги різні параметри контролю з можливістю врахування поточних результатів, отриманих студентом під час засвоєння нових знань.

Залежно від обраного методу оцінки знань розрізняють дві моделі тестування: класичну теорію тестування (Classical Response Theory – CRT) та сучасну теорію тестування (Item Response Theory – IRT) (рис. 1) [4].

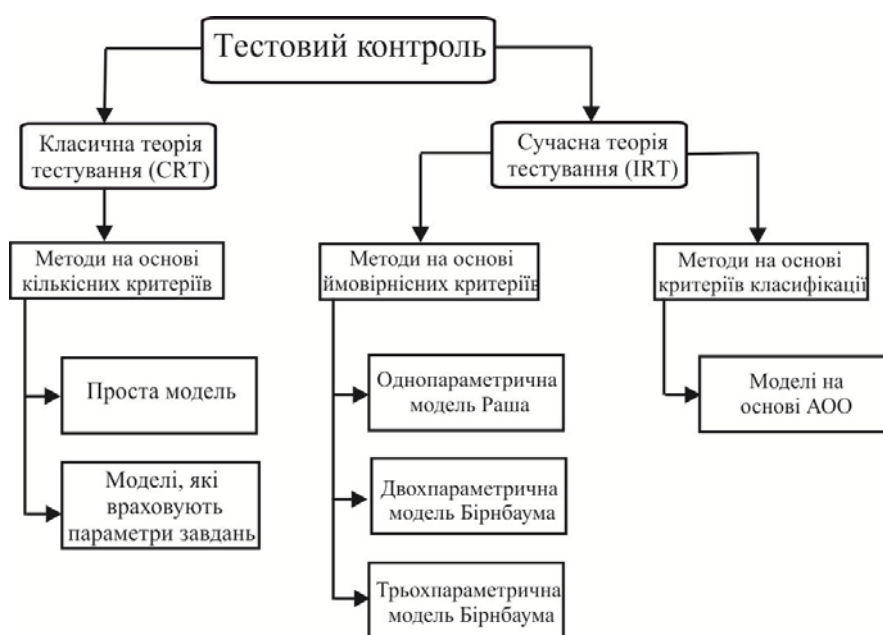


Рис. 1. Класифікація методів тестового контролю

В модель CRT відносяться методи тестування, що побудовані на основі кількісних критеріїв. Такі методи з метою оцінки рівня знань використовують кількісну складову, яка являє собою суму балів, отриманих студентом за правильні відповіді на тестові завдання або сформована з урахуванням типів та характеристик тестових завдань.

До переваг CRT відносять потужний математичний апарат, простоту та наочність отриманих результатів.

На відміну від класичної теорії тестів, де результуючий бал розглядається як статичне число, в IRT підсумковий бал – це результат сукупної взаємодії скритих параметрів, а саме справжнього рівня підготовки студента та складності розглянутих завдань.

Сучасна теорія тестів IRT заснована на теорії латентно-структурного аналізу – одного з основних методів, застосування якого дозволяє визначити латентну ознаку, тобто оцінити рівень здібностей студента на основі розроблених тестових завдань, різних за рівнем складності, що визначається емпіричним шляхом в ході тестування [5].

У IRT встановлюється зв'язок між двома множинами значень латентних параметрів. Першу множину складають значення латентного параметра θ_i , що визначає рівень знань n учасників тестування, де $i=1, \dots, n$ – номер студента. Другу множину утворюють значення латентного параметра δ_j , що характеризує складність j -го завдання, де $j=1, \dots, m$, які відповідають рівням складності m завдань у тесті.

В рамках IRT датським математиком Джорджем Рашем у 1957 році була запропонована модель контролю знань, яку часто називають простою логістичною моделлю [6]. Г. Раш припустив, що рівень підготовленості i -го студента і рівень складності j -го завдання розміщені на одній шкалі та вимірюються в одних і тих же одиницях – логітах. В якості математичної моделі, що пов'язує успіх студента з рівнем його підготовки та рівнем складності завдання, була вибрана логістична функція (функція успіху). Аргументом функції успіху є різниця $\theta_i - \delta_j$. Якщо ця різниця позитивна і велика, то відповідно висока ймовірність досягнення успіху i -м студентом в j -му завданні. Якщо ж ця різниця негативна і велика по модулю, то ймовірність досягнення успіху i -м студентом в j -му завданні буде низькою. Вигляд функції успіху залежить від математичної моделі IRT (однопараметрична модель Г. Раша; двопараметрична модель А. Бірнбаума, трьохпараметрична модель А. Бірнбаума) – рис. 1.

Введення однієї шкали для елементів двох множин θ і δ дозволяє коректно порівняти результати студентів, отримані за допомогою різних тестів та оцінити рівень складності завдань.

Оскільки, згідно із теорією Г. Раша рівень знань студента та складність тестових завдань, можна розмістити на одній шкалі, то для визначення оцінки засвоєння матеріалу, є достатнім визначити номер тесту, за результатами якого студент отримав позитивну (наперед обумовлену) кількість балів.

Саме ця гіпотеза покладена в основу побудови математичної моделі встановлення рівня знань студента із застосуванням методу дихотомії.

Побудова математичної моделі встановлення рівня знань студента

Метод дихотомії відомий в першу чергу як метод пошуку і широко використовується в аналізі (при знаходженні значення функції, яке задовольняє певні критерії) [7], в криптографії (при кодуванні інформації) [8], при одновимірних оптимізаціях тощо.

У тестовому контролі він застосовується до тих випадків, коли число рівнів складності наборів тестових завдань задається формулою $2^p - 1$, де p – натуральне число.

Будемо вважати, що в навчальній системі використовується сукупність добре прокаліброваних тестів [9], які пронумеровані в порядку зростання їх ваги (складності). При цьому вага $(N+1)$ -го тесту настільки більша від ваги N -го тесту, наскільки вага N -го тесту більша за вагу $(N-1)$ -го тесту, тобто задана система тестів утворює рівномірну шкалу ваг.

Тоді алгоритм застосування методу дихотомії буде складатись із наступних процедур:

1) У занумерованій множині тестів потужності $2^p - 1$ вибирають тест із номером $N = 2^{p-1}$ середнього рівня складності. Цей тест розбиває всю множину тестів на дві різні групи: множину тестів меншої ваги (із номерами меншими за $N = 2^{p-1}$), яку назовемо лівою множиною тестів та групу тестів більшої ваги (із номерами більшими за $N = 2^{p-1}$), яку назовемо правою множиною тестів (рис. 2).

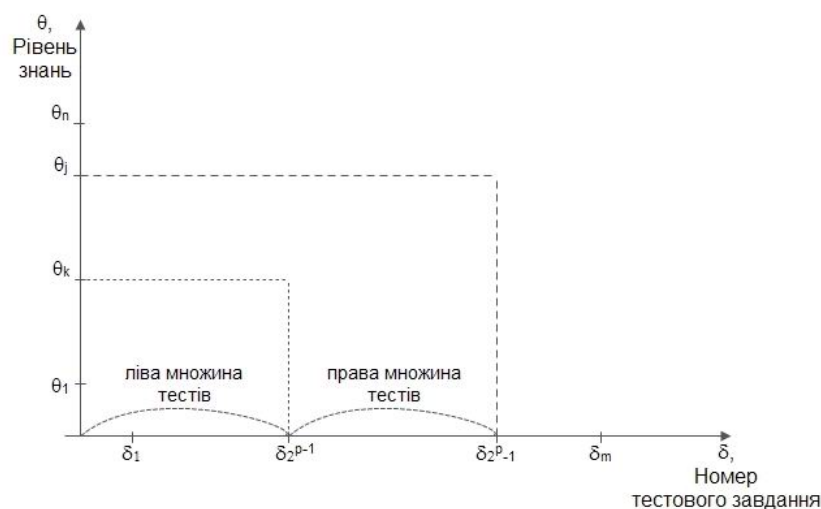


Рис. 2. Модель методу дихотомії

2) Проводиться тестування за тестом середньої ваги із номером 2^{p-1} . Якщо стовідсоткове успішне проходження тесту оцінюється параметром c , то розглядають три інтервали: $\left[0, \frac{c}{2} - \varepsilon(c)\right)$, $\left[\frac{c}{2} - \varepsilon(c), \frac{c}{2} + \varepsilon(c)\right]$, $\left(\frac{c}{2} + \varepsilon(c), c\right]$, де $\varepsilon(c)$ – деяке достатньо мале значення параметра (похибка), що залежить від c .

3) У випадку, коли оцінка s проходження тесту середньої ваги належить до першого інтервалу (лівого), переходять до розгляду лівої множини тестів меншої ваги, тобто до множини потужності $2^{p-1} - 1$. Якщо ж оцінка проходження тесту середньої ваги належить до третього інтервалу (правого), то переходять до розгляду правої множини тестів більшої ваги, яка має таку саму потужність що й ліва множина. Таким чином, в обох випадках переходять до тестування за тестом середнього рівня ваги, який у випадку лівої множини матиме номер $N - 2^{p-2}$, а у випадку правої множини – номер $N + 2^{p-2}$, тобто по суті переходять до п.1). Якщо ж оцінка s належить до другого (середнього інтервалу), то переходять до п. 4.

4) Вважають, що рівень засвоєння знань θ відповідає тесту із знайденим номером (ваги) δ , відповідно до шкали логітів (рис. 2) і зупиняють роботу алгоритму.

Зауваження 1. Стала c , як і довільна наперед задана стала $\varepsilon(c)$ вибирається довільно. Якщо, наприклад, вибрана стобальна шкала оцінювання, то $\varepsilon(100)$ може дорівнювати 5. Взагалі $\varepsilon(c)$ можна задати формулою $\varepsilon(c) = \frac{c}{20}$.

Зауваження 2. Очевидно, що для встановлення рівня засвоєння знань за побудованим у п.1 алгоритмом достатньо провести лише $l-1$ тестувань. Так, при семирівневій системі тестів достатньо лише двох тестувань, а для 15-рівневої системи – 3-х тестувань.

Зауваження 3. При побудові алгоритму вважається, що якщо при проходженні тестування за рівнем складності N студентом набрано s балів, причому $s \in \left[0, \frac{c}{2} - \varepsilon(c)\right)$, то рівень складності потрібно знизити.

Якщо ж $s \in \left(\frac{c}{2} + \varepsilon(c), c\right]$, то рівень складності необхідно підвищити. Під рівнем засвоєння знань студентом мається на увазі той рівень складності N , за якого студентом правильно розв'язана приблизно половина завдань тесту.

Блок-схема запропонованого алгоритму наведена на рис. 3.

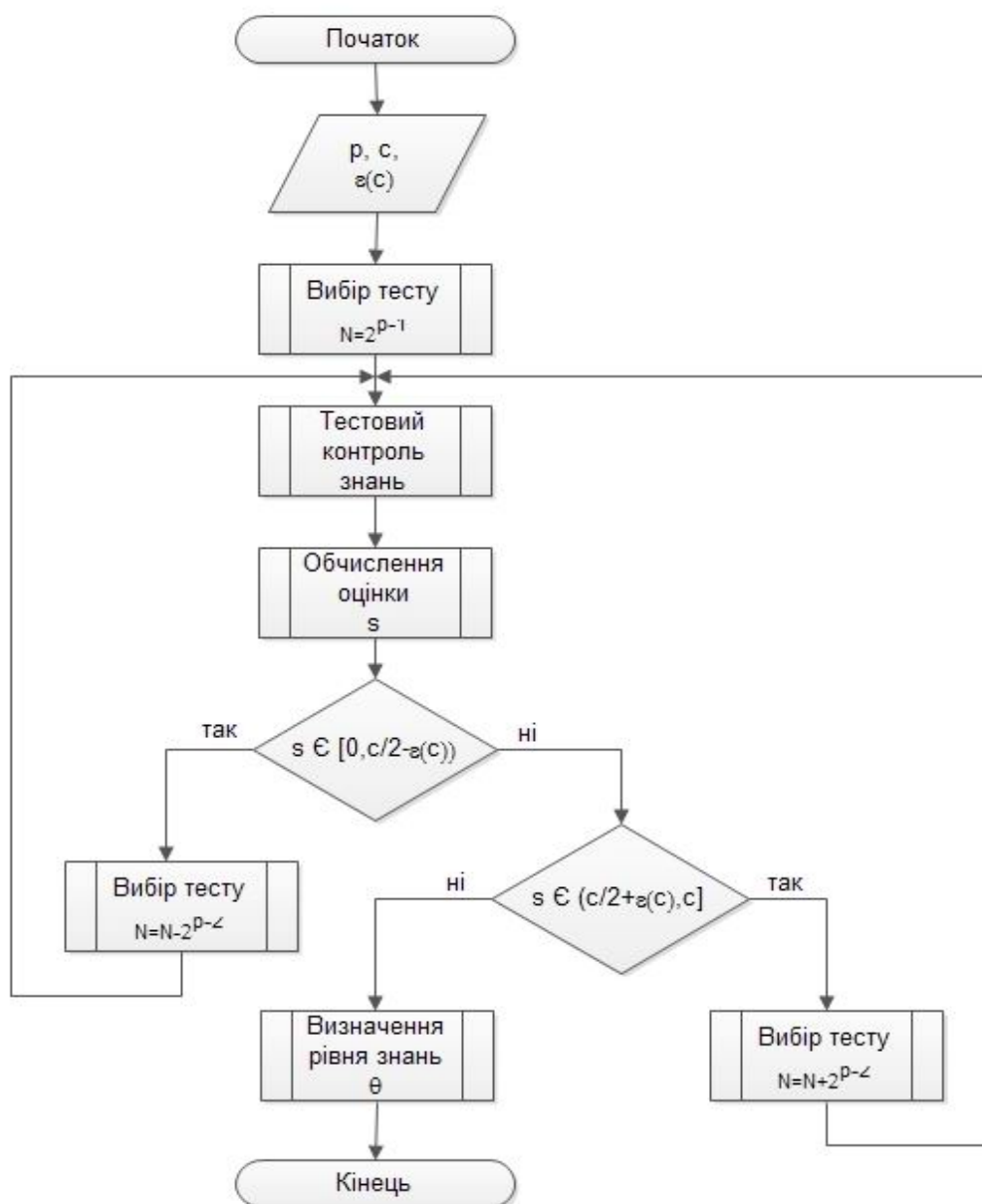


Рис. 3. Блок-схема алгоритму методу дихотомії

Експериментальна перевірка

Практична реалізація описаної технології виконана у вигляді програмного модуля, розробленого на мові програмування PHP та адаптованого в систему дистанційного навчання OWL2 (рис. 4), що впроваджена в навчальний процес ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені В. Стефаника».

Ефективність застосування запропонованої технології в системі дистанційного навчання OWL2 підтверджена експериментом, в якому приймали участь дві групи (контрольна, яка навчалась у системі OWL2 та експериментальна, результати оцінювання якої обраховувались шляхом використання побудованого програмного модуля) під час вивчення дисципліни «Бази даних та інформаційні системи».

Рис. 4. Вікно налаштування схеми тестового контролю знань



Використання розробленої інформаційної технології дозволяє:

-

- підвищити точність оцінки рівня знань сильних і слабких студентів завдяки використанню більшого банку запитань різного рівня складності;
- забезпечити визначення моменту готовності студента для переходу на етап вивчення більш складного рівня матеріалу;
- підвищити якість знань студентів за рахунок подачі на повторне вивчення тих інформаційних одиниць, які найбільш повно відповідають прогалинам у його знаннях з обраної тематики.

Результати проведених досліджень доказали ефективність застосування розробленого програмного модуля в навчальному процесі як для організації тестового контролю знань так і для проведення дистанційного адаптивного навчання.

Література

1. Загребельний С. Методи адаптивного тестування знань студентів / С. Загребельний, О. Загребельна, О. Костіков // Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології. – 2016. – № 3 (57). – С. 376–384.
2. Левитин А.В. Глава 11. Преодоление ограничений: Метод деления пополам // Introduction to The Design and Analysis of Algorithms / Ананий В. Левитин. – М. : Вільямс, 2006. – С. 476–480.
3. Пікуляк М. В. Розробка методу класифікації студентів на основі кластерного аналізу прецедентів в адаптивній навчальній системі / М. В. Пікуляк // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2015. – № 5. – С. 226–232.
4. Лобанева А. Р. Разработка программного продукта для оценки качества тестирования в рамках модели Раша / А. Р. Лобанева // Вестник КемГУ. – Кемерово, 2013. – Т. 2, № 4 (56). – С. 52–57.
5. Мазорчук М. С. Методы и модели анализа качества тестовых заданий и моделирование компьютерного адаптивного тестирования в системах дистанционного обучения / М. С. Мазорчук, В. С. Добряк, П. С. Емельянов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2016. – № 73. – С. 103–116.
6. Rasch G. Probabilistic Model for Some Intelligence and Attainment Tests / G. Rasch. – Chicago : Univ. of Chicago Press, 1980.
7. Бахвалов Н.С. Численные методы / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 632 с.
8. Аршинов М. Н. Коды и математика / М. Н. Аршинов, Л. Е. Садовский. – М. : Наука, 1983. – 144 с.
9. Федорук П. І. Адаптивна система дистанційного навчання та контролю знань на базі інтелектуальних Інтернет-технологій : монографія / П. І. Федорук. – Івано-Франківськ : Видавничо-дизайнерський відділ ЦІТ Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2008. – 326 с.

References

1. Zahrebelnyi S. Metody adaptivnogo testuvannya znan studentiv / S. Zahrebelnyi, O. Zahrebelna, O. Kostikov. – Pedagogichni nauky: teoriia, istoriia, innovatsiini tekhnologii, 2016. – № 3 (57). – S. 376–384.
2. Ananyi V. Levytn. Hlava 11. Preodolene ohranychenyi: Metod deleniya popolam // [= 0-201-74395-7 Algoritmy: vvedeniye v razrabotku i analiz] = Introduction to The Design and Analysis of Algorithms / Ananyi V. Levytn. – M.: Viliams. – 2006. – S. 476–480.
3. Pikuliak M. V. Rozrobka metodu klasyfikatsii studentiv na osnovi klasterneho analizu pretseidentiv v adaptivnii navchalnii systemi / M. V. Pikuliak // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriya : Tekhnichni nauky. – 2015. – № 5. – S. 226–232.
4. Lobaneva A. R. Razrabotka prohrammnoho produkta dlia otsenky kachestva testirovaniya v ramkakh modely Rasha / A. R. Lobaneva. – Vestnyk KemHU. – Kemerovo, 2013. – T. 2, № 4 (56). – S. 52–57.
5. Mazorchuk M. S. Metody i modeli analiza kachestva testovykh zadaniy i modelirovaniye kompyuternogo adaptivnogo testirovaniya v sistemakh distantsionnogo obucheniya / M. S. Mazorchuk. V. S. Dobryak. P. S. Emelianov // Otkrytyye informatsionnyye i kompyuternyye integrirovannyye tekhnologii. – 2016. – №73. – S. 103–116.
6. Rasch G. Probabilistic Model for Some Intelligence and Attainment Tests / G. Rasch. – Chicago :Univ. of Chicago Press, 1980.
7. Bakhvalov N.S. Chislennyye metody. 3-e izd.. pererab. i dop. / N.S. Bakhvalov. N.P. Zhidkov. G. M. Kobelkov. – M.: BINOM. Laboratoriya znaniy. – 2009. – 632 s.
8. Arshinov M. N. Kody i matematika / M. N. Arshinov. L. E. Sadovskiy. – M.: Nauka. – 1983. – 144 s.
9. Fedoruk P. I. Adaptivna systema dystantsiinoho navchannia ta kontroliu znan na bazi intelektualnykh Internet-tekhnologii: Monohrafiia / P. I. Fedoruk. – Ivano-Frankivsk: Vydavnycho-dyzainerskyi viddil TsIT Prykarpatskoho natsionalnoho universytetu imeni Vasylia Stefanyka. – 2008. – 326 s.

Рецензія/Peer review : 02.04.2018 р.

Надрукована/Printed :11.07.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

SOFTWARE FOR FOURIER ANALYSIS OF FUNCTIONS WITH VARIABLE PERIOD

The analysis of modern software of computer mathematics providing reasons to carry our investigations of periodic functions, i.e., functions, which period, without any reservations, is considered to be constant. However, in practice, there are functions, for example, electrocardiograms obtained after physical exercises, which period is no longer constant, and changes in some way. Several results of the investigation of periodic functions with the variable period are represented in the article: the definition of such functions, methods and examples of their analytical assignment and analytical expressions of variables are given. Taking into account the fact that the main tools for periodic functions analysis are Fourier series, the software of Fourier analysis are considered and the software for such analysis of periodic functions with a variable period is developed providing the calculation of Fourier coefficients and construction of graphs for such functions and their finite Fourier series, which, in turn, enables us to continue the complex investigation of periodic functions with variable period.

Key words: variable period, periodic functions with variable period, Fourier coefficients of periodic functions with variable period, Fourier series of periodic functions with variable period, software systems for the analysis of periodic functions with variable period.

Л.П. ДМИТРОЦА

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ФУР'Є-АНАЛІЗУ ФУНКЦІЙ ЗІ ЗМІННИМ ПЕРІОДОМ

Проведено аналіз сучасних програмних засобів комп'ютерної математики, які дозволяють проводити дослідження періодичних функцій, тобто функцій, період яких без будь-яких застережень вважається постійним. Однак, на практиці зустрічаються функції, для прикладу, електрокардіограми, отримані після фізичного навантаження, період яких вже не є постійним, а певним чином змінюється. В статті наведені деякі результати дослідження періодичних функцій зі змінним періодом: надано визначення таких функцій, методи та приклади їх аналітичного задання та аналітичні вирази змінних періодів. Враховуючи, що основним інструментом аналізу періодичних функцій є ряди Фур'є, розглядаються програмні засоби Фур'є-аналізу та розроблено програмне забезпечення для такого аналізу періодичних функцій зі змінним періодом, яке дозволяє розраховувати коефіцієнти Фур'є і будувати графіки таких функцій та їх скінчених рядів Фур'є, що, в свою чергу, дає можливість продовжувати комплексне вивчення періодичних функцій зі змінним періодом.

Ключові слова: змінний період, періодичні функції зі змінним періодом, коефіцієнти Фур'є періодичних функцій зі змінним періодом, ряд Фур'є періодичних функцій зі змінним періодом, програмні системи аналізу періодичних функцій зі змінним періодом.

1. The state of the problem and the relevance of the work. The main components of modern information technology are the selection of information, storage of BigData on carriers, its transmission to any distance in a short period of time, computer processing of information according to the given algorithms. It is assumed that the carriers of information are various empirical signals (electrical, optical, acoustic, electromagnetic, etc.), sometimes called functions, processes. One of the most common methods for empirical functions processing is to replace them by analytical expressions convenient for analysis tasks. The series are mainly used as the tool of replacement, i.e., the functions presentation of in the form of the sum of certain elementary functions with corresponding coefficients. In cases when trigonometric sinus and cosine functions are chosen as elementary functions, the resulting series are called Fourier series, and the coefficients of the series are Fourier coefficients. Knowing the Fourier coefficients provides solving the problems of their spectral analysis, filtering (selection of the useful signal against obstacles), choosing the sampling frequency of the continuous function, etc. Although the periodic functions have been thoroughly investigated, there are periodic functions, which period is no longer constant, but changes in some way. The most indicative examples of such functions are electrocardiograms obtained during or after organism stimulation by certain exciter, for example, physical activity. A number of important steps have already been made in order to investigate the periodic empirical functions with variable period (PFVP). In paper [1], the definition of PFVP is given and some properties of the variable period are considered. For the case when the variable period is unknown, the development of its estimation method is described [2], [3]. Paper [4] is devoted to the problems of creation of orthogonal trigonometric functions with variable period and determination of their variable period. The availability of the class of functions with variable period [5] and corresponding orthogonal systems opens the way to the solution of the problem of approximation of functions with variable period. Therefore, the problem of information technologies development provides the construction of Fourier series of PFVP, the calculation of Fourier coefficients, and the calculation of the spectra of such functions is important.

The objective of this paper is to analyze the modern mathematical programming environments of Fourier analysis of periodic functions and to create software for the Fourier analysis of periodic functions with variable period, particularly the determination of their Fourier coefficients and the construction of Fourier series.

2. Mathematical software systems for information investigations. At present, there is a large number of software tools for computer mathematics. The classification of software for computer mathematics [6] is shown in Fig. 1.

Among the software tools of computer mathematics there are universal mathematical systems (Derive, Maple, MuPAD, Mathematica, Mathcad, Mathcad, MATLAB) which make possible to solve scientific, engineering and educational problems, particularly the problems of spectral analysis and synthesis by numerical methods.

For example, in the Derive mathematical package there is the function for the function expansion in trigonometric Fourier series with syntax: $FOURIER(y,t,t_1,t_2,n)$ – represents the expression in the form of the sum with n harmonics of the trigonometric Fourier series, approximating function $y(t)$ in the interval t from $t=t_1$ to $t=t_2$.

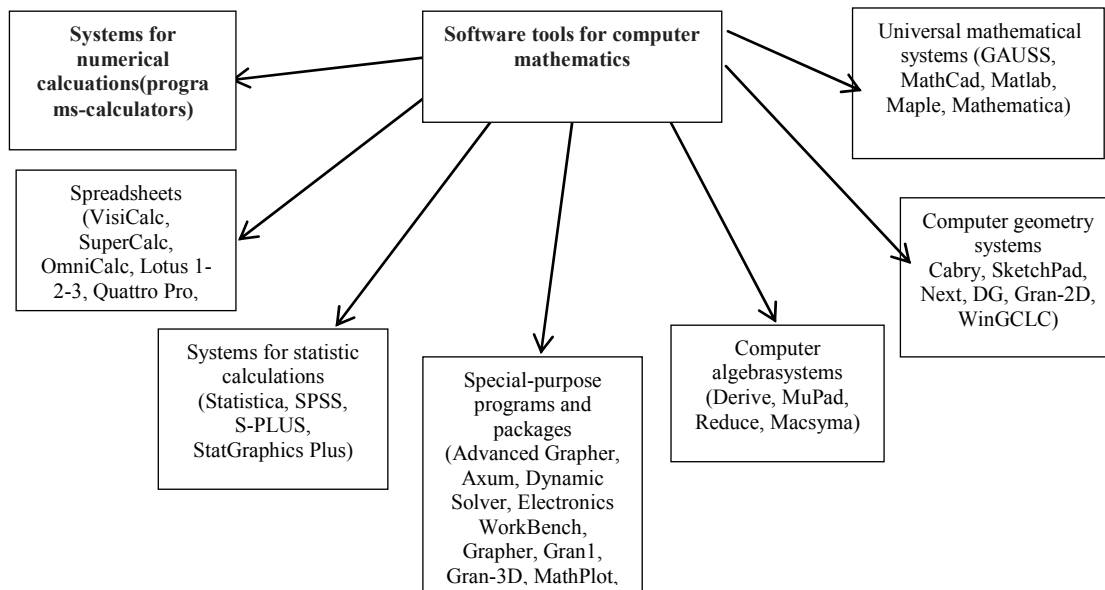


Fig. 1. Classification of computer mathematics software

There are two functions of Fast Fourier Transform (FFT) in: $fft(list,n)$ and $ifft(list,n)$ – direct and inverse Fourier transform over vector-list with $2n$ elements relatively.

Maple has two functions for calculating cosine and sinus Fourier integrals for the function $f(t)$: $fouriercos(expr,t,s)$, $fouriersin(expr,t,s)$.

Mathematica system has built-in functions: $Fourier[list]$, $InverseFourier[list]$, performing direct and inverse Fourier transform of $list$, using FFT algorithm. In addition, Mathematica uses functions for calculating Fourier series coefficients, called cosine and sinus Fourier integrals: $FourierSinTransform$, $InverseFourierSinTransform$. For more complete Fourier transform, there are extended functions included in Fourier Transform subpacket of Calculus package.

One of the systems having the greatest potential for numerical spectral analysis is Mathcad, the main functions are: $fft(v)$ and $ifft(v)$ – performs relatively FFT and inverse Fourier transform for vector v with complex numbers. Mathcad has a large set of tools for solving spectral analysis problems and a user-friendly interface. However, the low data processing speed is Mathcad disadvantage.

MATLAB [7] computer mathematics system has the following functions: $fft(X)$ -discrete Fourier transform (DFT), $fft(X,n)$ - n -point Fourier transforms. The advantage of this package is the calculation speed. The disadvantages include certain inconvenience and requirements to PC resources.

In modern computer-aided design programs (ECAD), fast Fourier transform is used in order to carry out spectral analysis. However, since the main condition for the Fourier analysis application is the signal frequency, errors are generated in calculations, and obtained spectral characteristics is inadequate [8] because of the availability of the nonperiodic transient process.

Besides universal mathematical systems there are online calculators on the Internet network allowing to conduct Fourier analysis. In WolframAlpha [9] we can use *Fourier transform* function resulting in the character result. The use of the *Fourier series* function, which makes it possible to display the graphical representation of the expansion on separate harmonics is also predicted. Online-calculator Symbolab [10] has the *Fourier series* function. The peculiarity of the web-complement MathsTools [11] is its user-friendly interface, the availability of Fourier coefficient calculations, the ability to view the function graph and the Fourier series graph in one coordinate system. Due to the Internet resource [12] we get the display of power spectrum graph, which point references are calculated by FFT algorithm. The main feature among all of the above mentioned is the ability to select the input signal (file, record, function, etc.). However, despite the user-friendly and easy-to-understand interface, sufficient functional availability, given mathematical packets and online-calculators the processing of functions with variable period is not carried out.

The history of writing and developing software tools of computer mathematics shows that they are based on data models of to be processed, and the corresponding algorithms developed on the basis of models. Software is essentially the translation of the above mentioned algorithms into the language of computing means. As for the Fourier analysis of periodic functions with constant period, the algorithms for calculating Fourier coefficients are

fundamental for the software. Taking this into account it is obvious that for the software tools of the Fourier analysis of the PFVP the theory and algorithms for calculating Fourier coefficients are required. For this purpose, let us consider some questions of the PFVP theory such as the methods of analytic assignment of such functions

3. Analytical assignment of functions with variable period. Let us give some examples of analytical assignment of functions with variable period.

3.1 Trigonometric functions $\sin x^\alpha$, $\cos x^\alpha$, $\operatorname{tg} x^\alpha$, $\operatorname{ctg} x^\alpha$, $\alpha > 0$, $\alpha \neq 1$. The first two of these functions – $\sin x^\alpha$, $\cos x^\alpha$ or their generalization $A \sin(kx^\alpha + \phi)$, $A \cos(kx^\alpha + \phi)$ are widely used. For example, the function with variable period is $f_1(x) = \sin x^{3/4}$ (Fig. 2), its variable period $T(x) = -x + \left(x^{3/4} + 2\pi\right)^{4/5}$.

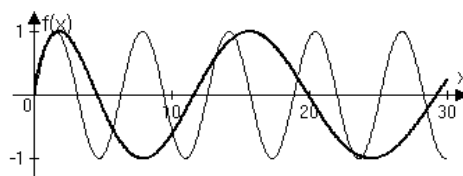


Fig. 2. Function $f_1(x) = \sin x^{3/4}$ (thick line), $f_2(x) = \sin x$ (thin line)

3.2 The exponential function: $f(x) = a^{g(x)}$, where the number $a > 0$, $g(x)$ – is the trigonometric function with variable period, in most cases $g(x) = \sin x^\alpha$, $\alpha > 0$, $\alpha \neq 1$, $g(x) = \cos x^\alpha$.

3.3 The power function: $f(x) = (g(x))^a$. For example, the power function is $f(x) = \left(\sin x^{4/3} + \frac{1}{2}\right)^2$ (Fig. 3), its variable period is $T(x) = -x + \left(x^{4/3} + 2\pi\right)^{3/4}$.

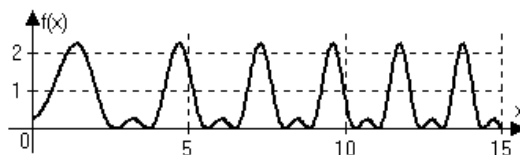


Fig. 3. The graph of function $f(x) = \left(\sin x^{4/3} + \frac{1}{2}\right)^2$

Another example is the superposition of the power function and the “Fractional portion” function: $f(x) = \left\{x^{3/5}\right\}^2$. The graph of this function is shown in Fig. 4 with variable period $T(x) = -x + \left(x^{3/5} + 1\right)^{5/3}$.

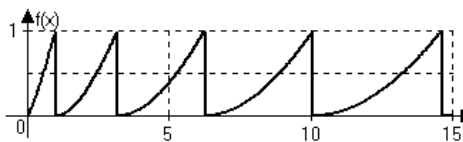


Fig. 4. The graph of function $f(x) = \left\{x^{3/5}\right\}^2$

3.4 The signum of the function: $f(x) = \operatorname{sign} g(x)$, $g(x)$ – is trigonometric function with variable period. For example, the function $f(x) = \operatorname{sign}\left(\sin x^{5/7}\right)$. Its graph – is the periodical fluctuations of the rectangular shape

(Fig. 5), but already with variable period $T(x) = -x + \left(x^{5/7} + 2\pi\right)^{7/5}$.

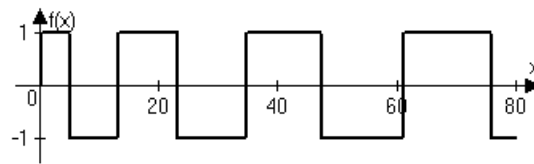


Fig. 5. The graph of function $f(x) = \text{sign} \left(\sin x^{5/7} \right)$

3.5 Fractional portion: $f(x) = \{g(x)\}^\alpha$, where $\alpha > 0$, $\{\bullet\}$ – fractional portion, $g(x)$ – some nonlinear continuous increasing (decreasing) function.

Example. Superposition of the logarithmic function and the “fractional portion” function: $f(x) = \{\log_c x\}$, $x \geq 1, c > 1$. For this function its variable period is $T(x) = x(c-1)$. At $c=3$ the graph of function $f(x) = \{\log_3 x\}$ is shown in Fig. 6, and its period $T(x) = 2x$, i.e. is linear function kx with coefficient $k=2$.

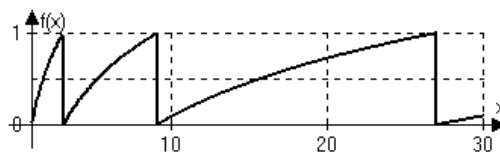


Fig. 6. The graph of function $f(x) = \{\log_3 x\}$

4. Fourier series of PFVP and its coefficients. The expansion of functions in the Fourier series is rather powerful tool for investigating the functions, primarily periodic ones. The formulas for determining the series coefficients are the basis of Fourier series development. Let us remind that if $f(x)$ is the periodic function with

period T , then for its Fourier series $f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos n \frac{2\pi}{T} x + b_n \sin n \frac{2\pi}{T} x \right)$ the coefficients are

determined by the formulas $a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) dx$, $a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \cos \frac{2\pi}{T} x dx$, $b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \sin \frac{2\pi}{T} x dx$.

In the case of PFVP, the task of constructing Fourier series and determining their coefficients is much more complicated. Let us consider only one isolated case of this problem. We choose the system of trigonometric functions

$$\sin nx^\alpha, \cos nx^\alpha, \alpha > 0, \alpha \neq 1, n = 1, 2, \dots, \quad (1)$$

Note that when $\alpha = 1$ we get the well-known system of trigonometric functions $\sin nx, \cos nx, n = 1, 2, \dots$, orthogonal at the arbitrary interval $[x, x + 2\pi]$ with the length 2π . As far as system (1) is concerned, its variable period is determined by the formula

$$T(x) = -x + \left(x^\alpha + 2\pi\right)^{1/\alpha}. \quad (2)$$

According to [4] system (1) is orthogonal with the weight function and its orthogonality interval is the arbitrary segment $[x, x + T(x)], x \geq 0$. Taking into account (2), the orthogonality interval, is

$[x, x + T(x)] = \left[x, \left(x^\alpha + 2\pi\right)^{1/\alpha} \right]$, i.e. its length is variable and equals $\left(x^\alpha + 2\pi\right)^{1/\alpha} - x$. It is easy to notice, that at $\alpha = 1$ the length of the orthogonality interval is equal 2π .

It is shown in [4] that the norm of each of the system functions (1) is equal to $\sqrt{\pi}$: $\|\sin nx^\alpha\| = \|\cos nx^\alpha\| = \sqrt{\pi}$. This

results from $\|\sin nx^\alpha\|^2 = \alpha \int_x^{x+T(x)} x^{\alpha-1} \sin^2 nx^\alpha dx = \pi$, $\|\cos nx^\alpha\|^2 = \alpha \int_x^{x+T(x)} x^{\alpha-1} \cos^2 nx^\alpha dx = \pi, n = 1, 2, \dots$

Let us proceed to the problem of Fourier series of PFVP. Let us assume $f(x)$ – is the periodic function with variable period, whose variable period coincides with the variable period of the trigonometric system (1), i.e. is determined by formula (2). Fourier series $f(x)$ in this case is expressed as the sum

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos kx^\alpha + b_k \sin kx^\alpha). \quad (3)$$

It is shown in [13] that under the above mentioned conditions, Fourier coefficients for this series are determined by formulas

$$a_0 = \frac{\alpha}{\pi} \int_{\tau}^{\tau+T(\tau)} x^{\alpha-1} f(x) dx, \quad a_k = \frac{\alpha}{\pi} \int_{\tau}^{\tau+T(\tau)} x^{\alpha-1} f(x) \cos kx^\alpha dx, \quad b_k = \frac{\alpha}{\pi} \int_{\tau}^{\tau+T(\tau)} x^{\alpha-1} f(x) \sin kx^\alpha dx \quad (4)$$

For Fourier series of PFVP there is Bessel inequality $\frac{a_0^2}{2} + \sum_{k=1}^n a_k^2 + b_k^2 \leq \frac{1}{\pi} \|f(x)\|^2$, where norm is

$\|f(x)\|^2 = (f(x), f(x)) = \alpha \int_x^{x+T(x)} x^{\alpha-1} f^2(x) dx$, i.e. determined by the scalar product taking into account the weight

function $\rho(x) = \alpha x^{\alpha-1}$. For example, for $f(x) = \text{sign}\left(\sin x^{5/7}\right)$ (Fig. 8) its variable period is

$T(x) = -x + \left(x^{5/7} + 2\pi\right)^{7/5}$. Let assume that the left point of the integration interval is $\tau = 20$. At this point the

period is $T(20) = -20 + \left(20^{5/7} + 2\pi\right)^{7/5} \approx 23.4095$. Then, in order to find Fourier coefficients, integration should

be carried out on the interval $[20, 20 + T(20)] \approx [20, 43.4095]$. The coefficient calculation results are shown in Table 1.

Table 1

The coefficient calculation results

Interval [20, 43.4095]	Function with variable period $f(x) = \text{sign}\left(\sin x^{5/7}\right)$									
$a_k, k = \overline{0,9}$	0.0003	-0.0082	-0.0003	-0.0082	-0.0003	-0.0082	-0.00001	-0.0082	-0.0002	-0.0082
$b_k, k = \overline{1,10}$	-	1.2732	0.0000	0.4244	0.0000	0.2546	0.0000	0.1818	0.0000	0.1414
	$\frac{a_0^2}{2} + \sum_{k=1}^{19} (a_k^2 + b_k^2) = 1.9588$					$\frac{1}{\pi} \ f(x)\ ^2 = 1.9999$				

Fig. 7 represents the graph of Fourier finite series function $f(x) = \text{sign}\left(\sin x^{5/7}\right)$ and the function graph.

Comparing these graphs, it can be stated that Fourier finite series $\frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n (a_k \cos kx^{5/7} + b_k \sin kx^{5/7})$ at $n = 9$ displays the form of function.

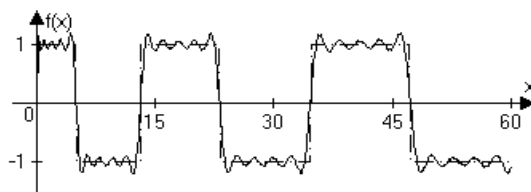


Fig. 7. Function $f(x) = \text{sign}\left(\sin x^{5/7}\right)$, $x \in [0, 60]$, (dotted line) and its Fourier finite series (full line)

5. Software “Fourier-analysis of functions with variable period”. The availability of the analytical assignment of functions with variable period and algorithm for obtaining of Fourier series coefficients of the PFVP provide the opportunity to develop software performing the Fourier analysis of the PFDP.

The interface of the program involves introduction by user the input function for processing, as well as parameters for display and calculations. For our purpose the dialog window completely provides Fourier analysis performance, since it displays the input data for analysis, the graph of the investigated function and its approximation function as the result of the analysis, as well as the calculated Fourier series coefficients and the amplitude spectrum graph.

Due to the developed software the user can enter the function with variable period, but with certain features of the input syntax. All variables and operations should be capitalized. For example, in basic mathematical operations such as: Cos(), Sin(); Pow("value", "power") exponentiation, we record X in braces "[X]". That is, cosine X raised to the third power should be recorded in the following way Cos(Pow([X], 3)). If the function input syntax is broken in the text field, then its plotting does not take place. After clicking the "Build a graph" button, the graphing of the investigated FVP is visualized. There is also an option "Smoothing the function", which smoothest the graph of the investigated FVP.

In order to make calculations and analysis, the user inputs the number of coefficients of Fourier series and the left point of the integration onset. The "Calculate" button provides calculation of Fourier series coefficients, their output in the form of the table, as well as the visualization of the amplitude spectrum graph (Fig. 8).

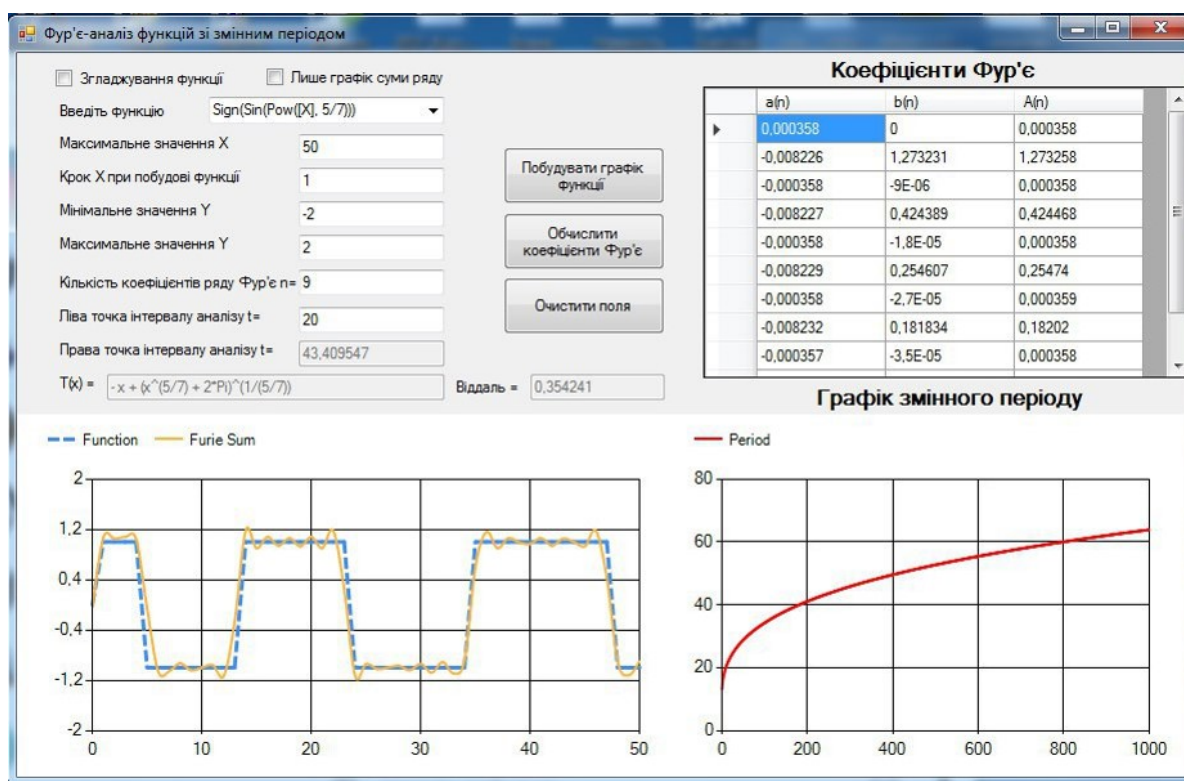


Fig. 8. Fourier-analysis of function $f(x) = \text{sign}\left(\sin x^{5/7}\right)$

Fourier coefficients of the investigated function are found and the Fourier series graph is constructed according to these coefficients sufficiently reflecting the behaviour of the function.

Conclusions. The carried out analysis of the modern mathematical software environments proved the existence of versatile possibilities for the investigation of periodic functions and the absence of such possibilities for periodic functions with variable period. The software program of Fourier analysis of functions with a variable period is developed. The obtained theoretical results are checked by means of computer experiment for one analytically assigned function with variable period. The obtained theoretical results are checked with the help of a computer experiment for one analytically given function with a variable period. For this purpose, Fourier coefficients of the investigated function are found, and their calculation was carried out by appropriate integration on one of the intervals which length coincided with the alternating period magnitude at the left point of the trigonometric system orthogonality interval. The graph of finite Fourier series constructed on the basis of these coefficients reflects the behaviour of the function perfectly well. The developed software product automatically calculates Fourier coefficients for functions with variable period and constructs the graphs of such functions and their finite Fourier series, which in turn provides the opportunity for further comprehensive investigations of functions with variable

period.

References

1. Pryimak M.V. Conditional periodic random processes with variable period / M.V. Pryimak, I.O. Bodnarchuk, S.A. Lupenko // Scientific journal of the Ternopil Ivan Puluj State Technical University. – 2005. – V.10, 32. – P. 132–141.
2. Pryimak M.V. Variable periods of some periodical functions with variable period / M.V. Pryimak // Materials of the eleventh scientific conference of the Ternopil Ivan Puluj State Technical University. Ternopil, ed. TSTU, 2007. – P. 71.
3. Pryimak M.V. Evaluation of the variable period and changeable frequency / M. V. Pryimac, R. O. Sarabum, L. P. Dmytrotsa // Measuring and calculating techniques in technological processes. – Khmelnytsky Technological University Podillya. – 2011. – 2. – P. 76–82.
4. Pryimak M.V. Orthogonal systems of periodic functions with variable period functions / M.V. Pryimak // Materials of the eleventh scientific conference of the Ternopil Ivan Puluj State Technical University. – Ternopil, ed. TSTU, 2007. – p. 72.
5. Vasylenko Ya.P. Class of functions with variable period / Vasylenko Ya.P., Dmytrotsa L.P., Pryimak M.V. // Scientific Journal of the Kharkiv Karazin National University – 1105. – Series «Mathematical Modelling. Information Technologies. Automated Control Systems». – 2014. – Edition 24. – p. 21–32.
6. Tryus Yu. V. Computer-oriented methodical systems of mathematics teaching / Yu. V. Tryus. – Cherkasy: Brama-Ukraine, 2005. — 400 p.
7. Dyakonov V.P. MATLAB R2006/2007/2008 + Simulink 5/6/7. Foundations of application. – 2-nd ed., rearran. and ad. – M. : SOLON-PRESS, 2008.
8. Vasylenko O.V. Spectral analysis in ECAD-programs / O.V. Vasylenko, D.O. Kuznyetsov // Conference abstracts MicroCAD-2010. – p. 217.
9. WolframAlpha computational intelligence [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.wolframalpha.com/input/> (accessed date: 15.02.2018).
10. Step-by-Step Calculator [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.symbolab.com/solver/step-by-step/fourier> (accessed date: 5.03.2018).
11. MathsTools [Electronic resource]. – Access mode : http://www.mathstools.com/section/main/fourierseries_calculator (accessed date: 15.03.2018).
12. Online Fast Fourier Transform (FFT) Tool [Electronic resource]. – Access mode : **Ошибка! Недопустимый объект гиперссылки.** <https://leventozturk.com/engineering/fft/> (accessed date: 15.03.2018).
13. Pryimak M.V. Analytical methods of assignment of functions with variable period and information technologies of their Fourier coefficients determination / M.V. Pryimak, L.P. Dmytrotsa, M.Z. Oliynyk // Scientific Journal of National University 'Lviv Polytechnics' – Collection of scientific papers, 854. – Series: Information systems and networks. – Lviv, ed. Of Lviv Polytechnics, 2016. – p. 138–148.

Рецензія/Peer review : 04.05.2018 р. Надрукована/Printed : 11.07.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

РОЗРОБКА ВЕБ-ДОДАТКУ ТУРИСТИЧНОЇ ФІРМИ

Під час розробки проекту було реалізовано веб-додаток для туристичної фірми. Метою проекту є розробка веб-додатку для туристичної фірми із застосуванням сучасних методологій і технологій. Актуальність проекту полягає в його адаптації до людей з обмеженими можливостями. Розробка відбувалась повністю на стеку JavaScript технологій. За основу взято нові стандарти мов програмування та розмітки, такі як HTML5, CSS3, ES6 (ECMAScript 2015). Розробка серверної частини побудована на технологіях JavaScript, зокрема використана платформа Node.js. Для роботи з великим об'ємом інформації було підключено базу даних. З огляду на стек проекту, було обрано базу типу noSQL. Проект доведено до фінальної стадії розробки та реалізовано повний купівельний цикл. Описано особливості проекту та перспективи для подальшого вдосконалення.

Ключові слова: веб-розробка, веб-додаток, html, css, javascript, node.js, express, mongo DB, noSQL, front-end, back-end.

T.V. SICHKO, B.O. YURCHUK
Vinnitsa National Agriculture University

DEVELOPMENT WEB-APPLICATION FOR TRAVEL COMPANY

A web application for a travel agency was implemented, during the development of the project. The aim of the project is to develop a web-based application for a travel company using modern methodologies and technologies. The urgency of the project is its adaptability for people with disabilities. The development took place entirely on the JavaScript technology stack. New standards for programming and mark-up languages, such as HTML5, CSS3, ES6 (ECMAScript 2015), were adopted as the basis. Development of server-side technology based on JavaScript also, the platform used Node.js. A database connected for work with a large amount of information. Given the project stack, a NoSQL database was selected (databases that implement an unconventional approach to managing the database without using a special SQL language). The project implemented by the component approach (each element of the application can function independently). In application was used SSR strategy (server-side rendering). It helps make our site "CEO-friendly" and does not load the client side of the application logic. The project brought to the final stage of development and a full purchasing cycle implemented. The features of the project and the prospects for further improvement described. The project implemented in the integrated software environment of the IDE WebStorm 2017.3.2. The project has a license "GNU GENERAL PUBLIC LICENSE". Everyone is permitted to copy and distribute verbatim copies of this license document, but changing it is not allowed. Link to the repository of an implemented web application: https://github.com/tigermx139/Go_Away-Travel-Agency.

Keywords: web development, web application, html, css, JavaScript, node.js, express, mongo DB, NoSQL, application, front-end, back-end, web-development.

Вступ. З появою веб-технологій комп'ютер починають використовувати абсолютно нові верстви населення Землі. Можна виділити дві найбільш характерні групи, що знаходяться на різних соціальних полюсах, які були стрімко залучені в нову технологію, можливо, навіть крім їх власного бажання. З одного боку, це були представники елітарних груп суспільства: керівники крупних організацій, президенти банків, топ-менеджери, впливові державні чиновники і т. ін. З іншого боку, це були представники найширших верств населення: домогосподарки, пенсіонери, діти.

Інтернет зближує, реакція на будь-яку подію поступає практично негайно, а відстані зникають. Веб-додатки істотно зменшують витрати виробника, так само як і розширюють можливості покупця – купувати будь-який товар у будь-якій країні, в будь-якому місті, у будь-який час доби. Цей момент є істотним під час переходу виробників із «звичайної» торгівлі на «електронну» [1].

Традиційний ринок Інтернет-комерції зароджувався як ринок роздрібною торгівлі. Але поступово на ринку стали з'являтися рішення, орієнтовані не на кінцевих споживачів, а на організації, так званий ринок B2B (business-to-business).

Спочатку, на ринку B2B пропонувалися продукти пов'язані власне з організацією роздрібною торгівлі (готові Інтернет-магазини, послуги з реклами, впровадження Інтернет-торгівлі в традиційні бізнес-процеси і тому подібне). Але поступово через Інтернет почали продаватися рішення безпосередньо з Інтернет не зв'язані (комерційне програмне забезпечення, послуги з автоматизації, оптова торгівля, брокерські послуги і т. ін).

Останні роки, мова програмування JavaScript знаходиться у стадії великих змін та інтенсивного розвитку. Спричинене це тим, що мова відноситься до слабко та динамічно типізованих, і тому «поріг входу» вважається значно нижчим ніж у конкурентів. На JavaScript раніше писали прості браузерні сценарії, а зараз на основі цієї мови існує багато Front-end фреймворків, які вже давно розроблено гігантами світу IT-індустрії: Google (Angular), Facebook (React), Yahoo (Ember) та ін. Крім того, компанією Google було створено повноцінну платформу для написання Back-end – Node.js, за допомогою якої ми можемо повністю реалізувати серверну частину сайту. Лише на сайті пакетного менеджера для Node.js - npm є більше 400 тисяч готових модулів та компонентів.

Світ мобільних пристроїв JavaScript теж не оминув. Компанія «Facebook» активно «просуває» бібліотеку React Native, яка створена для написання додатків саме під мобільні пристрої.

Сама ж «екосистема» JavaScript постійно збільшується, за словами Джеффа Етвуда (авторитетний розробник програмного забезпечення): «Будь-який додаток, який може бути написано на JavaScript, в кінцевому підсумку буде написаний на JavaScript».

Мета статті. Метою роботи є розробка веб-додатку для туристичної фірми із застосуванням сучасних методологій і технологій.

Актуальність роботи полягає в адаптації веб-додатку до людей з обмеженими можливостями. Новизною даного проекту можна вважати повну відмову від застарілих технологій типу LAMP (Linux, Apache, mySQL, PHP). Хоч мова програмування PHP, активно бореться за своє існування – попит на неї стабільно зменшується. За показниками рейтингу мов програмування ТЮВЕ – індекс мови програмування PHP впав з 11,4% (2005 рік) до 3,42% (2018 рік), для порівняння JavaScript виріс з 1,5% (2002 рік) до майже 4% (2018 рік). На індекс у великій мірі впливає те, що за статистикою 80% сайтів написані на застарілих технологіях типу PHP, тому поки існують ці проекти – буде необхідність в їх підтримці і в мові програмування, на якій вони написані. Ми не можемо стверджувати, що вона повністю зникне протягом найближчих 5–10 років, але можемо сказати з упевненістю, що «гілку першості» вона втратила і, скоріше всього, вже не поверне. Саме тому написання проекту на лідируючих стрімких технологіях, в основі яких лежить мова програмування JavaScript буде ключовою метою даної роботи.

Виклад основного матеріалу. Платформа з відкритим кодом Node.js створена для виконання високопродуктивних мережевих додатків написаних мовою JavaScript. Засновником платформи є Райан Дал (Ryan Dahl). Платформа node.js перетворила мову JavaScript, що в основному використовувалась в браузерях на мову загального використання з великою спільнотою розробників.

Node.js характеризується такими властивостями:

- асинхронна однопотокова модель виконання запитів;
- неблокуючий ввід/вивід;
- система модулів CommonJS;
- рушій JavaScript Google V8;
- використання пакетного менеджера npm (node package manager) для керування модулями.

Node.js призначений для відокремленого виконання високопродуктивних мережевих додатків на мові JavaScript. Функції платформи не обмежені створенням серверних скриптів для веб, платформа може використовуватися і для створення звичайних клієнтських і серверних мережевих програм. Для забезпечення виконання JavaScript-коду використовується розроблений компанією Google рушій V8.

Для забезпечення обробки великої кількості паралельних запитів у Node.js використовується асинхронна модель запуску коду, заснована на обробці подій в неблокуючому режимі та визначенні обробників зворотних викликів (callback). У якості способів мультиплексування з'єднань підтримується epoll, kqueue, /dev/poll і select. Для мультиплексування з'єднань використовується бібліотека libuv, для створення пулу потоків (thread pool) задіяна бібліотека libeio, для виконання DNS-запитів у неблокуючому режимі інтегрований c-ares. Всі системні виклики, що спричиняють блокування, виконуються всередині пула потоків і потім, як і обробники сигналів, передають результат своєї роботи назад через неіменовані канали (pipe).

У багатьох людей згадка про "базу даних" відразу викликає асоціації з MySQL, таблицями та SQL-запитами. MySQL, як і Oracle чи PostgreSQL є реляційною СКБД (системою керування базами даних). Інформація в них зберігається у вигляді зв'язаних таблиць. Кожна таблиця має власну схему (структуру), яка включає назву таблиці та набір полів (атрибутів, колонок). Сукупність усіх таблиць становить схему реляційної бази даних.

Чим складніша схема бази, тим складнішими стають запити на отримання інформації. Виконання складних запитів збільшує навантаження на сервер бази даних. Наразі набирають розповсюдження бази даних, які не мають схеми NoSQL БД. Збереження даних у таких базах є значно менш затратним. NoSQL розшифровується як Not Only SQL.

MongoDB документоорієнтована система управління базами даних (СУБД) з відкритим вихідним кодом, не потребує описання схеми таблиць. Класифікується як NoSQL, використовує JSON-подібні документи і схему бази даних. Написана мовою C++. Розробляється з жовтня 2007 року компанією 10gen. Зберігає всі дані у форматі бінарного JSON (BSON). Вже має широке застосування у реальних проектах.

Для веб-сайтів органів державної влади, органів місцевого самоврядування та територіальних громад, а особливо для веб-сайтів через які можна замовити отримання публічних та адміністративних послуг важливим є питання доступності для людей з вадами зору.

Нажалі питання стандартів або методичних рекомендацій щодо розробки адаптованих веб-сайтів в Україні залишається не вирішеним. Єдиним варіантом на сьогодні залишається використання нормативів і рекомендацій інших країн та міжнародних методичних рекомендацій.

На сьогодні можна виділити два основних документи, визнаних на міжнародному рівні, що описують стандарти та рекомендації доступності веб-сайтів для людей з обмеженими можливостями, це:

1. The Web Content Accessibility Guidelines 2.0 (WCAG 2.0) – остання версія методичних рекомендацій розроблена міжнародним консорціумом World Wide Web Consortium (W3C). W3C – це міжнародна організація, що розробляє відкриті стандарти для мережі Інтернет, створює специфікації для HTML, CSS, тощо. Консорціум W3C створив окрему ініціативу щодо доступності веб-ресурсів «Web

Accessibility Initiative» (WAI), метою якої є саме розробка стандартів доступності для веб-браузерів, засобів розробки веб-контенту для людей з обмеженими можливостями. Результатом роботи робочої групи з веб-контенту ініціативи WAI стала розробка зазначених методичних рекомендацій щодо доступності веб-сайтів – WCAG.

2. Розділ 508 Закону про Реабілітацію США. Зазначений закон з'явився у 1973 році та був першою законодавчою ініціативою створення рівних умов для людей з обмеженими можливостями. У 1998 році у розділ 508 зазначеного закону були внесені зміни, що заборонили федеральному уряду закуповувати товари та послуги, які не є повністю доступні для людей з обмеженими можливостями, включаючи послуги веб-дизайну. На базі цього розділу законодавчого акту були створені відповідні стандарти, опубліковані 21 грудня 2000 року.

Основний принцип закладений у зазначених вище методичних рекомендаціях та стандартах – це максимальна адаптація веб-сайтів до інструментів доступності, таких як текстове озвучування або використання без прив'язки до кольору.

Це включає в себе наступне:

- Заповнення атрибутів альтернативного тексту (alt) для всіх графічних елементів, що мають недекоративну функцію, з чітким описом зображення та його функції. На рис. 1 наведено приклад заповнення атрибутів альтернативного тексту карток турів одразу при генерації з бази даних.

```
<div class="tours_items">
  <% tours.forEach((tour, index) => { %>
    <div class="tour_tour-features" data-features="<%= tour.tourFeatures %>" data-country="<%= tour.tourC
      data-price="<%= tour.tourPrice %>">
      <div class="tour_visible">
        <div class="tour_img-container">
          " width="600"
            height="200" class="tour_img">
        </div>
      </div>
    </div>
  } %>
</div>
```

Рис. 1. Заповнення атрибутів альтернативного тексту карток турів одразу при генерації з бази даних

- Додання окремих файлів субтитрів для всіх аудіо та відео-матеріалів.
- Спрощення та коректне створення таблиць з чітким зазначенням рядків і стовпчиків заголовків та відповідності комірок таблиці заголовкам.
- Адаптація для перегляду сторінки без прив'язки до кольорів.
- Створення форм внесення інформації з послідовними логічними переходами між полями, наявністю всіх підписів та підказок щодо заповнення (рис. 2).

```
<form class="cost_form" action="#" method="post">
  <label for="dateIn" class="cost_label">
    Check-out
    <input type="text" class="cost_input" id="dateIn" name="dateIn"
      title="Введіть дату саєсда" min="10" max="10" required>
    <span></span>
  </label>
  <label for="dateOut" class="cost_label">
    Check-in
    <input type="text" class="cost_input" id="dateOut" name="dateOut"
      title="Введіть дату возвращення" min="10" max="10" required>
    <span></span>
  </label>
</form>
```

Рис. 2. Додавання підписів до полів вводу через тег label

В сучасній веб-розробці є велика кількість готових фреймворків, які вже мають комплексні і готові рішення для більшості поставлених задач. Але фронтова частина проекту була реалізована лише за допомогою HTML та CSS. Для прискорення роботи використовувались препроцесори Pug та Sass, а також таск-менеджер Gulp 4 версії.

Перед початком налаштування проекту потрібно зробити два головні кроки:

- здійснити ініціалізацію та налаштування package.json (файл з повними відомостями про проект, автора, підключені модулі та їх залежності) для коректної роботи нашого проекту та можливості повторного використання і редагування.
- здійснити налаштування репозиторію контролю версій (ми будемо використовувати систему Git за допомогою сервісу GitHub).

Всі пакети (додаткові модулі) для нашої програми ми будемо встановлювати за допомогою пакетного менеджера npm. Установка пакетів відбувається з командної стрічки CLI з поміткою "--save", для збереження в package.json.

Налаштування середовища розробки є важливою частиною та фундаментом будь-якого проекту, правильні налаштування допоможуть зекономити багато часу при розробці проекту. Наприклад, наш таск-менеджер сам копіює файли стилів, розставляє вендорні префікси, та сам оновлює сторінку браузера при зміні в структурі.

Верстка проекту виконується за стандартами HTML5, CSS3 та ES6. Це надає кращі можливості для подальшої підтримки та розробки.

Також за методологію розробки було взято BEM (Block Element Modifier – одна із фундаментальних методологій, яка описує норми написання ефективного коду, який можна перевикористовувати).

На рис. 3 представлено зразок використання методології BEM у проекті на прикладі найменування класів.

Під час стилізації сторінки використовувались такі особливості CSS 3, як плавні переходи (transition) та анімації (@keyframes).

```
<ul class="nav">
  <li><a href="/index">Главная</a></li>
  <li class="sub-menu">
    <button class="sub-menu_btn" onclick="dropDown('#dropdown-1') " tabindex="0">
    <ul class="sub-menu__container sub-menu-js" id="dropdown-1">
      <li class="sub-menu_item"><a href="/tours/hot">Hot tours</a></li>
      <li class="sub-menu_item"><a href="/tours/top">Top tours</a></li>
      <li class="sub-menu_item"><a href="/tours">All tours</a></li>
```

Рис. 3. Зразок використання методології BEM у проекті на прикладі найменування класів

На рис. 4 наведено приклад анімації «підстрибування» кнопки, яка в подальшому буде активована при наведенні курсора миші. Анімація реалізована за допомогою властивостей атрибута transform: translateY (зміщення по вертикалі) scale (пропорційна зміна розмірів).

```
@keyframes bounce {
  from {transform: translateY(0) scale(1);}
  40% {transform: translateY(15%);}
  50% {transform: translateY(-10%) scale(1.2);}
  70% {transform: translateY(10%);}
  80% {transform: translateY(-5%);}
  to {transform: translateY(0) scale(1);}
```

Рис. 4. Реалізація анімації «підстрибування» на CSS3

Далі розглянемо динамічні компоненти, реалізовані за допомогою JavaScript. Перший компонент – це модальне вікно. Йому потрібно реалізувати два стани: видимий (відкритий) та прихований (вікно закрите). Знайдемо власне вікно та кнопку відкриття за допомогою методу querySelector (шукає перший збіг в DOM-дереві). Далі присвоїмо кнопці відкриття «слухача» та обробника події кліку. А в обробнику вже будемо додавати нашому вікну клас, який зробить його видимим (рис. 5).

```
const open = document.querySelector(buttonId);
const modal = document.querySelector(modalId);
open.addEventListener('click', function () {
  modal.classList.add('modal-content-show');
  overlay.classList.add('modal-content-show');
});
```

Рис. 5. Реалізація методу відкриття модального вікна

Для зручності, метод закриття модального вікна було реалізовано трьома різними методами:

- клік по кнопці закриття вікна в правому верхньому кутку;
- клік по блоку overlay, що знаходиться на фоні форми пошуку;
- натиснувши кнопку Esc на клавіатурі;

Всі методи реалізовані описаним вище способом за допомогою «слухача» та додавання/видалення класів, які забезпечують видимість (рис. 6).

```
const overlay = modal.querySelector('.overlay');
const close = modal.querySelector('.modal-close');
close.addEventListener('click', function () {
  modal.classList.remove('modal-content-show');
  overlay.classList.remove('modal-content-show');
});
overlay.addEventListener('click', function () {
  modal.classList.remove('modal-content-show');
  overlay.classList.remove('modal-content-show');
});
```

Рис. 6. Реалізація методу закриття модального вікна

Наступним реалізованим компонентом буде перемикач зовнішнього вигляду карток турів (рис. 7, 9). Важливу роль в перебудові сітки карток відіграє більше CSS, ніж JavaScript. Завдяки гнучкій розкладці flex-box ми можемо будувати та перебудовувати сітку сайту згідно з тим, як нам потрібно.

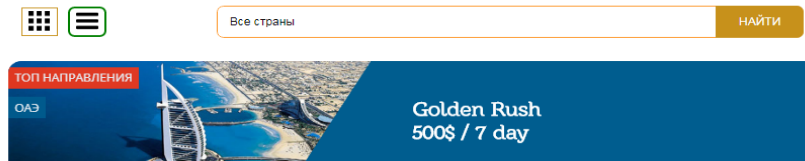


Рис. 7. Вигляд карток у режимі «повного перегляду»

В режимі «повного перегляду» кожен наступний тур розташовується один під одним. Для розкладки встановлено напрямок головної осі зверху-вниз (рис. 8).

```
.tours__container {
  display: flex;
  flex-direction: column;
  justify-content: center;
  width: 100%;
  padding: 10px;}
```

Рис. 8. Розкладка карток в режимі «повного перегляду» за допомогою flex-box

В режимі «швидкого перегляду» картки мають втричі менші розміри і розташовуються одна коло одної, також змінено зовнішній вигляд картки (рис. 9).

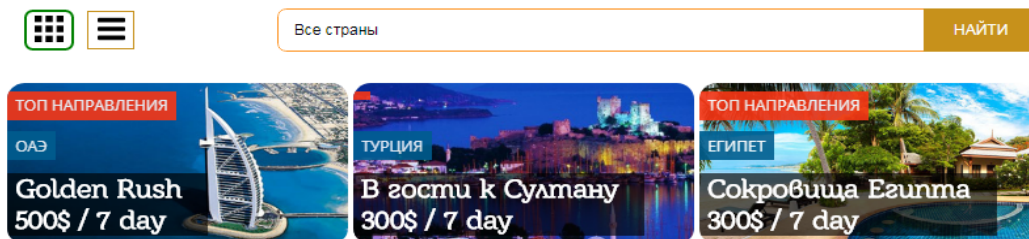


Рис. 9. Вигляд карток у режимі «Швидкий перегляд»

Для отримання такого результату нам необхідно: зменшити ширину картки, а також напрямок головної осі. Але крім цього треба дозволити переніс карток, яким не вистачає місця по ширині, на новий ряд розкладки (рис. 10).

```
.tour-short {
  display: flex;
  flex-direction: row;
  flex-wrap: wrap;
  align-content: center;}
.tour-short .tour{
  flex-basis: 32.5%;
  margin-right: 0.5%;}
```

Рис. 10. Розкладка карток в режимі «швидкого перегляду» за допомогою flex-box

Далі ми розглянемо побудову серверної частини сайту. За каркас нашої back-end частини взято мінімалістичний і гнучкий веб-фреймворк для додатків Node.js - Express, що надає великий набір функцій для мобільних і веб-додатків. Маршрутизація визначає, як додаток відповідає на клієнтський запит до конкретної адреси (кінцевої точки), яким є URL (або шлях) і метод запиту HTTP (GET, POST і т.ін.).

Тобто, Back-end частина буде відповідати за обробку запитів до сервера та подальшу роботу з ними (обробка та відправлення відповіді). Під відповіддю сервера мається на увазі одна або декілька функцій. В більшості випадків ми будемо використовувати функцію res.render (рис. 11), оскільки контент всіх сторінок нашого сайту буде генеруватись безпосередньо сервером. Форматування шаблонів було виконане за допомогою шаблонізатора ejs.

```
app.get('/index', (req, res) => {
  res.render('index');
});
```

Рис. 11. Відправка шаблонів сторінок за допомогою функції res.render

Однак є випадки коли потрібно застосувати інші методи відправки з сервера. Наприклад, middleware, який виводить всі тури по конкретній країні (рис. 12) в разі, якщо країну вказано некоректно або користувач випадково надіслав некоректний запит пошуку, сервер просто виконає res.redirect (автоматичний перехід) на сторінку з усіма турами.

```

app.get('/tours/country', (req, res) => {
  let country;
  if(req.query.c){
    country = req.query.c;
  }else {
    res.redirect('/tours');
  }
  tourView(req, res, {tourCountry: country}, 'tours_bd');
});

```

Рис. 12. Перенаправлення роута за допомогою функції `res.redirect`

Також сервер може відправити користувачу дані без перезавантаження сторінки (рис. 13). Для цього було використано технологію AJAX, яка працює через звичайний `http-request`. AJAX надсилає дані на сервер, а сервер, в свою чергу, намагається їх опрацювати та повернути власне результат своєї роботи (успіх або помилку). Відбувається це шляхом надсиланням змінних `StatusCode`. Якщо `StatusCode` буде рівний 200, то запит вважається успішним.

```

app.post('/callback', (req, res) => {
  const {customerName, customerNumber, customerMessage, status} = req.body;
  MongoClient.connect(urlDB, (err, db) => {
    db.collection("callback").insertOne(customer, (err, result) => {
      if(err) {
        return res.status(400).send();
      }
      db.close();
      res.status(200).send();});
  });
});

```

Рис. 13. Відправка сервером `StatusCode` після обробки запиту

Коли проект стає високонавантаженим або працює з великою кількістю інформації, виникає необхідність підключення бази даних. Опишемо роботу з СУБД `mongo DB`. База даних створена на основі сервісу `mLab`, що дозволяє працювати з нею незалежно від розташування сервера з нашим додатком.

Розглянемо роботу з даною СУБД на прикладі функції `tourView` (функція, яка виводить відфільтровані тури на сторінку). Розглянемо її роботу детальніше (рис. 14).

```

function tourView(req, res, sample = {}, render) {
  MongoClient.connect(urlDB, (err, db) => {
    db.collection('tours').find(sample).toArray((err, tours) => {
      db.close();
      const size = tours.length;
      const limit = 10;
      const maxPage = Math.ceil(size/limit);
      const skip = (page - 1) * limit;
      MongoClient.connect(urlDB, (err, db) => {
        db.collection('tours').find(sample).skip(skip).limit(limit).toArray(
          (err, tours) => {
            db.close();
            if(tours.length === 0) {
              res.redirect('/tours');
            }else {
              res.render(render, {
                tours,
                page: page,
                maxPage: maxPage
              });
            }
          });
      });
    });
  });
}

```

Рис. 14. Код функції `tourView`

На вході функція отримує параметри:

- `req / request` – дані, які надіслав користувач;
- `res / response` – дані, які має повернути сервер;
- `sample` – запит на вибірку з бази даних, за замовчуванням він порожній, що означає вибірку всіх елементів колекції. (Примітка: використання у функціях змінних з дефолтними значеннями стало доступно лише у новому стандарті мови JavaScript – ES6. Якщо ви використовуєте ES5 або нижчі версії, то код у вас не буде підтримуватись).

Всіх елементів колекції. (Примітка: використання у функціях змінних з дефолтними значеннями стало доступно лише у новому стандарті мови JavaScript – ES6. Якщо ви використовуєте ES5 або нижчі версії, то код у вас не буде підтримуватись).

`render` – назва сторінки, яку серверу необхідно надіслати у відповідь. Функція `tourView`, крім вибірки за турами, генерує клієнтську пагінацію, що зроблено для кращої доступності нашого додатку та зручності при роботі з ним. Під час запиту до колекції визначається кількість елементів у ній (метод `length`). Далі за допомогою вбудованих в наш СУБД клієнт методів: `skip` (скільки записів пропустити), `limit` (максимальна кількість записів на 1 сторінці), ми здійснюємо новий запит до бази даних.

Висновки. Розроблений для проекту додаток задовольняє всі обов'язкові вимоги технічного завдання. Front-end частина реалізована нативним кодом без використання фреймворків та бібліотек готових рішень. Back-end частина реалізована за допомогою платформи Node.js, а для спрощення маршрутизації та відправки даних використано фреймворк Express. Також підключено базу даних типу noSQL – mongo DB. Підключення та робота з базою відбувалась через стандартний MongoClient.

Розроблений додаток має ряд особливостей, зокрема:

- Використано стек технологій пов'язаних з JavaScript.
- Проект реалізовано компонентно, що дозволяє перевикористовувати код та в подальшому успішно підтримувати проект.
- Проект має завершений «ланцюжок» від потенційного покупця до купленого квитка.

Однак, будь-який продукт потребує доопрацювань і наш додаток – не виключення. Оскільки, він був написаний в наукових цілях, потрібно розробити ряд компонентів необхідних для повної реалізації його на ринку, а саме:

- Використання Mongoose для роботи з БД в цілях збільшення захищеності та типізованості вхідних даних.
- Створення можливості реєстрації на сайті.
- Доопрацювання поштових модулів для налаштування підписки на новини та отримання на пошту готового квитка.

Також, дотримуючись тенденцій сучасних веб-додатків, такі дії як: перехід по сторінках сайту, запити на сервер, відправка форм повинні відбуватися без перезавантаження сторінки браузера. Тому подальша реалізація додатку можлива лише у вигляді SPA (Single Page Application – додаток на одну сторінку). А також підтримки технологій Shadow DOM або Virtual DOM (віртуальне завантаження компонентів сайту), такі інструменти нам надають сучасні фреймворки React та Vue 2.0 відповідно.

Крім цього, об'єктивним на нашу думку буде реалізація API нашого додатку за допомогою технології REST запитів, яка зараз набирає популярність – GraphQL. Ну і звісно, обов'язково, потрібно провести юніт-тестування кожного компоненту, тут знову ж таки на допомогу приходять нові технології – бібліотека для тестування Jest або Mocha.

Література

1. Офіційна документація по роботі з фреймворком Express [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://expressjs.com/>
2. Офіційна документація по роботі з платформою Node.js [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nodejs.org/uk/>
3. Офіційний сайт пакетного менеджера npm [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.npmjs.com/>
4. Офіційний сайт сервісу GitHub [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://github.com/>
5. Офіційний сайт бази даних mongo DB [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.mongodb.com/>
6. Переклад книги Node Hero від RisingStack [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://medium.com/devschacht/node-hero-6a07ef8d822d>
7. Онлайн-підручник вивчення мови JavaScript [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://learn.javascript.ru/>
8. Офіційний сайт бібліотеки jQuery UI [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://jqueryui.com/>
9. Офіційний сайт компанії EGAP [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://egap.in.ua/>
10. Офіційний сайт організації W3C [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.w3.org/>

References

1. Official documentation for working with the Express [Electronic resource] – Access mode : <http://expressjs.com/>
2. Official documentation for working with the Node.js platform [Electronic resource] – Access mode : <https://nodejs.org/uk/>
3. The official site of the package manager npm [Electronic resource] – Access mode : <https://www.npmjs.com/>
4. Official site GitHub services [Electronic resource] – Access mode : <https://github.com/tigermx139>
5. The official database of mongo DB [Electronic resource] – Access mode : <https://www.mongodb.com/>
6. Translation of Node Hero book from RisingStack [Electronic resource] – Access mode : <https://medium.com/devschacht/node-hero-6a07ef8d822d>
7. Online tutorial for JavaScript learning [Electronic resource] – Access mode : <https://learn.javascript.ru/>
8. Official site jQuery UI library of user interfaces [Electronic resource] – Access mode : <https://jqueryui.com/>
9. Official site EGAP company [Electronic resource] – Access mode : <http://egap.in.ua/>
10. The World Wide Web Consortium (W3C) [Electronic resource] – Access mode : <https://www.w3.org/>

Рецензія/Peer review : 25.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 08.07.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Матвійчук В.А.

СИСТЕМА НАВІГАЦІЇ БЕЗПІЛОТНОГО НАЗЕМНОГО АПАРАТА НА ARDUINO

В статті запропоновано навігаційну систему для безпілотного наземного апарата на Arduino. Ця система дозволяє здійснити пересування безпілотного апарата за заздалегідь створеним оператором маршрутом. Основна ідея такого методу полягає в створенні ланцюга із точок які задаються GPS координатами, безпілотний апарат за допомогою навігаційної системи пересується по чергово від точки до точки. Таким чином він може автономно виконувати певну роботу, наприклад, транспортування вантажу або вести відеозйомку. На сьогоднішній день ця задача є досить актуальною і активно розвивається в світі. Перелічені і вказані модулі: GPS (GY-NEO6MV2), магнітометр (GY-273), акселерометр і гіроскоп (MPU6050) на основі показників яких здійснюється навігація. Також вказані їх технічні характеристики та способи підключення. Проаналізовано алгоритм роботи GPS, особливості його запуску (холодний, гарячий і теплий старт), а також причини їх виникнення. Рекомендовано програмне забезпечення (бібліотеки Arduino) що дозволить спростити роботу з GPS модулем. Запропоновано метод фільтрації (фільтр Калмана) GPS координат, та його математичну модель. Цей метод вирішить проблему неточності і зашумленості GPS координат. Описані причини виникнення шумів, основний принцип та алгоритм роботи фільтру, а також в якості прикладу наведено результат фільтрування GPS координат фільтром Калмана. Наведено теоретичний матеріал про роботу магнітометра та магнітного поля Землі. Описана причина виникнення похибки в показах на осях X та Y при нахилі магнітометра та спосіб її вирішення. Обґрунтовано необхідність використання акселерометра і гіроскопа для побудови цифрового компаса на основі магнітометра. Запропонована система проста і надійна, вона надає інформацію про орієнтування об'єкта в просторі та визначає його географічні координати.

Ключові слова: навігація, GPS, фільтр Калмана, магнітометр, цифровий компас.

A.A. MYASISHEV, A.P. FARYNA

Khmelnitsky National University

NAVIGATION SYSTEM FOR THE PILOTLESS LAND DEVICE ON ARDUINO

In article it is offered the navigation system for the pilotless land device on Arduino. This system allows the drone to move along a route that the operator created in advance. The main idea of this method is to create a chain of points that are specified by GPS coordinates, the unmanned vehicle is moved alternately from point to point using the navigation system. In this way, it can autonomously perform a certain work, for example, cargo transportation or video filming. Today this task is very relevant and actively develops in the world. Listed and specified modules: GPS (GY-NEO6MV2), the magnetometer (GY-273), accelerometer and a gyroscope (MPU6050) on the basis of which indicators is carried out navigation. Their technical characteristics and ways of connection are also specified. The algorithm of work of GPS, feature of his start (cold, hot and warm starts) and also the reasons of their emergence are analyzed. The software (Arduino libraries) is recommended that will allow to simplify work with the GPS module. The filtration method (Kallman's filter) of GPS of coordinates, and his mathematical model are offered. This method will solve a problem of inaccuracy and a noisiness of GPS of coordinates. The causes of noise, the basic principle and an algorithm of operation of the filter are described, and also the result of filtration of GPS of coordinates by Kallman's filter is given as an example. The theoretical material about operation of the magnetometer and magnetic field of Earth is given. The cause of a mistake in indications on axes X and Y at an inclination of the magnetometer and a way of her decision are described. Need of use of the accelerometer and a gyroscope for creation of a digital compass on the basis of the magnetometer is proved. The offered system simple and reliable, it provides information on orientation of an object in space and determines his geographical coordinates.

Keywords: navigation, GPS, Kallman's filter, magnetometer, digital compass.

Вступ

На сьогоднішній день сфера безпілотних наземних апаратів активно розвивається. Безліч компаній та університетів в світі розвивають даний напрям. Наприклад, дослідники з університету Харпер Адамс провели весь цикл сільськогосподарських робіт, починаючи від посадки до збору врожаю, використовуючи тільки безпілотну техніку [1]. У Німеччині Bosch і Daimler планують до 2020 року запустити в серію безпілотні автомобілі. Google (нині Alphabet) вже давно випробовує безпілотники. З 2009 року інтернет-корпорація тестує на вулицях самокеровані автомобілі та співпрацює з провідними автоконцернами [2].

Навігація є одною з головних проблем в сфері безпілотних апаратів. Очевидно що при відсутності пілота, система повинна самостійно орієнтуватися на місцевості і обирати напрям руху.

Постановка задачі

Для навігації безпілотного наземного апарата необхідно створити навігаційну систему, яка буде включати в себе сукупність приладів, алгоритмів і програмного забезпечення, що дозволяють здійснити орієнтування об'єкта в просторі. За допомогою окремих приладів, що дозволяють визначити географічні координати об'єкта або його місце розташування щодо інших об'єктів.

Основна частина

GPS навігація. GPS навігатор працює за наступним принципом: в першу чергу, пристрій намагається зв'язатися з навігаційним супутником. Як тільки зв'язок буде встановлено, відбувається передача альманаху, тобто інформації про орбіти супутників, що знаходяться в рамках однієї навігаційної системи. Зв'язку тільки з одним супутником буде недостатньо для отримання точного місцезнаходження, тому інші супутники передають навігатору свої ефемериди (координати штучних супутників Землі [3]), необхідні для визначення відхилення та інших параметрів.

Включивши навігатор вперше або після тривалої перерви, починається довге очікування отримання даних. Довгий час очікування пов'язаний з тим, що в пам'яті навігатора відсутні або застарілі альманахи і ефемериди, тому пристрій повинен виконати ряд дій з отримання або оновлення даних. Час очікування, або так званий час холодного старту, залежить від різних показників - якість приймача, стан атмосфери, шуми, кількість супутників в зоні видимості.

Щоб почати свою роботу, навігатор повинен:

- Знайти супутник і встановити з ним зв'язок;
- Отримати альманах і зберегти його в пам'яті;
- Отримати ефемериди від супутника і зберегти їх;
- Знайти ще три супутники і встановити з ними зв'язок, отримати від них ефемериди;
- Обчислити координати за допомогою ефемерид і розташування супутників.

Тільки пройшовши весь цей цикл, пристрій почне працювати. Такий запуск і називається холодним стартом.

Гарячий старт значно відрізняється від холодного. У пам'яті навігатора вже є актуальний на даний момент альманах і ефемериди. Дані для альманаху дійсні протягом 30 днів, ефемерид - протягом 30 хвилин. З цього випливає, що пристрій вимикалося на нетривалий час. При гарячому старті алгоритм буде простішим – пристрій встановлює зв'язок із супутником і обчислює розташування.

Існує теплий старт – в цьому випадку альманах є актуальним, а ефемериди потрібно оновити. Часу на це витрачається трохи більше, ніж на гарячий старт, але значно менше, ніж на холодний [4].

Гарним рішенням буде обрати приймач Neo-6M GPS. Він виробляється компанією u-blox. У цьому приймачі використовуються новітні технології для отримання точної інформації про місцезнаходження. Він встановлений в модуль GY-NEO6MV2. Він являє собою плату, на якій розташовуються приймач, стабілізатор напруги, незалежна пам'ять, світлодіод і акумулятор.

Модуль широко використовується для визначення поточного положення транспортних засобів. Отримані координати можна завантажити в карти Google Maps, Google Earth і інші. Час холодного старту приблизно 27 секунд, час гарячого старту – 1 секунда. Для підключення модуля будуть потрібні плата Arduino та антена GPS.

Технічні характеристики модуля:

- Напруга харчування 3,3-5В;
- Інтерфейс UART 9600 8N1 3.3V;
- Протокол NMEA;
- Наявність EEPROM для збереження налаштувань;
- Наявність вбудованої батареї;
- Можливість підключення антени до гнізда U-FL;
- Наявність більше 50 каналів позиціонування;
- Частота оновлення 5 Гц;
- Робочі температури від -40С до 85С.

З'єднання контактів: VCC до 5V, GND до GND, RX (вхід для даних UART), до 9 піну на Arduino, TX (вихід для даних UART) до 10 піну.

Для роботи буде потрібно підключити кілька бібліотек. SoftwareSerial – бібліотека потрібна для розширення апаратних функцій та подальшої обробки послідовного зв'язку. Бібліотека TinyGPS використовується для перетворення повідомлень NMEA в зручний для читання формат [5].

Фільтр Калмана. GPS як і будь-який вимірювальний прилад має погрішності вимірювань, на нього можуть впливати безліч факторів, таких як втрата сигналу від супутника, зміна геометрії і розташування супутників, відображення сигналів, обчислювальні помилки і помилки округлення, що призводить до того, що інформація яку він передає виявляється зашумленою.

Вирішити проблему зашумлення даних можна за допомогою програмних фільтрів. Програмний фільтр – це алгоритм обробки даних, який прибирає шуми і зайву інформацію. Одним з таких фільтрів є фільтр Калмана, він є ефективним рекурсивним фільтром, який оцінює вектор стану динамічної системи, використовуючи ряд зашумлених вимірів. У фільтрі Калмана є можливість задати інформацію про характер системи і зв'язок змінних і на підставі цього будувати більш точну оцінку. На рисунку 1 зображений приклад фільтрування GPS координат [6] фільтром Калмана.

Фільтр Калмана використовує динамічну модель системи, відомі фактори впливу та безліч послідовних вимірювань для формування оптимальної оцінки стану. Алгоритм складається з двох повторюваних фаз: передбачення і коригування. На першому розраховується прогноз стану в наступний момент часу (з урахуванням неточності вимірювання). На другому, нова інформація з датчика коригує передбачене значення (також з урахуванням неточності і зашумленості цієї інформації). Для того, щоб використовувати фільтр Калмана для оцінювання внутрішнього стану процесу, маючи лише послідовність зашумлених спостережень, необхідно змоделювати процес відповідно до моделі фільтру Калмана.

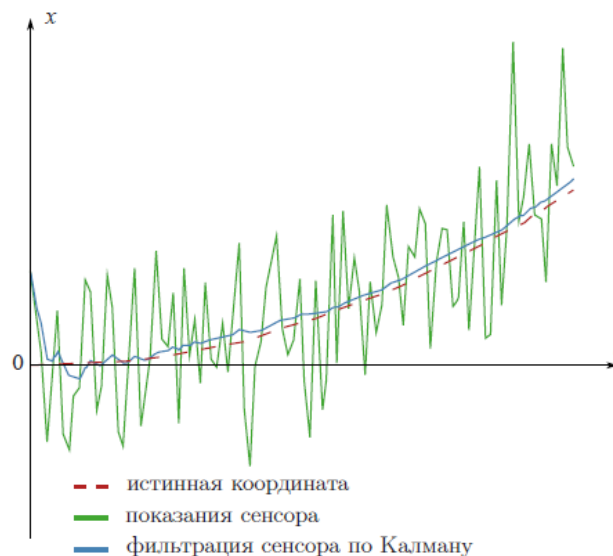


Рис. 1. Результат фільтрування GPS координат [7]

Модель фільтру Калмана припускає, що справжній стан у момент часу k виводиться зі стану в $(k-1)$ відповідно до:

$$x_k = F_k x_{k-1} + B_k u_k + w_k,$$

- F_k є моделлю переходу стану, що застосовується до попереднього стану x_{k-1} ;
- B_k є моделлю впливів керування, що застосовується до вектору керування u_k ;
- w_k є шумом процесу, що, як вважається, має багатовимірний Гаусівський розподіл з нульовим середнім значенням і з коваріацією Q_k [8].

Цифровий компас. Повноцінна навігація без компаса неможлива. Магнітометр є мікросхемним аналогом компаса. При повороті магнітометра у магнітному полі Землі показання на його трьох осях змінюються. Використовуючи ці дані, можна обчислити і з'ясувати напрямок магнітометра відносно напрямку на магнітний полюс. Зчитавши показання з осей X і Y , можна обчислити кут, який і буде кутом відхилення від напрямку на північ (рис. 2).

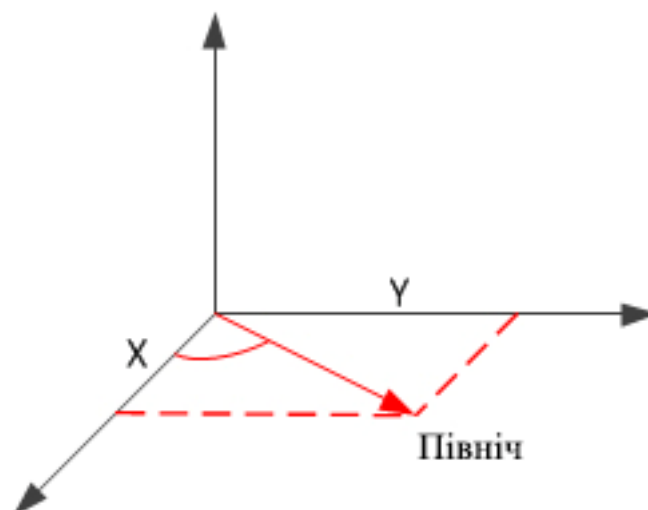


Рис. 2. Кут відхилення від напрямку на північ

Для усунення похибок вимірювання магнітометр необхідно калібрувати, але у будь-якого магнітометра навіть відкаліброваного спостерігається значна похибка при нахилах. Варто магнітометру придати нахил і показання значно змінюються. При нахилі магнітометра вертикальна складова і викликає зміни показів по інших осях магнітометра, чим ближче ви знаходитесь до полюса, тим більш помітний цей ефект. А на екваторі він практично відсутній. Справа у тому, що лінії магнітного поля Землі проходять паралельно поверхні тільки на екваторі. На решті поверхні Землі магнітні лінії спрямовані під кутом до поверхні, а на полюсах і зовсім спрямовані вертикально (рис. 3).

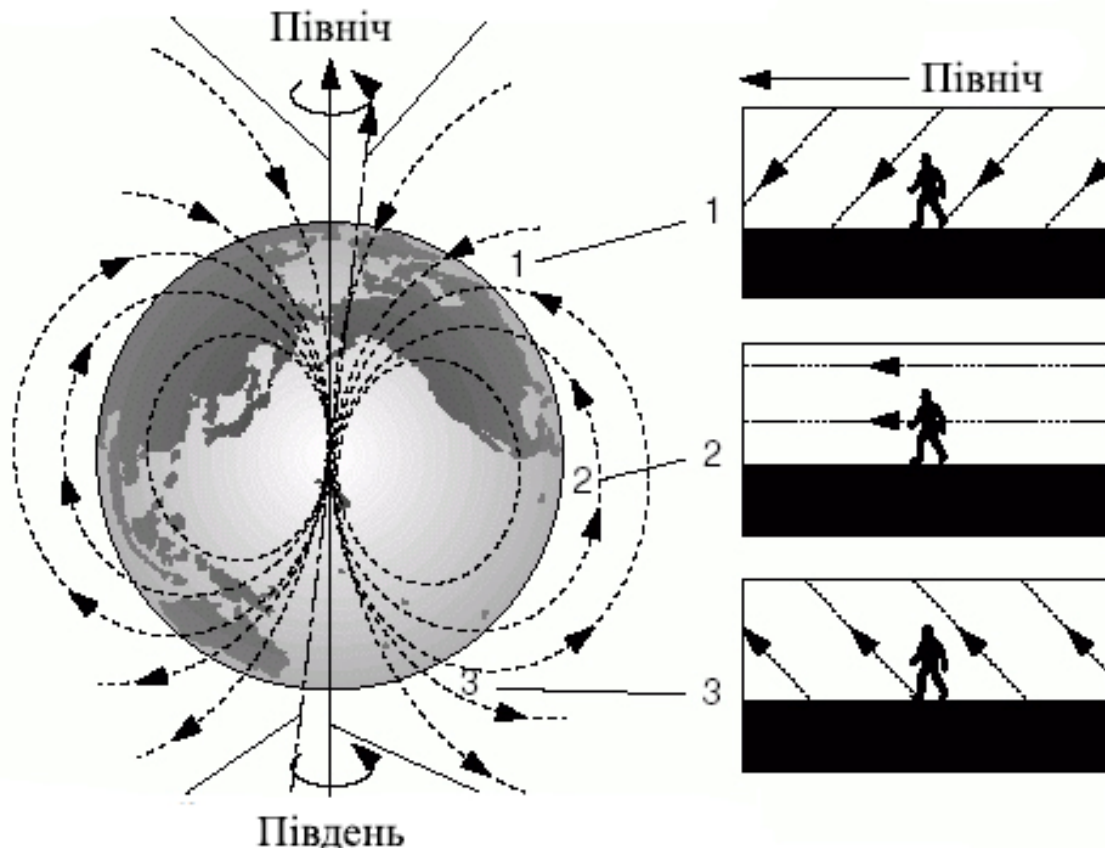


Рис. 3. Напрямок ліній магнітного поля землі

Щоб компенсувати похибку, що спричиняється нахилом магнітометра, щоб він при будь-яких положеннях міг показувати сторони світу правильно, потрібно визначити кути нахилу магнітометра відносно поверхні Землі. На жаль не має можливості однозначно визначити кути нахилу магнітометра відносно Землі за допомогою самого магнітометра, навіть знаючи кут нахилу ліній магнітного поля Землі в даній місцевості. Потрібні зовнішні, незалежні джерела даних про нахили магнітометра [9]. Для цього слід використовувати гіроскоп з акселерометром, наприклад трьохосовий гіроскоп з трьохосовим акселерометром MPU6050, він дуже доступний за ціною чим і придбав собі популярність [10].

Технічні характеристики MPU6050:

- Напруга живлення: 3-5 В
- Діапазон вимірювань гіроскопа: $\pm 250\ 500\ 1000\ 2000\ ^\circ / \text{с}$
- Діапазон вимірювань акселерометра: $\pm 2\ 4\ 8\ 16\ g$
- Вбудований 16-бітний АЦП інтерфейс обміну даних
- Для підключення до Arduino використовується інтерфейс I^2C [11].

Найпопулярнішим магнітометром для Arduino на сьогоднішній день є HMC5883L – це мініатюрна мікросхема, виконана на одному кристалі, дешева і невибаглива, вона швидко заслужила визнання. Часто її продають в складі готового модуля з усім необхідним, наприклад GY-273. Ось його основні характеристики:

- 3-осовий магніточутливий датчик;
- 12-розрядний АЦП з роздільною здатністю 2 МГс (мілігаусс);
- вбудована самоперевірка;
- низька робоча напруга і мале споживання;
- цифровий інтерфейс I^2C ;
- висока швидкість опитування - до 160 разів на секунду (час одного виміру приблизно 6 мс);
- точність визначення напрямку $1 \dots 2\ ^\circ$;
- може застосовуватися в сильних магнітних полях (до ± 8 Гаусс).
- Для підключення до Arduino використовується інтерфейс I^2C [12].

Висновки

Запропонований набір компонентів дозволить створити просту і надійну систему навігації, що дозволить здійснити орієнтування об'єкта в просторі та визначати географічні координати. За допомогою програмного забезпечення система дозволить здійснювати пересування по точках, що дозволить оператору створювати маршрути. Такий безпілотний апарат можна застосувати в багатьох сферах наприклад в автономних посівах полів або транспортуванні вантажів.

Література

1. В Британии на экспериментальной ферме используется исключительно беспилотная техника [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://aggeek.net/ru/news/id/v-britanii-na-eksperimentalnoj-ferme-ispolzuetsja-iskljuchitelno-bespilotnaja-tehnika-481/>
2. Безпілотні автомобілі: реальність і фантастика [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <http://www.dw.com/uk/безпілотні-автомобілі-реальність-і-фантастика/a-39656329>
3. Wikipedia Ефемериды [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <https://uk.wikipedia.org/wiki/Ефемериды>
4. Система спутниковой навигации GPS — принцип, схема, применение [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/sistema-sputnikovoj-navigacii-gps/>
5. Модули GPS в Arduino: подключение NEO 6 [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/ispolzovanie-modulej-gps-v-proektah-arduino/>
6. Фильтр Калмана — Введение [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <https://habr.com/post/140274/>
7. Фильтр Калмана [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <https://habr.com/post/166693/>
8. Wikipedia Фильтр Калмана [Електронний ресурс]. – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/Фильтр_Калмана
9. HMC5883L Магнітометр [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <http://www.avislab.com/blog/hmc5883l/>
10. MPU-6050 – гіроскоп – акселерометр [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <http://www.avislab.com/blog/mpu-6050/>
11. Гироскоп трехосевой MPU6050 GY521 [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <https://arduinka.biz.ua/ru/giroskop-trehosevoy-Mpu6050-Gy521-p558c74.html>
12. Как подключить цифровой компас hmc5883l к arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <https://soltau.ru/index.php/arduino/item/453-kak-podklyuchit-tsifrovoy-kompas-hmc5883l-k-arduino>

References

1. V Britanii na eksperimentalnoj ferme ispolzuetsya isključitelno bespilotnaja tehnika. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://aggeek.net/ru/news/id/v-britanii-na-eksperimentalnoj-ferme-ispolzuetsja-iskljuchitelno-bespilotnaja-tehnika-481/>
2. Bezpllotni avtomobili: realnIst I fantastika. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://www.dw.com/uk/bezpilotni-avtomobili-realnIst-I-fantastika/a-39656329>
3. Wikipedia Efemerida. [Electronic resource]. - Mode of access: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Efemerida>
4. Sistema sputnikovoy navigatsii GPS — printsip, shema, primenenie. [Electronic resource]. - Mode of access: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/sistema-sputnikovoj-navigacii-gps/>
5. Moduli GPS v Arduino: podklyuchenie NEO 6. [Electronic resource]. - Mode of access: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/ispolzovanie-modulej-gps-v-proektah-arduino/>
6. Filtr Kalmana — Vvedenie. [Electronic resource]. - Mode of access: <https://habr.com/post/140274/>
7. Filtr Kalmana. [Electronic resource]. - Mode of access: <https://habr.com/post/166693/>
8. Wikipedia Filtr Kalmana. [Electronic resource]. - Mode of access: https://ru.wikipedia.org/wiki/Filtr_Kalmana
9. HMC5883L MagnItometr. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://www.avislab.com/blog/hmc5883l/>
10. MPU-6050 – gIroskop – akselerometr. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://www.avislab.com/blog/mpu-6050/>
11. Giroskop trehosevoy MPU6050 GY521. [Electronic resource]. - Mode of access: <https://arduinka.biz.ua/ru/giroskop-trehosevoy-Mpu6050-Gy521-p558c74.html>
12. Kak podklyuchit tsifrovoy kompas hmc5883l k arduino. [Electronic resource]. - Mode of access: <https://soltau.ru/index.php/arduino/item/453-kak-podklyuchit-tsifrovoy-kompas-hmc5883l-k-arduino>

Рецензія/Peer review : 02.05.2018 р.

Надрукована/Printed : 15.07.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ПОШУКОВОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ CASSIE

На шляху розвитку сучасного «інформаційного суспільства» щоразу виникають проблеми пошуку і доступу до інформації. Для вирішення цих проблем людство створило бібліотеки. На сьогоднішній день це універсальна система зберігання «знань», їх систематизації та каталогізації. Пошук та відбір інформації вже давно намагаються вирішити шляхом створення універсальних або спеціалізованих інформаційно-пошукових систем. Один зі шляхів практичного вирішення – це створення такої системи на основі системи CASSIE компанії «LIBRARIKA». Дана система дозволяє створити електронний каталог для невеликих за обсягом інформаційних ресурсів.

Ключові слова: електронний каталог, бібліотека, інформаційно-пошукова система.

U.B. YARKA, O. K. HANAS

Lviv Polytechnic National University

CONSTRUCTION OF INFORMATION AND SEARCH SYSTEM BASED ON CASSIE SYSTEM

This paper describes the possibilities of increasing the efficiency of the library due to the creation of the information retrieval system. The modern stage of civilization is characterized by the transition from an industrial society to information one. The urgency of the creation of the information and retrieval system of the library is conditioned by the necessity of using the constantly increasing amount of the library fund. The use of modern computer technologies will facilitate and improve the work of the library. Automation can not only shorten the time of searching for the necessary literature, but also create a new tool in the service of readers of the library. One of the most important components of library information retrieval systems is the electronic catalogue. It is especially valuable when it is on the World Wide Web. This allows to provide round-the-clock access to information about the availability of funds in the library. An online catalogue presents a library in global information networks and allows you to significantly expand the library audience at the expense of remote users. The electronic catalogue, as the basis of the information-search system of the library, is involved in all major library technological processes. Therefore, knowledge of its properties, the ability to work with it is necessary for developers of its information base, library technologists, as well as its users. Therefore, LIBRARIKA'S integrated CASSIE system was used to form the electronic catalogue. LIBRARIKA is a free information system. Has a convenient graphical interface. Can be used in different languages. With regard to the forecast of the future electronic catalogue, it is obvious that it will be associated with the possibility of creating consolidated catalogues of the combined libraries. It can also be assumed that the further development of electronic catalogues will be aimed at expanding the dialogue and means of assistance to its users.

Key words: information retrieval system, electronic catalogue, library.

Вступ

Сучасне суспільство називають інформаційним, епохою глобальної інформатизації. У наш час інформаційна діяльність стала провідним фактором соціально-культурного та суспільного розвитку людства.

З огляду на виклики часу бібліотеки світу, зокрема України, дедалі більше використовують новітні технології, книгозбірні намагаються забезпечити інформаційні потреби користувачів повною мірою [1].

Одним із основних завдань бібліотеки є створення вторинної інформації. Електронні довідково-бібліографічні ресурси і комунікаційні технології значно збільшують надійність і ефективність довідкового апарату, зокрема бібліотечних каталогів, бібліографічних баз даних, енциклопедичних, довідкових видань в електронній формі, дають можливість отримувати відомості із більшої кількості різних джерел, у тому числі і з бібліотек багатьох країн світу. Це дозволяє суттєво розширити кількість реально виконуваних бібліографічних запитів, прискорити і поліпшити ефективність їхнього виконання [2].

Інноваційні підходи до інформаційного забезпечення сучасних бібліотек залежать від інформаційних потреб суспільства загалом та користувачів книгозбірні зокрема. На сьогоднішній день в діяльності бібліотек основним, як правило, є видача документів, доступ до електронних баз, інколи досить обмежений абонемент, бібліографічні, фактографічні, книгознавчі довідки, консультації. Розвиток бібліотечних послуг передбачає роботу у напрямках забезпечення доступу до ресурсів, урізноманітнення видів послуг і створення комфортних психологічних умов співпраці бібліотекаря і читача, користувача, всіх, хто звертається до бібліотеки за знаннями, інформацією, порадами.

Створення інформаційно-пошукової системи бібліотеки будь-якої організації є актуальним питанням, зумовленим необхідністю використання постійно зростаючих обсягів бібліотечного фонду.

Використання сучасних комп'ютерних технологій надасть можливість полегшити та підвищити ефективність роботи бібліотеки. Автоматизація здатна не просто скоротити час пошуку необхідної літератури, але й створити новий інструмент у сфері обслуговування читачів бібліотеки.

Розглянемо актуальні на даний час інформаційні системи для обслуговування бібліотек. Однією з перших вільних автоматизованих бібліотечних інформаційних систем (АБІС) є система Koha. Розробка цієї системи розпочалась в 1999 році у Новій Зеландії. Першу інсталяцію системи було проведено у січні 2000 року.

Система Koha призначена для підтримки традиційних бібліотечних технологічних процесів. Koha створена на основі бібліотечних стандартів та протоколів, що забезпечує можливість взаємодії між нею та іншими бібліотечними системами і технологіями [3].

Koha має більшість очікуваних можливостей програмного забезпечення, зокрема: інтерфейс для бібліотекарів і читачів, пошук, просту систему контролю надходжень до фонду, модуль каталогізації з вбудованим клієнтом, книговидачу та керування читачами, здатність працювати з будь-якою кількістю підрозділів, відвідувачів, примірників та інших бібліотечних даних, систему підтримки періодики.

Evergreen – це інтегрована бібліотечна система, розроблена консорціумом PINES (штат Джорджія), для застосування у великій публічній бібліотеці та мережі бібліотек цілого штату, де потрібно обробляти мільйони записів сотень бібліотек [3].

Evergreen забезпечує підтримку повсякденних бібліотечних операцій таких, як облік фондів, реєстрація читачів, надання доступу до каталогу в режимі онлайн. Evergreen має можливості обчислення і контролю термінів видачі і повернення документів. Система дає змогу відстежувати, де знаходиться будь-яка книга, компакт-диск або будь-який інший документ бібліотеки. Evergreen має дружній веб-інтерфейс бібліотечного каталогу, який дозволяє читачеві знайти все, що йому потрібно незалежно від того, де це знаходиться.

Ще однією системою автоматизації роботи бібліотек є система OpenBiblio [4]. Це програмне забезпечення користується популярністю серед малих і сільських бібліотек по всьому світі завдяки своїй простоті, розширеній підтримці різних мов і детальній документації. Система призначена для невеликих бібліотек. OpenBiblio надає всі необхідні функціональні можливості для невеликої або середньої бібліотеки, але не включає більш складні функції, у тому числі такі як придбання і керування періодикою, які надають інші інтегровані бібліотечні системи з відкритим вихідним кодом, такі як Koha та Evergreen.

CDS/ISIS (Computerised Documentation Service / Integrated Set of Information Systems) – пакет програмного забезпечення розповсюджений у бібліотеках країн, що розвиваються, як стандарт програмного забезпечення для розробки інформаційних систем [4]. CDS/ISIS – це пакет програм, призначений для побудови автоматизованих інформаційних систем бібліотек, архівів і музеїв. Має версії для роботи під управлінням таких операційних систем, як Windows I Unix. Пакет функціонує у локальних і глобальних комп'ютерних мережах. Його використовують понад 20 тисяч організацій у 90 країнах світу.

Компанія LIBRARIKA пропонує безкоштовну інтегровану систему CASSIE, яка має стандартні функції комп'ютерного обслуговування користувачів у читальних залах бібліотек: контроль доступу і комп'ютерного часу, управління друком, персональна аутентифікація і статистична звітність.

CASSIE [5, 6] також має ексклюзивні візуальні функції управління, які дозволяють бібліотекарям і читачам взаємодіяти з системою через зручний графічний інтерфейс, причому різні співробітники можуть виконувати диспетчерські функції одночасно. Програма має багатомовний інтерфейс. CASSIE також підтримує служби віддалених робочих столів.

Завдяки зручним функціям встановлення та організації роботи для створення інформаційно-пошукової системи обрано інтегровану систему CASSIE компанії LIBRARIKA.

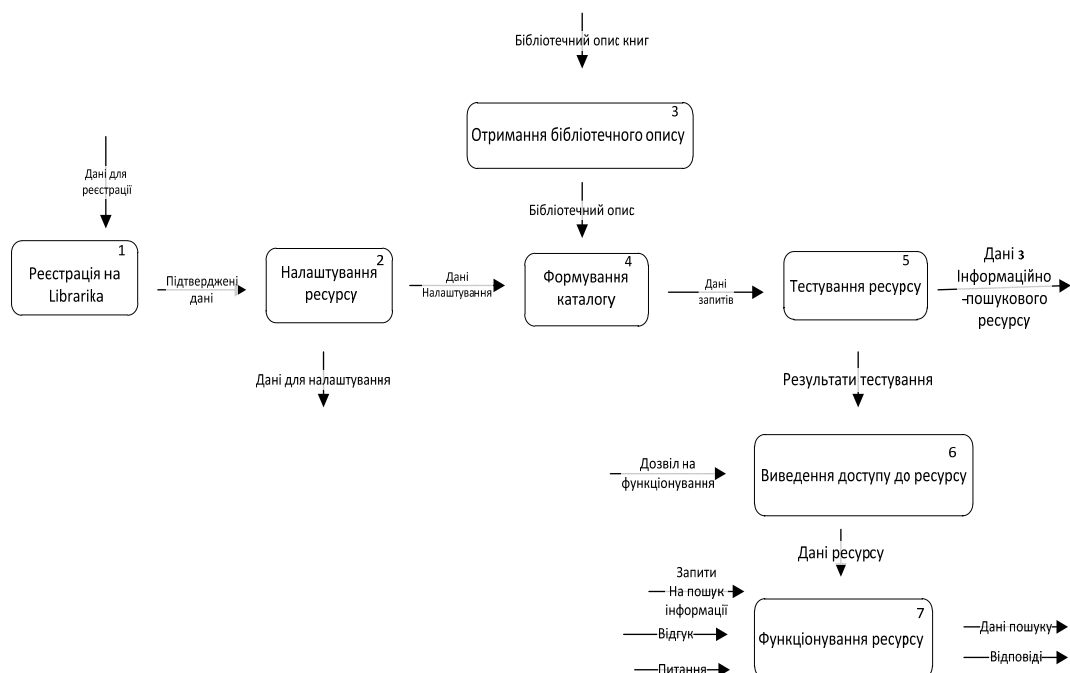


Рис. 1. DF-діаграма створення інформаційно-пошукової системи на основі системи CASSIE компанії LIBRARIKA

Основна частина

Детальніше розглянемо процес створення інформаційно-пошукової системи на основі системи CASSIE компанії LIBRARİKA. Цей процес відображений в DF-діаграмі (рис. 1) (на прикладі створення інформаційно-пошукової системи для організації УМХ).

З діаграми рис 1. зрозуміло, що для створення інформаційно-пошукової системи основний процес слід розбити на такі підпроцеси: отримання бібліографічного опису, реєстрація на Librarika, налаштування ресурсу, формування електронного каталогу, тестування ресурсу, функціонування ресурсу. Між кожною з цих ланок існує тісний взаємозв'язок.

Особливу увагу слід приділити пункту реєстрації на Librarika, оскільки це процес нестандартний (рис. 2).

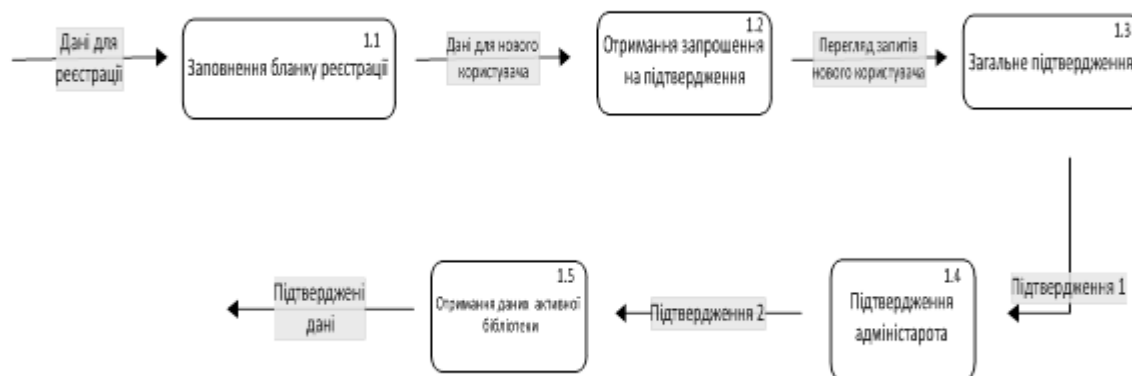


Рис. 2. DF-діаграма реєстрації на Librarika

Після реєстрації вхід адміністратора супроводжується введенням імені користувача та пароля.

Створення власного каталогу (рис. 1) починається з використання «Бібліотеки доступу» (пункт «Мої бібліотеки») (рис. 3):

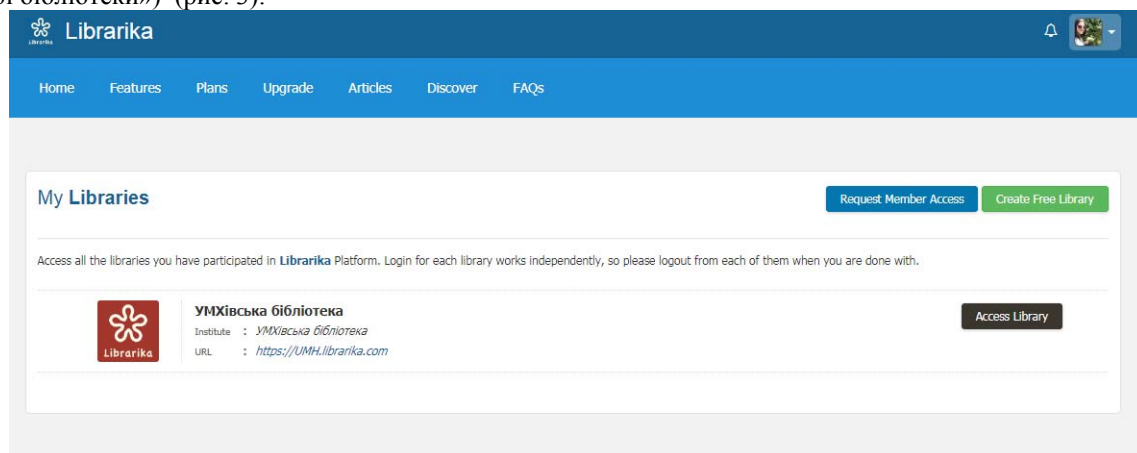


Рис. 3. Вхід у бібліотеку

Головне меню створеної бібліотеки буде складатися з таких пунктів: Панель приладів, Каталоги, Тиражі, Закупівлі, Обговорення, Звіти, Інші, Керування (рис. 4).

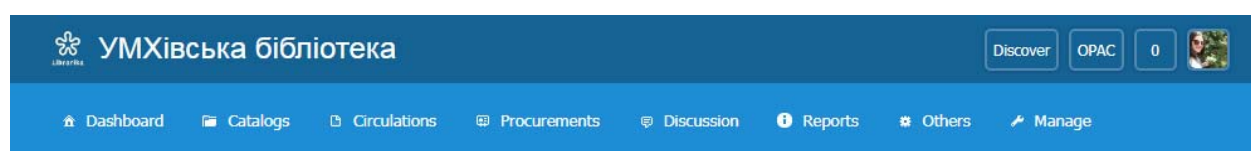


Рис. 4. Головне меню інформаційно-пошукової системи «УМХівська бібліотека»

Для створення каталогу у меню «Каталоги» використовуємо підменю «Каталог товарів». Дані бібліотечного опису книг можна додавати вручну або імпортувати. Зокрема каталог буде містити такі дані: тип літератури, назву, автора, видання, рік, ISBN, кількість копій. Додатково можна ввести опис документа, предметну область, кількість сторінок, URL-адресу та додати сам ресурс у електронному вигляді.

Пошукову частину системи налаштуємо за допомогою пункту меню «Пошук по каталогу», яка дасть можливість знайти потрібну літературу. Для цього потрібно ввести тип літератури та критерії пошуку, наприклад, автора книги, назву книги, ISBN тощо (рис. 5).

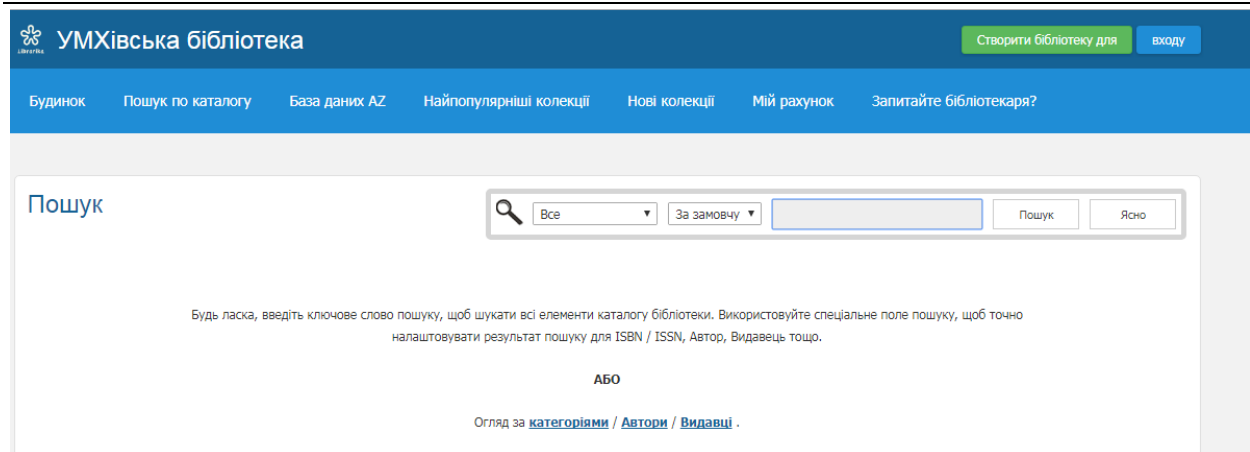


Рис. 5. Використання пошуку літератури

Окрім створення каталогу літератури та пошуку в системі є можливість налаштування двостороннього зв'язку, користувач може написати відгук про книжку та задати питання. Отже, пункт 7 «Функціонування ресурсу» (рис. 1) можемо розбити на підпроцеси, зображені на (рис. 6). Тим самим ресурс стає більш функціональним, налагоджується співпраця з користувачами, для максимального задоволення їх потреб.

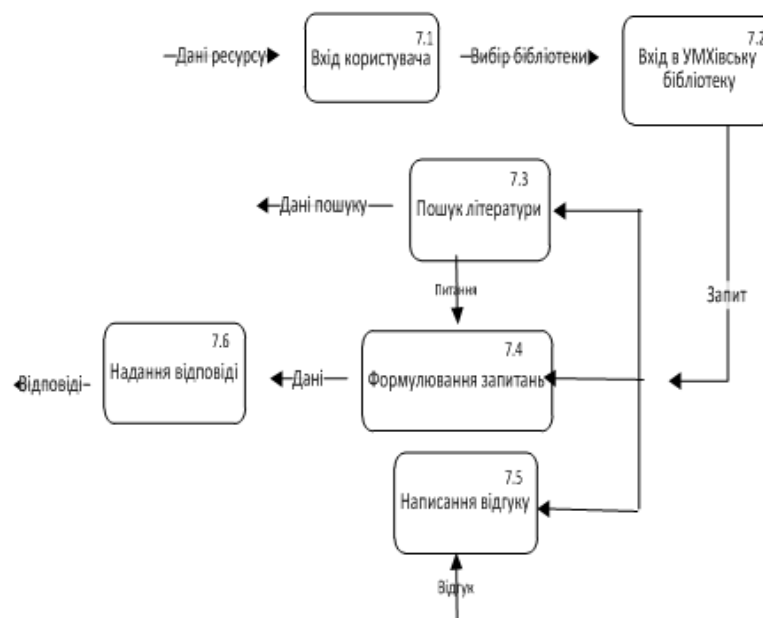


Рис. 6. DF-діаграма «Функціонування ресурсу»

Висновок

На жаль, державної підтримки розвитку корпоративних бібліотечних проєктів в Україні практично немає. Бібліотеки змушені самостійно вирішувати свої проблеми, спрямовуючи зусилля на пошук більш ефективних форм роботи. Таку можливість невеликим бібліотекам надає система CASSIE компанії LIBRARICA (2000–10000 найменувань). Ця відкрита бібліотека може ефективно використовуватися в кооперативних офісах, бібліотеках коледжів, шкіл, приватних та публічних бібліотеках.

При зверненні користувача до електронного каталогу бібліотеки, розвивається бібліотечно-бібліографічна грамотність, відбувається знайомство з пошуковим апаратом, виробляються необхідні навички пошуку інформації.

Електронний каталог дозволить бібліотеці розширити сферу послуг. Активне використання електронного каталогу є перехідним містком до створення у майбутньому електронної бібліотеки організації.

Отже, розвиток інформаційних технологій та стрімкий процес інформатизації всіх сфер сучасного суспільства радикально вплинули на бібліотечні технології. Взаємодія традиційної бібліотеки з інтернет-технологіями вивела бібліотечну діяльність на вищий рівень, відкрила якісно нові можливості.

Література

1. Давидова І. О. Сучасна бібліотека як система виробництва інформаційних продуктів та послуг / І.

О. Давидова // Вісн. Книжк. палати. – 2005. – № 4. – С. 18–20.

2. Ханас О.Т. Ефективне інформаційне забезпечення установи / О.Т. Ханас, У.Б. Ярکا // Матеріали 6-ї Міжнародної конференції ICS-2015 «Інформація, комунікація, суспільство 2017». – Львів, 2017 – С. 332–333.

3. Вершиніна М.Й. Електронні ресурси бібліотек України в інформаційному забезпеченні науки: стан та перспективи розвитку [Електронний ресурс]. – 2013. – Режим доступу : file:///C:/Users/ussser/Downloads/bp_2006_4_6.pdf

4. Гуцол Г.О. Формування фондів електронних бібліотек: шляхи розв'язання проблеми [Електронний ресурс] / Г.О. Гуцол // Бібліотечна палата. – 2010. – 4. – С. 7–9. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/bp_2010_4_3.

5. Резніченко В.А. Електронні бібліотеки: інформаційні ресурси та сервіси [Електронний ресурс] / Резніченко В.А., Захарова О.В., Захарова Е.Г. – 2005. – С. 60–61. – Режим доступу :

6. <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/1374/05-D0%A0%D0%B5%D0%B7%D0%BD%D0%BA%D0%BE%233.pdf?sequence=1>

7. Луцишина Т.Е. Електронний каталог як основний інформаційний ресурс бібліотек ВНЗ Західного регіону України у сучасному веб-просторі [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/vkp_2014_4_8

References

1. Davydova I. O. Suchasna biblioteka yak systema vyrobnytstva informatsiinykh produktiv ta posluh / I. O. Davydova // Visn. Knyzhk. palaty. – 2005. – № 4. – S.18–20.

2. Khanas O.T. Efektyvne informatsiine zabezpechennia ustanovy / O.T. Khanas, U.B. Yarka // Materialy 6-yi Mizhnarodnoi konferentsii ICS-2015 «Informatsiia, komunikatsiia, suspilstvo 2017». – Lviv, 2017 – S. 332–333.

3. Vershynina M.I. Elektronni resursy bibliotek Ukrainy v informatsiinomu zabezpechenni nauky: stan ta perspektyvy rozvytku [Elektronnyi resurs]. – 2013. – Rezhym dostupu : file:///C:/Users/ussser/Downloads/bp_2006_4_6.pdf

4. Hutsol H.O. Formuvannia fondiv elektronnykh bibliotek: shliakhy rozv'iazannia problemy [Elektronnyi resurs] / H.O. Hutsul // Bibliotchna palata. – 2010. – 4. – S. 7–9. – Rezhym dostupu : http://nbuv.gov.ua/UJRN/bp_2010_4_3.

5. Reznichenko V.A. Elektronni biblioteki: informatsiini resursy ta servisy [Elektronnyi resurs] / Reznichenko V.A., Zakharova O.V., Zakharova E.H. – 2005. – S. 60–61. – Rezhym dostupu :

6. <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/1374/05-D0%A0%D0%B5%D0%B7%D0%BD%D0%BA%D0%BE%233.pdf?sequence=1>

7. Lutsyshyna T.E. Elektronnyi katalog yak osnovnyi informatsiinyi resurs bibliotek VNZ Zakhidnoho rehionu Ukrainy u suchasnomu veb-prostori [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : http://nbuv.gov.ua/UJRN/vkp_2014_4_8

Рецензія/Peer review : 09.05.2018 р.

Надрукована/Printed : 05.07.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАДЛИШКОВОГО ТИСКУ РОЗІГРІТОГО ПОВІТРЯ
НА ФУНКЦІОНАЛЬНУ РОБОТОЗДАТНІСТЬ ПЛІВКОВИХ КОНДЕНСАТОРІВ**

В роботі наведено результати дослідження впливу надлишкового тиску розігрітого повітря. На основі аналізу умов експлуатації конденсаторів розроблено математичні моделі дії надлишкового тиску повітря всередині конденсатора в осьовому і радіальному напрямку як на етапі полімеризації компаунда, так і після закінчення полімеризації. Проведено розрахунки, які визначають можливість відриву компаунда від стінок корпусу конденсатора.

Ключові слова: компаунд, конденсатор, герметичність, тиск, напруження, міцність.

A.G. VOZNYAK, V.P. ROYZMAN
Khmelnytsky National University

RESEARCH INFLUENCE ADVANCED PRESSURE ON FUNCTIONAL OPERABILITY FILM CAPACITORS

An analysis of the conditions of the operation of film capacitors shows that, in addition to the contact pressure acting on the boundary of the compound with the shell, the leakproofness of the moisture protection unit is also adversely affected by the excess pressure of air at a temperature of 100 °C located inside the condenser. When investigating the effect of this factor on the functional capacity of film capacitors, it should be noted that the temperature of 100 °C corresponds not only to one of the polymerization modes of the compound, but also to the maximum value of the temperature difference of the thermocycles. Therefore, the effect of excess air pressure should be studied both during the polymerization stage and after its completion in the tests. Taking into account the above, studies of the effect of excess internal air pressure on the tightness of capacitors at the testing stage (in terms of thermocycling) were conducted, when the processes of polymerization of the compound and the formation of adhesive bonds between the compound, the output and the body have already been completed. In this case, the effect of excess pressure of air at a temperature of +100 °C in the axial (on the partition and compound cylinder) and radial (on the walls of the body of the condenser) directions.

Keywords: compound, capacitor, hermeticity, pressure, tension, strength.

Аналіз умов експлуатації плівкових конденсаторів показує, що крім контактного тиску, який діє на межі розділу компаунда з оболонкою, на герметичність вузла вологозахисту негативно впливає ще й надлишковий тиск повітря при температурі 100 °C, який знаходиться всередині конденсатора. При дослідженні впливу цього фактору на функціональну роботоздатність плівкових конденсаторів потрібно вказати, що температура 100 °C відповідає не тільки одному з режимів полімеризації компаунда, а й максимальному значенню перепаду температур термоциклів. Тому вплив надлишкового тиску повітря повинен бути вивчений як на етапі полімеризації, так і після його завершення при випробуваннях.

Враховуючи викладене, були проведені дослідження впливу надлишкового внутрішнього тиску повітря на герметичність конденсаторів на етапі випробувань (в умовах термоцикування), коли процеси полімеризації компаунда і утворення адгезійних зв'язків між компаундом, виводом і корпусом вже завершені. При цьому розглядалася дія надлишкового тиску повітря при температурі + 100 °C в осьовому (на перегородку і компаундний циліндр) і радіальному (на стінки корпусу конденсатора) напрямках.

Розглянемо більш детально результати таких випробувань.

1. Модель взаємодії елементів

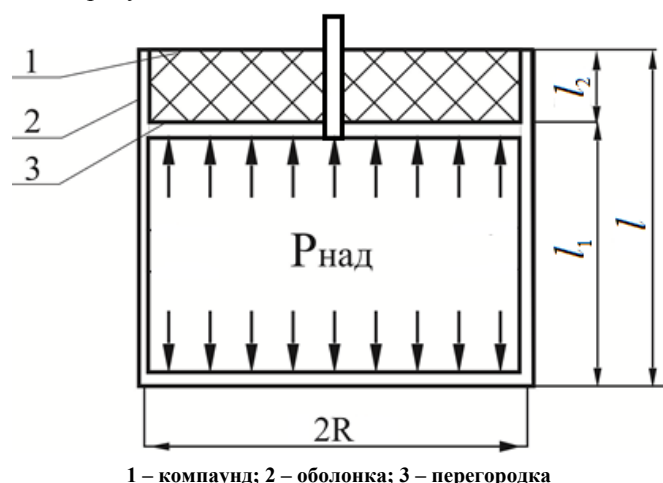
конденсатора при дії надлишкового тиску в осьовому напрямку.

Будемо вважати, що надлишковий тиск повітря повністю передається на компаундний циліндр. При цьому нехтуємо тим фактом, що перегородка може чинити опір такій дії повітря.

Схема взаємодії елементів конденсатора – компаунда, виводу та корпусу в осьовому напрямку показані на рис. 1.

Оскільки на етапі випробувань процес утворення адгезійних зв'язків між матеріалами компаунда, виводу і корпусу вже завершено, то опір виштовхування компаундного циліндра з корпусу, який може статися від дії розігрітого надлишкового тиску в осьовому напрямку, будуть надавати сили адгезії K_1 між компаундом і виводом і K_2 компаундом і корпусом.

Вирази для цих сил мають вигляд:



1 – компаунд; 2 – оболонка; 3 – перегородка
Рис. 1. Схема взаємодії елементів конденсатора – компаунда, виводу та корпусу в осьовому напрямку

$$K_1 = \pi \cdot d_1 \cdot l_2 \cdot \tau_{1адг}, \quad (1)$$

$$K_2 = \pi \cdot d_2 \cdot l_2 \cdot \tau_{2адг}, \quad (2)$$

де l_2 – висота поверхні контакту компаунда з виводом і корпусом; d_1 – діаметр виводу; d_2 – діаметр внутрішньої поверхні корпусу; $\tau_{1адг}$ та $\tau_{2адг}$ – граничні дотичні напруження, які відповідають руйнуванню адгезійних зв'язків між матеріалами виводу і компаунду та корпусу і компаунду відповідно.

Для плівкового конденсатора, що розглядається, $l_2 = 0,5$ см; $d_1 = 0,1$ см; $d_2 = 5,4$ см, а значення граничних дотичних напружень $\tau_{1адг} = 14,7$ МПа і $\tau_{2адг} = 12,3$ МПа [1].

Сила надлишкового тиску повітря визначається з формули

$$K = \frac{\pi \cdot (d_2^2 - d_1^2)}{4} \cdot P_{над} \quad (3)$$

де $P_{над}$ – надлишковий тиск повітря при температурі 100 °С.

$$P_{над} = P_2 - P_1 = \frac{T_2}{T_1} \cdot P_1 - P_1 = 0,023 \text{ МПа},$$

де P_1 , P_2 – тиск повітря при нормальній температурі навколишнього середовища T_1 і температурі T_2 полімеризації компаунда за Кельвіном відповідно.

Умову, відповідно до якої сили адгезії перешкоджають негативній дії надлишкового внутрішнього тиску повітря при температурі 100 °С, може бути записано у вигляді

$$K < K_1 + K_2. \quad (4)$$

Підставляючи відповідні значення параметрів у формули (1)–(3) отримуємо величини сил адгезії та надлишкового тиску:

$$K = 0,61 \text{ МПа},$$

$$K_1 = 2,31 \text{ МПа},$$

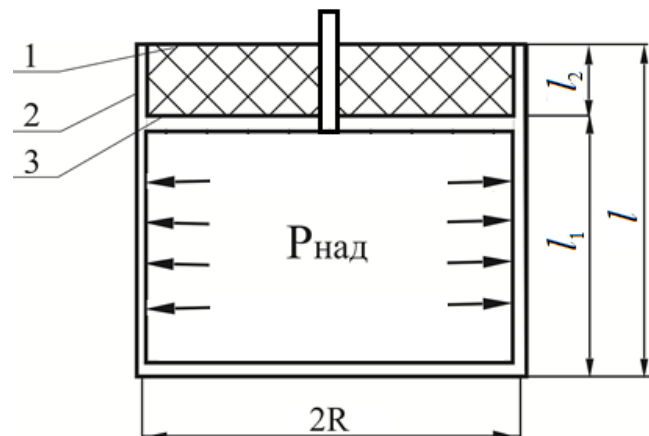
$$K_2 = 103,95 \text{ МПа}.$$

Дійсно, умова (4) виконується з великим запасом і дія надлишкового тиску повітря в осьовому напрямку при температурі 100 °С на етапі випробувань не може бути причиною розгерметизації вузла вологозахисту.

2. Модель взаємодії елементів конденсатора при дії надлишкового тиску в радіальному напрямку

Для визначення можливості відриву стінки конденсатора від компаунда був проведений розрахунок конденсатора як циліндричної оболонки під дією надлишкового внутрішнього тиску $P_{над}$.

Нехай R – серединний радіус оболонки, h – товщина стінки, інші розміри вказані на рис. 2.



1 – компаунд; 2 – оболонка; 3 – перегородка

Рис. 2. Схема взаємодії елементів конденсатора – компаунда, виводу та корпусу в осьовому напрямку

Спочатку розглянемо деформацію частини корпусу, яка знаходиться під перегородкою. Для цього умовно виріжемо з циліндричної оболонки елементарний сектор, обмежений двома площинами, під кутом $d\theta$, як показано на рис. 3.

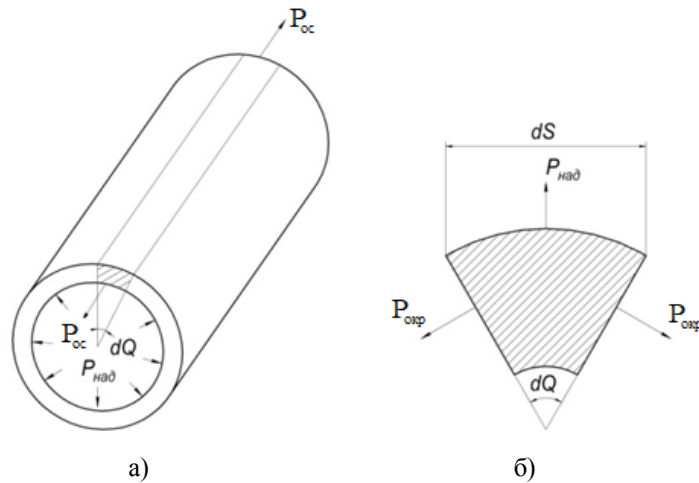


Рис. 3. Схема циліндричної оболонки (а) та її елементарного сектора (б)

Нехай P_{ox} – осьове зусилля, обумовлене присутністю дна в оболонці, $P_{окр}$ – окружне зусилля. Оскільки $dS = R d\theta$, то прийнявши $dS = 1$, отримаємо $d\theta = 1/R$. Тоді рівнодіюча $P_{окр}$ осьового зусилля в радіальному напрямку дорівнює: $P_{окр} \cdot d\theta = P_{окр} / R$.

Сумарна інтенсивність навантаження на сектор в радіальному напрямку буде визначатися так:

$$P_1 = P_{над} - \frac{P_{окр}}{R} \quad (5)$$

Представимо розрахункову схему сектора циліндричної оболонки (рис. 4) під дією навантажень P_1 та $P_{ос}$.

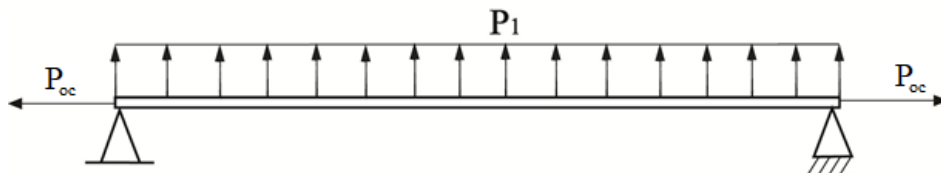


Рис. 4. Розрахункова схема сектора циліндричної оболонки

Розглянемо диференціальне рівняння для прогину циліндричної оболонки:

$$D \cdot \frac{d^4 W}{dz^4} + P_{ос} \cdot \frac{d^2 W}{dz^2} = P_1, \quad (6)$$

де вісь z збігається з геометричною віссю корпусу конденсатора і має початок в центрі нижнього перерізу компаундного циліндра; W – деформація серединної поверхні циліндричної оболонки.

З урахуванням (5) рівняння (6) набуває вигляду

$$D \cdot \frac{d^4 W}{dz^4} + P_{ос} \cdot \frac{d^2 W}{dz^2} = P_{над} - \frac{P_{окр}}{R}. \quad (7)$$

При цьому $P_{ос} = \sigma_1 h$, $P_{окр} = \sigma_2 h$, де σ_1 , σ_2 – нормальні напруження в поперечному і меридіональному перетинах оболонки в її серединній поверхні.

Лінійна відносна деформація серединної поверхні оболонки в напрямку дотичної до кола її поперечного перетину визначається так:

$$\epsilon_2^0 = \frac{2\pi \cdot (R + W) - 2\pi R}{2\pi R} = \frac{W}{R}. \quad (8)$$

Згідно з законом Гука для плоского напруженого стану [2], відносна деформація ε_2^0 визначається так:

$$\varepsilon_2^0 = \frac{1}{Eh} \cdot (P_{окр} - \mu P_{ос}). \quad (9)$$

Прирівнюючи (8) і (9), отримаємо

$$\frac{W}{R} = \frac{1}{Eh} \cdot (P_{окр} - \mu P_{ос}), \quad (10)$$

звідси знаходимо співвідношення

$$P_{окр} = \frac{W}{R} \cdot E \cdot h + \mu \cdot P_{ос}. \quad (11)$$

Підставляючи цей вираз в диференціальне рівняння (7), воно набуває вигляду

$$D \cdot \frac{d^4 W}{dz^4} + P_{ос} \cdot \frac{d^2 W}{dz^2} = P_{нао} - \frac{W}{R^2} \cdot E \cdot h - \mu \cdot \frac{P_{ос}}{R}. \quad (12)$$

яке можна записати в такому вигляді

$$D \cdot \frac{d^4 W}{dz^4} + P_{ос} \cdot \frac{d^2 W}{dz^2} + \frac{W}{R^2} \cdot E \cdot h + \mu \cdot \frac{P_{ос}}{R} = P_{нао}, \quad (13)$$

$$P_{ос} = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot P_{нао}}{2\pi R} = \frac{R \cdot P_{нао}}{2}. \quad (14)$$

З урахуванням (14) рівняння (13) можна представити у вигляді

$$D \cdot \frac{d^4 W}{dz^4} + \frac{P \cdot R}{2} \cdot \frac{d^2 W}{dz^2} + \frac{W}{R^2} \cdot E \cdot h = P_{нао} \cdot \left(1 - \frac{\mu}{r}\right). \quad (15)$$

Вплив осьового зусилля, який враховується другим членом в рівнянні (15), відносно невеликий. Відкинувши його, можна значно спростити розрахунки.

Перепишемо рівняння у вигляді: $D \cdot \frac{d^4 W}{dz^4} + \frac{W}{R} \cdot E \cdot h = P_{нао} \cdot \left(1 - \frac{\mu}{2}\right)$.

Оскільки для типорозмірів оболонок, які розглядаються, $\beta l > 3$, то їх можна вважати довгими. Тому при розрахунках будемо враховувати умови закріплення таких оболонок тільки з одного кінця.

Тепер розглянемо зусилля, діючі на стик корпусу з компаундом (рис. 5).

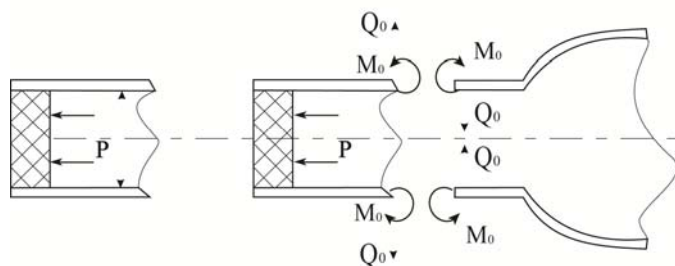


Рис. 5. Схема зусиль, які діють на стик корпусу і компаунда

Рішення рівняння (7) представимо у вигляді:

$$W(z) = \frac{P_{нао} \cdot R^2}{E \cdot h} + e^{-\beta z} (C_1 \cdot \cos \beta z + C_2 \cdot \sin \beta z). \quad (16)$$

Оскільки при $z = 0$, переміщення W дорівнює 0, то $C_1 = C_2 = -\frac{P_{\text{над}} \cdot R^2}{E \cdot h}$, тоді рівняння (16) набуває вигляду:

$$W(z) = \frac{P_{\text{над}} \cdot R^2}{E \cdot h} \cdot [1 - e^{-\beta z} (\cos \beta z + \sin \beta z)], \quad (17)$$

а його друга похідна

$$W''(z) = 2 \cdot \beta^2 \cdot e^{-\beta z} \cdot (\cos \beta z - \sin \beta z) \cdot \frac{P_{\text{над}} \cdot R^2}{E \cdot h}. \quad (18)$$

Враховуючи формулу для визначення згинального моменту $M(z)$ в перерізі з координатою z та (18), він буде в даному випадку мати вигляд

$$M(z) = 2 \cdot \beta^2 \cdot \frac{P_{\text{над}} \cdot R^2}{E \cdot h} \cdot e^{-\beta z} \cdot (\cos \beta z - \sin \beta z) \cdot D. \quad (19)$$

Оскільки

$$M(0) = 2 \cdot \beta^2 \cdot \frac{P_{\text{над}} \cdot R^2}{E \cdot h} \cdot D, \quad (20)$$

то (19) набуває вигляду:

$$M(z) = \frac{P_{\text{над}}}{2 \cdot \beta^2} \cdot e^{-\beta z} \cdot (\cos \beta z - \sin \beta z). \quad (21)$$

Перерізуюча сила $Q(z) = dM(z)/dz$, з урахуванням (21) буде визначатися як

$$Q(z) = \frac{P_{\text{над}}}{2 \cdot \beta^2} \cdot (-2 \cdot \beta \cdot \cos \beta z) \cdot e^{-\beta z} = -\frac{P_{\text{над}}}{\beta} \cdot e^{-\beta z} \cos \beta z. \quad (22)$$

В закріпленні сектора циліндричної оболонки, вона виражається як

$$Q(0) = -\frac{P_{\text{над}}}{\beta}. \quad (23)$$

Тепер розглянемо кільце, по якому корпус контактує з компаундом. Як його розрахункову схему розглядаємо циліндричне кільце завдовжки l_2 , умовно вирізане з корпусу (рис. 6). Кільце знаходиться під дією радіальних зусиль інтенсивністю Q_0 і згинального моменту інтенсивністю M_0 . Під дією цих навантажень в кільці виникає радіальне переміщення W і поворот на кут φ навколо центру ваги осевого перерізу стінки корпусу.

Як видно з рис. 6, радіальне переміщення W в точці Z визначається з виразу (z)

$$W = W_0 + z \cdot \tan \varphi \approx W_0 + z \cdot \varphi, \quad (24)$$

Відносне видовження в окружному напрямку дорівнює:

$$\varepsilon = \frac{W}{R} = \frac{W_0}{R} + z \cdot \frac{\varphi}{R}. \quad (25)$$

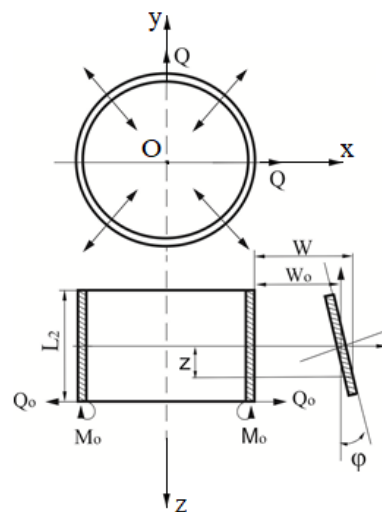


Рис. 6. Схема деформацій кільця циліндричної оболонки, яке контактує з компаундом

Розглянемо деформацію кільця окремо під дією радіального зусилля Q_0 (рис. 7, а) та згинального моменту M_0 (рис. 7, б).

Враховуючи симетрію кільця, як його розрахунковою моделлю може бути обрано півкільце, як показано на рис. 7.

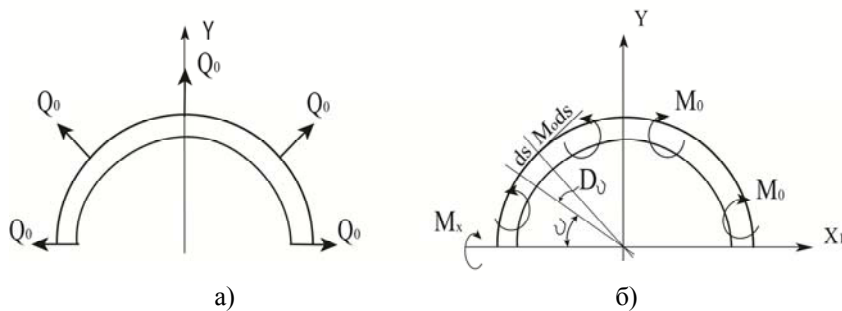


Рис. 7. Схема навантаження півкільця радіальним зусиллям Q_0 (а) та згинальним моментом M_0 (б)

З умови рівноваги радіальних сил Q_0 отримаємо вираз для визначення внутрішньої радіальної сили N :

$$N = Q_0 \cdot R. \quad (26)$$

З умови рівноваги згинальних моментів відносно осі x $\sum M_{x1} = 0$ отримуємо

$$2 \cdot M - \int_0^{\pi} M_0 \cdot dS \cdot \sin \varphi = 0. \quad (27)$$

Оскільки $ds = R d\varphi$, з (27) знаходимо, що

$$M = M_0 \cdot R, \quad (28)$$

де M – згинальний момент, який діє в поперечному перерізі кільця.

Відносне видовження кільця в окружному напрямку від навантаження по його зовнішньому контуру визначається так

$$\varepsilon = \frac{N \cdot q}{E \cdot F} + \frac{M_x}{E \cdot I_x} \cdot y, \quad (29)$$

де F – площа поперечного перерізу кільця, I_x – осьовий момент інерції кільця.

Відповідна деформація від контактних зусиль визначається як

$$\varepsilon_k = \frac{N \cdot q}{E \cdot F} = \frac{q_k \cdot R}{E \cdot F}. \quad (30)$$

З умови сумісності деформацій $\varepsilon = \varepsilon_k$. З урахуванням (26) та (28) отримуємо формулу для визначення контактних зусиль та тиску

$$q_k = \frac{P_{nad}}{\beta} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot y}{\beta \cdot l_1^2} \right), \quad (31)$$

$$P_k = \frac{q_k}{l_2}. \quad (32)$$

Формула (31) дозволяє провести оцінку міцності на відрив стінки конденсатора від компаунда під дією внутрішнього надлишкового тиску повітря, встановити ступінь впливу q_k в порівнянні з іншими факторами.

3. Результати розрахунків впливу надлишкового тиску на відрив компаунда від стінки корпусу конденсатора

З метою вирішення задачі було проведено комплекс розрахункових досліджень для трьох типорозмірів конденсаторів, які відрізняються радіусом R оболонки.

Значення параметрів конденсаторів при $\mu = 0,32$ наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Значення параметрів досліджуваних конденсаторів

Параметри конденсатора	Одиниця виміру	Значення параметрів конденсатора		
		$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$
R	см	1,675	2,205	2,725
$\beta_i = \frac{\sqrt[4]{3 \cdot (1 - \mu^2)}}{\sqrt{R \cdot h}}$	1 / см	4,42648	3,857995	3,470424

Проведено розрахунки величин q_k і P_k , які визначають можливість відриву компаунда від стінок корпусу конденсатора, отриманих за формулами (31) та (32) для трьох типорозмірів конденсаторів. При розрахунках використовувалися такі числові значення сталих величин: $h = 0,05$ см; $l_2 = 0,5$ см. Порівняння величин максимальних зусиль на відрив стінки корпусу конденсатора від компаунда ($P_{k|y=\frac{l_2}{2}}$), які виникають внаслідок дії надлишкового внутрішнього тиску повітря і їх порівняння з величинами адгезійних ($\sigma_{aaa} = 12,3$ і 12 а) напружень і контактних тисків на межі "компаунд-корпус" (величина P_{2k} має порядок 10 МПа), дозволили зробити висновок про несуттєвий вплив цього зусилля на герметичність вузла вологозахисту плівкових конденсаторів.

Висновки

Дія надлишкового внутрішнього тиску повітря на етапі випробувань при температурі $+100$ °С як в осьовому, так і в радіальному напрямках не може бути причиною розгерметизації вузла вологозахисту плівкових конденсаторів, якщо закінчилось утворення адгезійних зв'язків між компаундом і стінками корпусу, а також між компаундом і виводом.

Література

1. Галушко А.И. Определение внутренних напряжений и физико-механических свойств некоторых компаундов / А.И. Галушко, Л.Ф. Чувилина // Обмен опытом в радиопромышленности. – 1968. – № 6.
2. Погорелов В.И. Строительная механика тонкостенных конструкций / В.И. Погорелов. – БХВ-Петербург, 2007. – 528 с.

References

1. Galushko A.I. Opredelenie vnytnnykh napryazheniy i fiziko-mekhanicheskikh svoystv nekotorykh kompaundov / A.I. Galushko, L.F. Chuvilina // Obmen oputom v radiopromushlenosti. – 1968. – №6.
2. Pogorelov V.I. Stroitel'naya mekhanika tonkostennuh konstruktsiy / V.I. Pogorelov. – BHV – Peterburg, 2007. – 528 p.

АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС «ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА БЕТА КЛІТИНА»

В роботі розглянуто результати дослідження сучасних приладів і систем для контролю та управління глікемічним профілем хворого на цукровий діабет I типу. Проведено структурно-компонентний аналіз існуючих апаратів «Штучна бета клітина». Удосконалено математичну модель, метод і принцип побудови апаратно-програмного комплексу «Інтелектуальна бета клітина». Проведено структурно-функціональну організацію апаратно-програмного комплексу «Інтелектуальна бета клітина» та експериментальні дослідження.

Ключові слова: апаратно-програмний комплекс, штучна бета клітина, інтелектуальна бета клітина, цукровий діабет.

D.M. BARANOVSKYI

Vinnytsia National Technical University

INSTALLATION AND SOFTWARE COMPLEX "INTELLIGENT BETA CELL"

Diagnosis and treatment of diabetes is one of the priority areas in which mobile health care can quickly progress and bring tangible benefits. According to the WHO report, diabetes is considered one of the fastest growing non-communicable diseases. Today, about ten percent of the adult population in developed countries suffers from diabetes. The results of research of modern devices and systems for controlling and controlling the glycemic profile of a patient with type 1 diabetes are considered in this paper. The structural-component analysis of existing devices "Artificial Beta Cell" was conducted. The mathematical model, method and the principle of construction of the hardware-software complex "Intellectual beta cell" have been improved. Structurally-functional organization of the hardware-software complex "Intellectual beta cell" and experimental research were conducted. It was developed and improved mathematical models, methods and principles of hardware and software complex "Intellectual beta cell", namely improved mathematical model of control and glycemic profile for hardware and software complex "Intellectual beta cell" diabetes mellitus; the method of decision-making support for the management of the glycemic profile for the hardware-software complex "Intelligent beta cell" was developed; the principle of construction of devices "Artificial Beta Cell" was improved and the hardware-software complex "Intelligent Beta Cell" was developed. The experimental research and testing of the hardware-software complex "Intellectual beta cell" was conducted, a draft of medical and technical requirements was developed, a comparative analysis of analogues and the developed "Intellectual beta cell" complex was performed.

Keywords: hardware-software complex, artificial beta cell, intellectual beta cell, diabetes mellitus.

Важким хронічним захворюванням, яке зумовлено порушенням гормональної регуляції обміну речовин, що приводить до ожиріння, серйозних ускладнень серцево-судинної системи, імунної системи і т. д., є цукровий діабет (ЦД). Сьогодні розповсюдженість діабету досягає 5% від населення планети [1]. Тому проблема лікування діабету набуває великого медико-соціального значення.

ЦД 1-го типу – характерний масивним руйнуванням ендокринних клітин підшлункової залози (острівців Лангерганса) і, як наслідок, критичним зниженням рівня інсуліну в крові.

ЦД 2-го типу – порушення метаболізму, для якого характерний високий рівень глюкози в крові, за умови резистентності до інсуліну, та відносної недостатності інсуліну.

Одним з пріоритетних напрямків, в якому мобільна охорона здоров'я може швидко прогресувати і приносити відчутну користь, є діагностика і лікування діабету. Відповідно до звіту ВООЗ, діабет вважається одним з найбільш швидкозростаючих незаразних захворювань. Сьогодні близько десяти відсотків дорослого населення в розвинених країнах страждають діабетом. Діабет – один із серйозних факторів ризику, який тягне за собою багато серйозних захворювань, таких, як уже згадана серцева недостатність, гіпертонія, закупорка судин нижніх кінцівок, ниркова недостатність, ретино-неврит, енцефалопатія та багато інших. Діабет є досить складним розладом ендокринної регуляторної системи «глюкоза - інсулін - глюкагон», який в першу чергу характеризується гіперглікемією [2].

Загалом методи інсуліно-терапії поділяються на:

а: звичайну терапію (багаторазові ін'єкції інсуліну в залежності від результатів визначення глюкози за допомогою смужки індикаторного паперу);

б: систему з відкритим контуром (безперервне вливання інсуліну, програмоване в залежності від результатів визначення глюкози за допомогою смужки індикаторного паперу);

в: систему із замкнутим контуром (безперервне саморегульоване вливання інсуліну, комп'ютер задає швидкість введення інсуліну в залежності від безперервно вимірюваної сенсором концентрації глюкози).

Основні переваги і недоліки трьох вищезазначених методів інсулінової терапії підсумовані в таблиці 1. Найбільш поширена інтенсивна інсулінова терапія дешева, не вимагає спеціального устаткування і безпосередньо доступна для кожного пацієнта. Однак для досягнення близької до норми глікемії необхідні багаторазові щоденні ін'єкції.

При розробці апаратно-програмного комплексу «Інтелектуальна бета клітина» було проведено аналіз сучасних приладів і систем для контролю та управління глікемічним профілем хворого на цукровий діабет I типу показав, що серед розглянутих (табл. 2) найбільш перспективним напрямом є розробка або вдосконалення існуючих апаратів типу «Штучна бета клітина» що являють собою систему із замкнутим контуром.

Таблиця 1

Основні переваги і недоліки різних методів інсулінової терапії [1]

Звичайна терапія	Система з відкритим контуром	Система із замкнутим контуром
Недоліки		
Багаторазові ін'єкції Необхідність частого визначення глюкози	Висока вартість Необхідність частого визначення глюкози Необхідність носіння пацієнтом Можливість виходу з ладу Агрегація інсуліну	Відсутність портативного приладу Гіперінсулінемія Внутрішньовенні ін'єкції Необхідність носіння пацієнтом Можливість виходу з ладу Агрегація інсуліну
Переваги		
Може використовуватися негайно Низька вартість, не потрібно спеціального устаткування Підшкірні ін'єкції	Може використовуватися негайно Не потрібні багаторазові ін'єкції Підшкірні ін'єкції	Незалежність від зовнішніх вимірювань рівня глюкози Автопідстроювання при змінах фізичного навантаження або дієти

Таблиця 2

Результати аналізу існуючих засобів, приладів і мобільних медичних додатків, для лікування цукрового діабету I типу

Назва	Вимір рівня глюкози	Автоматичний ввід інсуліну	Додаткові функції	Збереження вимірювань	Автоматичний аналіз вимірювань
Інвазивні					
FOCS	+	-	+	+	-
CPI 9100i	+	-	-	+	+
Promeds	+	-	-	+	+
PIMS	+	+	+	-	-
Biostator	+	+	+	-	+
iBG-Star	+	-	-	+	+
Contour ts	+	-	-	+	+
Diacont OK	+	-	-	+	+
Accu-Chek Active	+	-	-	+	+
Сателіт експрес	+	-	-	+	-
One touch select simple	+	-	-	-	-
EasyTouch GCHb	+	-	+	+	+
Dsy	+	-	+	-	+
Штучна бета клітина	+	+	+	-	-
Неінвазивні					
Діабет-сенсор,	+	-	+	-	-
Неінвазивний монітор для визначення концентрації глюкози крові	+	-	-	-	-
Омелон	+	-	+	+	-
Glucotrack	+	-	-	+	+

Проведений структурно-компонентний аналіз існуючих апаратів «Штучна бета клітина» виявив слабкі місця апарата «Штучна бета клітина», і довів необхідність його вдосконалення в частині розроблення інтелектуального блоку, який зможе коригувати та контролювати алгоритм роботи апарату «Штучна бета клітина», та в разі необхідності оповіщати лікаря про необхідність перевірки, приймати рішення в разі гіпо- або гіперглікемії [3]. Було розроблено та вдосконалено математичну модель, метод і принцип побудови апаратно-програмного комплексу «Інтелектуальна бета клітина», а саме: вдосконалено математичну модель процесу контролю та управління глікемічним профілем для апаратно-програмного комплексу «Інтелектуальна бета клітина» хворих на цукровий діабет I типу; розроблено метод підтримки прийняття рішень по управлінню глікемічним профілем для апаратно-програмного комплексу «Інтелектуальна бета клітина»; удосконалено принцип побудови апаратів «Штучна бета клітина» і розроблено апаратно-

програмний комплекс «Інтелектуальна бета клітина». Структурно-функціональна організація апаратно-програмного комплексу «Інтелектуальна бета клітина» дозволила розробити його структурну схему, обґрунтувати функціональні можливості апаратно-програмного комплексу «Інтелектуальна бета клітина», вибір первинних давачів та сенсорів. Розроблено алгоритми роботи апаратно-програмного комплексу «Інтелектуальна бета клітина» та його складових. Обрано та визначено які бази даних будуть використані в АПК «Інтелектуальна бета клітина».

Однією з існуючих перешкод на шляху інтенсивного розвитку систем мобільної охорони здоров'я лишається небажання медперсоналу перенавчатися та адаптуватися до вимог нових технологій. Лікарі і медичний персонал зазвичай використовують нові технології і пристрої мобільного охорони здоров'я, лише тоді коли вони бачать відчутні переваги. Тому розвиток ринку мобільних систем охорони здоров'я, в. т. ч. і в Україні, може дещо загальмувати із-за необхідності обов'язкового навчання клініцистів, медичних інженерів і лікарів вищої ланки (завідувачів відділеннями, головних лікарів та. ін.) Зауважимо, що відповідно до численних медико-соціологічних досліджень (зокрема, проведених в Німеччині і США) велика частина лікарів в цілому задоволена своєю роллю і роботою, незважаючи на часті перевантаження, загальну втому і надлишок бюрократичних процедур [3]. До речі, в цьому відношенні мобільна охорона здоров'я надає можливості для зменшення навантаження на лікарів [3].

Одним з пріоритетних напрямків, в якому мобільна охорона здоров'я може швидко прогресувати і приносити відчутну користь, є діагностика і лікування діабету. Відповідно до звіту ВООЗ діабет вважається одним з найбільш швидкозростаючих незаразних захворювань. Сьогодні близько десяти відсотків дорослого населення в розвинених країнах страждають діабетом. Діабет – один із серйозних факторів ризику, який тягне за собою багато серйозних захворювань, таких, як уже згадана серцева недостатність, гіпертонія, закупорка судин нижніх кінцівок, ниркова недостатність, ретино-неврит, енцефалопатія та багато інших. Діабет є досить складним розладом ендокринної регуляторної системи «глюкоза - інсулін - глюкагон», який в першу чергу характеризується гіперглікемією [3].

Ще однією з проблем мобільної охорони здоров'я є відсутність стандартів або їх неповнота. Ця зокрема, стосується менеджменту бездротових медичних мереж, їх взаємодії, надійності і безпеки. Так, в системах, заснованих на поєднанні сенсорів і смартфонів, сьогодні застосовуються як мінімум чотири конкуруючих специфікації: Wi-Fi, Bluetooth, NFC і ZigBee [4]. При цьому вибір між протоколом Bluetooth і іншими виявляється особливо критичним, оскільки Bluetooth найчастіше використовується для з'єднання натільних сенсорів з мобільного базовою станцією, наприклад, смартфоном або ноутбуком. Bluetooth – стандарт бездротового зв'язку на малих відстанях; його початкове призначення було в тому, щоб замінити досить ненадійний інфрачервоний канал, і тепер він часто використовується в персональних, зокрема, натільних, мережах. Що ж стосується сімейства протоколів IEEE 802.11, відомого як набір протоколів Wi-Fi, то ця узагальнена специфікація дозволяє використовувати Інтернет так само легко, як: мобільний (стільниковий) зв'язок; Зауважимо, що Wi-Fi не проектувалася спеціально для мобільних додатків – це був просто бездротовий варіант локальної мережі (зокрема, Ethernet). Сам термін Wi-Fi можна розглядати як деяке, узагальнене поняття, що позначає швидше альтернативу кабельній мережі, ніж конкретну специфікацію [4].

Між протоколами Bluetooth і ZigBee існує багато схожого: наприклад, вони обидва працюють в діапазоні частот 2,4 ГГц і належать до одного і того ж сімейства бездротових специфікацій IEEE 802.15. Тим не менше, ці два стандарти розрізняються в тому що стосується їх можливого застосування, а також приладів, які вони повинні зв'язувати в єдину мережу. Якщо Bluetooth завжди був орієнтований на те, щоб замінити високочастотним радіозв'язком кабельні та інфрачервоні канали, що з'єднують між собою персональні пристрої – спочатку мобільні телефони, ноутбук та планшети (PDA), то ZigBee був призначений для зв'язку між домашніми електроприладами, такими як освітлювальні і обігрівальні пристрої, холодильники, кондиціонери і. т. д. [5]. Відповідно великі швидкості передачі даних були пріоритетом для ZigBee – який, на відміну від Bluetooth, був призначений для обміну документами. Ця різниця між двома стандартами врівноважується більш низьким споживанням енергії ZigBee-приладами, так що, наприклад, сенсори, з'єднані один з одним за протоколом ZigBee, можуть довше працювати. Крім того, ZigBee має тенденцію працювати на великих відстанях і, таким чином, здатний об'єднувати більше пристроїв, ніж Bluetooth. Однак ця різниця, як правило, стає несуттєвою для мереж, розташованих на тілі людини. Що дійсно важливо, це відносно велика затримка їх під'єднання до мережі Bluetooth – аж до декількох секунд, що може виявитися неприйнятним для критично важливих додатків, що зустрічаються в медицині [4].

Як ми бачимо, ні Bluetooth, ні ZigBee не призначені для того, щоб надавати бездротові послуги на великих відстанях. Для великих телекомунікаційних «плечей» сьогодні в мобільній охороні здоров'я використовуються стандарти WiMAX) IEEE 802.16e / m [4].

Одним з кардинальних питань в організації мереж мобільної охорони здоров'я є досягнення балансу між мобільністю, надійністю, масштабованістю, мінімізацією споживання енергії та безперебійною комунікацією без того, щоб вносити додаткову, і разом з тим, надлишкову складність в мобільні пристрої. Але, сервіс і підтримка мобільного обладнання на стороні користувача повинні бути як мінімум настільки ж зручними і непомітними, як в сучасній мобільній телефонії. Відсутність постійного і безперебійного зв'язку, а також добре розвинутої технічної підтримки в мобільних персональних системах призведе до помітного скорочення їх частки ринку.

Висновки

Проведений структурно-компонентний аналіз існуючих апаратів «Штучна бета клітина» довів необхідність їх вдосконалення в частині розроблення інтелектуального блоку, який зможе коригувати та контролювати алгоритм роботи апарату «Штучна бета клітина». При цьому було розроблено та вдосконалено математичну модель, метод і принцип побудови апаратно-програмного комплексу «Інтелектуальна бета клітина».

Література

1. Толокнов В. И. Биокрибернетические аспекты искусственной бета клетки / В. И. Толокнов // Бионика. Биокрибернетика. Биоинженерия. – Москва, 1987. – Т. 5. – 64 с.
2. Mark W. Friedberg, Peggy G. Chen, Kristin R. Van Busum, Frances Aunon, Chau Pham, John Caloyeras, Soeren Mattke, Emma Pitchforth, Denise D. Quigley, Robert H. Brook, F. Jay Crosson, Michael Tutty. Factors Affecting Physician Professional Satisfaction and Their Implications for Patient Care, Health Systems, and Health Policy. URL: http://www.rand.org/pubs/research_reports/RR439.html
3. Fischer U., Abel P., Lemke K., Detshev W., Salzsieder E., Jutzi E., Freyse E.-J., Abbrecht G., Frenzel S. In vivo comparison of different algorithms for the artificial betacell. – Artif. Organs, 1985, 9, № 2, p. 173–179.
4. Wifi, Wimax, IR, NFC, Bluetooth, ZigBee – What they do in IOT? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://learniot.wordpress.com/2016/04/08/wifi-wimax-ir-nfc-bluetooth-zigbee-what-they-do-in-iot/>
5. Fully Implantable Artificial Pancreas Delivers Insulin as Needed. URL: <http://www.iflscience.com/health-and-medicine/fully-implantable-artificial-pancreas-delivers-insulin-needed/>

References

1. Toloknov V. I. Biokriberneticheskie aspektyi iskusstvennoy beta kletki. Bionika. Biokribernetika. Bioinzheneriya., Moskva, 1987, t. 5, 64 s.
2. Mark W. Friedberg, Peggy G. Chen, Kristin R. Van Busum, Frances Aunon, Chau Pham, John Caloyeras, Soeren Mattke, Emma Pitchforth, Denise D. Quigley, Robert H. Brook, F. Jay Crosson, Michael Tutty. Factors Affecting Physician Professional Satisfaction and Their Implications for Patient Care, Health Systems, and Health Policy. URL: http://www.rand.org/pubs/research_reports/RR439.html
3. Fischer U., Abel P., Lemke K., Detshev W., Salzsieder E., Jutzi E., Freyse E.-J., Abbrecht G., Frenzel S. In vivo comparison of different algorithms for the artificial betacell. – Artif. Organs, 1985, 9, № 2, p. 173–179.
4. Wifi, Wimax, IR, NFC, Bluetooth, ZigBee – What they do in IOT? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://learniot.wordpress.com/2016/04/08/wifi-wimax-ir-nfc-bluetooth-zigbee-what-they-do-in-iot/>
5. Fully Implantable Artificial Pancreas Delivers Insulin as Needed. URL: <http://www.iflscience.com/health-and-medicine/fully-implantable-artificial-pancreas-delivers-insulin-needed/>

Рецензія/Peer review : 07.05.2018 р. Надрукована/Printed : 05.07.2018 р.
Стаття прорецензована редакційною колегією

НОРМАТИВНО-ПРАВОВА БАЗА ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В МЕДИЧНІЙ ГАЛУЗІ

Представлено систематизований огляд сучасної нормативно-правової бази України, яка регламентує функціонування автоматизованих систем з врахуванням особливостей медичної галузі. Проведений ґрунтовний аналіз існуючої законодавчої бази при практичному впровадженні комплексної системи захисту інформації в медичних інформаційних системах (МІС). Виділені особливості медичних закладів різних рівнів і подані рекомендації по впровадженню в них відповідних профілів безпеки. Розроблено концепцію правового регулювання розробки і практичного впровадження системи захисту інформаційних ресурсів МІС. Розглянуті нормативні документи визначають методологічні основи вирішення завдань захисту інформації в комп'ютеризованих медичних системах і створення прикладних нормативних і методологічних документів, які регламентують питання захисту МІС від несанкціонованого доступу; створення захищених інформаційних систем і засобів їх захисту; дозволяють оцінити рівень захищеності таких систем і їх придатність для вирішення завдань захисту інформаційних ресурсів медичного закладу і персональних даних пацієнтів. Надані рекомендації щодо необхідних рівнів послуг безпеки, які реалізують заданий функціональний профіль захищеності. Опіраючись на нормативні документи визначені допустимі рівні безпеки медичних інформаційних систем, які гарантують достатній рівень захисту інформації. Детально проаналізовані рівні безпеки для загроз конфіденційності та цілісності персональних даних та подані рекомендації підсилення захисту починаючи від закладів первинного рівня до багатопрофільних медичних центрів і об'єднань. Виділені основні пункти нормативно-правових актів, важливі для розробки і впровадження політики безпеки типового медичного закладу. Обґрунтовано об'єднання базових моделей розмежування доступу для забезпечення як адміністративних, так і довірчих послуг безпеки.

Ключові слова: медична інформаційна система, захист персональних даних, профіль безпеки, конфіденційність, цілісність, доступність.

IU. P. GULCHAK

Vinnytsya National Pirogov Memorial Medical University

E. IU. HULCHAK

Company "Promavtomatika Vinnitsa", Vinnytsia, Ukraine

REGULATORY-LEGAL BASIS FOR INFORMATION PROTECTION IN THE MEDICAL SECTOR

The systematic review of the modern legal and regulatory framework of Ukraine, which regulates the functioning of automated systems taking into account the peculiarities of the medical sector, is presented. A thorough analysis of the existing legislative framework was carried out at the practical introduction of a comprehensive information security system in medical information systems (MIS). The peculiarities of medical institutions of different levels are highlighted and recommendations for the implementation of their respective security profiles are given. The concept of legal regulation of development and practical implementation of the system of protection of information resources of the MIS has been developed. The reviewed normative documents determine the methodological basis for solving the problems of information security in computerized medical systems and the creation of applied normative and methodological documents regulating the protection of the MIS from unauthorized access; creation of secure information systems and means of their protection; allow to estimate the level of protection of such systems and their suitability for solving the problems of protecting the information resources of the medical institution and personal data of patients. The recommendations for the required levels of security services that implement a given functional security profile are given. Based on normative documents, acceptable levels of safety of medical information systems are determined which guarantee an adequate level of information security. The security levels are carefully analyzed for threats to the confidentiality and integrity of personal data, and recommendations for strengthening protection from the primary level institutions to the multidisciplinary medical centers and associations are presented. The main points of normative legal acts are important, which are important for the development and implementation of the security policy of a typical medical institution. The reason for combining the basic models of differentiation of access is to provide both administrative and trust security services.

Keywords: medical information system, personal data protection, security profile, confidentiality, integrity.

Вступ. Інформатизація медицини передбачає цілий комплекс складних для вирішення проблем. Серед них особливе місце займає комп'ютерна безпека. Інформація – стратегічний товар, за допомогою якого зловмисник може досягти своїх корисливих цілей. Нанести людині непоправну шкоду, зруйнувати бізнес, кар'єру, особисте життя. Інформація про здоров'я людини прекрасний інструмент для психологічного впливу, маніпулювання, шантажу. Тому збереження лікарської таємниці є надзвичайно важливим, а для деяких категорій людей життєво необхідним і вони готові вкладати серйозні кошти для її збереження на високому рівні. Крім того і держава зобов'язана зберігати конфіденційність персональних даних пацієнтів.

Мета дослідження. На жаль, в Україні на державному рівні приділяється недостатньо уваги законодавству з інформатизації медицини і інформаційної безпеки зокрема. Існуючі законодавчі акти в галузі захисту інформації не враховують специфіку і особливості медичних інформаційних систем (МІС), а тому потребують конкретизації і додаткових пояснень. В роботі проаналізовані ключові закони та підзаконні акти в галузі інформатизації, якими потрібно керуватись при практичному впровадженні систем комп'ютерної безпеки в медичних закладах різного рівня. Надані рекомендації щодо вибору оптимальних рівнів захищеності (профілів безпеки) медичної інформації в закладах первинного, вторинного та

третинного рівнів.

Основна частина. Сформулюємо основні вимоги до захисту інформаційних ресурсів при практичному впровадженні систем комп'ютерної безпеки в МІС закладів охорони здоров'я різних рівнів надання медичної допомоги.

Одним з перших законів, який був прийнятий в незалежній Україні є закон України «Про інформацію» [1]. Даний документ чітко визначає поняття захисту інформації: «Захист інформації – це комплекс правових, організаційних, інформаційно-телекомунікаційних засобів і заходів, спрямованих на запобігання неправомірним діям щодо інформації». Звідси випливає, що будь-які заходи по захисту інформації в МІС повинні носити комплексний характер і включати три складові: правову, організаційну (політика інформаційної безпеки) та технічну (інженерні та програмно-апаратні засоби захисту).

Правові аспекти захисту інформації (ЗІ) призвані забезпечити виконання норм і положень державної політики України в галузі інформаційної безпеки, здійснювати контроль за захищеністю інформації, що є власністю державних і недержавних організацій і, зокрема, за захист персональних даних (ПД) громадян (пацієнтів). Приватні медичні заклади зобов'язані згідно нормативно-правового законодавства виконувати вимоги щодо нерозголошення конфіденційної інформації нарівні з державними і нести однакову відповідальність за порушення цих вимог.

Згідно статті 18 [1] до основних даних про особу, які підлягають захисту, відноситься інформація про її здоров'я. Всяка інформація про стан здоров'я людини є конфіденційною з відповідними вимогами до її використання. «Конфіденційною є інформація про фізичну особу, а також інформація, доступ до якої обмежений фізичною або юридичною особою, крім суб'єктів владних повноважень» [1, ст.21].

Захист інформації на державному рівні є однією з умов функціонування державних інституцій. Тому важливим з точки зору інформаційної безпеки є Закон України «Про захист інформації в інформаційних телекомунікаційних системах» [2], прийнятий у 1994 році. Виділимо основні його положення стосовно захисту інформаційних ресурсів МІС:

- державні інформаційні ресурси або інформація з обмеженим доступом, вимога щодо захисту якої встановлена законом, повинні оброблятися в системах з застосуванням комплексної системи захисту інформації (КСЗІ) з підтвердженою відповідністю [2, ст.8];
- несертифіковані відповідним чином системи чи їх окремі елементи не можуть використовуватися в автоматизованих системах обробки конфіденційної інформації і медичної зокрема;
- засоби захисту інформації, які використовуються для створення КСЗІ, також повинні бути обов'язково сертифіковані;
- відповідальність за забезпечення захисту інформації в системі покладається на власника системи [2, ст.9]. Тобто лікарняний заклад несе повну відповідальність за забезпечення конфіденційності ввіреної йому інформації. Коли захист інформації делегований сторонній організації настає колективна відповідальність обох суб'єктів.

Особливе місце серед нормативно-правових актів, що мають відношення до збереження лікарської таємниці, захисту персональних даних пацієнта та інформації про стан його здоров'я посідає Закон України «Про захист персональних даних» [3], прийнятий у 2010 році. Основні положення закону, важливі для розробки, впровадження та функціонування МІС.

1. Термін персональні дані [3, п.2] визначає, що персональними даними є відомості чи сукупність відомостей про фізичну особу, яка ідентифікована або може бути конкретно ідентифікована. Для медицини важливо вказати перелік відомостей про пацієнта, які є персональними даними і які потрібно захищати в тому чи іншому випадку.

2. Під терміном база персональних даних [3, п.2] мається на увазі поіменована сукупність упорядкованих персональних даних електронній формі та/або картотек персональних даних. Для медичного закладу характерним є формування і супроводження трьох взаємопов'язаних, але відносно самостійних баз даних (БД)–БД медичного закладу, БД пацієнтів, БД сторонніх організацій-партнерів, захист інформації в яких повинен реалізовуватись за різними принципами.

3. Володілець персональних даних – фізична або юридична особа, яка визначає мету обробки персональних даних, встановлює склад цих даних та процедури їх обробки, якщо інше не визначене законом. Зазвичай в якості володільця ПД виступає заклад охорони здоров'я або фізична особа – підприємець.

4. Розпорядник персональних даних – фізична чи юридична особа, якій володільцем бази ПД або законом надано право обробляти ці дані [3, ст.2]. Між володільцем і розпорядником ПД є суттєва різниця. Володільцю ПД право на обробку ПД надано або законом або самим суб'єктом ПД; розпоряднику ж таке право надається володільцем ПД або законом. Володілець ПД затверджує мету обробки персональних даних, встановлює їх склад і процедури обробки. Розпорядник обробляє персональні дані в інтересах володільця ПД у складі і з метою, визначеною володільцем.

Всі лікувально-профілактичні заклади незалежно від відомчого підпорядкування і форм власності, а також приватно практикуючі медичні працівники є власниками бази ПД. Розпорядником ПД в медичному закладі є працівник, на якого покладені обов'язки по обробці ПД, їх формування в бази, оновлення внесених даних тощо. Це може бути працівник відділу кадрів (БД працівників), працівник реєстратури при зверненні пацієнта до лікарні, медичний персонал відділень і кабінетів (БД пацієнтів), приватно практикуючий лікар.

5. Забороняється обробка ПД «... що стосуються здоров'я, статевого життя, біометричних або генетичних даних [3, ст.7,п.1] крім випадків, коли вона (обробка) необхідна в цілях охорони здоров'я, встановлення медичного діагнозу, для забезпечення піклування чи лікування або надання медичних послуг, функціонування електронної системи охорони здоров'я за умови, що такі дані обробляються медичним працівником або іншою особою закладу охорони здоров'я чи фізичною особою-підприємцем, яка одержала ліцензію на провадження господарської діяльності з медичної практики, та її працівниками, на яких покладено обов'язки щодо забезпечення захисту персональних даних та на яких поширюється дія законодавства про лікарську таємницю, працівниками центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері державних фінансових гарантій медичного обслуговування населення, на яких покладено обов'язки щодо забезпечення захисту персональних даних» [3, ст.7,п.6]. Тобто технічний працівник з комп'ютерної безпеки не повинен мати доступу до обробки ПД у ввіреній йому базі ПД.

6. Використання персональних даних працівниками суб'єктів відносин, пов'язаних з персональними даними, повинно здійснюватися лише відповідно до їхніх професійних чи службових або трудових обов'язків. Ці працівники зобов'язані не допускати розголошення у будь-який спосіб персональних даних, які їм було довірено або які стали відомі у зв'язку з виконанням професійних чи службових або трудових обов'язків, крім випадків, передбачених законом. Використання персональних даних володільцем здійснюється у разі створення ним умов для захисту цих даних [3, ст.10, п.1-2]. Підставами для обробки персональних даних є захист життєво важливих інтересів суб'єкта персональних даних [3, ст.11, п.4].

Закон регулює принципи збору, накопичення, зберігання, поширення, видалення або знищення ПД [3, ст.12-15], але не конкретизує правила внесення змін і доповнень до ПД. Вказано лише, що «володільці чи розпорядники персональних даних зобов'язані вносити зміни до персональних даних на підставі вмотивованої письмової вимоги суб'єкта персональних даних» [3, ст.20, п.1]. Але не зрозуміло, як повинен вчинити лікар, коли пацієнт подає відомості про захворювання із стороннього закладу (наприклад приватної клініки). В багатьох випадках неприйнятною для медичної галузі є стаття закону, яка передбачає повідомлення суб'єкта ПД про передачу даних третій особі, їх зміну або знищення протягом деякого часу [3, ст.21].

Контроль за додержанням законодавства про захист персональних даних у межах повноважень, передбачених законом, здійснюють уповноважений і суди.

З моменту прийняття закону пройшло сім років, але до цих пір не розроблено положення про обробку та захист ПД в сфері медицини, яке було заплановано ще в 2014 році [4].

При роботі з електронними медичними документами, медичними картками пацієнтів необхідно керуватись положеннями типового порядку обробки персональних даних [5], окремий розділ якого присвячений захисту ПД. Захист персональних даних передбачає заходи, спрямовані на запобігання їх випадкових втрати або знищення, незаконної обробки, у тому числі незаконного знищення чи доступу до персональних даних.

Забезпечення захисту персональних даних на всіх етапах їх обробки покладається на володільця, розпорядника персональних даних, який має використовувати для цього всі наявні можливості, включаючи організаційно-правові та технічні заходи.

Організаційні заходи охоплюють:

- визначення порядку доступу до персональних даних працівників володільця/розпорядника;
- визначення порядку ведення обліку операцій, пов'язаних з обробкою персональних даних суб'єкта та доступом до них;
- розробку плану дій на випадок несанкціонованого доступу до персональних даних, пошкодження технічного обладнання, виникнення надзвичайних ситуацій;
- регулярне навчання співробітників, які працюють з персональними даними.

Правові заходи повинні враховувати вимоги законодавства в сфері захисту ПД, чинні на даний момент.

З метою забезпечення безпеки обробки персональних даних вживаються спеціальні технічні заходи захисту, у тому числі щодо виключення несанкціонованого доступу до персональних даних, що обробляються та роботі технічного та програмного комплексу, за допомогою якого здійснюється обробка персональних даних [5]. Технічні заходи передбачають експлуатацію виключно сертифікованого обладнання і повинні забезпечувати необхідний рівень безпеки для даного класу МІС.

Важливим керівним документом з інформатизації міг стати закон «Про основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні» [6], але його основні пункти так і залишились декларативними.

В документі намічені стратегічні цілі в сфері інформатизації українського суспільства, вказано, що «залучення ІКТ для ... збереження і зміцнення здоров'я населення, підвищення якості та ефективності медико-санітарної допомоги, забезпечення соціальної справедливості та прав громадян на охорону здоров'я є одним з пріоритетних завдань для України».

Проаналізувавши частину, яка стосується інформатизації медицини, маємо визнати, що до теперішнього часу не забезпечена на належному рівні підготовка медичних працівників для роботи з інформаційно-комп'ютерною технікою (ІКТ). Не задовольняє потреб сьогодення організаційний і технологічний рівень розвитку ІКТ в охороні здоров'я. Слід виділити негативні наслідки, до яких призвела невірна інформаційна політика МОЗ по формуванню і впровадженню в практику загальнодержавних

програм охорони здоров'я. Звідси і зростання рівня захворюваності населення, і епідемії, які останнім часом поширюються в Україні; хоча документ передбачав «забезпечення доступу до світових медичних знань та актуальних на місцевому рівні інформаційних ресурсів з метою підвищення ефективного виконання державних дослідницьких і профілактичних програм з охорони здоров'я».

Окремо виділені завдання в сфері інформаційної безпеки. Актуальними залишаються питання вдосконалення нормативно-правової бази щодо забезпечення інформаційної безпеки, зокрема захисту інформаційних ресурсів, протидії комп'ютерній злочинності, захисту персональних даних, а також правоохоронної діяльності в інформаційній сфері.

На даний час в Україні схвалена «Стратегія розвитку інформаційного суспільства в Україні» до 2020 року [7]. Поставлено завдання інтегрувати досягнення розвитку інформаційного суспільства в загальносвітові. Передбачається розробка та впровадження загальнодержавної програми «Здоров'я-2020: український вибір», яка корелюється з програмою Європейського Союзу «Європейська стратегія здоров'я 2020».

Документ вводить поняття **е-медицини** (електронна медицина), тобто використання інформаційних технологій «... у сфері охорони здоров'я та забезпечення оперативного доступу медичних працівників та пацієнтів до них». Е-медицина повинна забезпечувати взаємодію між пацієнтами, медичними працівниками та установами за допомогою інформаційно-комунікаційних технологій.

Основними напрямками діяльності в галузі розвитку е-медицини є:

- впровадження автоматизованих інформаційних галузевих систем, які, зокрема, дають змогу перейти до ведення медичної документації в електронному вигляді;
- розвиток телемедицини;
- удосконалення розвитку системи моніторингу стану здоров'я населення;
- створення та впровадження нових комп'ютерних технологій профілактики захворювань, діагностики, забезпечення лікувальних процесів;
- створення загальнодоступних електронних медичних ресурсів.

Окремий розділ присвячено питанням захисту інформації. Виділимо основні пріоритети діяльності за напрямком «Інформаційна безпека»[7]:

- сприяння виробництву конкурентоспроможного національного інформаційного продукту;
- сприяння вітчизняному виробництву засобів захисту інформації, створенню захищених інформаційно-телекомунікаційних систем, запровадження сучасних захищених інформаційних технологій в інтересах державного управління;
- створення ефективної системи виявлення та запобігання загрозам державних електронних інформаційних ресурсів, у тому числі щодо протидії розповсюдженню комп'ютерних вірусів, програмних і апаратних закладок, а також витоку інформації технічними каналами та за рахунок несанкціонованих дій;
- забезпечення цілісності, доступності та конфіденційності інформаційних ресурсів України, які створюють умови для розвитку особи, стійкого функціонування суспільства і держави, захисту персональних даних та інформації, що перебуває у володінні фізичних, юридичних осіб та держави, від зовнішніх і внутрішніх інформаційних загроз, зокрема шляхом протидії комп'ютерним злочинам;
- удосконалення нормативно-правової бази щодо забезпечення інформаційної безпеки, зокрема кібернетичної безпеки національної критичної інфраструктури;
- впровадження захищеного механізму ідентифікації учасників електронної взаємодії;
- формування системи моніторингу безпеки інформаційних ресурсів та систем.

Крім декларативних документів державного рівня для впровадження і експлуатації МІС важливими є норми спеціалізованих документів, які спрямовані на захист інформаційних ресурсів лікувального закладу і регулюють функціонування підсистеми інформаційної безпеки.

Розглянемо базові нормативні документи, які важливі для медицини взагалі і МІС зокрема.

Типова інструкція [8] визначає порядок роботи з матеріалами для службового користування. Згідно документа в організації повинна бути створена постійно діюча комісія з питань роботи з службовою інформацією, положення про яку та її склад затверджується відповідним актом установи. Сформульовані основні завдання такої комісії. Для медичних установ це перш за все складання переліку відомостей, що становлять службову інформацію; перегляд документів з грифом «Для службового користування» з метою його підтвердження або скасування, а також на предмет встановлення в них відомостей, що містять відкриту інформацію, яка може бути використана під час опрацювання запитів на публічну інформацію [8, п.3].

Згідно п.11 забороняється використовувати для передачі службової інформації відкриті канали зв'язку. Якщо ж виникає необхідність передавати таку інформацію, то особи, які її отримують, повинні надати письмове зобов'язання щодо її нерозголошення.

Відповідальність за організацію та забезпечення дотримання в установах порядку ведення обліку, зберігання та використання документів, що містять службову інформацію, покладається на їх керівників

[8, п.6]. Окремі вимоги для працівників організацій, які мають доступ до службових матеріалів. Вони повинні бути ознайомлені з відповідними відомчими інструкціями із захисту інформації під розпис.

Співробітникам (виконавцям), допущеним до роботи з документами з грифом «Для службового користування», забороняється повідомляти усно або письмово будь-кому відомості, що містяться у цих документах, якщо це не викликано службовою потребою [8, п.8]. Для документів з грифом «Для службового

користування” встановлюються правила перегляду, користування, пересилки, формування у справі, передавання в архів та знищення.

Головний лікар, завідувач центру первинної медико-санітарної допомоги (ЦПМСД) зацікавлені у створенні і впровадженні ефективної системи захисту інформаційних ресурсів МІС. А для цього дуже потрібна типова інструкція з розробки і впровадження політики безпеки медичних закладів різного рівня, або хоч би її окремі елементи. Такі документи вже тривалий період використовуються в різних країнах (наприклад типова модель загроз і типова модель порушника для типової МІС лікувально-профілактичного закладу в Росії 2009 р.). Ефективною система захисту інформації в МІС буде лише при умові, що керівництво медичного закладу матиме достатню нормативно-правову і, зрозуміло, технічну базу для реалізації ефективної політики безпеки.

Постановою КМ України затверджені правила забезпечення захисту інформації в інформаційних, телекомунікаційних та інформаційно-телекомунікаційних системах [9]. Документ визначає поняття ідентифікації та автентифікації користувачів, вказує, яка інформація підлягає захисту в системі. В інформаційній системі обов’язково реєструються

- результати ідентифікації та автентифікації користувачів;
- результати виконання користувачем операцій з обробки інформації;
- спроби несанкціонованих дій з інформацією;
- факти надання та позбавлення користувачів права доступу до інформації та її обробки;
- результати перевірки цілісності засобів захисту інформації.

Реєстрація здійснюється автоматичним способом, а реєстраційні дані захищаються від модифікації та знищення користувачами, які не мають повноважень адміністратора безпеки.

Доступ до службової інформації надається тільки ідентифікованим та автентифікованим користувачам. Спроби доступу до такої інформації неідентифікованих осіб чи користувачів з не підтвердженою під час автентифікації відповідністю пред’явленого ідентифікатора повинні блокуватися [9, п.6].

Окремим розділом в постанові виділені організаційні засади захисту інформації. Перш за все підтверджено, що ефективний захист може забезпечити лише комплексна система захисту інформації. Для МІС КСЗІ направлена на захист від витоку інформації технічними каналами, які «... утворюються під впливом фізичних процесів під час функціонування засобів обробки інформації, інших технічних засобів і комунікацій, несанкціонованих дій з інформацією, у тому числі з використанням комп’ютерних вірусів».

Відповідальність за забезпечення захисту інформації в системі, своєчасне розроблення необхідних для цього заходів та створення системи захисту покладається на керівника (заступника керівника) організації, яка є власником (розпорядником) системи, та керівників її структурних підрозділів, що забезпечують створення та експлуатацію системи [9, п.17].

В медичних закладах обслуговування МІС зазвичай виконує одна, рідше кілька осіб, тому логічно, враховуючи, що обсяг робіт, пов’язаних із захистом інформації, не є значним, доручити такі роботи окремій особі (адміністратор системи або інженер).

В будь-якому закладі обов’язково складається план захисту інформації в МІС, який містить [9, п.19]:

- завдання захисту, класифікацію інформації, яка обробляється в системі, опис технології обробки інформації;
- визначення моделі загроз для інформації в системі;
- основні вимоги щодо захисту інформації та правила доступу до неї в системі;
- перелік документів, згідно з якими здійснюється захист інформації в системі;
- перелік і строки виконання робіт службою захисту інформації.

Важливо підкреслити, що система захисту інформації в МІС повинна використовувати лише сертифіковані засоби захисту.

Будь-яка інформаційна система повинна мати чітко визначені границі об’єктів, на яких відбувається обробка інформації. Такі об’єкти підлягають обов’язковому категоріюванню згідно з Положенням [10]. Документ подає визначення понять категоріювання, категорія об’єкта, об’єкт інформаційної діяльності, інформація з обмеженим доступом тощо.

Відмітимо найважливіші пункти документа стосовно МІС:

1. Категоріювання здійснюється для визначення необхідного (зі встановлених нормативно-правовими актами та нормативними документами системи технічного захисту інформації рівнів) рівня захисту інформації, що обробляється технічними засобами та/або озвучується на об’єкті.

2. Об’єктами категоріювання є об’єкти інформаційної діяльності, в тому числі об’єкти ЕОТ.

3. Категоріювання здійснюється за ознакою: ступінь обмеження доступу до інформації, що обробляється технічними засобами та/або озвучується на ОІД.

Документ установлює чотири категорії об’єктів залежно від правового режиму доступу до інформації, що циркулює в них:

«... - до третьої категорії відносяться об’єкти, в яких циркулює інформація, що містить відомості, які становлять державну таємницю, для якої встановлено гриф секретності "таємно", а також інформація, що

містить відомості, які становлять іншу передбачену законом таємницю, розголошення якої завдає шкоди особі, суспільству й державі;

- до четвертої категорії відносяться об'єкти, в яких циркулює службова та конфіденційна інформація, вимога щодо захисту якої встановлена законом»

4. Об'єктам, на яких обробляється технічними засобами та/або озвучується інформація з обмеженим доступом, що не становить державної таємниці, встановлюється четверта (IV) категорія.

5. За рішенням розпорядників (користувачів) інформації або за рішенням власників (розпорядників, користувачів) об'єктів, на яких обробляється технічними засобами та/або озвучується інформація з обмеженим доступом, що не становить державної таємниці, об'єктам може встановлюватися III категорія.

Для медичних закладів первинного рівня характерна різноманітність об'єкт-користувачів, об'єкт-процесів та суб'єктів інформаційної взаємодії. Тому тут однозначно третя категорія. Для закладів вторинного рівня ситуація не є однозначною. Якщо це міська лікарня, багатoproфільне територіальне об'єднання, то важливим фактором виступає різноманітність як об'єкт-процесів, так і об'єкт-користувачів. І тут встановлювати категорію потрібно рішенням розпорядників інформації за згодою власників об'єктів. Інформаційним системам медичних закладів третинного рівня може бути встановлена III категорія (наприклад для закладів психоневрологічного профілю) або IV категорія з виділенням окремих об'єктів, віднесених до III категорії.

Крім категоріювання об'єктів інформаційної діяльності законодавчо закріплені і класи автоматизованих систем за рівнем захищеності від несанкціонованого доступу [11]. Виділено три класи з окремими вимогами до функціонального складу комп'ютерних засобів захисту.

Клас «1» — одномашинний однокористувацький комплекс, який обробляє інформацію однієї або кількох ступенів обмеження доступу.

«... в кожному момент часу з комплексом може працювати тільки один користувач, хоч у загальному випадку осіб, що мають доступ до комплексу, може бути декілька; користувачі можуть мати різні повноваження (права) щодо доступу до інформації, яка обробляється».

Клас «2» — локалізований багатомашинний багатокористувацький комплекс, який обробляє інформацію різних ступенів обмеження доступу.

Відміна від попереднього класу — наявність користувачів з різними повноваженнями по доступу і/або технічних засобів, які можуть одночасно здійснювати обробку інформації різних ступенів обмеження доступу.

Клас «3» — розподілений багатомашинний багатокористувацький комплекс, який обробляє інформацію різних ступенів обмеження доступу.

Істотна відміна від попереднього класу — необхідність передачі інформації через незахищене середовище або, в загальному випадку, наявність вузлів, що реалізують різну політику безпеки.»

Для більшості МІС характерні автоматизовані системи класів 1 та 2.

Кожен з класів характеризується окремим набором елементів захисту, так званих профілів безпеки [11]. Загальна структура класифікації має вигляд X.YYY.Z (наприклад 2.КЦД.3), де X — функціональний клас АС, Y — підклас АС, Z — функціональний профіль АС

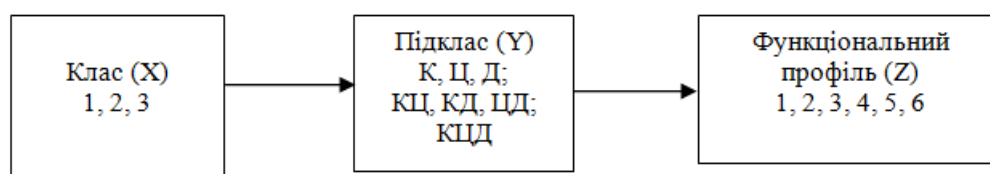


Рис. 1. Класи АС і стандартні функціональні профілі захищеності оброблюваної інформації від несанкціонованого доступу (К — конфіденційність, Ц — цілісність, Д — доступність)

Розглянемо більш докладно, що ж регламентує документ з точки зору забезпечення базових складових інформаційної безпеки: конфіденційності, цілісності, доступності та спостережності. Згідно з [12] під цими поняттями розуміють:

— конфіденційність інформації — властивість інформації, яка полягає в тому, що інформація не може бути отримана неавторизованим користувачем і/або процесом;

— цілісність інформації — властивість інформації, яка полягає в тому, що інформація не може бути модифікована неавторизованим користувачем і/або процесом. Цілісність системи — властивість системи, яка полягає в тому, що жоден її компонент не може бути усунений, модифікований або доданий з порушенням політики безпеки;

— доступність — властивість ресурсу системи (КС, послуги, об'єкта КС, інформації), яка полягає в тому, що користувач і/або процес, який володіє відповідними повноваженнями, може використовувати ресурс відповідно до правил, встановлених політикою безпеки, не очікуючи довше заданого (малого) проміжку часу, тобто коли він знаходиться у вигляді, необхідному користувачеві, в місці, необхідному користувачеві, і в той час, коли він йому необхідний;

– спостережність — властивість КС, що дозволяє фіксувати діяльність користувачів і процесів, використання пасивних об'єктів, а також однозначно установлювати ідентифікатори причетних до певних подій користувачів і процесів з метою запобігання порушення політики безпеки і/або забезпечення відповідальності за певні дії.

Враховуючи, що інформаційні ресурси лікарняного закладу є як продуктом роботи персоналу, так і готовими об'єктами МІС, з якими працюють і до яких періодично повинні мати доступ окремі категорії спеціалістів. Тому обрані стандартні функціональні профілі захищеності оброблюваної інформації повинні забезпечити недопущення несанкціонованого доступу до інформаційних ресурсів закладу, захист інформації від знищення, спотворення, копіювання, блокування тощо; захист апаратних і програмних компонентів МІС.

Для рівня первинної медичної допомоги [13] основними загрозами є порушення конфіденційності інформації і, як результат, порушення її цілісності. Тому на початковому етапі достатньо запровадити прості профілі захисту АС класу 1; від 1.К.Х до 2.КЦ.Х для амбулаторій і 2.КЦ.Х центрів первинної медико-санітарної допомоги. Будь-який профіль включає набір заходів спостережності. В подальшому завжди можливе підсилення окремих функціональних профілів і навіть заміна підкласу (наприклад КЦ.Х на КЦД.Х).

Для закладів вторинного рівня (спеціалізована допомога) [14], реформування яких почнеться у 2019 році, перш за все необхідно провести інвентаризацію і аналіз всіх комп'ютерних засобів, які використовуються на даний період, визначити їх можливості з точки зору впровадження відповідаючої сучасним вимогам комплексної системи захисту інформації. Якщо в медичному закладі вже функціонує МІС на основі локальної мережі, то необхідно переглянути наявну політику інформаційної безпеки і привести її у відповідність з існуючим нормативно-правовим законодавством згідно засад впровадження медичної реформи в Україні.

Виходячи з вищесказаного і враховуючи, що абсолютна більшість МІС закладів II рівня відноситься до класу 2, можна рекомендувати рівні захищеності АС 2КЦ.Х (профілі з підвищеними вимогами до забезпечення конфіденційності і цілісності оброблюваної інформації). Щодо реалізації профілів захищеності тут потрібно керуватись можливостями технічної реалізації тих чи інших елементів захисту. Для прикладу найпростіший, доцільний для практичної реалізації профіль захищеності 2.КЦ.2 має вигляд:

2.КЦ.2 = { КД-2, КО-1, - забезпечення довірчої конфіденційності даних

ЦД-1, ЦО-1, - забезпечення довірчої цілісності даних

НР-2, НИ-2, НК-1, НО-1, НЦ-2, НТ-1 – профілі спостережності даних }.

Для закладів третинного рівня (високоспеціалізована допомога), реформа яких має початись у 2020 році [14], в загальному випадку можна використовувати ті ж рівні захищеності, що і для вторинної ланки, підсиливши їх окремі складові. Наприклад при переході від функціонального профілю 2.КЦ.2 до 2.КЦ.3 додатково реалізуються адміністративна конфіденційність даних КА-2 та адміністративна цілісність даних ЦА-2; у профілі спостережності змінюють елементи НО-1 та НТ-1 відповідно на НО-2 та НТ-2.

Заклади спеціалізованої медичної допомоги з точки зору інформаційної безпеки є найбільш вразливими, так як саме у цій ланці знаходяться найбільш інформаційно ємні бази персональних даних різномірних категорій пацієнтів. Саме на цьому рівні зосереджена основна маса інформації, в якій зацікавлені потенційні порушники. Виходячи з цього доцільно в першу чергу забезпечити надійний захист баз персональних даних (зокрема історій хвороб) пацієнтів за напрямками конфіденційності та цілісності; захист баз даних службової медичної інформації, кадрової і бухгалтерської документації – за напрямком доступності. Крім того значно підвищуються вимоги до захисту інформації в телекомунікаційних мережах зв'язку при передачі великих масивів даних, так як телемедицина стає важливим елементом функціонування лікарні [15].

Більшість МІС відносяться до АС класу 2. Розглянемо основні вимоги до таких систем опираючись на нормативний документ [16]. Мета цього документа – надання нормативно-методологічної бази під час розроблення комплексів засобів захисту від несанкціонованого доступу (НСД) до службової інформації, яка обробляється в АС класу 2, створення КСЗІ в установі (організації), проведення аналізу та оцінки захищеності інформації від НСД в системах такого класу, а також рекомендацій для визначення необхідного функціонального профілю захищеності інформації в конкретній АС. Документ конкретизує вимоги до окремих складових АС класу 2 – обчислювальної системи, фізичного середовища, в якому функціонує АС, користувачів АС, оброблюваної службової інформації та технології її оброблення.

Забезпечення захисту службової інформації передбачає комплекс засобів і заходів, які потрібно виконати. Наведемо основні з них з огляду на їх важливість:

- організація служби захисту інформації з відповідними повноваженнями;
- створення комплексної системи захисту інформації як сукупності організаційних, правових та інженерно-технічних заходів забезпечення захисту інформації;
- перелік службової інформації, яка підлягає автоматизованій обробці;
- визначення ієрархічних рівнів повноважень користувачів та класифікаційних рівнів інформації;
- обов'язковість реєстрації в АС всіх користувачів та їхніх дій щодо службової інформації;
- заборона несанкціонованого розповсюдження, копіювання, розмноження, модифікації службової інформації в електронному вигляді та контроль СЗІ за такими діями.
- можливість однозначної ідентифікації та автентифікації кожного зареєстрованого користувача;

Перелік мінімально необхідних рівнів послуг безпеки, які реалізуються КЗЗ (функціональний профіль захищеності), вибирається залежно від технологій обробки інформації, що застосовуються, та з урахуванням типових умов функціонування АС. Для АС класу 2 визначаються такі стандартні функціональні профілі захищеності оброблюваної інформації:

- під час застосування технології, що вимагає підвищених вимог до забезпечення конфіденційності оброблюваної інформації:

2.К.3 = {КД-2, КА-2, КО-1, НР-2, НК-1, НЦ-2, НТ-2, НИ-2, НО-2};

- під час застосування технології, що вимагає підвищених вимог до забезпечення конфіденційності та цілісності оброблюваної інформації:

2.КЦ.3 = {КД-2, КА-2, КО-1, ЦД-1, ЦА-2, ЦО-1, НР-2, НК-1, НЦ-2, НТ-2, НИ-2, НО-2};

- під час застосування технології, що вимагає підвищених вимог до забезпечення конфіденційності та доступності оброблюваної інформації:

2.КД.1а = {КД-2, КА-2, КО-1, ДР-1, ДС-1, ДЗ-1, ДВ-1, НР-2, НК-1, НЦ-2, НТ-2, НИ-2, НО-2};

- під час застосування технології, що вимагає підвищених вимог до забезпечення конфіденційності, цілісності та доступності оброблюваної інформації:

2.КЦД.2а = {КД-2, КА-2, КО-1, ЦД-1, ЦА-2, ЦО-1, ДР-1, ДС-1, ДЗ-1, ДВ-1, НР-2, НК-1, НЦ-2, НТ-2, НИ-2, НО-2}.

Підсумовуючи все вище сказане для закладів охорони здоров'я можуть бути реалізовані такі базові функціональні профілі безпеки:

Для сільських амбулаторій, лікарів приватної практики, інших установ, які можна віднести до АС класу 1 мінімально достатнім слід вважати стандартний профіль 1.КЦ.Х. Нормативний документ [11] не рекомендує вибирати профіль, опираючись лише на один напрямок захисту (конфіденційність або цілісність), так як в цьому випадку практично нереально організувати дієву систему захисту інформації. Функціональний профіль 1.КЦ.2 реалізує адміністративний принцип розмежування доступу, що забезпечується послугами КА та ЦА.

1.КЦ.2 = {КА-1, КО-1; ЦА-2, ЦО-1, НР-2, НИ-2, НК-1, НО-1, НЦ-1, НТ-1}

Для загроз конфіденційності рекомендується запровадити:

– мінімальний рівень КА-1. Адміністративна конфіденційність дозволяє адміністратору або спеціально авторизованому користувачу керувати потоками інформації від захищених об'єктів до користувачів;

– мінімальний рівень КО-1. Повторне використання об'єктів дозволяє забезпечити коректність повторного використання розділюваних об'єктів, тобто таких, які почергово виділяються різним користувачам та/або процесам, гарантує, що коли розділюваний об'єкт виділяється новому користувачу або процесу, він не містить інформації, яка залишилась від попереднього користувача або процесу.

Для загроз цілісності достатніми є:

– базовий рівень ЦА-2. Адміністративна цілісність дозволяє адміністратору або спеціально авторизованому користувачу керувати потоками інформації від користувачів до захищених об'єктів;

– обмежений рівень ЦО-1. Відкат забезпечує можливість відмінити операцію або послідовність операцій і повернути (відкотити) захищений об'єкт до попереднього стану.

Профіль повинен включати базовий набір рівнів спостережності:

– базовий рівень НР-2 (реєстрація). Реєстрація дозволяє контролювати небезпечні для КС дії шляхом реєстрації і аналізу подій, що мають відношення до безпеки;

– базовий рівень НИ-2 (ідентифікація та автентифікація). Дозволяє КЗЗ визначити і перевірити особистість користувача, що намагається одержати доступ до КС;

– мінімальний рівень НК-1. Гарантує користувачу можливість безпосередньої взаємодії з КЗЗ;

– мінімальний рівень НО-1. Розподіл обов'язків дозволяє зменшити потенційні збитки від навмисних або помилкових дій користувача і обмежити авторитарність керування;

– мінімальний рівень НЦ-1. Цілісність комплексу засобів захисту визначає міру здатності КЗЗ захищати себе і гарантувати свою спроможність керувати захищеними об'єктами;

– мінімальний рівень НТ-1. Самотестування дозволяє КЗЗ перевірити і на підставі цього гарантувати правильність функціонування і цілісність певної множини функцій КС.

Для закладів спеціалізованої медичної допомоги (АС класу 2) підсилюються окремі рівні захисту залежно від вирішуваних практичних задач від мінімального рівня (наприклад КД-1) послідовно до базового (КД-2), повного (КД-3). Для центрів первинної медико-санітарної допомоги і закладів вторинного рівня спробуємо сформувати профіль з параметрами, які б забезпечили прийнятний рівень захисту інформації.

2.КЦ.3 = { КД-2, КА-2, КО-1; ЦД-1, ЦА-2, ЦО-1, НР-2, НИ-2, НК-1, НО-2, НЦ-2, НТ-2 }

Для загроз конфіденційності рекомендується реалізувати базовий рівень КД-2 довіря конфіденційність, яка дозволяє користувачу керувати потоками інформації від захищених об'єктів, що належать його домену, до інших користувачів. Адміністративну конфіденційність підсилити до базового рівня КА-2.

Для загроз цілісності реалізувати мінімальний рівень ЦД-1 довірча цілісність, яка дозволяє користувачу керувати потоками інформації від інших користувачів до захищених об'єктів, що належать його домену.

Профіль підсилює мінімальний набір рівнів спостережності до базових НО-2, НЦ-2, НТ-2.

Представлені вище профілі є базовими і рекомендованими. В кожному конкретному випадку, виходячи зі специфіки лікувально-профілактичного закладу їх елементи можна змінювати, включаючи нові або змінюючи навіть підкласти захищеності оброблюваної інформації.

Основним принципом політики безпеки щодо інформаційних ресурсів медичного закладу має бути вибірковий доступ окремих об'єкт-користувачів та об'єкт-процесів до окремих суб'єктів інформаційної взаємодії. Тому в даному випадку недоцільно, а в багатьох випадках і неможливо реалізувати окремо адміністративну або довірчу модель розмежування доступу. Потрібно їх об'єднувати і забезпечувати як адміністративні послуги безпеки (КА, КЦ), так і довірчі (КД, ЦД). Для будь-якого профілю потрібно враховувати послуги спостережності (НР, НИ).

Висновки. На даний час проблема захисту інформації в медицині вимагає централізованого вирішення. Розглянуті нормативні документи визначають методологічні основи (концепцію) вирішення завдань захисту інформації в комп'ютеризованих медичних системах і створення прикладних нормативних і методологічних документів, які регламентують питання захисту МІС від несанкціонованого доступу; створення захищених інформаційних систем і засобів їх захисту; дозволяють оцінити рівень захищеності таких систем і їх придатність для вирішення завдань захисту інформаційних ресурсів медичного закладу і персональних даних пацієнтів зокрема.

Представлена нормативно-правова база, якою необхідно керуватись при проектуванні, створенні і впровадженні в практику комплексної системи захисту інформаційних ресурсів медичних інформаційних систем. В період інформатизації медичної галузі питання інформаційної безпеки повинні органічно вплітатись в канву медичної реформи; впроваджуватись на всіх рівнях функціонування автоматизованих систем обробки інформації починаючи від сільської амбулаторії і закінчуючи високотехнологічними спеціалізованими медичними об'єднаннями. Комп'ютеризація і захист інформаційних ресурсів медичної галузі неподільні. Це потрібно зрозуміти кожному керівнику медичного закладу. Подані вище нормативні документи повинні допомогти керівництву медичних закладів почати підготовку до впровадження заходів і засобів комп'ютерної безпеки, які б відповідали вимогам законодавства України і міжнародним стандартам.

Література

1. Про інформатизацію : закон України від 2 жовтня 1992 р. № 2657-XII // Відомості Верховної Ради України. – 1992. – № 48. – ст. 650.
2. Про захист інформації в інформаційних телекомунікаційних системах : закон України від 31 травня 2005 р. № 2594-IV // Відомості Верховної Ради України. – 2005. – № 26. – ст. 347.
3. Про захист персональних даних : закон України від 1 червня 2010 р. № 2297-VI // Відомості Верховної Ради України. – 2010. – № 34. – ст. 481.
4. Захист персональних даних пацієнтів під особливою увагою Омбудсмена [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.med-info.net.ua/index.php?q=content – (дата звернення: 12.10.2017)
5. Типовий порядок обробки персональних даних : наказ Уповноваженого Верховної Ради з прав людини № 1/02-14 від 8 січня 2014 р.
7. Про основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні : закон України від 9 січня 2007 р. № 537-V // Відомості Верховної Ради України. – 2007. – № 12. – ст. 102.
8. Про схвалення стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні : розпорядження Кабінету Міністрів України від 15 травня 2013 р. № 386.
9. Типова інструкція про порядок ведення обліку, зберігання, використання і знищення документів та інших матеріальних носіїв інформації, що містять службову інформацію : постанова Кабінету Міністрів України від 19 жовтня 2016 р. № 736.
10. Про затвердження Правил забезпечення захисту інформації в інформаційних, телекомунікаційних та інформаційно-телекомунікаційних системах : постанова Кабінету Міністрів України від 29 березня 2006 р. № 373.
11. Захист інформації на об'єктах інформаційної діяльності. Положення про категоріювання об'єктів, де циркулює інформація з обмеженим доступом, що не становить державної таємниці: НД ТЗІ 1.6-005-2013 : наказ Адміністрації Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації Служби безпеки України від 15 квітня 2013 р. № 215.
12. Класифікація автоматизованих систем і стандартні функціональні профілі захищеності оброблюваної інформації від несанкціонованого доступу: НД ТЗІ 2.5-005-99 : наказ Департаменту спеціальних телекомунікаційних систем та захисту інформації Служби безпеки України від 28 квітня 1999 р. № 22.
13. Термінологія в галузі захисту інформації в комп'ютерних системах від несанкціонованого доступу: НД ТЗІ 1.1-003-99 : наказ Департаменту спеціальних телекомунікаційних систем та захисту інформації Служби безпеки України від 28 квітня 1999 р. № 22.

14. Критерії класифікації закладів охорони здоров'я за рівнями подання медичної допомоги. Методичні рекомендації / Міністерство охорони здоров'я України. Український інститут стратегічних досліджень. – К., 2010. – 21 с.

15. Медична реформа: плани на 2018 рік [електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.medcv.gov.ua/archives/11066> – (дата звернення: 9.03.2018)

16. Захист персональних даних у сфері охорони здоров'я: алгоритм змін : науковий вісник Херсонського державного університету. – 2014. – Випуск 6-1. Том 1. – С. 216–221.

17. Вимоги із захисту службової інформації від несанкціонованого доступу під час оброблення в автоматизованих системах класу 2: НД ТЗІ 2.5-008-2002 : наказ Департаменту спеціальних телекомунікаційних систем та захисту інформації Служби безпеки України від 13 грудня 2002 р. № 84 (зі змінами від 28 грудня 2012 р. № 806).

References

- 1.1.1.1. Pro informatizaciyu: Zakon Ukraini vid 2 zhovtnya 1992 r. №2657-HII// Vidomosti Verhovnoyi Radi Ukraini.-1992.-№48.-st.650
- 1.1.1.2. Pro zahist informaciyi v informacijnih telekomunikacijnih sistemah: Zakon Ukraini vid 31 travnya 2005 r. №2594-IV// Vidomosti Verhovnoyi Radi Ukraini.-2005.-№26.-st.347
- 1.1.1.3. Pro zahist personalnih danih: Zakon Ukraini vid 1 chervnya 2010 r. №2297-VI // Vidomosti Verhovnoyi Radi Ukraini.-2010.-№34.-st.481
- 1.1.1.4. Zahist personalnih danih paciyentiv pid osoblivoyu uvagoyu Ombudsmena / elektronnij resurs // [www.med-info.net.ua/index.php?q=content\(data zvernennya: 12.10.2017\)](http://www.med-info.net.ua/index.php?q=content(data%20zvernennya%3A%2012.10.2017))
- 1.1.1.5. Tipovij poryadok obrobki personalnih danih: Nakaz Upovnovazhenogo Verhovnoyi Radi z prav lyudini №1/02-14 vid 8 sichnya 2014 r.
2. Pro osnovni zasady rozvitku informacijnogo suspilstva v Ukraini: Zakon Ukraini vid 9sichnya 2007 r. №537-V// Vidomosti Verhovnoyi Radi Ukraini.-2007.-№12.-st.102
3. Pro shvalennya strategiyi rozvitku informacijnogo suspilstva v Ukraini: Rozporyadzhennya Kabinetu Ministriv Ukraini vid 15 travnya 2013 r. №386
4. Tipova instrukciya pro poryadok vedennya obliku, zberigannya, vikoristannya i znishennya dokumentiv ta inshih materialnih nosiyiv informaciyi, sho mistyat sluzhbovu informaciyu: Postanova Kabinetu Ministriv Ukraini vid 19 zhovtnya 2016 r. №736
5. Pro zatverdzhennya Pravil zabezpechennya zahistu informaciyi v informacijnih, telekomunikacijnih ta informacijno-telekomunikacijnih sistemah: Postanova Kabinetu Ministriv Ukraini vid 29 bereznya 2006 r. №373
6. Zahist informaciyi na ob'yektah informacijnoyi diyalnosti. Polozhennya pro kategoriyuvannya ob'yektiv, de cirkulyuye informaciya z обмеzenim dostupom, sho ne stanovit derzhavnoyi tayemnici: ND TZI 1.6-005-2013. Nakaz Administraciyi Derzhavnoyi sluzhbi specialnogo zv'yazku ta zahistu informaciyi Sluzhbi bezpeki Ukraini vid 15 kvitnya 2013 r. №215
7. Klasifikaciya avtomatizovanih sistem i standartni funkcionalni profili zahishenosti obroblyuvanoi informaciyi vid nesankcionovanogo dostupu: ND TZI 2.5-005-99. Nakaz Departamentu specialnih telekomunikacijnih sistem ta zahistu informaciyi Sluzhbi bezpeki Ukraini vid 28 kvitnya 1999 r. №22
8. Terminologiya v galuzi zahistu informaciyi v komp'yuternih sistemah vid nesankcionovanogo dostupu:ND TZI 1.1-003-99. Nakaz Departamentu specialnih telekomunikacijnih sistem ta zahistu informaciyi Sluzhbi bezpeki Ukraini vid 28 kvitnya 1999 r. №22
9. Kriteriyi klasifikaciyi zakladiv ohoroni zdorov'ya za rivnyami podannya medichnoyi dopomogi. Metodichni rekomendaciyi. Ministerstvo ohoroni zdorov'ya Ukraini. Ukrayinskij institut strategichnih doslidzhen. - K., 2010. - 21s
10. Medichna reforma: plani na 2018 rik / elektronnij resurs // <http://www.medcv.gov.ua/archives/11066> (data zvernennya: 9.03.2018)
11. Zahist personalnih danih u sferi ohoroni zdorov'ya: algoritm zmin Naukovij visnik Hersonskogo derzhavnogo universitetu Vipusk 6-1. Tom 1. 2014,S. 216-221.
12. Vimogi iz zahistu sluzhbovoyi informaciyi vid nesankcionovanogo dostupu pid chas obroblyennya v avtomatizovanih sistemah klasu 2: ND TZI 2.5-008-2002. Nakaz Departamentu specialnih telekomunikacijnih sistem ta zahistu informaciyi Sluzhbi bezpeki Ukraini vid 13 grudnya2002 r. №84 (zi zminami vid 28 grudnya 2012 r. №806)

Рецензія/Peer review : 4.05.2018 р.

Надрукована/Printed :05.07.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. А.Я. Кулик

О.І. ДОРОШ, О.Ю. СТЕПАНЮК
Національний університет «Києво-Могилянська Академія»
Г.Л. КУЧМІЙ
Національний університет «Львівська політехніка»
Н.В. ДОРОШ, М.В. КОЦАРЕНКО
Львівський національний медичний університет ім. Данила Галицького

ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ ЗАСОБІВ МОБІЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ, ТРИВАЛОГО КОНТРОЛЮ ТА АНАЛІЗУ БІОМЕДИЧНИХ ДАНИХ

В роботі розглянуто сучасний стан розробки та застосування медичних гаджетів та мобільних додатків різного типу для спостереження за станом здоров'я людини. Показано, що за їх допомогою можна контролювати фізичну активність, кількість та якість сну, встановлювати місцезнаходження людини, вибирати режим харчування та розраховувати кількість спалених калорій та ін., а за допомогою мобільних додатків результати вимірювання можуть відображатися у числовому та графічному вигляді на екрані смартфона. Кількість пропонованих на ринку медичних гаджетів та мобільних додатків стрімко зростає, розширюються також їх функціональні можливості. Представлено особливості застосування медичних гаджетів та відповідних мобільних додатків для вимірювання та аналізу фізіологічних показників, що характеризують стан серцево-судинної системи людини. Приведено порівняльну оцінку функціональних можливостей та результатів вимірювання частоти серцевих скорочень та артеріального тиску за допомогою мобільних медичних засобів MioFuse+MioGo та CK11s+FitCloud. Встановлено, що для фітнес-браслету CK11s не передбачено опції доступу до внутрішньої пам'яті гаджету або до бази даних смартфона для організації передачі даних на сервер, що є суттєвим обмеженням для подальшої аналітичної роботи з даними вимірювань. Додаток MioGo дозволяє здійснити передачу даних вимірювання з фітнес-браслету MioFuse у пам'ять смартфона та за допомогою вбудованої функції Extract Workout Data передати їх на серверну частину комп'ютерної системи. При розробці багатфункціональних мобільних вимірювальних систем з цифровою обробкою отриманих даних слід враховувати особливості функціональних можливостей та застосування медичних гаджетів, що обираються для вимірювання фізіологічних показників та відповідних мобільних додатків для проведення професійного аналізу отриманих даних з використанням сучасних методів доказової медицини.

Ключові слова: медичні гаджети, мобільні додатки, вимірювання, аналіз.

O.I. DOROSH, O.Y. STEPANJUK
National University of Kyiv-Mohyla Academy
G.L. KUCHMIY
Lviv Polytechnic National University
N.V. DOROSH, M.V. KOTCARENKO
Danylo Halytsky Lviv National Medical University

FUNCTIONAL CAPABILITIES OF MOBILE ELECTRONICS DEVICES FOR MEASURING, CONTINUED MONITORING AND ANALYSIS OF BIOMEDICAL DATA

The paper considers the current state of development and application of the different type medical gadgets and mobile applications for the health monitoring. It is shown that using this devices you can control physical activity, quantity and quality of sleep, locate a person, choose a diet and calculate the number of calories burned, etc., and with the help of mobile applications, the measurement results can be displayed numerically and graphically on the smartphone screen. The number of medical gadgets and mobile applications offered on the market is growing rapidly and their functionality is expanding. The features of the use of medical gadgets and mobile applications for measuring and analyzing physiological indicators that characterizing the state of the human cardiovascular system are presented. The comparative estimation of functionality and results of measurement of heart rate and blood pressure using mobile medical devices MioFuse + MioGo and CK11s + FitCloud are presented. It has been established that for the CK11s Fitness Bracelet, there are no options for accessing the internal memory of a gadget or a smartphone database for organizing data transfer to the server, which is a significant limitation for further analytical work with measurement data. The MioGo application allows you to transmit measurement data from the MioFuse Fitness Bracelet to a smartphone and use the built-in Extract Workout Data function to transfer data to the server part of the computer system. When designing multifunctional mobile measurement systems with digital processing of the received data, account should be taken of the features of functional capabilities and the use of medical gadgets chosen to measure physiological parameters and relevant mobile applications for professional analysis of the data obtained using modern methods of evidence-based medicine.

Keywords: medical gadgets, mobile applications, measurement, analysis.

На даний час медичні гаджети та відповідні мобільні health-додатки для вимірювання та контролю біомедичних показників активно використовуються споживачами у повсякденному житті. Як правило за їх допомогою можна контролювати фізичну активність, кількість та якість сну, вибирати режим харчування та розраховувати кількість спалених калорій та ін. Одним з важливих пріоритетів при розробці таких гаджетів є забезпечення функціональної можливості вимірювання показників, що характеризують стан серцево-судинної системи, таких як частота серцевих скорочень, параметри артеріального тиску та рівень насичення крові киснем. Кількість пропонованих на ринку медичних гаджетів та мобільних додатків стрімко зростає, розширюються також їх функціональні можливості. Результати вимірювання даних зберігаються у пам'яті приладів та за допомогою мобільних додатків можуть відображатися у числовому та графічному вигляді на

екрані смартфона [1–3]. На рис. 1–4 представлено приклади відображення результатів вимірювання пульсу та артеріального тиску за допомогою медичних гаджетів MioFuse, який працює з мобільним додатком MioGO (рис. 1), фітнес-браслету Mi Band 2 з використанням офіційного додатку Mi Fit (рис. 2) та (додатково) з застосуванням стороннього програмного забезпечення Mi Band Tools (рис. 3), а також медичного фітнес-браслету CK11s та мобільного додатку FitCloud (рис. 4).

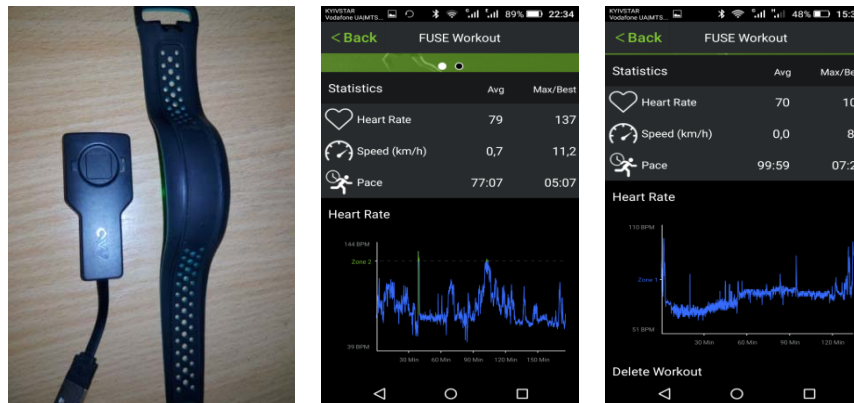


Рис. 1. Медичний гаджет MioFuse та результати вимірювання частоти серцевих скорочень у режимі фізичної активності та під час сну на екрані смартфона у графічному вигляді

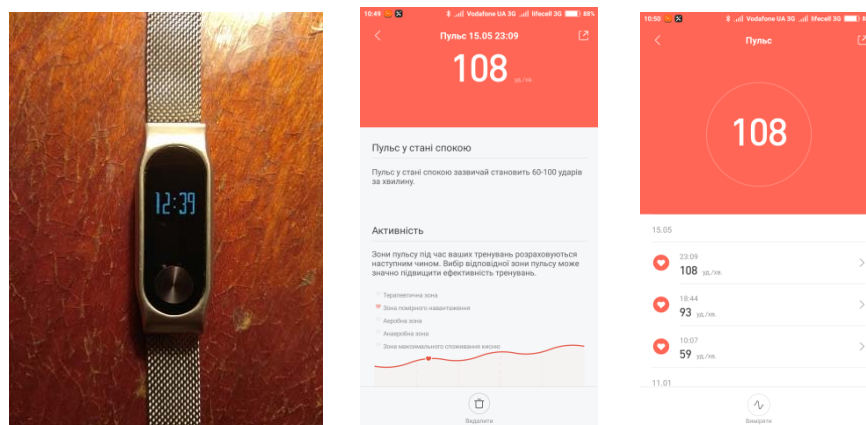


Рис. 2. Фітнес-браслет Mi Band 2 та відображення результатів вимірювання частоти серцевих скорочень у режимі фізичної активності на екрані смартфона у графічному вигляді

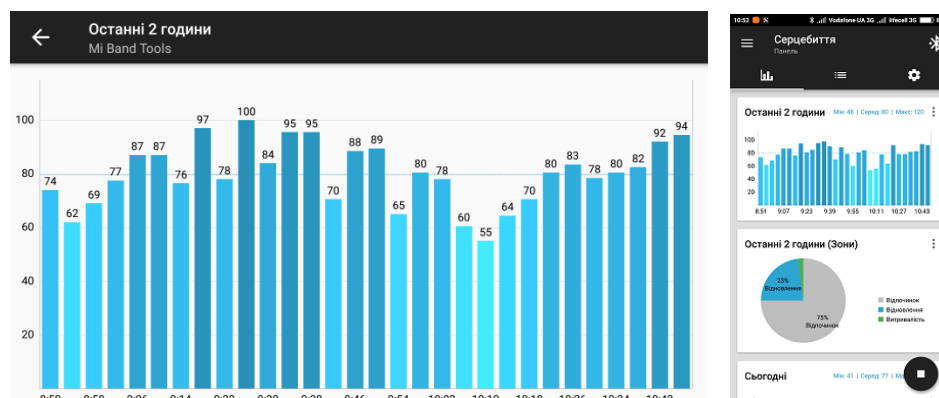


Рис. 3. Фітнес-браслет Mi Band 2 та результати вимірювання частоти серцевих скорочень у звичайному режимі фізичної активності при вимірюванні з кроком 2 хвилини на екрані смартфона у вигляді діаграми за допомогою програми Mi Band Tools

Як правило, функціональні можливості більшості медичних гаджетів орієнтовані на вимірювання окремих фізіологічних показників, що характеризують стан здоров'я людини, наприклад, пульсу або артеріального тиску, рівня цукру крові, провідності шкіри та ін., а також дозволяють визначати кількість пройдених кроків, спалених калорій, рівень фізичної активності та якість сну. Останнім часом на ринку мобільної електроніки з'явилися мобільні додатки для комплексного оцінювання фізіологічних показників організму. Наприклад, додаток iCare monitor пропонує перевірити зір, слух, артеріальний тиск, частоту серцевих скорочень, швидкість дихання, насичення крові киснем, а також виконати ряд психологічних тестів для визначення рівня стресу. Однак, така швидка перевірка виявилась недостатньо точною. Більш надійні результати ми отримали за допомогою медичного гаджету CK11s, який працює з мобільним додатком

FitCloud і дозволяє вимірювати та контролювати артеріальний тиск, пульс, рівень кисню крові та ін. показники протягом тривалого часу.

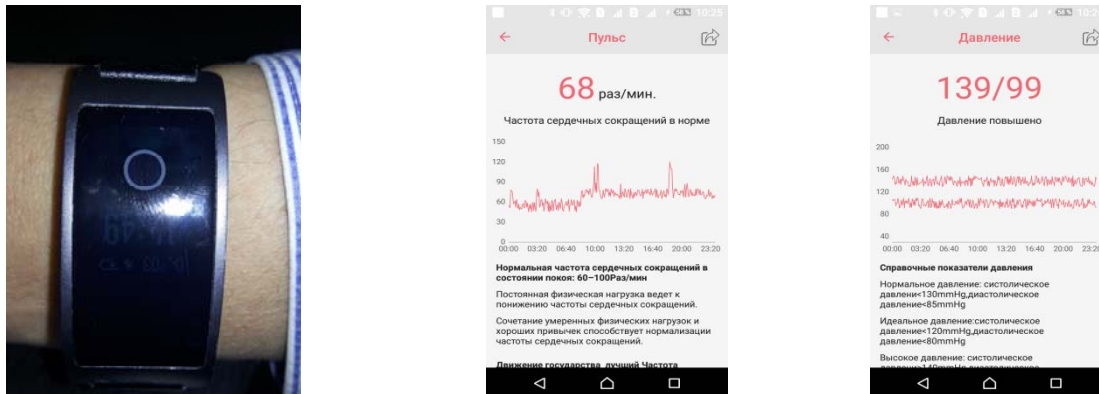


Рис. 4. Медичний гаджет SK11s та відображення результатів вимірювання пульсу та артеріального тиску у числовому та графічному вигляді на екрані смартфона

Актуальною задачею стає подальше опрацювання отриманих даних з метою проведення їх професійного аналізу з використанням сучасних методів доказової медицини. Проблемним питанням є можливість передачі масиву отриманих даних з гаджету на серверну частину комп'ютерної системи для подальшого аналізу. Нам не відома універсальна програма, яка дозволяє зчитувати дані вимірювань з любого типу медичних гаджетів. Наприклад, медичний гаджет SK11s дозволяє подивитися результати вимірювання пульсу та артеріального тиску у числовому вигляді на дисплеї гаджету або за допомогою мобільного додатку Fit Cloud отримати у числовому та графічному вигляді на екрані смартфона. Функції доступу до внутрішньої пам'яті гаджету або до бази даних смартфона для передачі даних на сервер не передбачено, що є суттєвим недоліком для роботи з даними вимірювань.

Додаток MioGo дозволяє здійснити передачу даних вимірювання на серверний комп'ютер за допомогою вбудованої функції Extract Workout Data. Вимірювання параметрів відбувається у режимі HOLD-GO-FIND-PULSE, а для передачі даних вимірювання з медичного гаджету MioFuse потрібно синхронізувати (опція SYNC) його роботу з додатком MioGo, записати результати вимірювань (Fuse Workout) у пам'ять смартфона та за допомогою опції Extract Workout Data передати отримані дані на серверну частину системи та відкрити, наприклад, у середовищі електронних таблиць для подальшого опрацювання. На рис. 5 показано екран смартфона у режимі передачі даних за допомогою вбудованої опції Extract Workout Data та вікно електронної таблиці, де у другій колонці відображаються результати вимірювання частоти серцевих скорочень, а в останній – результати розрахунку тривалості кардіоінтервалів T_{R-R} . У вікні електронної таблиці також відображається інформація про дату і час вимірювання, тип медичного гаджету та марка смартфона.

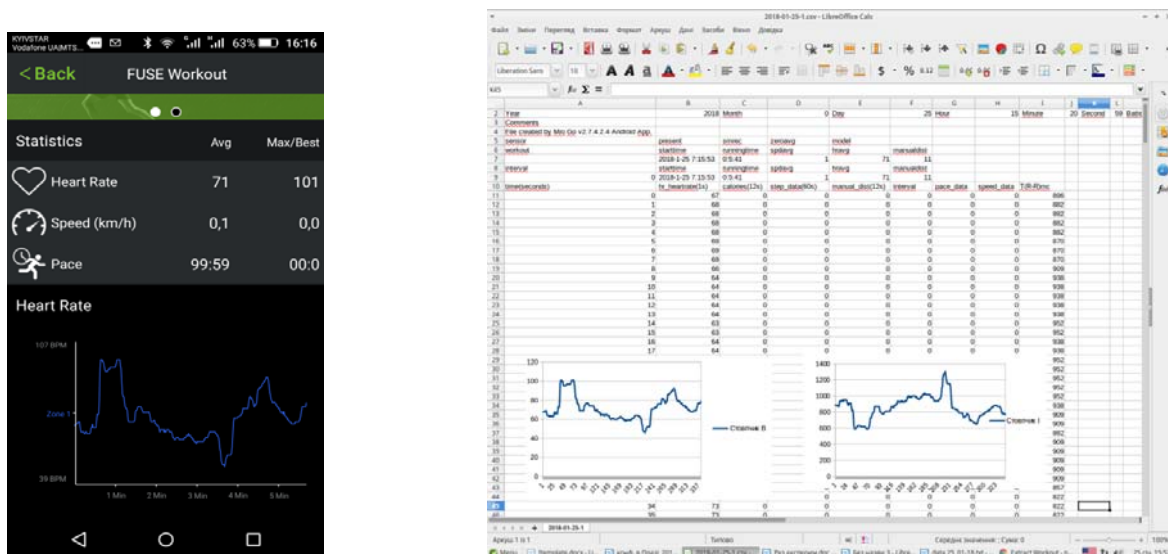


Рис. 5. Екран смартфона у режимі передачі даних за допомогою вбудованої опції Extract Workout Data та вікно електронної таблиці з масивом даних вимірювання Heart Rate та результатами розрахунку кардіоінтервалів

Масив даних вимірювання та результати проміжних розрахунків можна записати у текстові у файли, і, наприклад, передати для аналізу варіабельності серцевого ритму (HRV) за допомогою спеціальної програми Project 1, а також проведення комплексного спектрального аналізу у різних

ортогональних базисах [1, 3].

При розробці багатофункціональних мобільних вимірювальних систем з цифровою обробкою отриманих даних слід враховувати особливості функціональних можливостей та застосування медичних гаджетів, що вибираються для вимірювання фізіологічних показників та відповідних мобільних додатків для рішення конкретних практичних задач.

Література

1. M-health technology for personalized medicine / [N. V. Dorosh, O. V. Boyko, K. I. Ilkanich] // Development and modernization of medical science and practice: experience of Poland and prospects of Ukraine: Collective monograph / [N. V. Dorosh, O. V. Boyko, K. I. Ilkanich]. – Lublin, Poland : Izdevnieciba " Baltija Publishing", 2017. – S. 66–85.

2. Мінцер О. П. Особливості діагностики стану здоров'я пацієнта з позиції мобільної медицини : постановка проблеми / О. П. Мінцер, Я. О. Шевченко // Медична інформатика та інженерія. – 2016. – № 4. – С. 31–36.

3. Multifunctional mobile information system with feedback for analysis of human health and improved access to medical services / [O. Boyko, N. Dorosh, K. Ilkanych]. // Proceedings of 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT'2017). 4-7.07.2017. Lviv. – 2017. – P. 278–281.

Reference

1. M-health technology for personalized medicine / [N. V. Dorosh, O. V. Boyko, K. I. Ilkanich] // Development and modernization of medical science and practice: experience of Poland and prospects of Ukraine: Collective monograph / [N. V. Dorosh, O. V. Boyko, K. I. Ilkanich]. – Lublin, Poland : Izdevnieciba " Baltija Publishing", 2017. – S. 66–85.

2. Mincer, O. P. Osobly`vosti diagnosty`ky` stanu zdorov'ya paciyenta z pozy`ciyi mobil`noyi medy`cy`ny`. Postanovka problemy` [Tekst] / O. P. Mincer, Ya. O. Shevchenko // Medy`chna informaty`ka ta inzheneriya. - 2016, - № 4 – S. 31-36.

3. Multifunctional mobile information system with feedback for analysis of human health and improved access to medical services / [O. Boyko, N. Dorosh, K. Ilkanych]. // Proceedings of 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT'2017). 4-7.07.2017. Lviv. – 2017. – P. 278–281.

Рецензія/Peer review : 14.05.2018 р.

Надрукована/Printed : 04.07.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Стахіра П.Й.

ВДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА В АВІАЦІЙНІЙ ГАЛУЗІ

Практика світового авіабудування показує, що успішна робота виробника авіаційної техніки на ринку вимагає постійного вдосконалення діяльності, пов'язаної з безперервним поліпшенням якості продукції, що випускається. Рішення даної проблеми в першу чергу пов'язано з ефективністю прийнятих конструкторських і технологічних рішень, вдосконаленням виробничих процесів і технології виготовлення. Здійснення перерахованих заходів вимагає великих капіталовкладень і часових ресурсів. Це збільшує економічний ризик виробника авіатехніки, пов'язаний з небезпекою понести великі збитки, якщо продукція не матиме достатнього попиту. Найбільш перспективним рішенням для зниження зазначеного ризику є забезпечення якості продукції на початкових етапах конструкторсько-технологічного проектування. Створення складних технічних продуктів для машинобудування, таких як сучасні літаки, являє собою поєднання процесів, кожен з яких несе відповідальність за надання певних конструктивних показників продукту. Ці процеси взаємопов'язані. Вони можуть починатися і закінчуватися на різних етапах життєвого циклу та мати різну довжину в часі. Отже, в роботі розглянуто систему інформаційної підтримки процесів життєвого циклу виробу на підприємстві в авіаційній галузі. Розглянуті сучасні тенденції вдосконалення автоматизації проектування технологічних процесів із застосуванням засобів САПР ТП / CAPP. В ході підтримки процесів життєвого циклу виробу система САПР ТП/ CAPP взаємодіє з такими системами як CAD/ CAM/ CAE, PDM, ERP. Постає питання уніфікації та стандартизації засобів міжпрограмного інтерфейсу, тобто профілів САПР ТП/ CAPP для інформаційної взаємодії програм, що входять в єдиний інформаційний простір. Також були розроблені функціональна схема і схема інтеграції системи САПР ТП / CAPP. А також наведено основні положення концепції геометричних процесів у життєвому циклі складних технічних виробів, означено сфери її практичного застосування.

Ключові слова: технологічний процес, САПР ТП / CAPP, інтеграція даних, життєвий цикл виробу, CAD-система, PDM-система, ERP-система.

Y.B. KOVALENKO, L.P. RYBALKA, M.V. BURLAKA

National Aviation University

IMPROVEMENT OF THE AUTOMATED SYSTEM OF MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PREPARATION OF MANUFACTURE IN THE AVIATION INDUSTRY

The practice of world aviation engineering shows that the successful work of aviation equipment manufacturer in the market requires continuous improvement of activities related to the continuous improvement of the quality of products produced. The solution of this problem is primarily due to the efficiency of the design and technological solutions adopted, the improvement of production processes and manufacturing technology. The implementation of these measures requires large capital investment and time resources. This increases the economic risk of the aircraft manufacturer, which is associated with the risk of suffering heavy damage if the product is not sufficiently demanded. The most promising solution for reducing the specified risk is to ensure the quality of products at the initial stages of design and technological design. Creating sophisticated engineering products for mechanical engineering, such as modern aircraft, is a combination of processes, each of which is responsible for providing certain constructive indicators of the product. These processes are interconnected. They can begin and end at different stages of the life cycle and have different lengths in time. Consequently, the system of information support of the product life cycle processes at the enterprise in the aviation industry is considered in the paper. Modern tendencies of automation of designing of technological processes with the use of CAD / TP / CAPP tools are considered. During the maintenance of the product lifecycle processes, the CAD system CAP / CAPP interacts with systems such as CAD / CAM / CAE, PDM, ERP. There is a question of unification and standardization of means of interprogram interface, that is, profiles CAD / TP / CAPP for information interaction between programs included in the single information space. Also, a functional diagram and an integration scheme of the CAD system of the TP / CAPP were developed. Also, the main provisions of the concept of geometric processes in the life cycle of complex technical products are given, the areas of its practical application are indicated.

Keywords: technological process, CAPP, data integration, product lifecycle, CAD-system, PDM-system, ERP-system.

Вступ. Одним з найбільш конкурентоспроможних в авіаційній промисловості сегментів автоматизованих систем, що динамічно розвиваються, є системи інформаційної підтримки процесів життєвого циклу повітряного судна (ППІ/ CALS-технології), що забезпечують безперервність бізнес-процесів авіабудівного підприємства.

В якості інструментальних засобів на кожному етапі життєвого циклу використовуються відповідні спеціалізовані інформаційні системи: системи інженерних розрахунків (CAE), системи управління даними про виріб (PDM), системи конструкторського проектування і моделювання (CAD/ CAM), системи автоматизованого проектування технологічних процесів (САПР ТП/ CAPP), системи управління ресурсами (ERP/ MRP) та ін. Використання такої кількості спеціалізованих інформаційних систем створює великий потік різноманітної інформації і виникає проблема інтеграції та систематизації даних. Це наслідок використання інформаційних систем різних виробників, що використовують різні апаратні і програмні платформи, які мають різну інформаційну архітектуру та ін.

До сучасної САПР ТП/ CAPP пред'являються високі вимоги до універсальності, комплексності, інтегрованості з існуючими на підприємстві базами даних і системами, відносній простоті в адаптації та експлуатації, поширенням методики автоматизованого проектування на різні види виробництва, підтримки технології «клієнт-сервер».

На сучасному етапі розвитку автоматизованого проектування в авіаційній галузі, особлива роль геометричних даних, як інтегруючої основи для інших комп'ютерних моделей (аеродинамічних, міцності, конструкції, технологічних та ін.) значно зросла. Про це свідчать роботи Ваніна І.В., Гребеникова А.Г., Двейрина А.З., Геремеса Ю.Н., Гуменного А.М., Центилю Н.П., Косяченко В.И., Конопацький Р.П., Кудрявцев В.А. Наведені в них методи параметричного та структурного формоутворення, а також проаналізовані аспекти побудови та використання геометричних моделей у контексті життєвого циклу виробу є достатньо прогресивними засобами для автоматизації проектування, однак мають певні обмеження щодо реалізації інтегрованого підходу, необхідного для досягнення визначених різними дисциплінами показників якості створюваної продукції [1–3].

Постановка завдання. Метою даної статті є визначення основних загальних положень запропонованої концепції геометричних процесів у контексті технології управління життєвим циклом виробу як інтегруючого фактора автоматизованого проектування та виготовлення складної продукції в авіаційній галузі.

Отже, удосконалення автоматизації проектування технологічних процесів з застосуванням засобів САПР ТП/ САРР може бути досягнуто за рахунок інтеграції джерел даних і бізнес-процесів, взаємодіючих автоматизованих систем управління різної функціональності.

Результати дослідження. У табл. 1 пропонуємо класифікація завдань інтеграції, отримана в результаті аналізу і виділення загальних характеристик [5]. Завдання інтеграції виробничих інформаційних систем розглядалися як локальні завдання інтеграції і вирішувалися в основному створенням інтеграційних інтерфейсів між системами, які потребують інтеграції даних.

Таблиця 1

Класифікація задач інтеграції		
Клас	Задача	Інструменти та технології
Інтеграція користувачів інформаційних технологій	Єдина точка доступу до інформаційних ресурсів (Single Sign On); Управління знаннями (Knowledge Management); Організація роботи в команді (Collaboration)	Портальні технології
Інтеграція даних	Консолідація та аналіз даних з облікових систем; Збір і підготовка даних (Extract Transform Loading, ETL); Управління основними даними (Master Data Management)	Сховища даних (Data Warehouse, DW); Системи управління основними даними; Інструменти ЕТ
Інтеграція інформації	Побудова сервісно-орієнтованих архітектур (SOA, Service Oriented Architecture)	Композитні додатки
Інтеграція додатків	Управління бізнес-процесами (Business Process Management); Обмін повідомленнями (Enterprise Messaging)	Системи управління бізнес-процесами (Business Process Management Suites, BPMS); Системи обміну повідомленнями
Інтеграція платформ та стандартів	Організація мережевої взаємодії обладнання; Стандартизація форматів і протоколів взаємодії	LAN; Win, Unix, Novell; XML, XSLT, J2EE, SOAP, UDDI, WSDL, HTTP, FTP, JDBC

На сьогоднішній день основні тенденції вдосконалення автоматизації проектування технологічних процесів з застосуванням засобів САПР ТП/ САРР спрямовані на використання нових підходів в області представлення даних. Новий підхід полягає в реалізації об'єктно-орієнтованих методів організації технологічних баз даних, СОМ-технології, відкритої архітектури, заснованої на ActiveX компонентах. Ієрархія класів, що описують технологічні суті (операція, перехід, оснащення, конструктивний елемент), дозволяє реалізувати механізми успадкування. Це полегшує доступ до атрибутів об'єктів із зовнішніх додатків, таких як розрахунок режимів обробки, припусків, трудове і матеріальне нормування [5]. В результаті використання нового підходу можна зробити наступний висновок: розвинений API-функціонал об'єктної моделі технічного процесу, який базується на СОМ-технології, робить архітектуру САПР ТП/ САРР відкритою для інтеграції з будь-якими автоматизованими системами життєвого циклу виробу.

В ході підтримки процесів життєвого циклу виробу система САПР ТП/ САРР взаємодіє з такими системами як CAD/ CAM/ CAE, PDM, ERP. Постає питання уніфікації та стандартизації засобів міжпрограмного інтерфейсу, тобто профілів САПР ТП/ САРР для інформаційної взаємодії програм, що входять в єдиний інформаційний простір. Профілем відкритої системи називають сукупність стандартів і нормативних документів, які забезпечують виконання системою заданих функцій. Так в профілях САПР ТП/ САРР можуть фігурувати мову EXPRESS стандарту STEP, стандарт графічного призначеного для користувача інтерфейсу Motif, уніфікована мова SQL обміну даними між різними системами управління базами даних та ін.

САПР ТП/ САРР є інтерактивним середовищем, наповненим базами даних за матеріалами, сортаменту, обладнання, технологічного оснащення та іншої довідкової інформацією. Сучасні САПР ТП/ САРР включають розрахункові модулі по технологічним режимам і нормування, а також налаштування під спеціалізовані форми документів.

Завдання інтеграції САПР ТП/ САРР в єдиний інформаційний простір наступна: по заданій моделі виробу, виконаній в САД-системі і на підставі НДІ, що зберігається в PDM, скласти план його виробництва – маршрут виготовлення. В цей маршрут входять відомості про послідовність технологічних операцій виготовлення деталі, а також складальних операціях (якщо такі є); обладнання, що використовується на кожній операції, і інструмент, за допомогою якого на операціях проводиться обробка. Зазвичай технологічна підготовка виробництва здійснюється в написанні технологічних процесів на нові вироби, або розробка нових технологічних процесів по вже наявній базі типових технологічних процесів. Якщо говорити про автоматизацію написання технологічних процесів, то існує два підходи: модифікований і генеративних. При модифікованому підході завдання САПР ТП/ САРР-системи полягає в пошуку найбільш схожого виробу в існуючій базі даних і пред'явленню його операційної карти для модифікації. При модифікованому підході широко застосовується групова технологія, що дозволяє проводити класифікації деталей в сімейства схожих. Генеративний підхід полягає в розпізнаванні у деталі типових конструктивних елементів та застосування до них типових технологічних процесів (токарна обробка, свердління та ін.) При генеративних підході використовуються відомі методи штучного інтелекту для розпізнавання елементів і логічного висновку.

На підставі огляду та критичного аналізу різних САПР ТП/ САРР, пропонується наступний склад основних функцій:

- розробка опису техпроцесу виготовлення нового виробу;
- розробка опису техпроцесу збірки;
- формування технологічної документації;
- розрахунок подетальної і зведених норм часу;
- розрахунок подетальної і зведених норм витрат основних і допоміжних матеріалів;
- формування організаційно-технологічної схеми потоку з виготовлення виробу.

Розроблена інтегрована система на інформаційному рівні (рис. 1) підтримується єдиною базою даних (PDM). У ній зберігається інформація про структуру та геометрії виробу (як результат проектування в системі САД), про технологію виготовлення (як результат роботи системи САРР) і керуючі програми для обладнання з ЧПУ (як вихідна інформація для обробки в системі САМ на обладнанні з ЧПУ).

Основу завдання на проектування технологічного процесу складають відомості про деталі: опис її конфігурації, розмірних зв'язків, технічних вимог. Така необхідна інформація зберігається в PDM системі, яка надходить з САД системи.

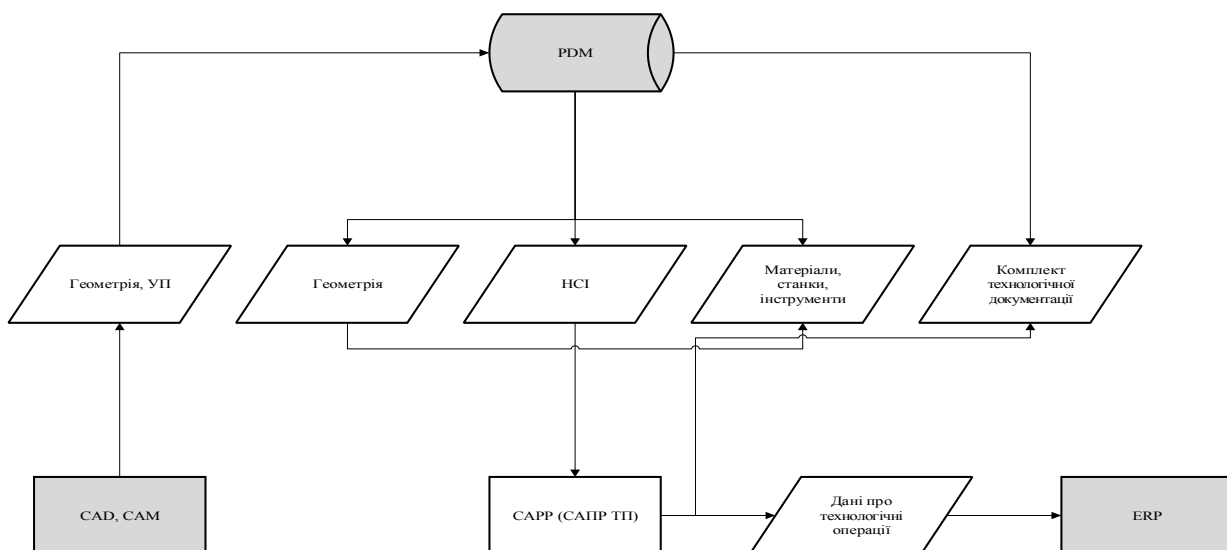


Рис. 1. Схема інтеграції САРР

Проектування ТП починається з аналізу деталі. Після цього формується змінна інформація – інформація про деталі, для якої необхідно спроектувати ТП. Ця деталь називається поточної. Вхідна інформація може бути представлена у вигляді коду, таблиці кодованих відомостей, машинної графіки або на формалізованому мовою.

Умовно-постійна інформація – це інформація, необхідна для проектування ТП, виходячи зі змісту змінної інформації. До цієї інформації належать НДІ (відомості про застосовуваний обладнанні, засобах технологічного оснащення, нормативні матеріали для вибору режимів обробки і розрахунку норм часів та ін. [7]).

При кожному проектуванні ТП на різні деталі інформація про деталі, введене для проектування ТП, буде різною. Тому ця інформація і називається змінною. Інформація про обладнання й оснащення при проектуванні ТП на різні деталі змінюється набагато рідше, хоча теж може змінитися. Тому вона називається умовно-постійною.

Найбільш очевидною спосіб забезпечення зв'язку між даними в різних додатках – побудова всіх систем на базі єдиної НДІ (MDM). Правильно спроектована система НДІ забезпечує легку інтеграцію інформації з будь-яких систем, так як виключає проблеми, пов'язані з низькою цілісністю даних. Однак на практиці так буває рідко, і кожна система має свій склад довідників НДІ. Завдання забезпечення їх взаємоузгодження досить складна і не тільки з точки зору програмної реалізації. Часто проблема полягає в тому, що різні системи оперують з різною структурною моделлю виробничої системи. Розрізняють повністю централізовану, частково централізовану, децентралізовану з консолідацією в єдиній системі схеми побудови. У деяких випадках навіть доцільно будувати НДІ на основі деревоподібних структур каталогів типу DAP (DirectoryAccessProtocol), наприклад, на основі LDAP (LightweightDAP) або «повноцінного» варіанту X.500 [5].

Змінна інформація про деталі, на які проектувалися або будуть спроектовані ТП, зберігається в базах даних деталей.

Умовно-постійна інформація може зберігатися в базах даних і в базах знань. Її вибір і рішення інших задач проектування може виконуватися за розробленими технологами алгоритмами.

Необхідною інформацією для проектування ТП є відомості про парк металообробного обладнання на підприємстві, технічні характеристики верстатів, різучому, допоміжному та вимірювальному інструментах, верстатних пристосуваннях, заготовчому виробництві, державних стандартах, нормаль, всіх необхідних керівних і нормативних матеріалах. При автоматизованому проектуванні необхідно організувати інформаційно-довідкову базу даних, яка могла б забезпечити процес проектування необхідною довідковою інформацією.

Вихідна інформація, результат проектування для САПР ТП / САПР – це опис технологічного процесу. Згідно ГОСТ 3.1121-84 до технологічних документів відносяться графічні та текстові документи, які окремо або в сукупності визначають технологічний процес виготовлення або ремонту виробу, включаючи контроль і переміщення, комплектацію деталей, складальних одиниць, матеріалів, оснащення. Застосовувані форми технологічних документів повинні відповідати ГОСТ 3.1130 за розмірами форматів і параметрам графіки, з урахуванням реальних можливостей друкуючих пристроїв і форматів аркушів.

При розробці технологічних процесів із застосуванням САПР ТП/ САПР допускається застосування форм технологічних документів відмінних від форм, наведених в стандартах серії ЕСТД, за умов наявності в них всієї регламентованої відповідними державною інформації. Допускається відміну текстового викладу інформації в документах, розроблених з використанням програмного забезпечення, обумовлене особливостями ПЗ, від викладу в документах, розроблених рукописним способом [8, 9].

Основні технологічні документи поділяють на документи загального і спеціального призначення.

Документи загального призначення – технологічні документи, що застосовуються в окремо або в комплекті документів на технологічні процеси, незалежно від застосовуваних технологічних методів виготовлення або ремонту. До документів загального призначення відносяться:

- титульний аркуш;
- карта ескізів;
- технологічна інструкція.

Документи спеціального призначення – документи, що застосовуються при описі технологічних процесів і операцій в залежності від типу і виду виробництва і застосовуваних технологічних методів виготовлення або ремонту виробу.

До документів спеціального призначення відносяться:

- маршрутна карта;
- карта технологічного процесу;
- карта типового (групового) технологічного процесу;
- операційна карта;
- карта типової (групової) операції;
- карта технологічної інформації;
- комплектувальна карта;
- техніко-нормувальна карта;
- еталон технологічного паспорта;
- карта налагодження;
- відомість оснастки;
- відомість обладнання;
- відомість матеріалів та ін.

Крім технологічної документації вихідною інформацією САПР ТП так само є керуючі програми для верстатів з ЦПУ, трудомісткість виготовлення виробу і витрата матеріалів.

Процес автоматизованого проектування базується на безлічі типових рішень і алгоритмах їх вибору. Їх опис зберігається в самій системі САПР ТП/ САРР і в її інтеграції немає необхідності, так як в інших підсистемах єдиного інформаційного простору вона не використовується.

Керуючись вищенаведеним аналізом даних і аналізом функціональності розроблена узагальнена функціональна модель САПР ТП/ САРР системи (рис. 2).

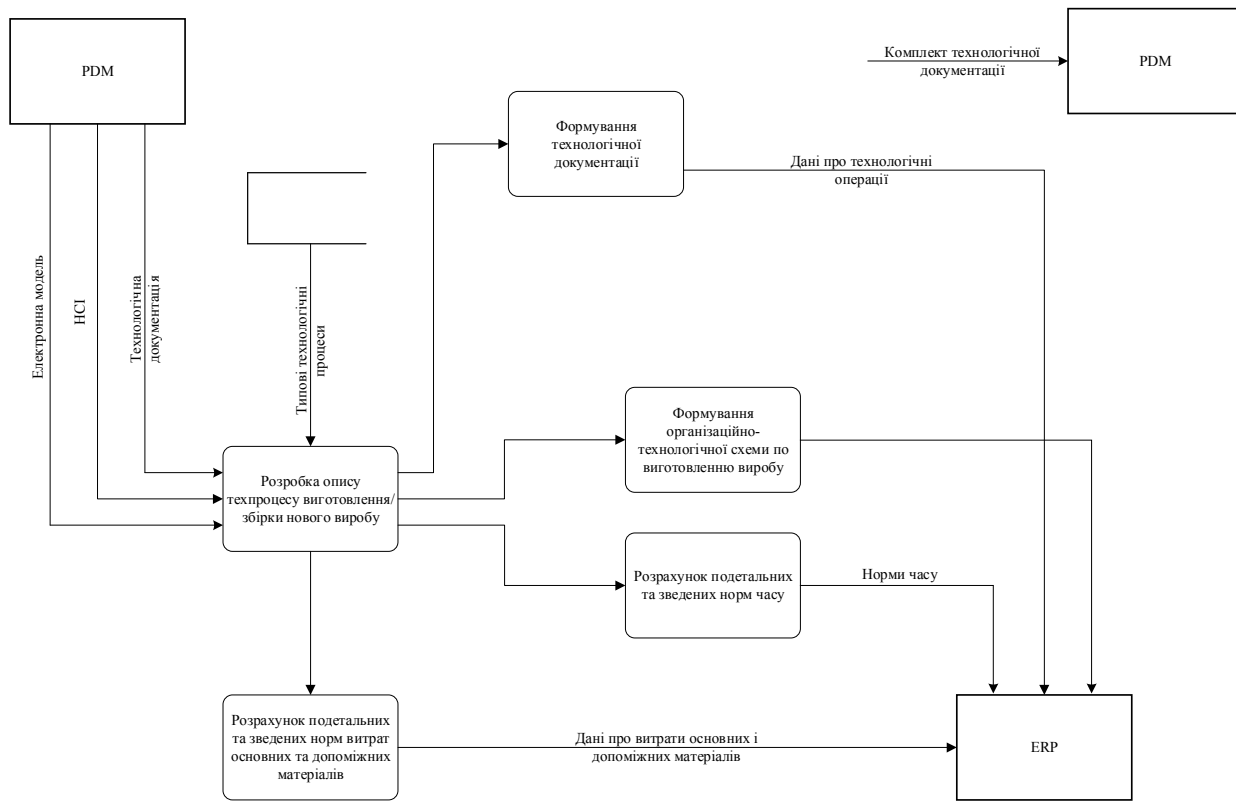


Рис. 2. Функціональна схема САРР-системи

Удосконалення автоматизованої системи технологічної підготовки виробництва на основі інтеграції даних автоматизованих систем управління різної функціональності дозволить підвищити якість виготовлення і скоротити час на підготовку виробництва і випуск ПС.

Висновки. Отже носіями інформації у процесах та при їх взаємодії виступають інформаційні об'єкти, що можуть бути різними електронними документами, які містять певні дані. Одними з базових інформаційних об'єктів є геометричні моделі та сформовані на їх основі моделі повного електронного визначення виробів в авіаційній галузі. Тому раціональне визначення необхідних процесів та їх максимальна формалізація, а також оптимальний поділ на стадії, дозволяють реалізувати концепцію автоматизованого управління життєвим циклом виробу за допомогою сучасних PLM (Product Lifecycle Management)-технологій, підвищити можливість зосередження зусиль на ключових процесах та їх покращенні, отримувати передбачувані характеристики продукції, поліпшувати її функціонування за рахунок ефективного управління процесами.

Література

1. Ванін І.В. Деякі аспекти моделювання складних геометричних об'єктів / І.В. Ванін, Г.А. Вірченко, Я.І. Ткачевський // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип. 69. – К. : КНУБА, 2001. – С. 151–154.
2. Геремес Ю.Н. Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии / Ю.Н. Геремес, А.М. Гуменный. – Харьков : НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 30. – С. 10–30.
3. Ванін В.В. Структурно-параметричні геометричні моделі як основа для узгодженої розробки літака на стадії ескізного проектування / В.В.Ванін, Г.А. Вірченко, І.В. Ванін // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – № 4. – К. : НТУУ «КПІ», 2006. – С. 35–41.
4. Ванін В.В. Структурно-параметричні геометричні моделі як інваріантна складова комп'ютерних інформаційних технологій підтримки життєвого циклу виробів машинобудування / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко, В.В. Ванін // Праці Тавр. держ. агротех. академії. – Мелітополь : ТДАТА, 2007. – Вип. 4, т. 36. – С. 16–21.
5. Калабин В. Управление основными данными как одна из задач интеграции корпоративных систем управления / В. Калабин // Бизнес-информатика. – 2007. – № 1. – С. 19–28.
6. Копылов Ю. Актуальные направления разработки и совершенствования САПР технологических

процессов систем / Ю. Копылов, Е. Гордиенко // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2011. – № 112. – С. 26–28.

7. Козлецов А. Современные способы организации обмена данными с системами управления / А. Козлецов, И. Решетников // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2010. – № 2. – С. 17–23.

8. Центилю Н.П. Проектирование и производство аэродинамических моделей самолетов с применением стратегии полного электронного определения изделия / Н.П. Центилю, В.И. Косяченко, Р.П. Конопацкий, В.А. Кудрявцев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков : НАКУ «ХАИ», 2009. – Вып. 44. – С. 5–11.

9. Ванин В.В. Разработка компьютерных моделей базовой геометрии самолета с использованием современных информационных технологий / И.В. Ванин, Г.А. Вирченко, Я.И. Ткачевский // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков : НАКУ «ХАИ», 2009. – Вып. 42. – С. 82–86.

10. Гребеников А.Г. Метод параметрического моделирования носовой части фюзеляжа самолета транспортной категории / А.Г. Гребеников, А.С. Чумак // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков : НАКУ «ХАИ», 2012. – Вып. 57. – С. 213–228.

References

1. Vanin I.V. Deiaki aspekty modeliuvannya skladnykh heometrychnykh ob'ektiv / I.V. Vanin, H.A. Virchenko, Ya.I. Tkachevskiy // Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika. – Vyp. 69. – K. : KNUBA, 2001. – S. 151–154.
2. Geremes YU.N. Otkrytyie informatsionnye i kompyuternye integrirovannye tehnologi / YU.N. Geremes, A.M. Gumennyiy. – Harkov : NAKU «HAI», 2006. – Vyp. 30. – S. 10–30.
3. Vanin V.V. Strukturno-parametrychni heometrychni modeli yak osnova dlia uzghodzhenoї rozrobky litaka na stadii eskiznoho proektuvannya / V.V. Vanin, H.A. Virchenko, I.V. Vanin // Naukovi visti NTUU «KPI». – № 4. – K. : NTUU «KPI», 2006. – S. 35–41.
4. Vanin V.V. Strukturno-parametrychni heometrychni modeli yak invariantna skladova kompiuternykh informatsiinykh tekhnolohii pidtrymky zhyttievoho tsyklu vyrobiv mashynobuduvannya / V.V. Vanin, H.A. Virchenko, V.V. Vanin // Pratsi Tavr. derzh. ahrotekh. akademii. – Melitopol : TDATA, 2007. – Vyp. 4, t. 36. – S. 16–21.
5. Kalabin V. Upravlenie osnovnyimi dannymi kak odna iz zadach integratsii korporativnykh sistem upravleniya / V. Kalabin // Biznes-informatika. – 2007. – № 1. – S. 19–28.
6. Kopylov YU. Aktualnye napravleniya razrabotki i sovershenstvovaniya SAPR tehnologicheskikh protsessov sistem / YU. Kopylov, E. Gordienko // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2011. – № 112. – S. 26–28.
7. Kozletsov A. Sovremennyye sposoby organizatsii obmena dannymi s sistemami upravleniya / A. Kozletsov, I. Reshetnikov // Informatsionnye tehnologii v proektirovanii i proizvodstve. – 2010. – № 2. – S. 17–23.
8. TSentilo N.P. Proektirovanie i proizvodstvo aerodinamicheskikh modeley samoletov s primeneniem strategii polnogo elektronnoho opredeleniya izdeliya / N.P. TSentilo, V.I. Kosyachenko, R.P. Konopatskiy, V.A. Kudryavtsev // Otkrytyie informatsionnye i kompyuternye integrirovannye tehnologii. – Harkov : NAKU «HAI», 2009. – Vyp. 44. – S. 5–11.
9. Vanin V.V. Razrabotka kompyuternykh modeley bazovoy geometrii samoleta s ispolzovaniem sovremennykh informatsionnykh tehnologiy / I.V. Vanin, G.A. Virchenko, Ya.I. Tkachevskiy // Otkrytyie informatsionnye i kompyuternye integrirovannye tehnologii. – Harkov : NAKU «HAI», 2009. – Vyp. 42. – S. 82–86.
10. Grebenikov A.G. Metod parametricheskogo modelirovaniya nosovoy chasti fyuzelyaja samoleta transportnoy kategorii / A.G. Grebenikov, A.S. CHumak // Otkrytyie informatsionnye i kompyuternye integrirovannye tehnologii. – Harkov : NAKU «HAI», 2012. – Vyp. 57. – S. 213–228.

Рецензія/Peer review : 09.05.2018 р.

Надрукована/Printed : 13.07.2018 р.

Стаття прорецензована редакційною колегією

МЕТОД ВЕРИФІКАЦІЇ ЦИКЛІЧНОСТІ (ОЦІНЮВАННЯ ДОСЛІДЖУВАНОГО СИГНАЛУ НА ПРИНАЛЕЖНІСТЬ ДО ЦИКЛІЧНИХ СИГНАЛІВ)

В роботі розглядається задача оцінювання досліджуваного сигналу на приналежність до циклічних сигналів. Для таких сигналів характерно наявність чіткої повторюваної сегментної структури, яка складається із сегментів-циклів та сегментів-зон на циклах. При цьому циклічні сигнали характеризуються окрім сегментної структури, ще і ритмічною структурою, яка відображає постійний або змінний ритм. Для розв'язку задачі верифікації на циклічність (підтвердження припущення (вірогідного факту) про приналежність досліджуваного сигналу до циклічних) приймається гіпотеза, про те що аналізований сигнал може бути описаний математичною моделлю у вигляді циклічного випадкового процесу із сегментною структурою (стохастичний випадок), або циклічною числовою функцією із сегментною структурою (детермінований випадок). При такому підході перевіряється два фрагмента досліджуваного сигналу характеристики яких порівнюються між собою. Для підтвердження припущення про те що досліджуваний сигнал є циклічним характеристики одної частини сигналу мають бути подібні, рівні (детермінований випадок) або стохастично еквівалентні (стохастичний випадок). Розроблений метод верифікації циклічності дозволяє оцінити чи досліджуваний сигнал має повторювану структуру і чи ця структура, а точніше її характеристики є подібними. Під час встановлення факту приналежності досліджуваного сигналу до циклічних сигналів дозволить коректно застосовувати до його опрацювання весь розроблений апарат методів: статистичної обробки, методів оцінювання ритмічної структури та методів моделювання циклічних сигналів. Розроблений метод може бути використаний при проведенні досліджень циклічних сигналів в медицині, економіці, механіці та інших галузях науки та техніки. Даний метод можна модифікувати шляхом зміни блоку математичного забезпечення, який враховує факт Гаусовості розподілу значень досліджуваного сигналу на врахування інших особливостей характеристик сигналів які будуть досліджуватись.

Ключові слова: циклічний сигнал, верифікація, сегментна структура, ритмічна структура.

I.V. LITVYNENKO, N.V. ZAGORODNA, I.B. OKIPNYI, G.M. OSUKHIVSKA
Ternopil Ivan Puluj National Technical University

METHOD OF VERIFICATION OF CYCLICITY (EVALUATION OF THE RESEARCHED SIGNAL ON BEING RELATED TO CYCLE SIGNALS)

In this study, the task of evaluating the researched signal on being related to cyclic signals is considered. Such signals are characterized by the presence of a clear repetitive segment structure which consists of segments-cycles and segments-zones in cycles. Besides the segment structure, the cyclic signals are also characterized by the rhythm structure which shows constant or variable rhythm. In order to solve the task for verifying the cyclicity (confirmation of the assumption (possible fact) that the investigated signal is related to cyclic signals) we need to accept the hypothesis that the signal we consider can be described with a mathematical model in a form of a cyclic random process with a segment structure (stochastic case), or through a cyclic numeric function with a segment structure (deterministic case). With this approach, two fragments of the investigated signal are being checked, the characteristics of which are compared to each other. In order to confirm the assumption that the considered signal is, in fact, a cyclic signal, the characteristics of one of the parts of the signal need to be similar, equal (deterministic case) or stochastically equivalent (stochastic case). The developed method of verification of cyclicity allows evaluating if the considered signal has a repetitive structure and if this structure, or more precisely, its characteristics, are similar. After confirming that the considered signal is actually related to cyclic signals it will be possible to use more accurately the developed apparatus of methods for further analysis of the signal: statistical processing, methods for evaluating the rhythm structure and cyclic signal simulation methods. The developed method can be used for conducting research relating to cyclic signals in medicine, economics, mechanics and other fields of science and technology. The method can be modified through changes in the part relating to the mathematical computations, which takes into account Gauss's fact of the distribution of values of the studied signal considering other peculiarities of characteristics of signals that are going to be studied further.

Keywords: cyclic signal, verification, segment structure, rhythm structure.

Вступ. У різних галузях науки та техніки існують коливні, циклічні явища та сигнали. Такі циклічні сигнали, розгортаючись у часі мають явно виражені, на реалізаціях, етапи, цикли, фази, які повторюються. Відомим прикладом циклічних сигналів є електрокардіосигнал, який відображає електричну активність скорочення відділів серця, також до циклічних відносять: циклічні економічні процеси, процеси рельєфних утворень на поверхні металів які формуються під дією різних впливів на них [1, 2, 11]. У таких циклічних сигналах тривалості циклів можуть бути рівними між собою, тоді говорять про стабільний ритм, або значно відрізнятися один від одного – говорять про змінний ритм циклічного сигналу. Як частинний випадок сюди можна віднести періодичні (циклічні) сигнали, у яких ритм стабільний. Іноді досліджуваний сигнал який розгортається у часі візуально має коливний, повторюваний характер в такому випадку постає питання чи можливо його аналізувати та опрацьовувати, застосовувавши весь потужний апарат методів обробки циклічних сигналів. З метою перевірки гіпотези про приналежність досліджуваних даних до циклічних сигналів, тобто їх верифікації і був розроблений даний метод.

Дана стаття присвячена методу верифікації циклічності досліджуваного сигналу (оцінювання сигналу на приналежність до циклічних сигналів).

Постановка задачі дослідження. В роботах [3, 4] описано математичну модель коливних явищ та сигналів у вигляді циклічної функції, зокрема введено поняття неперервного та дискретного циклічних

випадкових процесів із сегментною структурою, що узагальнює поняття періодичної та майже періодичної функцій для детермінованих та стохастичних випадків. В роботі [4] було показано, що ритмічна структура циклічної функції описується дискретною функцією ритму, яка визначає закон зміни часових інтервалів між однофазними значеннями циклічної функції. В автоматизованих системах цифрової обробки циклічних даних, зокрема кардіодіагностичних, використовуються методи сегментації [1, 5], дискретизації [6], оцінювання ритмічної структури [7, 8, 9], статистичної обробки [10] та імітаційного моделювання [11]. Адекватне, коректне застосування цих методів до досліджуваних сигналів можливо у тому випадку, коли встановлено факт їх приналежності до циклічних сигналів, що робить дану задачу побудови методу верифікації циклічності важливою та актуальною.

Основна частина. З метою побудови інструменту верифікації циклічності був розроблений метод верифікації циклічності який за допомогою участі експерта (метод є напівавтоматизований), можна використовувати для встановлення приналежності досліджуваного сигналу до класу циклічних сигналів. Перед початком розгляду даного методу попередньо необхідно сказати, що він заснований на порівнянні характеристик двох частин досліджуваного сигналу при умові існування відомостей про факт нормального (Гаусового) розподілу значень досліджуваного сигналу. Якщо такий факт не встановлено то необхідно в методі врахувати інші характеристики за якими буде здійснено порівняння. Експерименти проводились для кардіосигналів [12], економічних сигналів [13] для яких встановлено факт нормального розподілу значень досліджуваного сигналу.

Для розв'язку задачі верифікації циклічності (підтвердження припущення (вірогідного факту) про приналежність досліджуваного сигналу до циклічних) постулюється, що аналізований сигнал може бути описаний математичною моделлю у вигляді циклічного випадкового процесу із сегментною структурою (стохастичний випадок), або циклічною числовою функцією із сегментною структурою (детермінований випадок).

Даний метод може бути застосований до експериментальних даних при умові достатньої кількості зареєстрованих циклів. Розглянемо суть даного методу для стохастичного випадку, оскільки детермінований входить в стохастичний як частинний випадок.

Опис методу верифікації циклічності

Вхідними даними для даного методу є реалізація досліджуваного сигналу $\xi_{\omega}(t), t \in W$.

1. Першим кроком методу є розділення досліджуваної реалізації на дві окремих частини (проводить експерт), при цьому не потрібно синхронізувати початки відліків циклів двох частин досліджуваних реалізацій, це буде здійснено на етапі сегментації, синхронізувавши однофазні відліки початків циклів.

При даному підході будемо аналізувати дві окремі частини сигналу, тобто:

$$\xi_{\omega}(t) = \sum_{q=1}^2 \xi_{q\omega}(t), \quad \xi_{1\omega}(t), t \in \dot{W}, \quad \xi_{2\omega}(t), t \in \ddot{W}, \quad W = \dot{W} \cup \ddot{W}. \quad (1)$$

2. Далі проводиться паралельна обробка окремо двох частин сигналу, починаючи із застосування методів сегментації [2, 5], при цьому отримують множини відліків часу для ідентифікованої сегментної циклічної структури $\dot{D}_c = \{\dot{t}_i, i = \overline{1, \dot{C}}\}$ або ідентифікованої сегментної зонної структури

$\dot{D}_z = \{\dot{t}_j, j = \overline{1, \dot{Z}}\}$, першої частини і аналогічно сегментної структури $\ddot{D}_c = \{\ddot{t}_i, i = \overline{1, \ddot{C}}\}$ та

$\ddot{D}_z = \{\ddot{t}_j, j = \overline{1, \ddot{Z}}\}$ для другої частини досліджуваного сигналу. Де $\dot{C}, \ddot{C}$ - кількість сегментів-циклів для відповідних частин сигналу, $\dot{Z}, \ddot{Z}$ - кількість сегментів-зон на відповідних сегментах-циклах частин сигналу, кількість сегментів-зон на циклі має бути однаковою.

3. Наступним етапом є оцінювання ритмічної структури окремо кожної частини досліджуваного сигналу, для цього використовуються методи описані в роботах [7-9]. На цьому етапі у випадку

проведеного аналізу ритму коли встановлено що він є стабільним, отримують оцінки значень періоду $\dot{T}_{\xi_1}$, $\ddot{T}_{\xi_2}$ або у випадку коли ритм - змінний отримують функції ритму $\dot{T}_{\xi_1}(t, 1)$, $\ddot{T}_{\xi_2}(t, 1)$. Це відбувається за такими співвідношеннями:

Якщо ритм змінний $\dot{T}_{\xi_1}(t, 1)$, $t \in \dot{W}$ для сегментної циклічної структури $\dot{D}_c$:

$$\dot{T}_{\xi_1}(t, 1) = \begin{cases} \dot{t}_{i+1} - \dot{t}_i \neq \dot{t}_{i+2} - \dot{t}_{i+1} \neq \dots, \\ \dot{t}_{j+1} - \dot{t}_j \neq \dot{t}_{j+1} - \dot{t}_{j+1} \neq \dots, \end{cases} \quad (2)$$

Якщо ритм постійний $\dot{T}_{\xi_1}(t,1)$, $t \in \dot{\mathbf{W}}$ для сегментної зонної структури $\dot{\mathbf{D}}_z$:

$$\dot{T}_{\xi_1}(t,1) = \begin{cases} \dot{t}_{i+1} - \dot{t}_i = \dot{t}_{i+2} - \dot{t}_{i+1} = \dots = \dot{T}_{\xi_1}, \\ \dot{t}_{i_{j+1}} - \dot{t}_j = \dot{t}_{i_{j+1}} - \dot{t}_{i_{j+1}} = \dots, \dot{T}_{\xi_1} = \sum_{j=1}^Z \dot{T}_{i_j}, \end{cases} \quad (3)$$

де $\dot{T}_{i_j}$ – тривалість j -го сегменту-зони на i -му сегменті-циклу.

Аналогічним чином оцінюється ритмічна структура для другої частини сигналу $\ddot{T}_{\xi_2}(t,1)$ чи значення періоду $\ddot{T}_{\xi_2}$.

4. Наступним кроком є оцінювання статистичних характеристик частин сигналу з врахуванням їх ритмічної структури. На цьому етапі отримують оцінки математичних сподівань та дисперсії для першої $\dot{m}_{\xi_1}(t)$, $\dot{d}_{\xi_1}(t)$ та другої $\ddot{m}_{\xi_2}(t)$, $\ddot{d}_{\xi_2}(t)$ частин сигналу використовуючи співвідношення (4), (5), методи статистичної обробки описані в роботі [10].

$$\dot{m}_{\xi_1}(t) = \frac{1}{\dot{C}} \sum_{i=1}^{\dot{C}} \xi_{1\omega}(t + \dot{T}_{\xi_1}(t,1)), t \in \dot{\mathbf{W}}_1, \quad \ddot{m}_{\xi_2}(t) = \frac{1}{\ddot{C}} \sum_{i=1}^{\ddot{C}} \xi_{2\omega}(t + \ddot{T}_{\xi_2}(t,1)), t \in \ddot{\mathbf{W}}_1, \quad (4)$$

де $\dot{\mathbf{W}}_1$, $\ddot{\mathbf{W}}_1$ області визначення першого циклу відповідних частин сигналу.

$$\begin{aligned} \dot{d}_{\xi_1}(t) &= \frac{1}{\dot{C}-1} \sum_{i=1}^{\dot{C}} \left(\xi_{1\omega}(t + \dot{T}_{\xi_1}(t,1)) - \dot{m}_{\xi_1}(t + \dot{T}_{\xi_1}(t,1)) \right)^2, t \in \dot{\mathbf{W}}_1 \\ \ddot{d}_{\xi_2}(t) &= \frac{1}{\ddot{C}-1} \sum_{i=1}^{\ddot{C}} \left(\xi_{2\omega}(t + \ddot{T}_{\xi_2}(t,1)) - \ddot{m}_{\xi_2}(t + \ddot{T}_{\xi_2}(t,1)) \right)^2, t \in \ddot{\mathbf{W}}_1 \end{aligned} \quad (5)$$

5. Після отримання статистичних оцінок відбувається їх нормування, при цьому область визначення нормованих оцінок приймається рівною області визначення першого сегменту-циклу чи сегменту-зони $\mathbf{W}_n = \mathbf{W}_1$, а тривалість нормованого циклу буде рівна відповідно тривалості першого циклу $T_i = \dot{T}_1$. Для нормування статистичних оцінок використовуємо співвідношення для відповідних частин сигналу:

$$\dot{m}_i(t) = \dot{m}_{\xi_1}\left(t \cdot \frac{\dot{T}_1}{T_i}\right), t \in \mathbf{W}_i, \quad \dot{d}_i(t) = \dot{d}_{\xi_1}\left(t \cdot \frac{\dot{T}_1}{T_i}\right), t \in \mathbf{W}_i, \quad (6)$$

$$\ddot{m}_i(t) = \ddot{m}_{\xi_2}\left(t \cdot \frac{\ddot{T}_1}{T_i}\right), t \in \mathbf{W}_i, \quad \ddot{d}_i(t) = \ddot{d}_{\xi_2}\left(t \cdot \frac{\ddot{T}_1}{T_i}\right), t \in \mathbf{W}_i. \quad (7)$$

6. На завершальному етапі відбувається перевірка статистичної гіпотези. На цьому етапі враховуються особливості реалізації статистичних оцінок характеристик сигналу для двох його частин. При цьому формуються оцінки інтервалів довіри $\dot{v}_{\max}(t)$, $\dot{v}_{\min}(t)$, $\ddot{v}_{\max}(t)$, $\ddot{v}_{\min}(t)$ для відповідних частин сигналу (взяті з ймовірністю $p = 0,997$). Інтервали довіри формуються за співвідношеннями:

$$\begin{aligned} \dot{v}_{\max}(t) &= \dot{m}_i(t) + 3 \cdot \sqrt{\dot{d}_i(t)}, t \in \mathbf{W}_i, \quad \dot{v}_{\min}(t) = \dot{m}_i(t) - 3 \cdot \sqrt{\dot{d}_i(t)}, t \in \mathbf{W}_i \\ \ddot{v}_{\max}(t) &= \ddot{m}_i(t) + 3 \cdot \sqrt{\ddot{d}_i(t)}, t \in \mathbf{W}_i, \quad \ddot{v}_{\min}(t) = \ddot{m}_i(t) - 3 \cdot \sqrt{\ddot{d}_i(t)}, t \in \mathbf{W}_i \end{aligned} \quad (8)$$

Оскільки відомий факт про нормальність розподілу значень циклічних сигналів для яких проводились експерименти. Тому, використовуємо визначені інтервали довіри (8). Слід зазначити, що при дослідженні сигналів значення яких мають розподіл відмінний від нормального слід врахувати інші, встановлені, вагомні властивості характеристик досліджуваних сигналів і відповідно врахувати інший статистичний критерій в блоці «врахування особливостей статистичних оцінок характеристик циклічних сигналів», рисунок 1.

На цьому етапі припускається, що оцінки ймовірнісних характеристик одної частини сигналу мають бути стохастично еквівалентні (стохастичний випадок), або рівні, чи перебувати в певному інтервалі (детермінований випадок). За такого підходу статистичні оцінки першої частини сигналу мають знаходитися в межах коридору довіри визначеного через статистичні оцінки другої частини сигналу і навпаки. При цьому висувається гіпотеза H_1 – коли досліджуваний сигнал є циклічним, (який може мати змінний чи

постійний ритм (періодичний); і протилежна, альтернативна гіпотеза H_2 – коли досліджуваний сигнал не є циклічним. При цьому критерій порівняння статистичних оцінок для описаних гіпотез подано у вигляді:

$$H = \begin{cases} H_1, & \begin{cases} \ddot{v}_{\min}(t) < \dot{m}_i(t) < \ddot{v}_{\max}(t), t \in W_i, \\ \dot{v}_{\min}(t) < \ddot{m}_i(t) < \dot{v}_{\max}(t), t \in W_i; \end{cases} \\ H_2, & \text{інакше} \end{cases} \quad (8)$$

Алгоритмічне забезпечення розробленого методу верифікації циклічності досліджуваного сигналу подано у вигляді структурної схеми на рисунку 1. На рис. 2–12 надані як приклад етапи верифікації циклічності тестового сигналу, рис. 2.

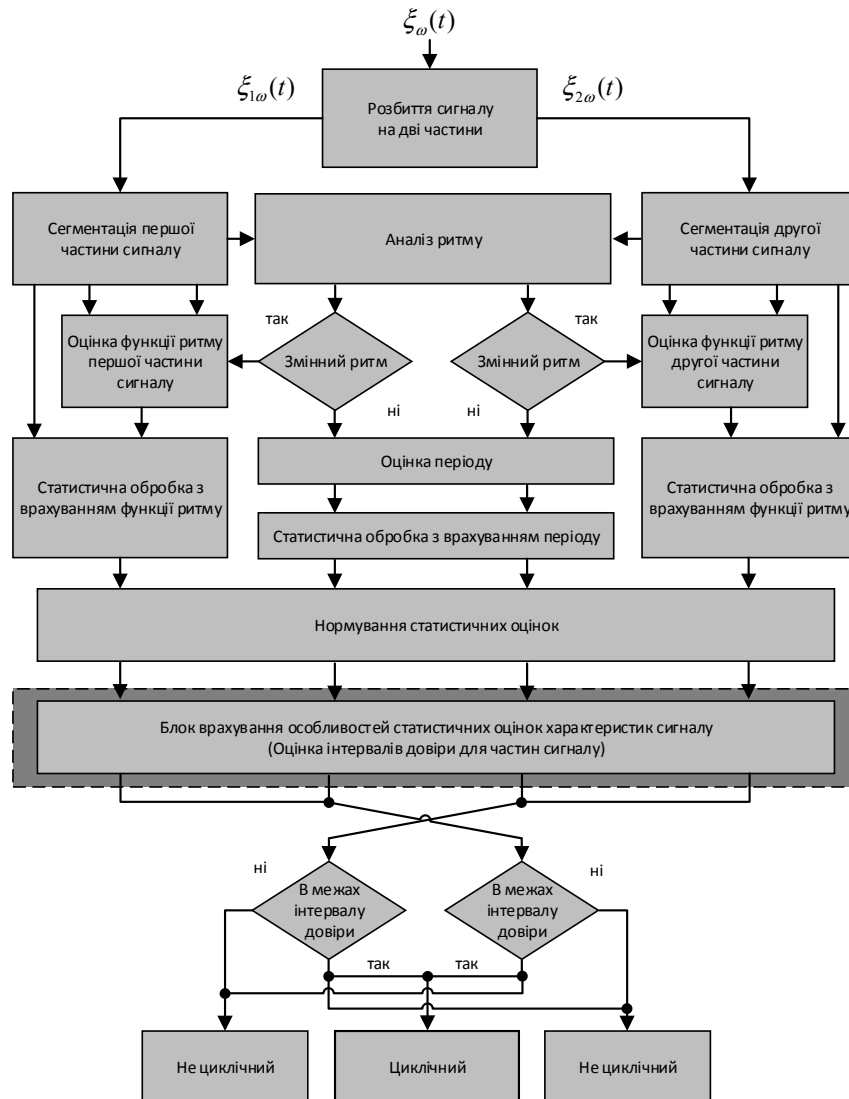


Рис. 1. Структурна схема алгоритмічного забезпечення методу верифікації циклічності (оцінки досліджуваного сигналу на приналежність до циклічних сигналів)

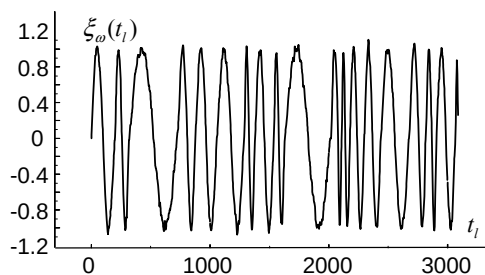
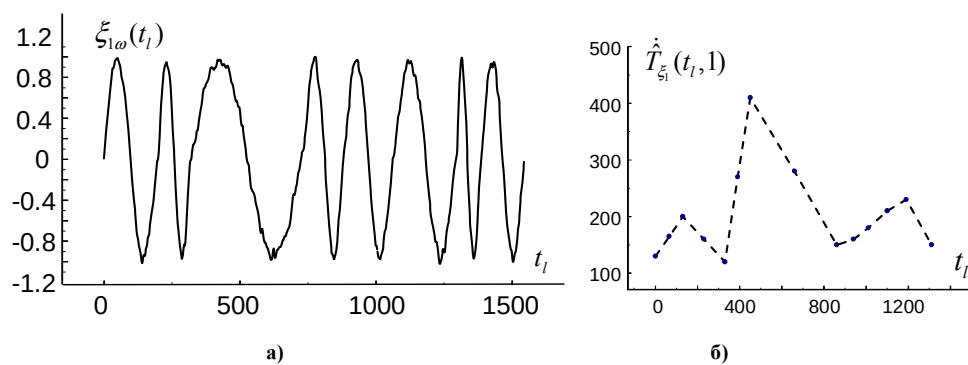


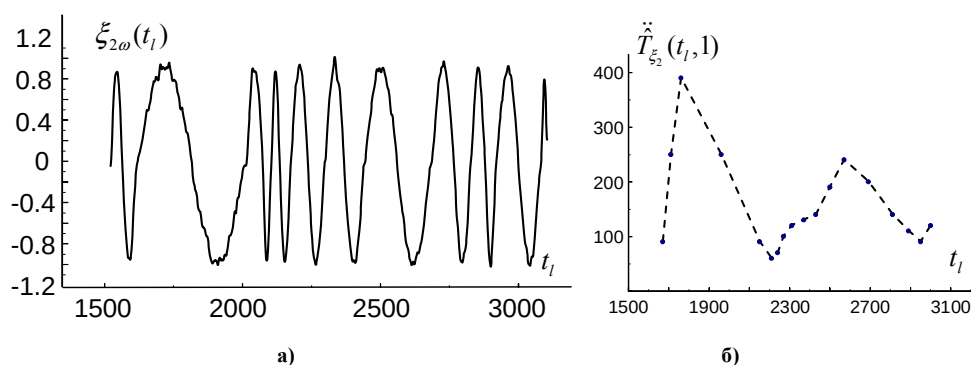
Рис. 2. Тестова реалізація для перевірки методу верифікації циклічності

Результати застосування методу верифікації циклічності досліджуваного сигналу на приналежність до циклічних сигналів.



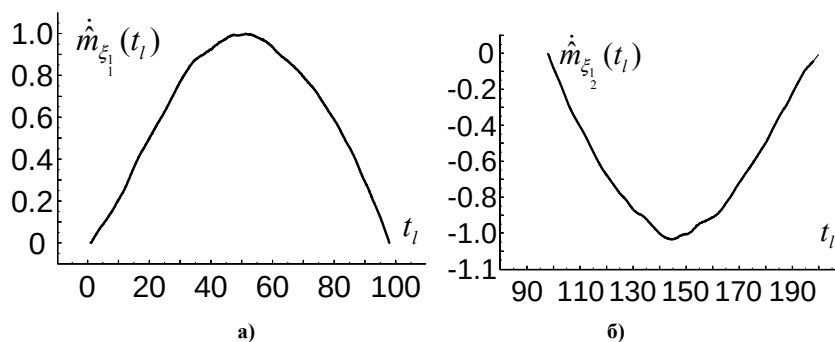
а) перша частина сигналу; б) оцінена ритмічна структура першої частини сигналу

Рис. 3. Перша частина досліджуваного сигналу та оцінена ритмічна структура (дискретна функція ритму), пунктиром позначена кусково-лінійна функція ритму



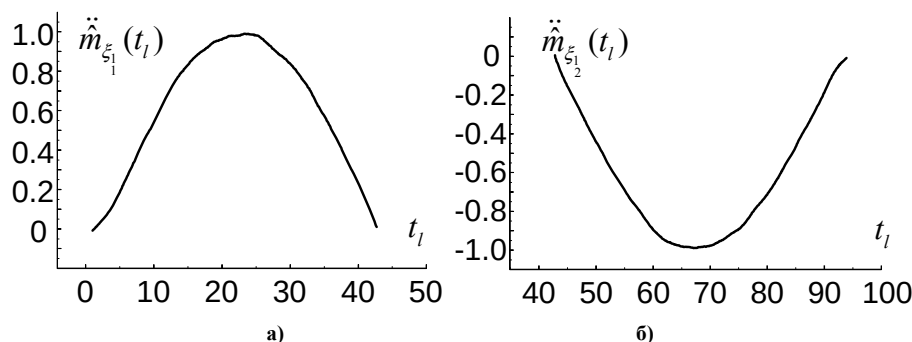
а) друга частина сигналу; б) оцінена ритмічна структура другої частини сигналу

Рис. 4. Друга частина досліджуваного сигналу та оцінена ритмічна структура (дискретна функція ритму), пунктиром позначена кусково-лінійна функція ритму



а) перший сегмент-зона, б) другий сегмент-зона

Рис. 5. Реалізації оцінок математичних сподівань першої частини сигналу для сегментів-зон



а) перший сегмент-зона, б) другий сегмент-зона

Рис. 6. Реалізації оцінок математичних сподівань другої частини сигналу для сегментів-зон

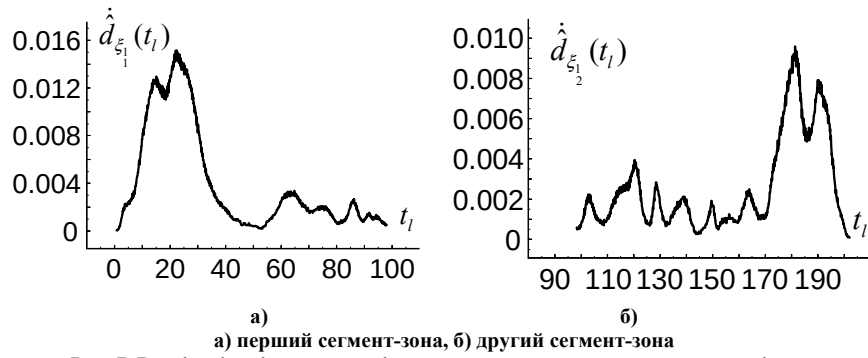


Рис. 7. Реалізації оцінок дисперсій першої частини сигналу для сегментів-зон

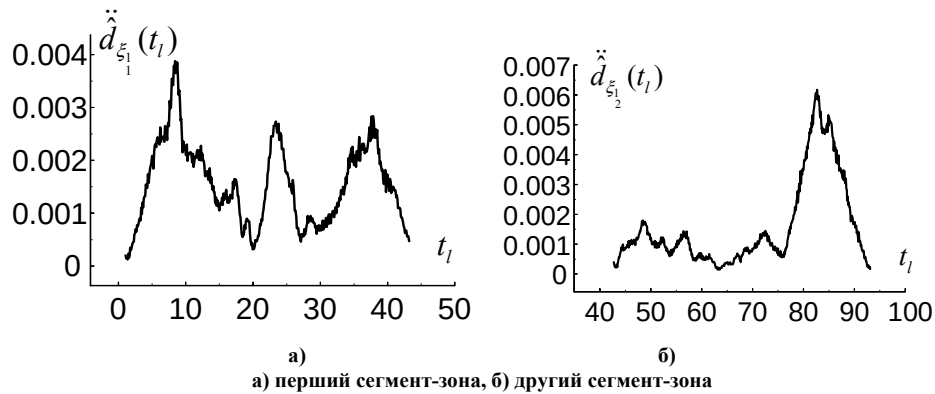
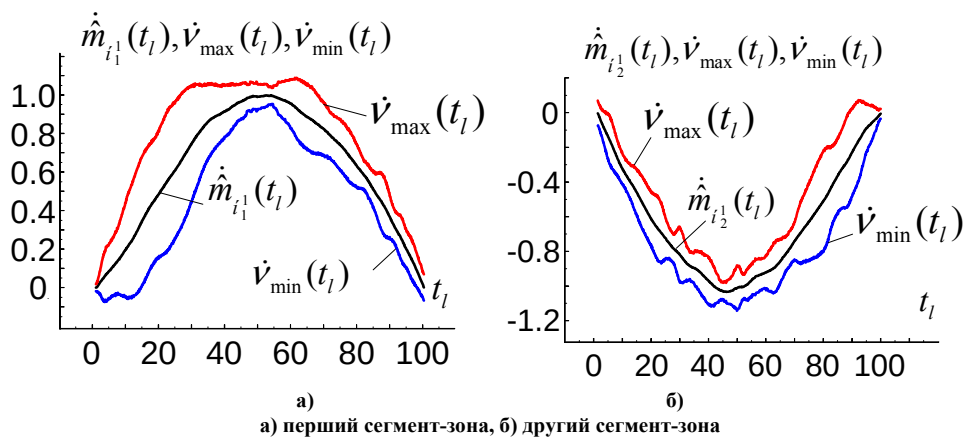
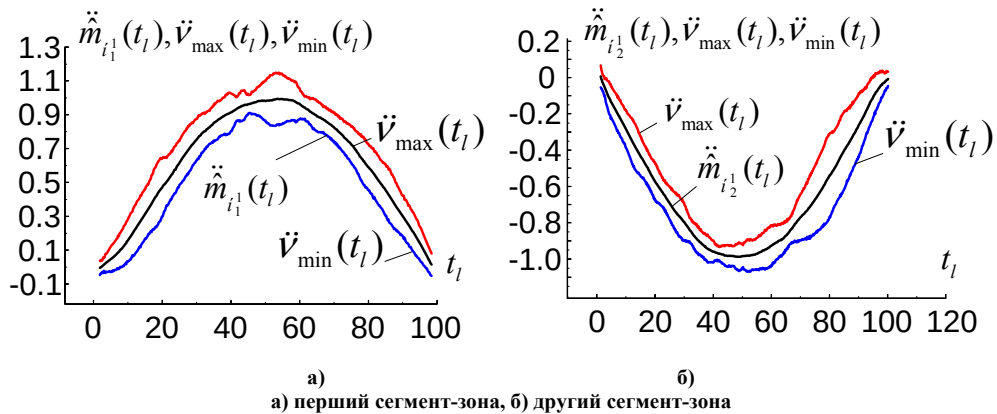


Рис. 8. Реалізації оцінок дисперсій другої частини сигналу для сегментів-зон

Рис. 9. Інтервали довіри нормованих реалізацій оцінок (математичного сподівання та дисперсії) першої частини сигналу, (ймовірність довіри $p = 0,997$)Рис. 10. Інтервали довіри нормованих реалізацій оцінок (математичного сподівання та дисперсії) другої частини сигналу, (ймовірність довіри $p = 0,997$)

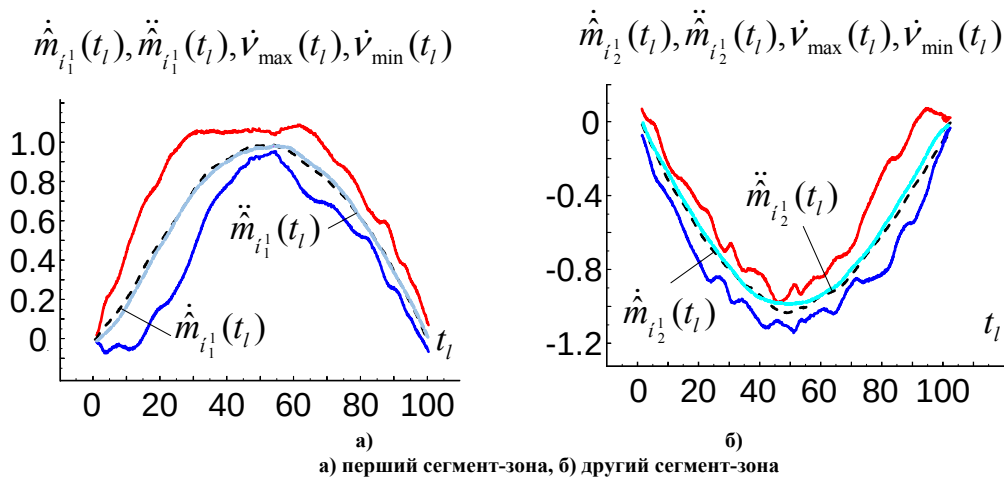


Рис. 11. Інтервали довіри нормованих реалізацій оцінок першої частини сигналу та математичне сподівання другої частини сигналу

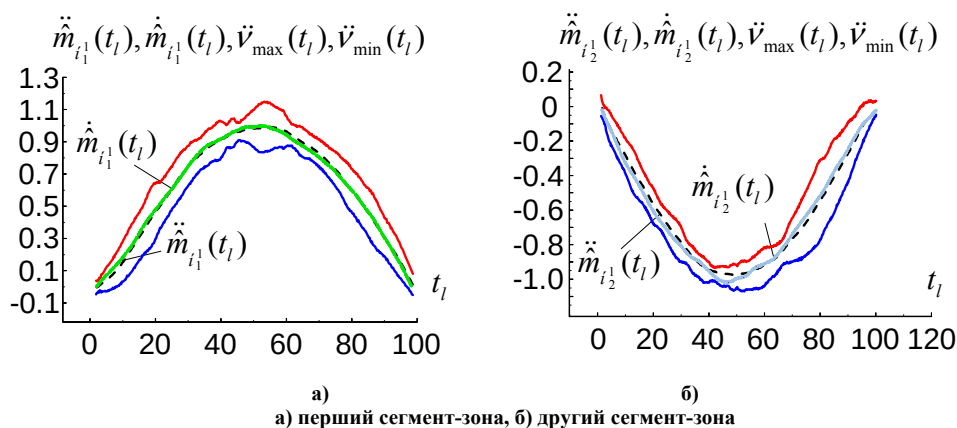


Рис. 12. Інтервали довіри нормованих реалізацій оцінок другої частини сигналу та математичне сподівання першої частини сигналу

Для даного прикладу отримані статистичні оцінки математичних сподівань відповідних сегментів-зон першої частини сигналу знаходяться в інтервалах довіри визначених через статистичні оцінки математичних сподівань та дисперсій відповідних сегментів-зон другої частини сигналу, що підтверджує висунуту гіпотезу H_1 – досліджуваний сигнал є циклічним. Слід зазначити, що при застосуванні методу у випадку коли ідентифікована сегментна-зонна структура необхідно проводити верифікацію циклічності окремо для відповідних сегментів-зон (як це надано на рис. 5–12). А у випадку ідентифікованої сегментної циклічної структури проводити верифікацію для відповідних сегментів-циклів.

Висновки. У роботі розроблено метод верифікації циклічності (оцінки досліджуваного сигналу на приналежність до циклічних сигналів). Запропоновано узагальнений підхід до розв'язання цієї задачі в рамках двох підходів детермінованого та стохастичного. Наведено приклад верифікації тестового сигналу. Розроблений метод верифікації циклічності дозволяє оцінити чи досліджуваний сигнал має повторювану структуру і чи характеристики структури є подібними. В ході встановлення факту приналежності досліджуваного сигналу до циклічних можна коректно застосовувати до його опрацювання весь розроблений апарат методів: статистичної обробки, методів оцінювання ритмічної структури та методів моделювання циклічних сигналів.

Розроблений метод може бути використаний при проведенні досліджень циклічних сигналів в медицині, економіці, механіці та інших галузях науки та техніки. Даний метод можна модифікувати шляхом зміни блоку математичного забезпечення, який враховує факт Гаусовості розподілу значень досліджуваного сигналу на врахування інших особливостей характеристик сигналів, які будуть досліджуватись.

Література

1. Литвиненко Я. Статистичний метод визначення зонної структури електрокардіосигналу в автоматизованих діагностичних системах / Я. Литвиненко, С. Лупенко, Л. Щербак // Вісник Тернопільського державного технічного університету. — Тернопіль, 2005. — Т. 10, № 3. — С. 165–175.
2. Lytvynenko I.V., Marushchak P.O. Analysis of the State of the Modified Nanotitanium Surface with the Use of the Mathematical Model of a Cyclic Random Process. Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing, 2015, Vol. 51, No. 3, pp. 254–263.

3. Лупенко С. Циклічні та періодичні випадкові процеси із зонною часовою структурою та їх ймовірнісні характеристики / С. Лупенко // Вісник Тернопільського державного технічного університету. — Тернопіль, 2006. — Т. 11, № 2. — С. 150–155.
4. Лупенко С.А. Теоретичні основи моделювання та опрацювання циклічних сигналів в інформаційних системах : монографія / Лупенко С.А. — Львів : Вид-во Магнолія 2006, 2016. — 343 с.
5. Lytvynenko I.V. Method of segmentation of determined cyclic signals for the problems related to their processing and modeling / I.V. Lytvynenko / Scientific Journal of the ternopil national technical university. 2018, Vol. 88, No. 4, pp. 153–169.
6. Лупенко С. Особливості дискретизації циклічних функцій / С. Лупенко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — Хмельницький, 2006. — № 1. — С. 64–70.
7. Лупенко С. А. Завдання інтерполяції функції ритму циклічної функції з відомою зонною структурою / С. А. Лупенко // Електроніка та системи управління / Національний авіаційний університет. — Київ, 2007. — № 2 (12). — С. 27–35.
8. Lytvynenko I.V. Method of the quadratic interpolation of the discrete rhythm function of the cyclical signal with a defined segment structure / I.V. Lytvynenko / Scientific Journal of the ternopil national technical university. 2016, Vol. 84, No. 4, pp. 131–138.
9. Литвиненко Я.В. Метод інтерполяції кубічним сплайном дискретної функції ритму циклічного сигналу із визначеною сегментною структурою / Я.В. Литвиненко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — Хмельницький, 2017. — № 3. — С. 105–112.
10. Лупенко С. А. Статистичні методи обробки циклічного випадкового процесу / С. А. Лупенко // Електроніка та системи управління / Національний авіаційний університет. — Київ, 2006. — № 2 (8). — С. 59–65.
11. Литвиненко Я. В. Імітаційне моделювання взаємопов'язаних економічних процесів на основі вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів / Я. В. Литвиненко, С. А. Лупенко, Н. Р. Дем'янчук, А. Б. Горкуненко // Електроніка та системи управління / Національний авіаційний університет. — Київ, 2011. — № 2 (28). — С. 133–141.
12. Литвиненко Я. В. Діагностичні ознаки в комп'ютерних системах діагностики функціонального стану серцево-судинної системи людини / Я. В. Литвиненко, С. А. Лупенко, А. С. Сверстюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. — Хмельницький, 2010. — № 1. — С. 182–188.
13. Горкуненко А. Б. Обґрунтування діагностичних і прогностичних ознак в інформаційних системах аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів / А. Б. Горкуненко, С. А. Лупенко // Науковий вісник НЛТУ України : збірник науково-технічних праць. — Львів, 2012. — Вип. 22.9. — С. 347–352.

References

1. Lytvynenko I., Lupenko S., Shcherbak L. Statystychnyy metod vyznachennya zonnoyi struktury elektrokardiosygnalu v avtomatyzovanykh diagnostychnykh systemakh, Visnyk Ternopil's'koho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu, Ternopil', 2005, Vol. 10, No. 3, pp. 165–175.
2. Lytvynenko I.V., Marushchak P.O. Analysis of the State of the Modified Nanotitanium Surface with the Use of the Mathematical Model of a Cyclic Random Process. Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing, 2015, Vol. 51, No. 3, pp. 254–263.
3. Lupenko S. Cyclic and periodic random processes with zone timed structure and its probable characteristics / S. Lupenko // The Herald of the Ternopil State Technical University. - Ternopil, 2006. - Vol. 11, № 2. - P. 150–155.
4. Lupenko S.A. Teoretychni osnovy modelyuvannya ta opratsyuvannya tsyklichnykh sygnaliv v informatsiynykh systemakh. Monohrafiya, L'viv, Mahnoliya 2006, 2016. 343 p.
5. I.V. Lytvynenko. Method of segmentation of determined cyclic signals for the problems related to their processing and modeling/ I.V. Lytvynenko / Scientific Journal of the ternopil national technical university. 2018, Vol. 88, No. 4, pp. 153–169.
6. Lupenko S. Osoblyvosti dyskretyzatsiyi tsyklichnykh funktsiy. Vymiryuval'na ta obchyslyuval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh, Khmel'nyts'kyy, 2006. No. 1. pp. 64–70.
7. Lupenko S. A. Zavdannja interpoljacii' funkciij' rytmu cyklichnoi' funkciij' z vidomoju zonnoju strukturoju. S. A. Lupenko. Elektronika ta systemy upravlinnja. Nacional'nyj aviacijnyj universytet. Kyiv, 2007. No 2 (12). pp. 27–35.
8. I.V. Lytvynenko. Method of the quadratic interpolation of the discrete rhythm function of the cyclical signal with a defined segment structure / I.V. Lytvynenko / Scientific Journal of the ternopil national technical university. 2016, Vol. 84, No. 4, pp. 131–138.
9. Lytvynenko I.V. Metod interpoljacii' kubichnym splajnom dyskretnoi' funkciij' rytmu cyklichnogo sygnalu iz vyznachenju segmentnoju strukturoju / Lytvynenko I.V. // Vymirjuvalna ta obchysljuvalna tekhnika v tehnologichnyh procesah, Khmel'nyts'kyy, 2017. No. 3. pp. 105–112.
10. Lupenko S.A. Statistical methods of processing cyclic random process / S.A. Lupenko // Electronics and control systems / National Aviation University - Kyiv, 2006. - № 2(8). - P. 59–65.
11. Lytvynenko I.V., Lupenko S.A., Demyanchuk N.R., Horkunenko A.B. Imitatsiynne modelyuvannya vzajemopovyazanykh ekonomichnykh protsesiv na osnovi vektora tsyklichnykh rytmično povyazanykh vypadkovykh protsesiv. Elektronika ta systemy upravlinnja. Natsional'nyy aviacijnyy universytet, Kyiv, 2011. Vol. 28, No. 2. pp. 133–141.
12. Lytvynenko I.V. Diagnostychni oznaky v komp'juternykh systemah diagnostyky funkcional'nogo stanu sercevo-sudynnoi' systemy ljudyny. I.V. Lytvynenko, S. A. Lupenko, A. S. Sverstjuk. Herald of Khmelnytskyi National University. Khmel'nyts'kyy, 2010. № 1. pp. 182–188.
13. Gorkunenko A. B. Obgruntuvannja diagnostychnykh i prognostychnykh oznak v informacijnykh systemah analizu ta prognozuvannja cyklichnykh ekonomichnykh procesiv. A. B. Gorkunenko, S. A. Lupenko. Naukovyj visnyk NLTU Ukrainy: zbirnyk nauково-tekhnichnykh prac. L'viv, 2012. No. 22.9. pp. 347–352.

Рецензія/Peer review : 12.05.2018 р.

Надрукована/Printed : 11.07.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Лупенко С.А.

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МЕТРОЛОГИЯ. МАГНИТОПОЛЕВАЯ ТЕОРИЯ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ И ИНФОРМАЦИИ СКВОЗЬ МАТЕРИАЛ ИЛИ ВЕЩЕСТВО

ЧАСТЬ 1. ФИЛОСОФСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕОРИИ

Аннотация

В работе изложены философские основы магнитополевой теории измерений. Приведена структура взаимосвязей философских аспектов между собой, что показало их единство с философскими аспектами теории прямых и избыточных измерений.

Перечислены цели и научные направления, которые используются в магнитополевой теории измерений, что облегчает постановку задачи исследований.

Установлены законы, принципы, категории, правила, основные гипотезы, утверждения и определения, используемые в развиваемой теории измерений.

Констатируется, что фундаментом создаваемой теории является пять фундаментальных законов и пять научных принципов.

Дано определение магнитополевой теории измерений. Изложена система целей теории, выделены развиваемые научные направления. Констатируется существование триады фундаментальных понятий (энергия, материя и информация), характеризующей сущность и развитие материального мира. Их триединство подтверждается исследованиями магнитополевых эффектов.

Приведена классификация физических систем, в которой выделены системы замкнутого и разомкнутого типов, что необходимо учитывать при исследованиях магнитополевых эффектов.

Работа представляет интерес для метрологов, специалистов, магистров и аспирантов, изучающих магнитополевые эффекты и явления, пути и методы их использования при создании сенсоров физических величин, а также изучающих магнитополевые методы измерения свойств материалов и веществ с использованием явления переноса энергии и информации сквозь проводящие и слабопроводящие среды.

Ключевые слова: энергия, материя, информация, магнитополевая теория, явление, магнитное поле, свойства ..

V.T. KONDRATOV

V.M.Glushkov Institute of cybernetics of National academy of Science of Ukraine

FUNDAMENTAL METROLOGY. THE MAGNETIC-FIELD THEORY OF MEASUREMENTS WITH USE THE PHENOMENON OF TRANSFER OF ENERGY OR INFORMATION THROUGH MATERIAL OR SUBSTANCE THE PART 1. PHILOSOPHICAL ASPECTS OF THE THEORY

Annotation

In paper philosophical bases of magnetic-field theory of measurements are stated. The structure of interrelations of philosophical aspects among themselves is resulted, that has shown their unity with philosophical aspects of the theory of direct and redundant measurements.

The purposes and scientific directions which are used in magnetic-field theory of measurements that facilitates research problem statement are listed.

Laws, principles, categories, rules, the basic hypotheses, statements and the definitions used in the developed theory of measurements are established.

It is ascertained, that the base of the created theory is five fundamental laws and five scientific principles.

Definition of the magnetic-field theory of measurements is made. The system of the purposes of the theory is stated, developed scientific directions are allocated. Existence of a triad of fundamental concepts (energy, a matter and the information), characterizing essence and material world development is ascertained.

Classification of physical systems in which systems of the closed and opened types are allocated that it is necessary to consider at researches of magnetic-field effects is resulted.

Work is of interest for metrologists, experts, masters and the post-graduate students studying the magnetic-field effects and the phenomena, ways and methods of their use at creation of sensor controls of physical sizes, and also studying the magnetic-field methods of measurement of materials and substances properties with use of the phenomenon of carrying over of energy and the information through spending and weakly conducting media.

Keywords: energy, a matter, the information, magnetic-field theory, the phenomenon, a magnetic field, properties

Введение

До 2017 года в области фундаментальной метрологии не была решена проблема измерений энергии Ферми и энергии дискретных энергетических уровней Ландау для материалов и веществ в широком диапазоне их сортов, типов, видов и структур. Кроме того, не решенной была проблема передачи энергии и информации не по проводам, а сквозь слабопроводящие среды. Толчком к созданию магнитополевой теории измерений (ТИ) послужили также активно обсуждаемые в YouTube теоретические и практические аспекты проблемы получения энергии из окружающей среды, проблемы создания вечного двигателя с использованием электромагнитных полей, магнитополевые эффекты и их воспроизведение и, наконец, проблема сохранения баланса электромагнитной энергии при взаимодействии магнитного поля с материалом и веществом. Началом создания МП ТИ послужило открытие автором и практическая

реализация явления передачи энергии и информации не только сквозь проводящие среды, — медь, латунь, алюминий, свинец и т.д., но и сквозь слабопроводящие среды, в частности, сквозь гетинакс, стеклотекстолит, полистерол и другие электроизоляционные материалы и вещества.

Постановка задач исследований

Задачами исследований является разработка основ МП ТИ, теоретических и практических аспектов взаимодействия магнитного поля высоких и сверхвысоких частот с отрицательно заряженными квазичастицами (или электронами) исследуемых образцов (ИО) материалов и веществ макромира, а также описание процесса передачи энергии и информации сквозь материал (или вещество).

В результате будет создана МП ТИ, основанная на использовании явления передачи энергии и информации сквозь слабопроводящую среду, разработаны ее теоретические и практические аспекты и решены проблемы измерений энергий Ферми и Ландау.

Основания для проведения исследований — отсутствие результатов широкомасштабных экспериментальных исследований (и измерений) энергии Ферми и энергии дискретных энергетических уровней Ландау, измерений и исследований свойств проводимости различных материалов и веществ макромира, результатов передачи энергии и информации сквозь чистые металлы и сплавы, простые и сложные вещества, однородные и неоднородные (композиционные) материалы, нано-, био- и радиоматериалы, органические и неорганические вещества, а также отсутствие сведений о разработке шестого способа передачи информации по материальной (вещественной) слабопроводящей линии связи.

Объект исследований

Объект исследований — процесс взаимодействия магнитных полей высоких и сверхвысоких частот с отрицательно заряженными квазичастицами (или электронами) ИО материалов, теоретические и практические аспекты измерений скрытой энергии Ферми ИО материалов (веществ) и энергий дискретных энергетических уровней Ландау, а также новые аспекты теории измерений физических величин (ФВ) вещественной, энергетической и информационной групп.

Предмет исследований МП ТИ — новая стратегия необходимых и достаточных измерений величин вещественной, энергетической и информационной групп с использованием явлений передачи информации и энергии сквозь слабопроводящие (материальные или вещественные) среды, способы управления видом функции измерительного преобразования энергии информативных сигналов и значениями ее параметров, т.е. стратегия, направленная на получение нового качества измерений и новых знаний о материалах (веществах), а также развитие нового направления в сенсорике, базирующегося на использовании МП явлений и эффектов взаимодействия поля и вещества для решения измерительных и метрологических задач.

Предметом экспериментальных исследований является разработка и исследование МП измерительных измерителей и преобразователей энергии волнового движения отрицательно заряженных квазичастиц ИО материала макромира в энергию электрического сигнала (тока или напряжения) для решения измерительных и метрологических задач.

Предмет теоретических исследований — создание теории и математическое описание физических процессов, происходящих в результате передачи энергии и информации сквозь ИО материала (вещества) при нормальных условиях его бытия (эксплуатации) и при воздействии на него импульсных магнитных полей высоких или сверхвысоких частот, а также установление ограничений и условий воспроизведения (повторяемости) установленного явления передачи информации и используемых МП эффектов.

Цель работы — ознакомление ученых и специалистов с основными философскими аспектами и сутью новой стратегии магнитополевых измерений.

Результаты исследований

Базовое определение теории

Магнитополевая теория измерений — это: система законов сохранения и преобразования энергии, сохранения импульса, момента импульса, электрического заряда и массы; система категорий, принципов, методов, математических и структурных моделей; система определений, положений, условий и ограничений. Она представляет новую стратегию измерений на основе явления передачи энергии и информации сквозь слабопроводящие (материальные или вещественные) среды. Теория предлагает новые методы линейного и нелинейного измерительного преобразования величин разной физической природы. Это достигается за счет взаимодействий энергии зондирующего магнитного поля и потенциальной энергии материала (вещества), за счет преобразования последней в кинетическую энергию волнового движения заряженных частиц внутри материала (вещества). Теория предсказывает достижимые результаты по качеству измерений.

Если говорить более лаконично, то МП ТИ — это система научных знаний о закономерностях взаимодействия энергии материалов (веществ) с энергией электромагнитных полей, объединенная концепцией волнового подхода к передаче и преобразованию энергии и информации, и опирающаяся на определенную совокупность фундаментальных законов, категорий, условий, научных принципов, методов и методологий.

Целями МП ТИ (на начальном этапе развития) являются:

- 1) измерение ФВ вещественной, энергетической и информационной групп с использованием явления передачи энергии и информации сквозь проводящие и слабопроводящие среды (материальные или вещественные);
- 2) изучение частных проявлений явления передачи энергии и информации через проводящие и

слабопроводящие среды при измерениях ФВ той или иной физической природы и взаимодействия зондирующих электромагнитных полей с заряженными частицами вещества;

3) разработка магнитополевых способов управления видом функции измерительного преобразования энергии информативных сигналов и параметрами этой функции преобразования;

4) широкомасштабные исследования скрытой энергии Ферми материалов (веществ) разной физической природы;

5) исследование явления излучения радиоимпульсов при переходе электронов с одного дискретного уровня Ландау на другой для ИО разных материалов (веществ);

6) исследование МП явлений и эффектов взаимодействия зондирующих магнитных полей с материалом и веществом и их проявлений в целях расширения функциональных возможностей данного вида измерений с учетом потенциала гравитационного поля;

7) разработка новых методов измерений физико-химических свойств проводящих и слабопроводящих материалов и веществ, в том числе жидких и газообразных;

8) создание новых методов и методологий формирования постоянных и переменных магнитных полей заданной конфигурации, стабильных по значению индукции, широкого диапазона частот и напряженности магнитного поля, с разными законами воздействия на ИО материала (вещества) в пространстве и во времени;

9) исследование существующих и разработка новых видов модуляции магнитных полей, используемых для преобразования энергии одного вида в энергию другого;

10) исследования оптимальных способов выделения и фильтрации полезной информации при внешних неинформативных воздействиях на квазичастицы ИО материала (вещества) иных полевых форм энергии;

11) изучение влияния добавок и инородных включений в ИО материала (вещества) на результат измерения энергий Ферми и Ландау;

12) разработка методов и методологии технического контроля качества овощей, фруктов и корнеплодов по таким информационным признакам, как «значение энергии Ферми на единицу объема» и «значение энергии дискретных уровней Ландау на единицу объема»;

13) медико-биологические исследования влияния циркуляции отрицательно заряженных квазичастиц на очаги воспаления органов и систем человека и др.;

14) создание методологии построения магнитополевых измерительных преобразователей для прямых и избыточных измерений указанных энергий и других физических величин;

15) развитие двух направлений в МП ТИ, — методов измерений свойств веществ и материалов, которым приписывается или не приписывается математическая модель;

16) исследование и разработка научных принципов, методологии и методов конструирования и построения базовых структур магнитополевых средств измерений (МП СИ), информационных измерительных систем (МП ИИС) и магнитополевых измерительных преобразователей (МП ИП);

17) создание базовых структур МП СИ, МП ИИС и МП ИП, в том числе и интеллектуальных, включающих экспертные системы (ЭС) и/или интеллектуальные интерфейсы (ИНИ);

18) создание базовых структур информативно-избыточных сенсоров и биосенсоров, в том числе и интеллектуальных, на основе магнитополевых явлений передачи энергии и информации.

19) разработка (совместно с материаловедами) стандартов и принципов построения стандартных образцов (СО) состава и свойств веществ и материалов для МП СИ, ИИС и ИП;

20) разработка общих подходов и принципов системного и прикладного программно-алгоритмического обеспечения (ПАО) МП СИ, МП ИИС и МП ИП;

21) разработка методологии, алгоритмов и методик тестирования МП СИ, МП ИИС и МП ИП.

Научные направления МП ТИ

МП ТИ объединяет, использует и развивает следующие научные теории и направления:

1) теория прямых и избыточных измерений;

2) теория информационно-энергетических полей;

3) теория физических полей (акустических, электромагнитных, магнитных, электрических, тепловых и гравитационных), изучает их общие и индивидуальные свойства;

4) теория электромагнитного поля как определяющего многообразие эффектов взаимодействия электромагнитного поля с объектами живой и неживой природы;

5) теория магнитополевых измерительных преобразований независимых и зависимых свойств, зависимостей свойств, приращений свойств и характеристик;

6) теория информации;

7) теория погрешностей измерительных преобразований ФВ с использованием магнитополевых эффектов;

8) теория создания МП сенсоров и биосенсоров (БС) с неуправляемыми и управляемыми параметрами;

9) теория ПАО процессами измерения и управления.

10) теория метрологической надежности МП ИП и МП СИ.

Как отмечается в [1, 2], научная теория — система законов, общих понятий или категорий, принципов, методов, утверждений, критериев, гипотез, фактов, условий, ограничений и т.д. (рис. 1), которые используются при создании и становлении той или иной теории и описывают полученные результаты научных (теоретических и практических) исследований.

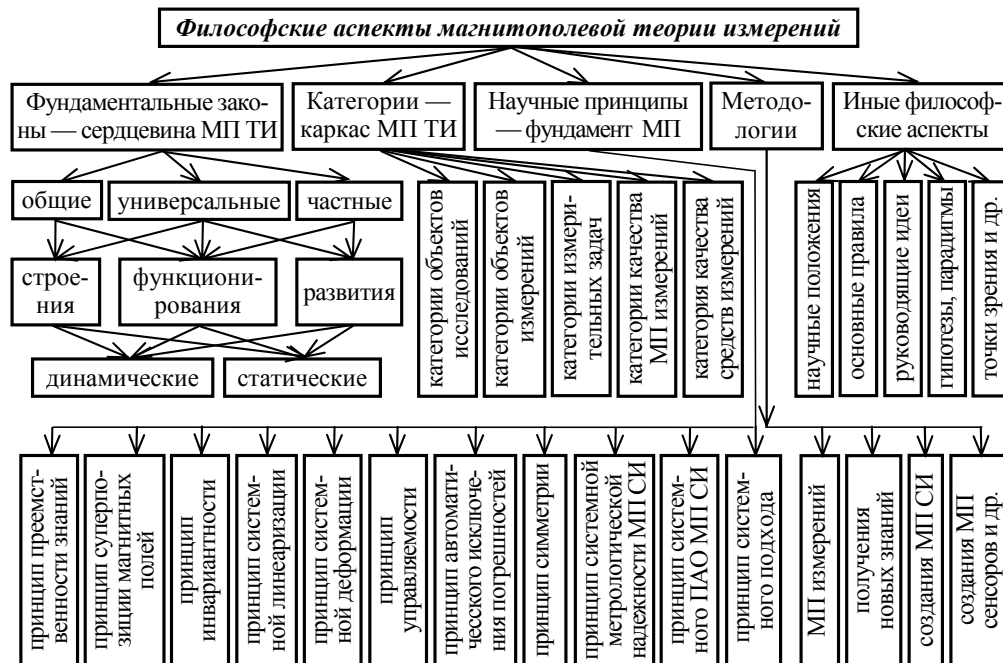


Рис. 1

Сердцевину МП ТИ, как нового вида измерения в фундаментальной метрологии, составляют входящие в неё законы сохранения энергии, материи и импульса, каркасом теории служат категории, а фундаментом являются научные принципы.

Научный и практический интерес представляет выделение тех основных законов, категорий, принципов и методологии, которые положены в основу МП ТИ.

Напомним, что закон — это существенный, устойчивый, регулярный и необходимый тип связи между явлениями, взятый в своей обобщенной форме и скорректированный относительно типологически классифицированных условий своего проявления [1]. Законы являются гарантами устойчивости, гармоничности и развития науки. Глубина проработки любой теории, в том числе и МП ТИ, определяется объемом и глубиной знаний и умений использовать общие, универсальные и частные законы, законы строения, функционирования и развития.

Законы электродинамики

Кроме описанных в [1] законов, в МП ТИ используются законы электродинамики (табл. 1).

Принципы — основные исходные положения, составляющие фундамент теории. Научные принципы электродинамики (табл. 2) также используются в МП ТИ.

Часто под принципом понимают основной закон какой-либо точной науки, руководящую идею и т.д. Без научных принципов МП ТИ не может быть создана.

Таблица 1. Законы электродинамики

№ п/п	Наименование закона	№ п/п	Наименование закона
1	Фундаментальный закон сохранения энергии	7	Теорема Умова – Пойнтинга
2	Закон сохранения заряда [3, с.9, (2.7)];	8	Закон Джоуля – Ленца [4, с.9]
3	Закон сохранения тока и заряда ([3];	9	Закон Ампера
4	Закон сохранения электромагнитной энергии	10	Закон Фарадея (в современной интерпретации)
5	Закон сохранения механической энергии	11	Закон Кулона (в современной интерпретации)
6	Закон замкнутости силовых линий магнитного поля	12	Сила Лоренца и др.

Таблица 2. Принципы электродинамики

№ п/п	Наименование принципа	№ п/п	Наименование принципа
1	Принцип непрерывности тока и заряда	6	Принцип Гюйгенса – Френеля
2	Принцип суперпозиции магнитных полей	7	Принцип системной инвариантности
3	Принцип локального сохранения заряда	8	Принцип симметрии
4	Принцип локального сохранения энергии	9	Принцип относительности
5	Принцип эквивалентности	10	Принцип М.В. Ломоносова о сохранении материи

МП ТИ построена на фундаменте, состоящем из пяти основных фундаментальных законов и пяти научных принципов:

теорема Умова – Пойнтинга;
закон сохранения электромагнитной энергии;
закон сохранения механической энергии;
закон Кулона (в современной интерпретации);
закон Лоренца;
принцип суперпозиции магнитных полей;
принцип системной инвариантности;
принцип системной управляемости измерений;
принцип симметрии;
принцип преемственности знаний.

Это те основные десять китов, на которые опирается МП ТИ.

Следует отметить, что в основу МП ТИ положен главный теоретический вывод теоремы Умова – Пойнтинга: «электрическая энергия от генератора к приемнику передается не по проводам линии электропередачи, а электромагнитным полем, окружающим эти провода, а сами провода выполняют две другие функции: 1) создают условия для получения электромагнитного поля; 2) являются направляющими для потока электроэнергии» [5].

Электрическая энергия может быть передана сквозь сплошную среду посредством электромагнитного поля, созданного токами переноса, смещения и конвекционными токами.

Категории

С одной стороны категории — это ступени и формы познания мира [1]. С другой стороны — это наиболее общие формы высказываний и понятий, от которых происходят остальные понятия. Категории составляют каркас любой науки, в том числе и МП ТИ.

В МП ТИ используются как категории науки метрологии, так и категории науки электродинамики (см. табл. 3).

Таблица 3

Категории МП ТИ

№ п/п	Наименование категории	№ п/п	Наименование категории
1	Электромагнитная волна	15	Циркуляция вектора напряженности магнитного поля $\mathbf{H}$
2	Магнитное поле	16	Циркуляция вектора напряженности электрического поля $\mathbf{E}$
3	Скорость электромагнитной волны [4]	17	Магнитодвижущая сила
4	Ротор (вихрь) вектора $\mathbf{A}$	18	Соленоидальность поля магнитной индукции
5	Ротор вектора напряженности электрического и магнитного полей	19	Вектор Пойнтинга
6	Магнитная индукция	20	Плотность потока электромагнитной энергии
7	Электрическая индукция	21	Контур (по Фарадею и Максвеллу)
8	Вектор (магнитной, электрической индукции)	22	Токи проводимости
9	Вектор электрического смещения	23	Токи смещения
10	Объемная плотность электрической или магнитной энергии	24	Токи переноса [4]
11	Объемная плотность мощности	25	Индуктивность контура (коэффициент самоиндукции)
12	Количественная мера движения	26	Электромагнитная энергия
13	Магнитный поток	27	Магнитная проницаемость среды
14	Поток вектора магнитной индукции	28	Физическая система и др.

Рассмотрим более подробно категорию «система». Система — конечное множество функциональных элементов и отношений между ними, выделенное из среды в соответствии с заданной целью в рамках определенного временного интервала [6].

Систему характеризуют такие понятия, как элемент, подсистема, связь, отношения, структура, цель, поведение, развитие, жизненный цикл, степень свободы, системный эффект и др.

На рис. 2 приведена классификация физических систем, в основу которой положены следующие классификационные признаки: число элементов и соотношений; состояние системы во времени, обмен со средой энергией, веществом или информацией; структура связей; вероятность перехода системы в то или иное состояние; взаимозаменяемость элементов; дискретность процесса; происхождение; степень организованности; сложность системы.

Как видно из рис. 2, монокомпонентные системы могут быть как открытыми, т.е. обмениваться энергией, веществом и информацией с окружающей средой, так и закрытыми, полностью или частично закрытыми только от действия внешних магнитных полей, но не от температуры окружающей среды.

Подтвержден тот факт, что законы сохранения энергии действуют только в системах замкнутого типа. Установлена необходимость введения нового классификационного признака — структура связей системы (в широком смысле этого понятия). Так, например, обычная металлическая пластина овальной формы может представлять собой монокомпонентную физическую систему разомкнутого типа, а та же пластина с овальным отверстием — пассивную монокомпонентную систему замкнутого типа.

Только в такой системе электроны могут циркулировать по замкнутому контуру в течение времени действия переменного магнитного поля.

Приведенная классификация систем дает возможность предвидеть и учесть возможные нюансы взаимодействия вещества с магнитными полями при исследованиях магнитопольевых эффектов.

Правила, основные гипотезы, линии

К философским аспектам МП ТИ относятся также правила, гипотезы и линии (табл. 4). Сегодня можно утверждать, что гипотеза Максвелла стала уже постулатом, поскольку ток смещения действительно вызывает соответствующее электромагнитное поле. Это подтверждается нашими экспериментальными измерениями энергии Ферми диэлектриков.

Методы и методологии

Способ теоретического исследования или практического осуществления чего-нибудь и есть метод. Инструмент научного познания явлений, отвечающий на вопрос «как изучать предмет данной теории?» также является методом [1].

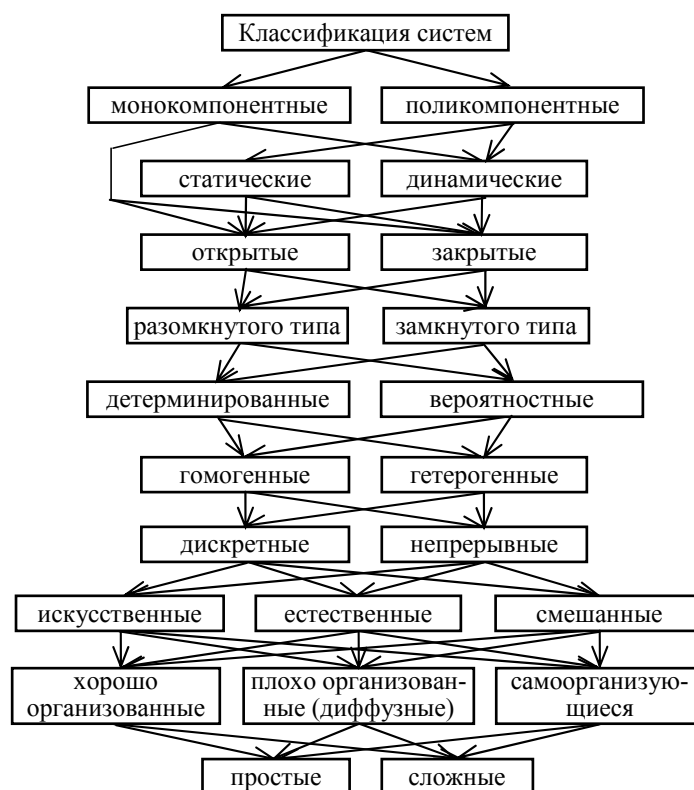


Рис. 2

Таблица 4

Правила, гипотезы и утверждения

№ п/п	Правила	№ п/п	Основные гипотезы	№ п/п	Линии (утверждения)
1	Правило левой руки	1	Электромагнитная волна распределена в пространстве с объемной плотностью	1	Линии магнитной индукции замкнуты
2	Правило правой руки (правило буравчика)	2	Плотность потока электромагнитной энергии равна векторному произведению напряженностей электрического и магнитного полей	2	Линии магнитной индукции уходят в бесконечность
		3	Гипотеза Максвелла (Ток смещения также сопровождается электромагнитным полем [8])		

В метрологии различают методы познания процессов, законов, явлений; методы измерений независимых и зависимых свойств, приращений свойств, зависимостей свойств и характеристик; методы формализации и структурирования; методы представления; методы изложения результатов научных исследований и сущности полученных знаний.

Для завершения представления о философских аспектах МП ТИ приведем графический образ [1] — пентограмму взаимосвязанных между собой базовых методов, характеризующих процесс получения новых знаний по результатам тех или иных измерений (рис 3).

На рис. 3 дугообразные стрелки характеризуют созидательные связи, или связи развития, а стрелки в виде пунктирных линий — деструктивные связи, характеризующие наличие противоречий в системе методов. Система методов является уже методологией. В философском понимании методология охватывает более широкий круг аспектов, чем только структурированная система базовых методов. Так, например, методология получения новых знаний включает в себя учение и о базовых физических принципах измерений; и о целях и задачах линейного и нелинейного измерительного преобразования физических величин; и о методах и путях решения разных категорий измерительных и метрологических задач; и т.д.

Приведенная на рис. 3 пентограмма достаточно информативна и не требует подробных пояснений. Магнито-полевые методы введены в настоящую пентограмму и будут описаны в последующих статьях.

Триада фундаментальных понятий

Энергия, материя и информация — фундаментальные понятия, характеризующие сущность и развитие материального мира.

История развития физики и метрологии неразрывно связана с исследованиями и изучениями энергии, материи и информации. Ученые всегда пытались теоретически и практически обосновать их триединство. Рассмотрим сущность данных понятий, включая и наше представление о «эфире».



Рис. 3

* в виде графиков зависимостей и характеристик в разных системах координат, одномерных, двумерных и трехмерных (объемных и рельефных); структур; диаграмм; полей; таблиц и т.д.

** Например, метод единства количественного и качественного анализа [8].

*** Принципы и методы верификации (проверяемости) основных теоретических положений [8]

Энергия — это свойство или способность материи совершать работу [10]. Это — скалярная физическая величина, являющаяся единой мерой различных форм движения и взаимодействия материи, мерой перехода движения материи из одной формы в другие [10, 11].

Мерой взаимодействия, преобразования и превращения энергии из одного вида в другой является работа, количественная и качественная определенность которой и составляет информацию.

Материя — это субстанция, образованная в результате взаимодействия между собой и с полевой энергией элементарных частиц, не имеющих внутренней структуры.

Эфир — это полевая среда, неоднородная в пространстве и времени, в которой осуществляется распространение, преобразование и передача энергий волн разной физической природы, слабых и сильных

взаимодействий частиц материи между собой, т.е. это среда, в которой энергия совершает работу по созданию материи в ее различных формах и проявлениях.

Атрибутами материи или всеобщими формами ее бытия являются движение, пространство и время, которые не существуют вне материи. Материальные объекты, не обладающие пространственно-временными свойствами, не существуют [11]. Особым видом материи является магнитное поле. Посредством материи осуществляется взаимодействие между движущимися заряженными частицами или телами, обладающими магнитным моментом.

Вещество — одна из форм материи. Если вещество совершает работу, то оно обладает энергией. Вещество — форма материи, обладающая количественной и качественной определенностью физических свойств, в том числе и пространственно-временных, и структурой, симметричной или асимметричной, однородной или разнородной.

Вещество, как одна из форм материи, характеризуется двумя аспектами дискретности (или двумя дискретными формами состояния): 1) дискретной величиной является электрический заряд вещества, пропорциональный заряду электрона, 2) дискретной величиной является масса вещества, состоящая из суммы масс ряда элементарных частиц, входящих в состав вещества [12–14].

Что объединяет энергию и вещество? Конечно, информация. Только информация является тем атрибутом, который объединяет энергию и вещество, характеризует существование и взаимодействие их в пространстве и во времени. Другими словами, энергия, информация и материя не только взаимосвязаны между собой, но и оказывают влияние друг на друга.

Информация и ее определение

В 1964 году академик В.М. Глушков дал следующее определение информации [15]: «информация — это мера неоднородности распределения материи и энергии в пространстве и времени».

Мера — философская категория, выражающая органичное единство качественной и количественной определенности материи или вещества. Согласно А.П. Огурцову [16], эта категория обобщает способы и результаты измерения предметов. Полагаем, что в определении, данном В.М. Глушковым, понятие «мера» использовано в философском смысле.

Как отмечается в [10], мера подразумевает и средство измерения. Возникает вопрос, «то, что можно измерить, то и есть информация»? А то, что пока нет возможности измерить, — это что?

Возможности средств измерений характеризуются чувствительностью и погрешностью используемого метода измерений. То, что нельзя измерить сегодня, можно быть измерить завтра. Все определяется уровнем развития метрологии и измерительной техники. Поэтому следует понимать, что в приведенном определении понятия «информация» слова «это мера» означают, что «это результат измерений», а не средство измерений.

С метрологической точки зрения «информация» — это совокупность результатов измерений (данных). Полезная информация, структурированная в пространстве и времени, представляет собой знания.

Информация дает возможность эффективно управлять процессом взаимодействия энергии и вещества, определять количественную определенность этого взаимодействия посредством работы, совершенной, например, электрически током.

Энергия, информация и материя — триединство, которое и составляет сущность развития и бытия. В определении В.М. Глушкова устанавливается связь информации и материи. А в чем проявляется связь энергии и информации, энергии и материи? Ответ на данный вопрос дает нам явление передачи информации сквозь материю (вещество).

Для избежания неопределенности в формулировке понятия «информация» предлагается уточненное ее определение: *информация — мера неоднородности распределения энергии системы заряженных частиц материи, результат взаимодействия энергии внешнего зондирующего поля с внутренней энергией материи, в том числе с потенциальной энергией системы заряженных частиц, находящихся в гравитационном поле, который, т.е. результат, получен в процессе выполнения работы по переносу энергии системы заряженных частиц из одних точек пространства в другие.*

На сегодня известны пять базовых физических принципов передачи информации:

- 1) с использованием энергии постоянного или переменного тока (электрической цепи);
- 2) посредством энергии электромагнитных волн (радиоволн, волн гигагерцового излучения);
- 3) за счет энергии звуковых, ультразвуковых и гиперзвуковых волн;
- 4) путем использования энергии электромагнитных волн оптического излучения — видимого, инфракрасного и ультрафиолетового;
- 5) с использованием энергии волн механических колебаний.

Это объясняется тем, что только энергия способна совершать работу по передаче информации в диапазоне от сверхмалых (миллионные доли метра) до сверхбольших (миллионы километров) расстояний, только энергия является мерой перехода движения материи из одних форм в другие.

Нами предложен еще один, шестой способ передачи информации и энергии за счет использования явления преобразования потенциальной энергии материала (вещества) в кинетическую энергию движения отрицательно заряженных частиц ИО материала (вещества) при воздействии на него энергией магнитного поля высокой частоты [17].

Изменение состояния энергии и материи происходит, как известно, под воздействием информации. В 2016 году проф. Беловым Г.В. [18] была предложена интересная схема информационного воздействия и изменения свойства вещества объекта:

Информационное воздействие извне → информационное поле объекта → энергетическое поле объекта → физическое поле атомов молекул и кластеров молекул → химические связи вещества объекта → свойства вещества объекта.

Основной функцией энергетического поля является управление состоянием и изменение свойств вещества. Энергетическое поле переносит управляющее воздействие на физические поля частиц вещества и изменяет его свойства.

Профессором Беловым Г.В. было выдвинуто две версии об информационном поле, согласно которым оно:

- 1) является внешней оболочкой энергетического поля;
- 2) распределено в энергетическом поле в соответствии со структурой спектра энергетического поля.

Эти версии справедливы, но не новы, поскольку, как показали исследования магнитопольного эффекта, энергетическое поле модулируется внешним информационным полем, образованным энергией сигнала, несущего информацию об измеряемой ФВ. Поэтому информационное поле и является внешней оболочкой энергетического поля, ее низкочастотной составляющей.

Распределение информационного поля в энергетическом объясняется известной с 70-х годов прошлого столетия гипотезой о том, что электромагнитная волна распределена в пространстве с объемной плотностью (см. табл. 4).

Открывшиеся проблемы фундаментальной метрологии

Потребность в измерении энергии Ферми большой номенклатуры современных материалов и веществ, а также энергий дискретных энергетических уровней Ландау обусловили необходимость обозначить новые проблемы фундаментальной метрологии.

В XXI веке, веке глобальных перемен и динамического инновационного развития шестого технологического уклада назрела острая необходимость в решении следующих актуальных проблем фундаментальной метрологии:

1) создание теории взаимодействия магнитных полей высоких и сверхвысоких частот с отрицательно заряженными квазичастицами или электронами ¹ материалов ² макромира. Это необходимо для решения фундаментальных проблем метрологии, связанных с повышением качества измерений, изучением электрических и спектральных свойств этих материалов, измерением и использованием запасенной в них потенциальной энергии;

2) создание нового научного направления в метрологии, связанного с измерением величин разной физической природы, с использованием фундаментального эффекта взаимодействия модулированного магнитного поля высокой или сверхвысокой частоты с электронами материала, энергия волнового движения которых используется;

3) измерение (или преобразование) скрытой внутренней энергии Ферми ИО материалов (веществ): при масштабных экспериментальных исследованиях свойств существующих и новых материалов в нормальных условиях их бытия (эксплуатации); при идентификации материалов; при создании новых материалов с диа- и парамагнитными свойствами, материалов с разной электро- и теплопроводностью, биоматериалов с новыми вкусовыми качествами (овощей, картофеля, моркови, свеклы, репы, грибов-дождевиков и т.п., фруктов — яблок, груш и др.), суперизоляционных материалов для электроники, автомобилестроения, самолетостроения, медицины и т.д. Если для исследования механических и магнитных свойств материалов разработаны приборы на современном уровне, то для фундаментальных и прикладных исследований внутренней энергии Ферми материалов макромира таковые отсутствуют;

4) измерение или преобразование в электрический сигнал энергии дискретных энергетических уровней Ландау ИО материалов макромира. Это связано с появлением огромной номенклатуры композитных материалов, наноматериалов и других с разными механическими, магнитными, электрическими и иными свойствами и структурами. Следует отметить, что на сегодня отсутствуют приборы для измерения энергии дискретных энергетических уровней Ландау;

5) разработка методов восприятия и преобразования (снятия) информации о неоднородности материи в электрический сигнал (постоянный или переменный), удобный для дальнейшей обработки, накопления, преобразования и передачи по каналам связи;

6) объяснение появления, учет и формализованное описание разных видов электрических токов: конвекционного тока i_{co} или ток переноса — электрического тока, обусловленного движением отрицательно заряженных квазичастиц — электронов в непроточной системе замкнутого типа; тока смещения i_{dc} ; тока проводимости i_{cc} — тока, обусловленного движением электронов в проточной системе открытого типа, например, через неподвижный прямой проводник длиной l [18].

Дополнительно можно назвать проблему материаловедения — создания магнитомягких ферромагнитных материалов для изготовления высокочастотных броневых сердечников с равномерной частотной характеристикой в диапазонах частот от единиц до десятков, сотен и более мегагерц. Без таких сердечников невозможно создание магнито-полевых преобразователей и приборов для исследований свойств материалов (веществ), особенно на сверхвысоких частотах.

¹ Ниже будем говорить только об электронах как элементарных, отрицательно заряженных квазичастицах.

² Для общности все материалы и вещества будем называть «материалом» в широком смысле слова, т.е. как материал, из которого изготавливается продукция, в данном случае — физическая или механическая система. К материалам относятся чистые металлы и сплавы, простые и сложные вещества, однородные и неоднородные (композиционные) материалы, нано-, био- и радиоматериалы, органические и неорганические вещества и др. магнитопольных эффектов.

Заключение

- ## Литература

- 231

D1%82%D0%B2%D0%B0&source=bl&ots=8pO2W7PWcy&sig=4KabScrpDUdVCKNNyQh9ubNu6dw&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEWji6JTF593TAhULEYwKHT4EAoIQ6AEIVjAN#v=onepage&q=%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0%20%D0%B2%D0%B5%D1%89%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B0&f=false

13. Глушков В.М. О кибернетике как науке. Кибернетика, мышление, жизнь. — М.: Наука. — 1964. — С. 57.

14. Понятие материи. Основные формы и свойства материи. Философское и естественнонаучное представление о материи; http://www.philoguides.ru/ponyatie_materii_osnovnie_formi_i_svoystva_materii_ilosofskoe_i_estestvennonauchnoe_predstavlenie_o_materii-746-1.html

15. Мера (философия); [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%80%D0%B0_\(%D1%84%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D1%81%D0%BE%D1%84%D0%B8%D1%8F\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%80%D0%B0_(%D1%84%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D1%81%D0%BE%D1%84%D0%B8%D1%8F)).

16. Кондратов В.Т. Спосіб вимірювального перетворення фізичних величин та пристрій для його здійснення. Патент України на винахід № 115190. Бюл. №7, 10.04.2017.

17. Белов Г.В. Изменит ли Россию альтернативная наука; https://aldebaran.ru/author/v_belov_g/kniga_izmenit_li_rossiyu_alternativnaya_nauka/.

18. Виды электрических токов; <http://www.physicalsystems.org/index07.04.5.0.html>.

19. References

20. Kondratov V.T. Filosofskiye aspekty teorii izbytochnykh izmereniy //Vimiryuval'na ta obchislyuval'na

21. tekhnika v tekhnologichnikh protsesakh. — 2008. — № 2. — С. 7–23.

22. Kondratov V.T. Teoriya izbytochnykh izmereniy. Tam zhe. — 2005. — № 1. — С. 7–24.

23. Elektromagnitnaya induktsiya. Zakon Faradeya. Integral'naya forma; http://know.sernam.ru/book_ter.php?id=12.

24. Energiya elektromagnitnogo polya. Teorema yedinstvennosti; http://know.sernam.ru/book_ter.php?id=29.

25. Teorema Umova – Poyntinga dlya elektromagnitnogo polya; [http://studopedia.ru/3_43182_teorema-](http://studopedia.ru/3_43182_teorema-umova-poyntinga-dlya-elektromagnitnogo-polya.html)

26. umova-poyntinga-dlya-elektromagnitnogo-polya.html.

27. Sistema; <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0>.

28. Frederiks V.K. Elektrodinamika i vvedeniye v teoriyu sveta. “KUBUCH” L.: — 1934.— С. 226; <https://books.google.com.ua/books?id=6YIGAwAAQBAJ&pg=PA226&lpg=PA226&dq=%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B5+%D0%B3%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%B7%D1%8B+%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B8&source=bl&ots=j5sUqZlqU&sig=pDnGkSb6Ah2uyyewslwLU5TRA&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEwi568256rjXAhUGMZoKHZ7CskQ6AEIPzAF#v=onepage&q=%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D0%B3%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%B7%D1%8B%20%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B8&f=false>

29. Toki smeshcheniya; [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D0%BA_%D1%81%D0%BC%D0%6%D1%89%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_\(%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D0%BA_%D1%81%D0%BC%D0%6%D1%89%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_(%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0)

30. Yedinaya teoriya polya i novaya kontseptsiya mirovozzreniya; <http://physics-animations.com/cgi-bin/forum.pl?forum=efr&mes=14311>.

31. Energiya; <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F>.

32. Popov V.P., Kraynyuchenko I.V. Informatsiya i energiya; <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0016/001d/00162140.htm>.

33. Priroda veshchestva; <https://books.google.com.ua/books?id=3AF4CwAAQBAJ&pg=PA1&lpg=PA1&dq=%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0+%D0%B2%D0%B5%D1%89%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B0&source=bl&ots=8pO2W7PWcy&sig=4KabScrpDUdVCKNNyQh9ubNu6dw&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEWji6JTF593TAhULEYwKHT4EAoIQ6AEIVjAN#v=onepage&q=%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0%20%D0%B2%D0%B5%D1%89%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B0&f=false>

34. Glushkov V.M. O kibernetike kak nauke. Kibernetika, myshleniye, zhizn'. — М.: Nauka. — 1964. — С.57.

35. Ponyatiye materii. Osnovnyye formy i svoystva materii. Filosofskoye i yestestvennonauchnoye predstavleniye o materii; http://www.philoguides.ru/ponyatie_materii_osnovnie_formi_i_svoystva_materii_ilosofskoe_i_estestvennonauchnoe_predstavlenie_o_materii-746-1.html

36. Mera (filosofiya); [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%80%D0%B0_\(%D1%84%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D1%81%D0%BE%D1%84%D0%B8%D1%8F\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%80%D0%B0_(%D1%84%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D1%81%D0%BE%D1%84%D0%B8%D1%8F)).

37. Kondratov V.T. Sposib vimiryuval'nogo peretvorenniya fizichnikh velichin ta pristríy dlya yogo zdíysnennya. Patent Ukraíni na vinakhíd № 115190. Byul. №7, 10.04.2017.

38. Belov G.V. Izmenit li Rossiyu al'ternativnaya nauka; https://aldebaran.ru/author/v_belov_g/kniga_izmenit_li_rossiyu_alternativnaya_nauka/.

39. Vidy elektricheskikh tokov; <http://www.physicalsystems.org/index07.04.5.0.html>. 18. Vidy elektricheskikh tokov; <http://www.physicalsystems.org/index07.04.5.0.html>.

Стаття прорецензована редакційною колегією

ПОБУДОВА АЛГОРИТМУ ПСЕВДО-ЙМОВІРІСНОГО ШИФРУВАННЯ НА ОСНОВІ БЛОКОВИХ ШИФРІВ

Розглядається вирішення завдань забезпечення інформаційної безпеки сучасних інформаційно-телекомунікаційних систем, досить широко застосовуються симетричні захисні перетворення інформації. Даний вид перетворень перетворює вихідні тексти в псевдовипадкові послідовності знаків залежно від деякої інформації порівняно малого обсягу (від ключа) недоступною потенційному порушнику. Зазвичай під час оцінювання рівня безпеки, забезпечуваної алгоритмами захисних перетворень, приймається модель порушника, в якій вважається, що ключ є невідомим порушнику. Проте порівняно недавно було дано обґрунтування актуальності розгляду так званих атак з примусом до розкриття ключа і запропоновано загальний підхід до захисту від таких атак, який полягає у застосуванні захисних алгоритмів, що формують перетворений текст, який допускає неоднозначне відновлення осмисленого тексту. Практична важливість захисних перетворень такого типу в першу чергу пов'язана з можливістю реалізації на їх основі механізмів захисту інформації нового типу, які дозволяють, зокрема, направити порушника помилковим шляхом і нав'язати йому неправдиву інформацію. Предметом дослідження є механізми, примітиви, алгоритми та протоколи захисних перетворень і аутентифікації інформації в засобах і системах інформаційної безпеки. Мета даної роботи полягає у підвищенні рівня інформаційної безпеки інформаційно-телекомунікаційних технологій за рахунок поліпшення продуктивності варіантів реалізації псевдо-ймовірнісних захисних перетворень, придатних для апаратної та програмної реалізації в засобах захисту інформації.

Ключові слова: псевдо-ймовірнісне шифрування, блокові шифри, інформаційна безпека, інформаційно-телекомунікаційні системи, ключ, алгоритм, захисні перетворення.

A.A. MYASISCHEV, V.M. MURAVA, V.P. NEZDOROVIN
Khmelnitsky National University

CREATION OF AN ALGORITHM OF PSEUDO-PROBABILISTIC ENCRYPTING ON THE BASIS OF BLOCK CODES

Symmetric protective transformations of information are rather widely applied to the solution of problems of ensuring information security of modern information and telecommunication systems. This type of transformations will be transformed by source texts to the pseudorandom sequences of signs depending on some information of rather small volume (from a key) is inaccessible to the potential violator. Usually at assessment of level of safety ensured by algorithms of protective transformations the model of the violator in which it is considered that the key is unknown to the violator is accepted. However rather justification of relevance of consideration of the so-called attacks with coercion to disclosure of a key has been given recently and the general approach to protection against such attacks which consists in application of protective algorithms which form the transformed text which allows ambiguous recovery of the intelligent text is offered. Practical importance of protective transformations of this kind first of all is connected with a possibility of realization on their basis of mechanisms of information security of new type which allow to direct, in particular, the violator on a false way and to impose him false information. Object of research are mechanisms, primitives, algorithms and protocols of protective transformations and authentication of information in means and information security systems. The purpose of this work consists in increase in level of information security of information and telecommunication technologies due to improvement of productivity of options of realization of pseudo-probabilistic protective transformations suitable for hardware and program realization in means of information protection.

Key words: pseudo-probabilistic encryption, block ciphers, information security, information and telecommunication systems, key, algorithm, protective transformations.

Постановка завдань. Теоретична значущість роботи полягає в розробці методів побудови продуктивних алгоритмів захисних перетворень з альтернативним відновленням вихідного повідомлення, що задовольняють критерію обчислювальної непомітності від імовірнісного перетворення і володіють досить високою продуктивністю. Практична значимість полягає в тому, що розроблені алгоритми на основі запропонованих методів можуть бути застосовані для вбудовування нових захисних механізмів в комплексні засоби забезпечення комп'ютерної безпеки.

Основна частина. Метод симетричного шифрування, заснований на обчисленні деякої хеш-функції, на підставі якого будується алгоритм імовірнісного шифрування. Він, у свою чергу, дає можливість побудови алгоритму псевдо-ймовірнісного перетворення. Розроблено метод псевдо-випадкового блочного захисного перетворення, який задовольняє додаткової вимоги до схем псевдо-ймовірнісного захисного перетворення, що забезпечує безпеку до примусових атак з виміром часу розшифрування. Описаний алгоритм, заснований на обчисленні значень хеш-функції, і наведена таблиця з ймовірностями збою під час шифрування. Отриманий алгоритм псевдо-ймовірнісного захисного перетворення, заснований на блокових шифрах.

У відомому методі для імовірнісного блочного шифрування використовується b -бітова функція шифрування S , а зашифроване повідомлення розділяється на q -розрядні блоки даних ($q < b$). Для перетворення блоку відкритого повідомлення M генерується w -бітовий випадковий блок A ($w = b - q$), за яким слідує складання b -бітового вхідного блоку даних $B = A \parallel M$, де знак $\parallel$ позначає операцію конкатенації двох довільних векторів A і M і обчислює блок зашифрованого повідомлення $S = C_K(B)$, де K є ключем

шифрування. Рациональність практичного застосування алгоритму імовірнісного шифрування відноситься до наступних елементів:

- 1) він забезпечує більший захист від атак з використанням backdoor в використовуваних блоках шифрування;
- 2) він потенційно запобігає атакам з використанням деяких непередбачених вразливостей алгоритму блочного шифрування.

Слід зазначити, що в реальних пристроях шифрування використовується генератор випадкових чисел (ГВЧ) повинен бути впроваджений в якості внутрішньої частини, наприклад, в електронному циклі, що реалізує алгоритм блочного шифрування С.

Таким чином, підвищення безпеки забезпечується тільки в тому випадку, коли потенційний супротивник не в стані модифікувати ГВЧ або його вихідні дані. При використанні різних значень відносини b/q для деякої даної функції шифрування С, можна вибрати необхідний компроміс між безпекою та швидкістю шифрування. Чим більше це відношення, тим більше підвищується рівень безпеки і тим нижче швидкість шифрування даних. Останнє можна грубо оцінити за допомогою формули $d = d_q (b - w) / b$, де d_q – швидкість шифрування. Загальна схема ймовірного блочного шифрування показана на схемі 1. Схема бути легко перетворена в схему псевдо-можливого блочного шифрування, яка може бути використана для одночасного шифрування двох незалежних повідомлень, фіктивних і секретних, з використанням двох різних ключів К і Q відповідно. Для цієї мети можна замінити ГВЧ деякої блокової функції шифрування С' з блоком w-бітних вхідних даних. Замість генерації q-бітного випадкового числа А, це зашифрований q-бітний блок Т секретного повідомлення (схема 2).

При використанні блокового алгоритму шифрування С' для перетворення блоку даних Т з ключем Q, отриманий проміжний блок шифр-тексту $S_T = C_Q(T)$ є обчислювально не відрізняється від рівномірно випадкового q-бітового двійкового вектора. Потім блок S_T об'єднується з блоком фіктивного повідомлення М і перетворюється у вихідний блок зашифрованого повідомлення:

$$S = C_K * (K_T || M)$$

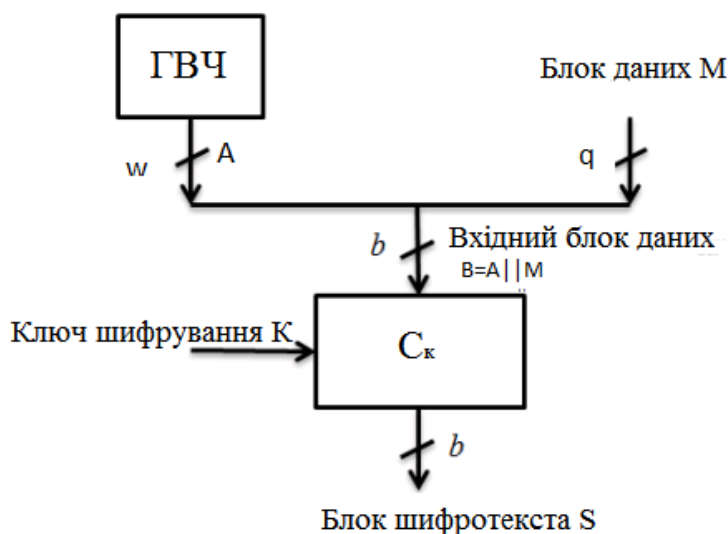


Рис. 1. Загальна схема ймовірного блочного шифрування

Коли примусово відправник і одержувач повідомлення можуть відкривати фіктивне повідомлення М і підроблений ключ К і оголошувати про використання блочного імовірнісного алгоритму шифрування. Таким чином, під час примусу атаки обидві сторони мають можливість без підозр використовувати фіктивні дані. Пропонований псевдо-імовірнісний метод шифрування забезпечує заперечення. У монографії представлені кілька методів імовірнісного шифрування з деякою детермінованою функцією блочного шифрування. Для кожного з цих методів можна запропонувати відповідну псевдо-вірогідну схему блочного шифрування, яка безпечна для атак з примусом. Такі псевдо-імовірнісні схеми шифрування відносяться до запланованих алгоритмів і протоколів заперечення шифрування. Вони забезпечують двосторонній захист до тих пір, поки противник не зможе перевірити час розшифрування, необхідне для розкриття секретного повідомлення. Якщо у нього є така можливість, то він зможе встановити, що час дешифрування підробленого повідомлення менше часу дешифрування секретного повідомлення. Крім того, можна припустити, що в деяких випадках противник порівнює функції кодування, які використовуються для дешифрування фіктивних і секретних повідомлень.

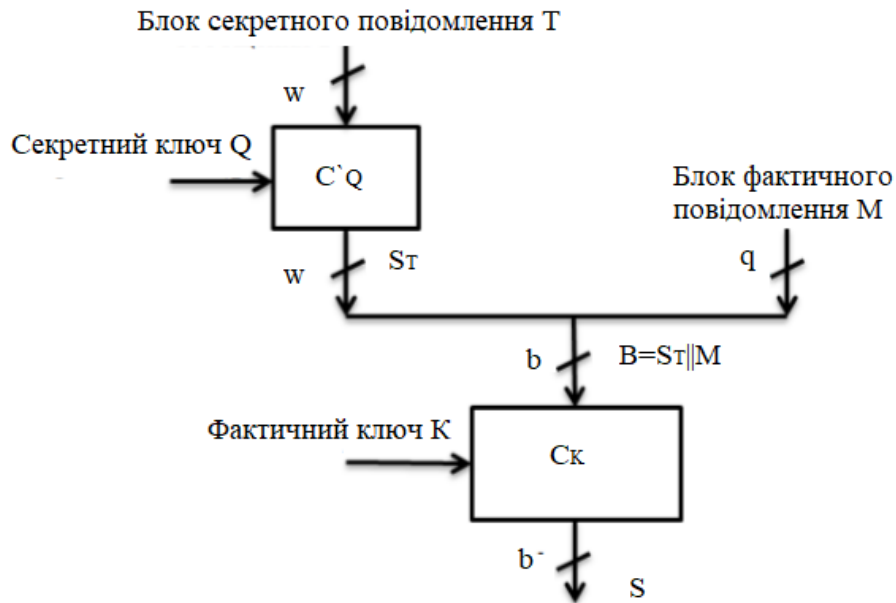


Рис. 2. Загальна схема псевдо-ймовірного блочного шифрування

Щоб забезпечити заперечення під час атак, скоєних противником, які мають зазначені можливості, можна запропонувати наступний додатковий критерій алгоритму шифрування: фіктивні і секретні повідомлення повинні бути розшифровані одним і тим же алгоритмом дешифрування. Цей критерій може бути виконаний за допомогою додавання додаткового перетворення фіктивного блоку повідомлення М з блочною функцією шифрування C' і установкою значень $q = w = b / 2$, як показано на малюнку 2.3, де блок Transp (e) виконує керовану перестановку двох блоків даних w -біт S_T і S_M : якщо $e = 1$, то $\text{Transp}^{(e)}(S_T || S_M) = S_M || S_T$; якщо $e = 0$, то $\text{Transp}^{(e)}(S_T || S_M) = S_T || S_M$. Передбачається, що ключі К і Q задовольняють умові $(K \bmod 2) \text{ xor } (Q \bmod 2) = 1$, де і значення e залежить від ключа наступним чином (ключі К і Q генеруються так, що вони мають різну парність): $e = K \bmod 2$ і $e = Q \bmod 2$. у цьому випадку наступний алгоритм розкриває фіктивні або секретні повідомлення в залежності від використовуваного ключа К і Q.

Імовірнісний алгоритм шифрування, який може бути пов'язаний з псевдо-імовірнісним алгоритмом шифрування (Схема 3), показаний на схемі 4. Легко бачити, що зашифроване повідомлення, створене першим алгоритмом під час одночасного шифрування секретного повідомлення Т з секретним ключем Q і фіктивним повідомленням М з фіктивним ключем К, потенційно може бути отриманий другим алгоритмом, використовуваним для шифрування фіктивного повідомлення по фіктивному ключу. Щоб відрізнити псевдо-розподіл усіх шифрування від ймовірного, вимагається розкриття секретного повідомлення Т. При використанні функцій блочного шифрування C' і C , наприклад TripleDES [40], з блоком вхідних даних, які мають розмір $w = 64$ і AES [40], з блоком вхідних даних, які мають розмір $b = 128$, обчислювально важко відрізнити заперечувальну схему шифрування (рис. 3) від ймовірнісної схеми (рис. 4).

Алгоритм розшифрування, який відповідає як заперечуваний, так і імовірнісним схем шифрування, виглядає наступним чином:

1. Встановити ключ $K^* = (K, K')$, де $K' = K$ (для розкриття фіктивного повідомлення) і $K' = Q$ (для розкриття секретного повідомлення).
2. Обчислити біт $e = K' \bmod 2$.
3. Розшифрувати блок зашифрованого повідомлення S: $B = (B_1 || B_2) = C_{K'}^{-1}(S)$, де проміжний блок B зашифрованого повідомлення представлений як поєднання u -бітних підблоків даних B_1 і B_2 .
4. Виконати операцію транспонування $\text{Transp}^{(e)}(B_1 || B_2) = (B'_1 || B'_2) = \text{Transp}^{(e)}(B_1 || B_2)$.
5. Обчислити u -бітний блок відкритого повідомлення M' : $M' = C_{K'}^{-1}(B'_2)$.

Висновки. Представлений метод псевдо-імовірнісного блочного шифрування, який задовольняють додаткової вимоги до схем заперечного шифрування, яке забезпечує безпеку примусових атак з виміром часу дешифрування. Додаткова вимога формується як розшифрування, як секретного повідомлення, так і підробленого повідомлення одним і тим же алгоритмом розшифрування. Розроблено блочний алгоритм псевдо-імовірнісного шифрування. Досягається додаткове покращення статистичних властивостей одержуваної криптограми. Застосування блокових шифрів в порівнянні з хеш функціями забезпечують більш високу продуктивність алгоритмів.

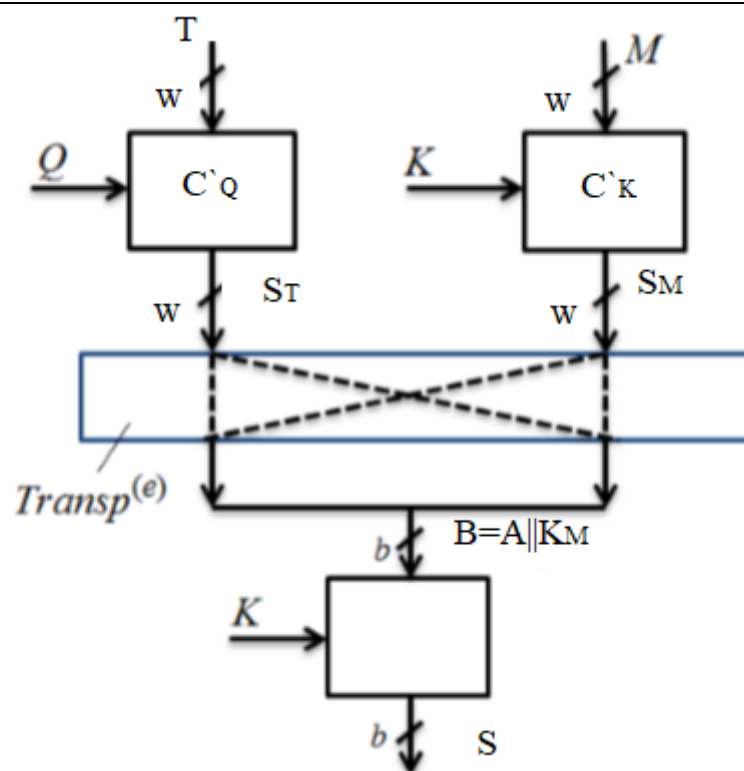


Рис. 3. Загальна схема псевдо-ймовірного блочного шифрування

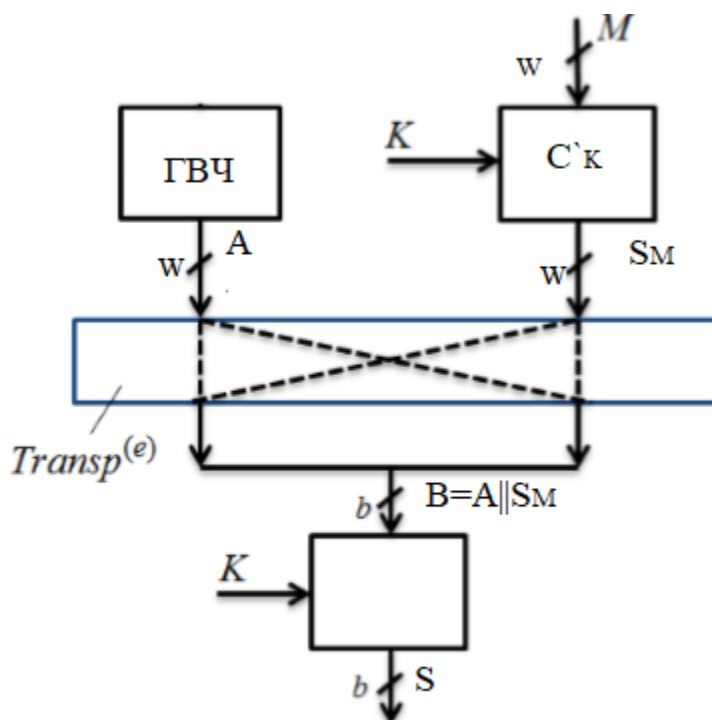


Рис. 4. Загальна схема псевдо-ймовірного блочного шифрування

Література

1. Молдовян Н. А. Протокол отрицаемого шифрования по открытому ключу, включающий процедуру аутентификации пользователей / Н. А. Молдовян, М. С. Михтеев, Кім Нгуєн Туан // Вопросы защиты информации. – 2016. – № 3. – С. 9–15.
2. Михтеев М. С. Гибридный протокол отрицаемого шифрования, основанный на процедуре аутентификации // М. С. Михтеев, Н.А. Молдовян // Вопросы защиты информации. – 2017. – № 1. – С. 12–17.
3. Шнайдер Б. Прикладна криптографія. Протоколи, алгоритми, вихідні тексти на мові СІ / Шнайдер Б. – М. : Изд. ТРІУМФ, 2002. – С. 816.

4. Молдовян Н.А. Протокол стійкого шифрування по ключу малого розміру / Н.А. Молдовян, А. А. Горячев, А. В. Мурах // Питання захисту інформації. – 2015. – № 1. – С. 3–8.
5. V. Lyubashevsky, A. Palacio, G. Segev. Public-Key Cryptographic Primitives Provably as Secure as Subset Sum // TCC 2010, LNCS 5978, Zurich, 2010. – P. 382–400.
6. ГОСТ Р 34.12-2015 Інформаційна технологія. Криптографічний захист інформації. Блокові шифри. – М. : Стандартинформ, 2015.
7. Венбо Мао. Сучасна криптографія. Теорія і практика / Венбо Мао. – М., СПб, Київ : Видавничий будинок «Вільямс», 2005. – С. 763.
8. Мельников В. П. Захист інформації / Мельников В. П., Купріянов А. В., Схіртладзе А. Р. – Academia, 2014. – С. 304.
9. Аграновський А. В. Практична криптографія: алгоритми та їх програмування / Аграновський А. В., Хаді Р. А. – Солон-Прес, 2009.
10. Молдовян Н.А. Практикум з криптосистемам з відкритим ключем / Молдовян Н.А. – СПб : «БХВ-Петербург», 2007. – С. 298.
11. Сюань Чжоу. Приховування даних, доступ до стеганографічної файлової системи / Сюань Чжоу, НвееНва Панг, Кіан-Чи Тан // ICDE. – Бостон, Массачусетс, Березень 2004 Року. – ПП. 572-583.
12. Березін А. Н. Спосіб заперечного шифрування / А. Н. Березін, А. Р. Биричевский, Н. А. Молдов'ян, А. В. Рижков // Питання захисту інформації. – 2013. – № 2. – С. 18–21.

References

1. Moldovyan N. A., Mateev M. S., Kim Nguyen Tuan. Deny Protocol encryption public key, includes the procedure of user authentication. The protection of information. 2016. No. 3. – S. 9-15.
2. Mateev M. S., Moldovyan N. Hybrid encryption Protocol reject based on the authentication procedure. The protection of information. 2017. No. 1. – P. 12-17.
3. Schneider Would. Applied cryptography. Protocols, algorithms, and source code in C language. – M: Izd. TRIUMF, 2002. – S. 816.
4. Moldovyan N. A. Goryachev A. A., Muravyov A. V. Protocol strong encryption key small size // Problems of information security. – 2015. – No. 1. – P. 3-8.
5. V. Lyubashevsky, A. Palacio, and G. Segev. Public-Key Cryptographic Primitives Provably as Secure as Subset Sum// TCC 2010, LNCS 5978, Zurich, 2010. – Pp. 382 – 400
6. GOST R 34.12-2015 Information technology. Cryptographic protection of information. Block ciphers. — M.: STANDARTINFORM, 2015.
7. Wenbo Mao. Modern cryptography. Theory and practice. – M., SPb, Kiev, Ukraine. Publishing house "Williams", 2005. – С. 763.
8. Melnikov V. P., A. V. Kupriyanov, A. G. Skhirtladze. Academia, 2014. – С. 304.
9. Agranovsky A. B., Hadi, G. A., Practical cryptography: algorithms and their programming, Solon-Press – 2009.
10. Moldovyan N. Workshop on public-key cryptosystems. St. Petersburg, "BHV-Petersburg", 2007. – С. 298.
11. Xuan Zhou, HweeHwa Pang, Kian-Lee Tan. Hiding data accesses in steganographic file system // ICDE. Boston, Massachusetts, March 2004. – Pp. 572-583.
12. Berezin A. N., Birichevskiy A. G., Moldav Ian N. A., Ryzhkov, A.V., Method zapretnogo encryption the protection of information. No. 2. 2013. – Pp. 18-21.

THE ELECTRONIC MEDICAL RECORD DOCUMENTATION AUTOMATING ACCORDINGLY TO THE E-HEALTH SYSTEM

The author offers his own outlook of solving the some problems of modern state of Ukrainian health system – the typical problems that arise from the primary layers of the health system – from the necessary contacts of primary doctors and their patients. These contacts give rise to a myriad of critical documents for these patients and the entire medical system. In turn, these documents are often unclear, inaccurate or simply erroneous, archaic and often are the basis for petty and massive corruption. This work is aimed at creating a positive step in eliminating this, to put it mildly, archaic way of registration or giving doctors all kinds of information about their patients. The author offers a real mass software product that works "in pairs" with a patient database of any medical institution, and it is able to automate both the creation and accounting of versatile primary medical documents and standardized forms. This software product is based on the MS Excel spreadsheet. The "demo"-version of the product is able to create an imitational database of patient: its structure is very realistic. In reality, any doctor or medical institution should have its own database of patients, since the Application is designed to work specifically with it: one automatically gets versatile medical forms and fills them in the relevant sections with proper information from the patients' database. The author's choice of the MS Excel processor is reasonable: in Ukraine Microsoft Excel is studied in detail twice – in any secondary school and in any high school up to university. Therefore, any doctor is already well prepared for the assimilation of this Application. It can be easily adapted to the needs of any Doctor/Physician or any medical institution, for any type of medical service. Experience shows that the introduction of such IT-tools is the good engine for obvious positive changes in any sphere of human activity.

Keywords: e-Health system, health information technology, medical record documentation.

A.O. ЧЕПОК

Одеська національна академія зв'язку ім. А.С. Попова

АВТОМАТИЗАЦІЯ СТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ МЕДИЧНИХ ДОКУМЕНТІВ ВІДПОВІДНО ДО СИСТЕМИ Е-HEALTH

Автор пропонує своє вирішення однієї з давніх проблем пострадянської системи охорони здоров'я – автоматизації формування та обліку різноманітних «первинних» медичних документів, які, зокрема, стосуються оформлення контактів на рівні первинної ланки «Доктор – Пацієнт». Крім того, ці документи часто неясні (як мінімум нерозбірливі), небало оформлені, містять помилки, і легко можуть стати основою для дрібної і масової корупції. Метою даної роботи є створення програми, за допомогою якої можна усунути вказані негативи, вийти з «середньовічного» способу реєстрації та обліку медичних документів первинної ланки, піти з епохи «нашкрябування» вихідних документів і форм. Автор пропонує справді «масовий» програмний продукт, який розрахований на роботу «в парі» з БД пацієнтів (БД будь-якої структури) практикуючого лікаря / мед. закладів. Головна функція цього додатка – автоматичне створення "ready-to-print" різноманітних вихідних первинних медичних документів і стандартизованих форм. Ці електронні документи будуть автоматично названі тим ім'ям, яке запропонує Користувач, і автоматично збереже згенерований документ в зазначених користувачем місцях згідно зі схемою «ім'я ПК → диск → папка». Важливий позитив пропонованого рішення – використання знайомого кожному українському лікарю процесора MS Excel, що мінімізує «хворобливість впровадження» пропонованого ПО в якості бази даних пацієнтів і Додатки для роботи з цими даними. Серед інших позитивів впровадження цього Додатка – скорочення часу на лікарський «архаїзм» та іншу рукописну роботу, крім того прогнозується різке скорочення всякого роду помилок / неточностей, на порядки поліпшення обліку і зберігання подібних медичних документів і форм, зменшення можливостей зловживань в цій сфері.

Ключові слова: система e-Health, IT в охороні здоров'я, ведення медичної документації.

Introduction

The efficiency of the Health Care was – always and everywhere – a highly important matter, and its value cannot be overestimated at all. The functioning of the Healthcare system is inevitably linked with a large number of specific documents [1]. From early childhood each of us receives medical support and has his own history of illnesses and appeals to doctors, but – *attention!* – that is all documented *on paper* as a rule. But in our days this document circulation is rapidly becoming paperless all around. Both computerization and automation in practical medicine develop at the same gigantic move as all other branches of human activity that are touched by IT. And it is now not surprising to hear that experts of the US company *Frost & Sullivan* predict that by 2025 medical doctors will prescribe to their patients not recipes, but applications [2].

The development of national electronic health records systems has created great positive support for health systems in general, naturally in those countries where it has been implemented. Throughout the World, in the transition to e-Health conception [3, 4], there is remarkable economic benefit for the entire community. For example, according to the research [5], conducted in 2005, such work on reforming the information component of the US national health system allows to save budget and extra-budgetary funds directed to these purposes for more than \$81 billion annually. At the same time, it is stressed that this saving is achieved due to better functioning of the country's health system. But such indicators can be achieved if all components of the Health Care system are reformed and coordinated on a national scale, and not only by simple replacing the existing clinical, laboratory-diagnostic and pharmaceutical equipment with the most advanced and revolutionizing information in the Health system [6].

Surely, computerization in Healthcare brings with itself a lot of positives, for example, mutual economic benefits and mutual legal protection.

Medical record documentation is usually created for Safety of patients and Defensibility of medical Doctors (Physicians). Poor or out-of-standard medical records make it difficult to determine whether an adverse outcome resulted from factors beyond the doctor's control or from negligent medical care. It has already been clarified that the subject of medical record documentation is highly important since the outcome of litigation and the promptness of reimbursement depend on the adequacy, legibility, completeness, timeliness and accuracy of medical records [7].

Aside from medical-legal considerations, the most important reason for physicians to maintain accurate, credible medical records is that good documentation protects patients. Medical records contain information required to inform physicians of past and present treatment decisions, and to provide evidence that such care was appropriate in all respects. Everyone who writes in the medical record must ensure that entries are legible. Unreadable entries in a medical record usually are a great problem (see illustration below – Fig. 1).

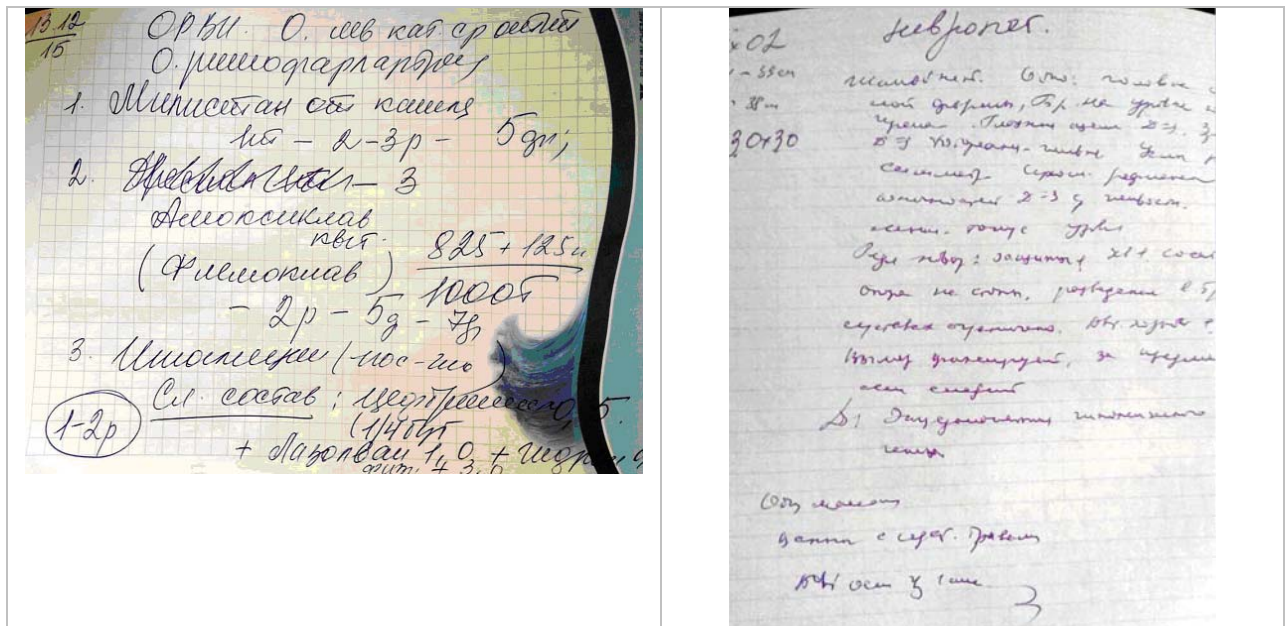


Fig. 1. The typical appearance of the common handmade modern (!) medical document

An increasing number of software programs and complete documentation systems are available for doctors who want to computerize their medical records [8]. When choosing an electronic medical record (EMR) system, doctors should first assess their practice management and documentation needs, and spend some time evaluating the EMR product and the company's stability. Computerized medical records should include the essentials of good documentation as outlined in this text [9]. Specifically, the EMR should offer (among other features): default fields that cannot be skipped (e.g., allergies, medications); reminders for health maintenance diagnostic testing; pop-up warnings about contraindicated medications due to allergies or prescribed drugs; safeguards against undetected alterations; an automatic backup system; and more.

We need to reach the widest possible audience – these are the widest possible layers of medical Doctors (Physicians), and we need to do this in the shortest possible time. And this, of course, is an ideal, but the author believes that is not only Idea. So, this is one of the reasons why the author offers his solution to a part of this really great Task.

Naturally, one must proceed from the realities of the present day. Anyone who tackles this problem in modern Ukraine will have to overcome a number of "standard" difficulties in such cases (the mental attitude of the part of medical personnel to the new – their fear and rejection, as well as low degree of their "technological" willingness to introduction of progressive methods of work, etc.), and also it is necessary to take into account a number of "purely Ukrainian" details. These features include the fact that both the Ukrainian secondary school curriculum and the university curriculum include studying of MS Office Suit, in particular, MS Word and MS Excel. And the fact is considered by author as a good starting point for realization so needed medical reforms at least through IT.

1. On "IT-fication" within the Ukrainian Health sector and the Roadmap of the work

Undoubtedly, Ukraine has to find its own practical solution to this problem, in particular in the medical sector, which is being reformed for optimizing and improving the quality of national medical services [10]. In fact, in March 2017, it was created the Ukrainian Project Office for Reforming within the Electronic Healthcare System

(*e-Health*) as the first real step in order to coordinate its real steps in implementation of the electronic document management system.

To obtain economic benefits from e-Health practice, of course, it is necessary to update radically both the structure and mechanisms of the regional and national health systems in order to implement the all of required changes that are inevitable due to the introduction of new information processing technologies into the national industry. Now the information space of the industry lives as a special principality, which usually solve their tasks autonomously: for the present network of laboratories, for medical centers, etc. In Ukraine, there must be created a *unified* information system – it must be modern in its functioning!

Surely, Ukraine is not the first country faced these problems – at least the great general problem (say, how to build up the *modern effective* national Health care system) and particular tasks (one of them is how to automate the specific medical certificate creation). But these tasks are real, urgent, and they must be resolved more quickly.

Since this problem is considered by author as massive and old, it is necessary and it is possible to solve it "from within". The author offers his own way of solving a similar problem, because the way seems to be simple, effective and realizable.

So, the present work is one of solutions for the automatic creation of medical records, and if to be more precise, it is about automatic generating of certain medical certificates according to the current requirements of the Ukrainian Ministry of Health using information from the patient's personal medical history¹ within the *e-Health* concept in Ukraine.

Since electronic databases of patients (DBP) and automation of the document circulation process in the Health care system are extremely necessary for all items of the list: doctors, patients, administrations of medical Institutions (*MI*s) and any State in general, then one can declare **the purpose of this work**: it is to develop an algorithm for the automatic formation of certain particular documents in digital form and implement this algorithm into program module, which allows to create automatically some specialized medical forms of the standard sample and to fill them with the necessary information from the electronic database (the DBP). Naturally, the created software product should be maximally adapted for current potential users in Ukraine.

The urgency of the work is that at present there is an extra need to organize and implement the turnover of electronic documents, in particular, in the medical field (corresponding to the tasks of medical reform in Ukraine).

The tasks to be solved:

- Formation of an *imitational database of patients (iDBP)* and their history of diseases with maximum realism – for proper testing of the created software product and for the demo version of the software application;
- Identification of the patient personal information by his ID (both the specific medical one or the state general one);
- Formation of a step-by-step request for obtaining a medical certificate for an identified person by a specified specimen in accordance with the requirements of the Ministry of Health of Ukraine;
- Automatic formation of specialized forms according to approved examples (as a separate file with a unique name, in a separate folder on a certain medium) and filling out the prepared form of the relevant information about a particular patient;
- Ensuring the convenience of storing information on certain patient and keeping it protected. Preparing a secure registry of already prepared and output medical documents one considers as a separate task.
- Preparing the automatically generated and completed documents to be printed.

The object of the study was electronic documents from the list of the regulatory framework of the Ministry of Health of Ukraine, namely, the accounting and reporting forms, the rules for their conduction, the definition of links between them and relevant contents.

The subject of the study was the creation and development of a system for the automatic formation of electronic medical documents in accordance with the official list of documents and requirements of the Ministry of Health of Ukraine, as well taking into account the requirements for the *e-Health* system.

The mentioned work is undoubtedly practical. The tasks were solved based on MS Excel spreadsheet processor and VBA programming languages. The choice of software is due to the fact that MS Excel is a powerful IT-tool and at the same time one of the most popular and well-known office applications, in addition, it is studied in high school and university. In this "duet" MS Excel is a database repository with patient data of a particular MI, and the author's software module is able to process the existing database and form a new file from very beginning.

In order to achieve the stated purpose of the work, the main sequential assignments were outlined:

- Formation of the model of the patients' DB which is close to the real one, taking into account the statistical reports of the Ministry of Health of Ukraine for the last three years concerning diseases of our citizens [11, 12];
- How to identify a patient as a person? Development of a method for identifying a patient in two ways: 1) by the traditional one, that is on the usual set of common attributes of a person (name, date of birth, address); 2) by the ID number of a patient, if it is provided;

¹ = a personal health record, or PHR

- Automatic generating the selected medical document according to a specific person's request with creation of a unique file name without user intervention in the process. This requires access to the current database information as well to the system clock for current date and time;
- Determining the ways to organize the storage and security of database information and medical documents that were generated by the program. Maintenance of the automatically protected register of already formed medical documents.

On the Technical Task of the work: developing a conceptual algorithm and the corresponding program modules (hereafter – the *Application*) which are capable to form and fill automatically certain medical documents of the established templates with data relatively to a specific patient. The author believes that taking into account the realities at this stage, it will be optimal to create a software product in the form of software modules for the MS Excel data processor.

On some Features of the developed Application. 1) The core of this software product is the special *Excel “master-file”*. 2) It was created the specific software module as a “standing apart” database simulator¹ for patients of a MI (a Physician/Doctor). When developing of the mentioned imitating database of patients, in order to create maximum realistic records, the following was done e:

- it has been studied some normative documents of the Ministry of Health of Ukraine that regulate the procedure for maintaining medical records as well as some reporting documents of the Ministry regarding the prevalence of infectious and non-infective diseases among the Ukrainian population over the last 3 years;
- it has been used statistical data on the current gender characteristics of the population of Ukraine.

Input data. For the created *Application*, the input data is the specific data from the patients' DB of a medical institution (a doctor) with the certain structure of records for each patient. This database has to contain some basic information about the MI (Doctor) and information about each patient of the institution: his name/surname, personal ID-number (if available), date of birth, address, history of illnesses and so on. For the trial version of the *Application*, the separate imitating module for patients' DB was created for 50 persons.

Output data: there are automatically generated forms of certain medical certificates of the established sample as a result of the work of program modules. The current version of the *Application* allows you to get up to 4 types of forms for a patient in the form of separate "particular" files, which are filled with relevant information from the DB of the MI (Doctor/Physician).

The diagram below (Fig. 2) shows the interaction of the primary data from the DBP and the author's *Application* itself (which nests in the *Excel-master-file*), and it results to the required *e-document* formation.

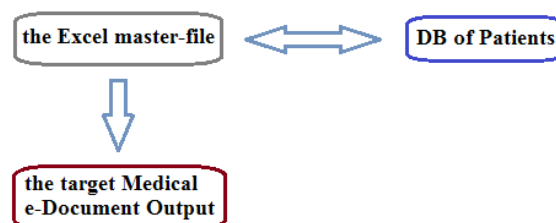


Fig. 2. The illustration which showing the required *e-document* forming

2. On the imitational Database of Patients (iDBP)

For the debugging of the software application and for its work demonstration the generator of the *imitational database of patients of the Medical Institution #XXX* was created, and the task of which is to create the imitating but the most realistic database of patients. If there is a need to radically update the patient database, then this database is instantly updated by a special software module at each run.

When this simulation database (iDBP) was under development, the purpose of its approximation to the maximum reality of records was pursued, and therefore the contents of the corresponding records of the database were carried out taking into account the current statistics of diseases of the Ukrainian citizens. In order to achieve that, an additional module (subroutine) was created by which the structure of the corresponding database is reproduced and then is filled in with the relevant information: the mentioned iDBP contains general personal data about any patient of the MI, including his parents data, infectious and non-infectious diseases, hobby and so on (Fig. 3), as it established by the Ukrainian MoH.

In general, this database is filled with proper data driven with a random number generator, which is programmed in accordance with the requirements outlined above. The algorithm for the generation of patient data also takes into account the frequency of registration of certain diseases in accordance with modern data on the incidence in Ukraine.

¹ for the demonstration version it is iDBP, and in real case it is the DBP of a certain medical institution.

Fig. 3. The general view of the main database (DBP) spreadsheet

That is, the main tasks for the imitational database named as "*The Patients of Polyclinic № XXX*" are:

- 1) the procedure of "self-testing" of all the files created by the software application – it is for domestic control;
- 2) comprehensive "external" testing, which is done when demonstrating the results of a software application.

3. On Personification of a Patient, or recognition of the person which data entered in the DBP

Since the unified database of Ukraine can be of more than 40 million people, therefore it is necessary to provide a procedure for unambiguous identification of the patient.

In this software product, there are two ways to identify any person as a Patient:

1. At the presence of an identification code (the governmental ID), which has an overwhelming number of people under the age of 14 years. This manner of identification one can call "via ID";
2. In the absence of the mentioned ID, the person is traditionally defined: by his surname, name, date of birth and his own address.

For the identification of the patient, one uses the special button at the start page that activates the main form of the application: it will offer two ways of a Patient identification (as it was described before) – the traditional one or by his ID number (see Fig. 4). In the case of identification of a patient by his surname, such records may be more than one because of surname coincidence, therefore the user (doctor) itself chooses from the list of found records by clarifying the information, for example, after the surname, taking into account names and patronymics, and even addresses that should be specified to complete the identification process.

In the future, necessary identification procedures of patients can be done by using barcodes or QR-codes. The software application is in principle designed to work together with the appropriate scanning devices.

Conclusion. The software application provides unambiguous identification of the patient in the presence of his ID number or by the traditional procedure, that is, according to the triad " $1^{st_name} \rightarrow 2^{nd_name} \rightarrow 3^{rd_name}$ " of a Patient with specification of additional personal information about the patient.

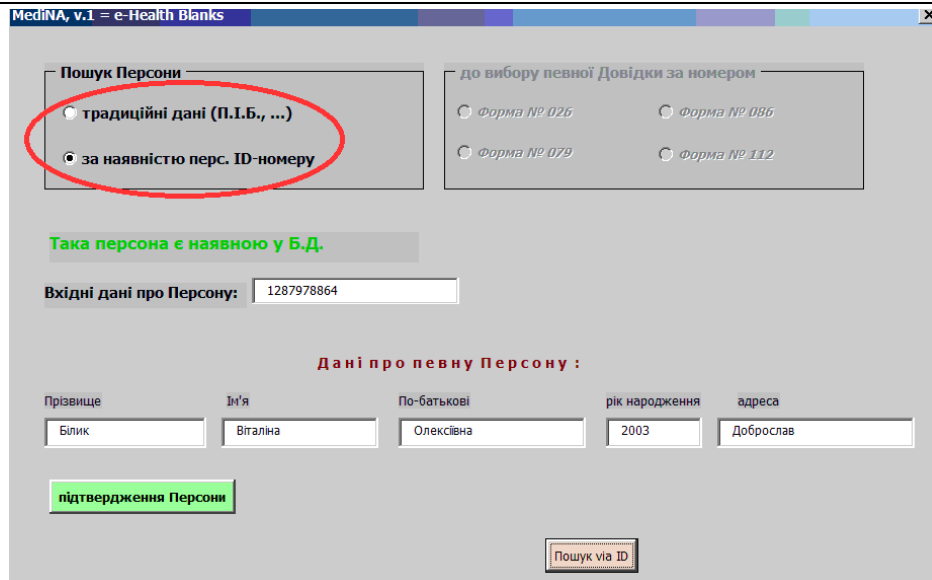


Fig. 4. On two ways of a Patient identification: the traditional one (via the triad “Surname+Name+PatronymicName”) or by his ID number

4. Automatic formation of the given medical e-document and its confidentiality

Reminder: currently the task is that after identification of a Patient the Application will be able to create and fill a special medical form from the list of the Ministry of Health of Ukraine.

Programming of this task faces some features: both the DB of patients and the forms of target medical documents are nested and processed in the table processor MS Excel. Surely, when developing the program, its own opportunities and its convenient features of this office software were used. The author is convinced that using MS Excel is an advantage for potential users, since the vast majority of Ukrainian PC users have experience working with this table processor, therefore, using of the presented software will not require special training for doctors.

МЕДИЧНА ДОКУМЕНТАЦІЯ				
Форма первинної облікової документації				
№ 026/о				
Найменування та місцезнаходження (повна поштова адреса) закладу охорони здоров'я, де заповнюється форма				
МЕДИЧНА КАРТА ДИТИНИ				
(для дошкільного та загальноосвітнього навчальних закладів)				
1. Клас, група (заповнюється щороку):				
5-Г	СПШ №19	2018	рік	
2. Прізвище, ім'я, по батькові дитини:				
Журавко	Ігор	Андрійович		
3. Дата народження, ***	***	2001 р.	4. Стать: чоловіча - 1; жіноча - 2	1
5. Місце проживання:		буд. №13, вул. № 25, Іванівка Іванівський, Одеська		
		телефон: *****		
6. Найменування закладу охорони здоров'я, що обслуговує:				
Поліклініка № XXX				
7. Відомості про батьків (законних представників):				
Батько: Журавко А.П.		Рік народження	телефон:	
Мати: Журавко М.А.		*****	****	
сімейний анамнез (захворювання):		*****	****	
I. ПОЗАШКІЛЬНІ ЗАНЯТТЯ:				
Спорт (так, ні, вид спорту)		ні		
Іноземна мова (так, ні)		ні		
Музика (так, ні)		ні		
Інші заняття:				
II. ПЕРЕНЕСЕНІ ХВОРОБИ:				
Дата		Дата		
Кір		Вірусний гепатит		
Кашлюк		Дизентерія		
Скарлатина		Черевний тиф		
Forma#026_Журавко ІА_2001/				

Fig. 5. The final look (a fragment) of the outgoing medical document as the product of the Application

After determining the appropriate form of the given medical document by the user, the program creates a certain file in a separate folder on the computer: the file gets its name which has the following structure: “S_N_b”, where “S_N”-fragment coincides with the both patient's surname and name, “b”-part of the file name is the year of the patient birth. The required information for the electronic medical document is automatically entered from the Patient's database – from the history of the certain patient's illnesses (according to the scheme shown in Fig. 2).

Besides, the operational data, such as the results of the last review, the results of urgent analyses, recommendations, etc. – a Doctor is able to enter any "fresh" data to the just created form on his own. Of course these "newborn" data are automatically duplicated in the DBP.

As for the date of the current document: all the dating components specified in the outgoing document – "day/month/year" – are placed in the document also automatically and correspond to the system date of the Doctor's computer. It allows to organize the information on outgoing documents which simplifies the control and accumulation of statistical information by medical doctors and the doctor in person.

Solving the problem of information security as well multilevel access to certain records of patient database (confidentiality of information) in this work were not prioritized and their solution in the program is envisaged in the near future. But for this version of the program, the author recommends the use of the security features of information provided by MS Excel, in particular the protection of the password of a database book file and/or electronic form file.

It should be noted that all of the above information components are taken by the Application from the patient database after the identification by a doctor of a particular patient and his confirmation that the collected information about the patient is relevant.

Finally, this medical form which automatically generated by the application program, has all the necessary attributes according to the requirements of the MoH, such as the name of the institution of the health care system, personal data of the patient, etc., and it is ready-to-print electronic document. So, both the appearance of the form and the format of data filling meet the current requirements. After that the form is ready to be transmitted electronically with the electronic signature of the Doctor/Physician (Fig. 5).

After its creating the requested form (*e*-document) can be printed, sent on demand, etc., that is to say, this the ready-to-use *e*-document one can run for document circulation using the available IT, such as the Internet and/or mail services.

Conclusion. The program generates a user-selected form/document as a separate Excel file with a specific name and at a specific location on the hard disk of the MI-computer or on any other media at the specified address.

Summary

The task of the research is fulfilled: the author developed a conceptual algorithm, and then a corresponding software application, which is able to create automatically certain medical documents of the established specimen with respect to the chosen patient. The current demo version of the software product (the Application) allows any Doctor to automate creation of ready-to-sign and ready-to-print *e*-documents accordingly to requirements of the Ministry of Health of Ukraine – namely the Form # 026 and the Form # 079, as well as fill them automatically with information of given patient from the patient's database, which is available for the physician after identification of the patient's person.

The software application provides unambiguous identification of the given patient in the presence of the ID number of the patient, as well when the patient's "common triad" (like *Surname+Name+PatronymicName*) is entered with further clarification of corresponding personal data. The software application generates a user-selected form of official *e*-documents as a separate Excel file with a unique filename. At this stage, the protection of data databases and forms is provided by the capabilities of MS Excel.

Since the created software application is a simple and convenient generator of medical forms of electronic reporting, after a minor updating this program will generate many other documents from the official list of reporting documents of Ukrainian MoH.

It has been foreseen that the mentioned Register of outgoing documents will be protected from destruction or some kinds of forgery (against distortion of information); this Application is able to protect certain information about patients by a password (according to the current legislation).

The practical use of the current software application and the related benefits of using:

- an automatic forming of certain *e*-documents upon the request of the authorized user, the appropriate forms of medical reports and/or the output documents of the medical institution (physician);
- this software application is maximally adapted to experience of the "usual" software (such as MS Office Suite) users, and it will not require the user to specially prepare or install any additional software;
- the use of this software application will provide an opportunity to minimize paperwork circulation in medical institutions;
- the use of this software application will significantly reduce the time that a doctor needs to prepare the relevant reports and documents, as well as reduce different mistakes and errors associated with the "human factor";
- the use of this software application will promote the implementation of the principle of medical ethics for the protection of specific patient's medical information.

A Note:

As a simplified ("the child") version of the mentioned application, the program "MediNA-1" was presented at the following intellectual competitions:

1) at the All-Ukrainian Championship Information Technology "Ecosoft-2018", the category "Programming" – the 3rd degree Diploma;

2) the XXII Belorussian (open) competition of students' research works (Minsk, 2018), the category "Computer Science" – the Encouraging Diploma (Fig. 6).

	
The Diploma of 3rd degree of the All-Ukrainian Championship Information Technology “Ecosoft-2018”, the category “Programming”, for the program “MediNA-1”; the Nominee is Cherevatyi Andrii – the student of 8-Am form (school #24, Odessa) (Kyiv, feb. '2018)	The Encouraging Diploma of the XXII Belorussian (open) competition of students' research works, the category “Computer Science”, for the program “MediNA-1”; the Nominees are: a student of 8-Am form (school #24, Odessa) and a student of 10-A form (school #49, Odessa) (Minsk, feb. '2018)

Fig. 6. The Diplomas (2018) for the program “MediNA-1”

Acknowledgments

I would like to thank my colleague and partner, Mrs. Natalia Yevtushenko, for her thoughtful comments and suggestions.

References

1. “The Regulatory documents of the Ministry of Health of Ukraine”, – the official portal of the Ministry of Health of Ukraine // available at: <http://mozdocs.kiev.ua/index.php>
2. “eHealth innovations in Western Europe: the digital transformation of various health services and vision for connected healthcare systems by 2020” / by “Frost & Sullivan”, the Growth Partnership Company, 13 June '2017 // available at: <https://medtechengine.com/article/ehealth-western-europe/>
3. del Hoyo-Barbolla E., Arredondo M.T., Ortega-Portillo M., Fernandez N., Villalba-Mora E. A new approach to model the adoption of e-health / Proceedings of the Electrotechnical Conference (MELECON), 2006 IEEE Mediterranean, Malaga, Spain, pp. 1209-1212.
4. Mettler T., Vimarlund V. Evaluation of E-Health Strategies: A Portfolio Approach / Proceedings of the 15th International Symposium on Health Information Management Research – ISHIMR 2011. – Zurich. – pp. 296-305.
5. Hillestad R. Can electronic medical record systems transform health care? Potential health benefits, savings, and costs / Health Affairs, 2005. – 24 (5). – pp. 1103-1117.
6. Handbook of eHealth Evaluation: An Evidence-based Approach, edited by F. Lau, C. Kuziemy, 2016. – University of Victoria, British Columbia, Canada. – 504 p.
7. Telemedicine: opportunities and developments in Member States: report on the second global survey on eHealth 2009. – © World Health Organization 2010, Global Observatory for eHealth series. – Vol. 2. – pp. 96.
8. Stead W.W., Hammond W.E., Computerized medical records, Journal of Medical Systems, June 1983, Vol. 7, Issue 3. – pp. 213–220.
9. Pogue D., Computerized Health Records, Oct. 15, 2009. The New York Times // available at: <https://www.nytimes.com/2009/10/15/technology/personaltech/15pogue-email.html>
10. “On the Reforming of the Health Care system in Ukraine” – the official portal of the Ministry of Health of Ukraine // available at: http://www.moz.gov.ua/ua/portal/ms_reform
11. Ukraine: WHO statistical profile // available at: <http://www.who.int/gho/countries/ukr.pdf>
12. Global Health Observatory country views. Ukraine statistics summary (2002 – present) // available at: <http://apps.who.int/gho/data/node.country.country-UKR>

Стаття прорецензована редакційною колегією

УДК 621.321.25

Б.Г. МЕХТИЕВА

Институт космических исследований природных ресурсов, Азербайджанское Национальное Аэрокосмическое Агентство

М.М. ГАДЖИЕВ

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ОПОРОЖНЕНИЯ КАСКАДА ШАМКИРСКОГО И ЕНИКЕНДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ

Статья посвящена гидрологическому моделированию каскада двух крупных водохранилищ Азербайджана: Шамкирского и Еникендского. Эти водохранилища находятся на реке Кура последовательно друг за другом и образуют каскад. Наиболее опасным является режим связанного опорожнения двух водохранилищ. Приводится орографическая схема и DEM-модели водохранилищ. На основе их анализа создана математическая модель режима опорожнения, решено дифференциальное уравнение модели.

Ключевые слова: моделирование, водохранилище, каскад, режим опорожнения.

B.G. MEHDIYEVA

Institute of Space Researches of Natural Resources, Baku, Azerbaijan Republic

M.M. HADZHIYEV

Odessa A.P. Popov National Academy of Telecommunications

MATH MODELING OF THE DISCHARGING REGIME OF THE SHAMKIR AND YENIKEND RESERVOIRS CASCADE

The article is devoted to the hydrological modelling of the cascade of two large water reservoirs of Azerbaijan: Shamkir and Yenikend. These reservoirs are located on the Kura river in succession one after another and form a cascade. The technical parameters of these reservoirs are given. Because of these reservoirs have been exploited during long time and to exclude the possibility of an ecological catastrophe, measures are required to simulate various situations and operating regimes of reservoirs. Among them, the most dangerous regime is the associated discharging of two reservoirs. The modelling of this regime is a more complicated process than the calculation of these two reservoir regimes separately. To simulate such situation, it is necessary to take into account the hydrographic network and the relief model of the study area, as well as the hydrological indicators of the usual condition of both reservoirs. On the basis of satellite images and topographic data using technologies of GIS, an orographic scheme of the area and reservoirs DEM-models were obtained. As input data were used the Landsat-8 satellite images of 2016-2017 years. For processing, the program module "Spatial Analyst", included in the software package ArcGIS, was used. In order to obtain an adequate model scheme, both reservoirs must first be examined separately. Then, taking into account the orographic features of the reservoirs, the scheme of the mathematical model is compiled. Only after this on the basis of this scheme a differential equation was compiled. The solution of the differential equation was obtained by integration. The solution shows the dependence of the mass of water accumulated in the second reservoir on the hydrological parameters of the entire cascade and orography of the region.

Key words: modelling, reservoir, cascade, discharging regime.

Введение. Учитывая географическое местоположение Азербайджана, роль водных ресурсов для экономики страны все более возрастает. Принимая во внимание перспективы развития орошаемого земледелия, водоснабжения населения, выработки электроэнергии и обеспечения потребностей промышленности и других отраслей, повышается значение интеграционного управления водными ресурсами.

Из-за долговременной эксплуатации Шамкирского, Еникендского, Мингечаурского, Варваринского и других водохранилищ государственного значения, играющих важную роль в обеспечении водной, продовольственной и энергетической безопасности страны, изучение имеющихся в этих гидроузлах проблем, а также прогнозирование возможных техногенных процессов всегда будут иметь актуальное значение. Для своевременного принятия опережающих мер, планирования мероприятий по поддержанию рабочего состояния гидротехнических сооружений очень важно моделирование всех возможных ситуаций, которые здесь могут иметь место.

Водохранилища могут эксплуатироваться в различных режимах. Среди них наибольший интерес представляет режим объемного опорожнения водохранилища. Этот режим – наиболее опасный для сооружения и берегов водоема или канала, где расположено водохранилище. Опасность вызвана тем фактом, что при быстром стоке из водохранилища запаздывает понижение уровня грунтовых вод. При этом со стороны грунтовых вод возникает избыточное давление на откосы, что может привести к их разрушению и возникновению оползней.

Моделирование связанного опорожнения двух водохранилищ, образующих каскад, является более сложным процессом. Для моделирования подобной ситуации необходимо принимать во внимание гидрографическую сеть и модель рельефа района исследования, а также показатели обычного состояния обоих водохранилищ.

Гидрографическая сеть исследуемой территории. В бассейне реки Куры имеется около 20 водохранилищ различного водоизмещения. Первое и второе из них, образовавшиеся в порожищем русле

Средней Куры, это Шамкирское и Еникендское водохранилища. Шамкирское водохранилище охватывает долину реки Куры в ее среднем течении, на территории Товузского и Шамкирского районов от устья Товузчая до устья Шамкирчая. Водохранилище помимо реки Куры питается водами Товузчая, Заямчая и Шамкирчая [1]. Еникендское водохранилище, построенное на 14 км ниже Шамкирского с целью выработки электроэнергии, пущено в эксплуатацию в 2000 году. Общий объем водохранилища 158 млн м³, а полезный объем 136 млн м³, площадь 78 км². Расположено на территории Самухского и Шамкирского районов. Нормальный подпорный уровень 104 м, а уровень мертвого объема 96,5 м, протяженность водохранилища 9 км, средняя ширина около 2,5 км. Для исследования режима опорожнения бассейна на основе гидрографических показателей использовались спутниковые изображения Landsat-8 2017 года, дано картографическое представление исследуемой территории (рис. 1).



Рис. 1. Спутниковое изображение каскада Шамкирского и Еникендского водохранилищ

Еникендское водохранилище питается водами Куры и Гошгарчай и имеет свойство суточного регулирования. Наличие Шамкирского водохранилища упорядочивает сильные колебания воды. В состав Еникендского гидроузла входят земляная дамба высотой 36 м и протяженностью по кромке 2100 м, водосброс для безопасного отвода воды при наводнении, ирригационная водоприемная установка и здание гидроэлектростанции с установленными 4-я горизонтальными гидроагрегатами мощностью 37,5 МВт каждый. Еникендская гидроэлектростанция с установленной мощностью 150 МВт, среднегодовой выработкой электроэнергии 300 млн кВт/час, наряду с обеспечением районов Республики электроэнергией, играет положительную роль в регулировании электрической мощности общей энергетической системы Азербайджана. Еникендский гидроузел создал возможности для улучшения водообеспечения 5 тыс. гектаров площадей, орошения 1500 гектаров новых земельных площадей.

Химический состав воды примерно такой же, как и в Шамкирском водохранилище. Замена и обновление водной массы происходит очень интенсивно. Загрязненные воды реки Гошгарчай ухудшают качество водной массы водохранилища. На водохранилище нет гидрологической точки, проводящей регулярные наблюдения [2].

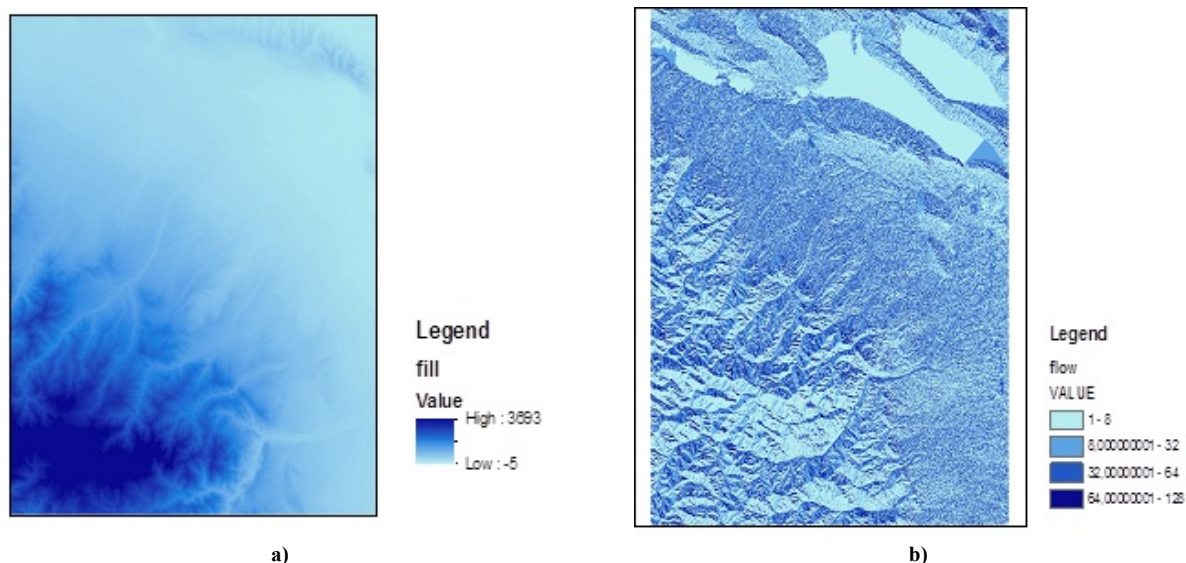


Рис. 2. а) Наполненность рек на территории размещения Шамкирского и Еникендского водохранилищ; б) карта направления течения.

Первичная обработка изображений. На основе космических изображений и топографических данных с использованием технологий географических информационных систем (ГИС) рассмотрен вопрос картографического представления территории размещения Шамкирского и Еникендского водохранилищ. Для анализа процесса использовался модуль «Spatial Analyst» программного обеспечения ArcGIS 10.2 [2]. В качестве первичных данных использовались общегеографическая карта Азербайджана масштаба 1:100 000, обновленные цифровые топографические карты и характеризующая элементы инфраструктуры информационная база. На основе данных дистанционного зондирования составлены карты наполненности и направления потока рек на территории размещения Шамкирского и Еникендского водохранилищ (рис. 2).

Спутниковые изображения Landsat-8 (август 2016 год и июнь 2017 года) геореференцированы, объединены, и после этого собраны и систематизированы в базе данных ArcGIS. На основе первичных данных построена цифровая модель рельефа (DEM модель) (рис. 3).

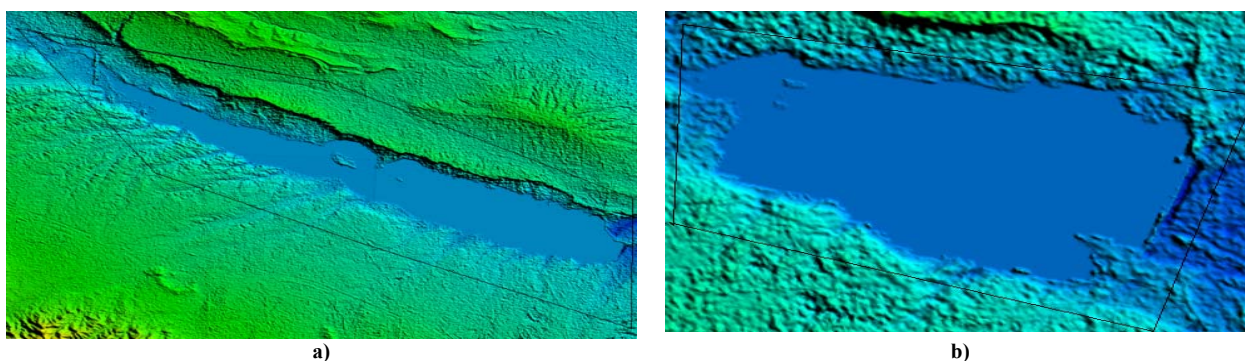


Рис. 3. а) DEM-модель Шамкирского водохранилища; б) DEM-модель Еникендского водохранилища

Математическая модель. Уже указывалось, что Шамкирское и Еникендское водохранилища расположены на различных высотах над уровнем моря. Из-за такого размещения они называются ступенчатыми (каскадными) водоемами. Для исследования гидрографических процессов на каскадных водохранилищах каждый водоем должен исследоваться в отдельности.

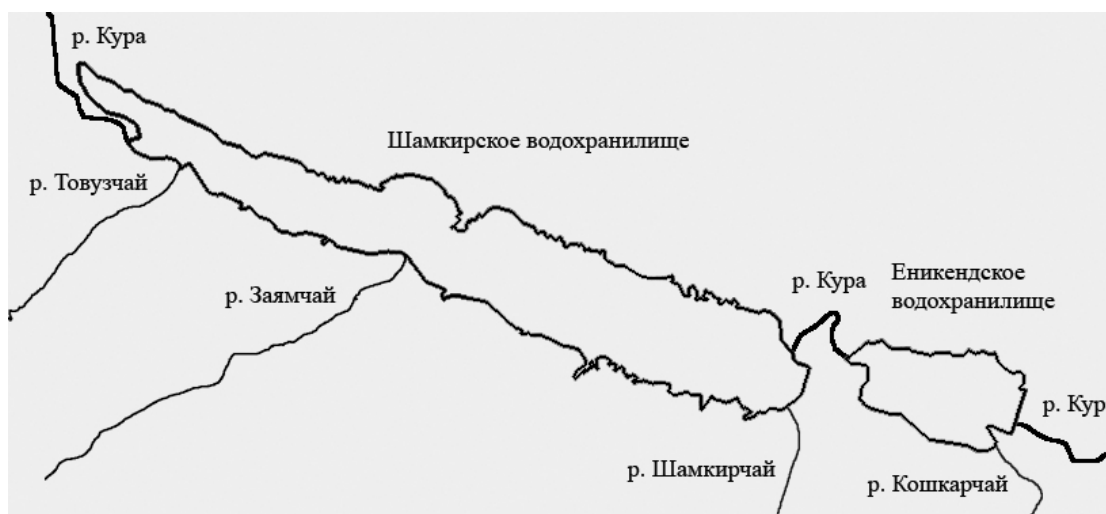


Рис. 4. Орографическая схема каскадных водохранилищ

С учетом орографических особенностей водохранилищ (рис. 4) принцип действия его математической модели может быть представлен схематически нижеследующим образом (рис. 5) [4].

Здесь w_1 и w_2 – водная масса, аккумулированная в водохранилищах, x, x_1, x_2, x_3, x_4 – водные массы, втекающие в водохранилища из рек Куры, Товузчая, Зайям, Шамкирчая и Гошгарчая соответственно, E_1 и E_2 – массы воды, вытекающие из водохранилищ с целью орошения, а y_1 и y_2 – массы воды, вытекающие из водохранилищ в единицу времени.

Как показано в [5], на основе схемы действия водохранилищ можем записать:

$$\frac{dw_2}{dt} = y_1 + x_4 - E_2 - y_2$$

Примем $y_2 = k_2 w_2$, тогда

$$\frac{dw_2}{dt} = y_1 + x_4 - E_2 - k_2 w_2 \quad (1)$$

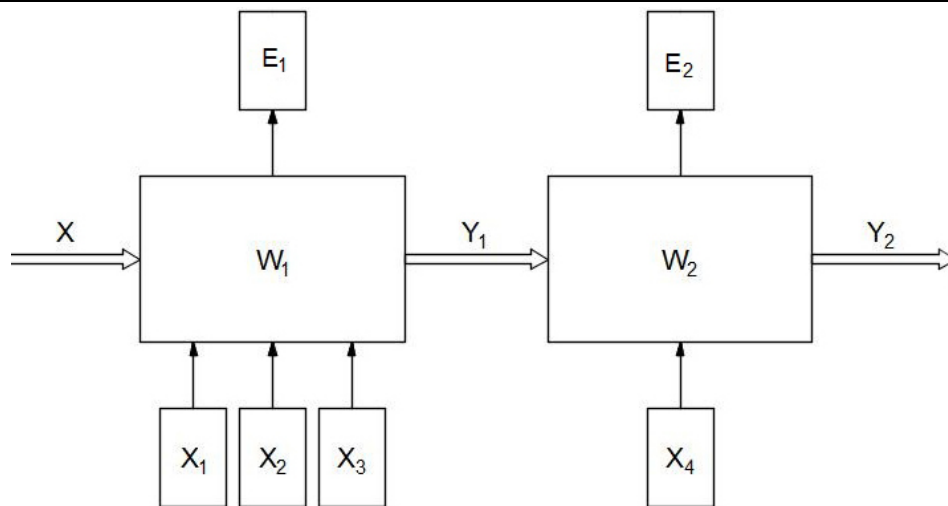


Рис. 5. Схема действия математической модели Шамкирского и Еникендского водохранилищ

Учитывая это, [5]

$$y_1 = x + \sum_{i=1}^3 x_i - E_1 + \left[w_0 k_1 - \left(x + \sum_{i=1}^3 x_i - E_1 \right) \right] e^{-k_1 t}$$

Укажем, что $x + \sum_{i=1}^3 x_i - E_1 = A$, тогда это выражение принимает такой вид:

$$y_1 = A + (w_0 k_1 - A) e^{-k_1 t}$$

В результате уравнение (1) будет следующим:

$$\frac{dw_2}{dt} = A + (w_0 k_1 - A) e^{-k_1 t} + x_4 - E_2 - k_2 w_2$$

Перенесем и сгруппируем члены, в результате получим следующее уравнение:

$$\frac{dw_2}{dt} + w_2 k_2 = A + x_4 - E_2 + (w_0 k_1 - A) e^{-k_1 t}$$

Полученное уравнение это линейное уравнение вида

$$\frac{dw_2}{dt} + p(t)w_2 = Q(t)$$

Его общее решение в виде $w_2 = v(t)\varphi(t) + Cv(t)$

Здесь $v(t) = e^{-k_2 t}$

$$\varphi(t) = \int \frac{Q(t)}{v(t)} dt \quad (2)$$

В рассматриваемом случае

$$Q(t) = A + x_4 - E_2 + (w_0 k_1 - A) e^{-k_1 t}$$

Учитывая (2)

$$\begin{aligned} \varphi(t) &= \int \frac{A + x_4 - E_2 + (w_0 k_1 - A) e^{-k_1 t}}{e^{-k_2 t}} dt = (A + x_4 - E_2) \int e^{k_2 t} dt + \\ &+ \int (w_0 k_1 - A) e^{k_2 t - k_1 t} dt = \frac{A + x_4 - E_2}{k_2} e^{k_2 t} + \frac{w_0 k_1 - A}{k_2 - k_1} e^{(k_2 - k_1)t} \end{aligned}$$

Таким образом $w_2 = e^{-k_2 t} \left[\frac{A + x_4 - E_2}{k_2} e^{k_2 t} + \frac{w_0 k_1 - A}{k_2 - k_1} e^{(k_2 - k_1)t} + C \right]$

Для нахождения постоянной C используем условия $t = t_0$, $w_0 = w_{t_0}$.

$$w_{t_0} = e^{-k_2 t_0} \left[\frac{A + x_4 - E_2}{k_2} e^{k_2 t_0} + \frac{w_0 k_1 - A}{k_2 - k_1} e^{(k_2 - k_1) t_0} + C \right]$$

$$C = w_{t_0} e^{k_2 t_0} - \left[\frac{A + x_4 - E_2}{k_2} e^{k_2 t_0} + \frac{w_0 k_1 - A}{k_2 - k_1} \right]$$

Так как Шамкирское и Еникендское водохранилища расположены ступенчато, значение w_{t_0} находится из величины $t_0 = t_0$ выходной функции Шамкирского водохранилища y_1 .

Подставив значение C , получим общее решение в следующем виде:

$$w_2 = e^{-k_2 t} \left[\frac{A + x_4 - E_2}{k_2} e^{k_2 t} + \frac{w_0 k_1 - A}{k_2 - k_1} e^{(k_2 - k_1) t} + w_{t_0} e^{k_2 t_0} - \left(\frac{A + x_4 - E_2}{k_2} e^{k_2 t_0} + \frac{w_0 k_1 - A}{k_2 - k_1} \right) e^{(k_2 - k_1) t_0} \right]$$

Для определения режима связанного опорожнения Шамкирского и Еникендского каскадных водохранилищ функцию w_2 получим в следующем виде:

$$w_2 = e^{k_2 t} \left[w_{t_0} e^{k_2 t_0} + \frac{A + x_4 - E_2}{k_2} (e^{k_2 t} - e^{k_2 t_0}) + \frac{w_0 k_1 - A}{k_2 - k_1} (e^{(k_2 - k_1) t} - e^{(k_2 - k_1) t_0}) \right]$$

Результаты. Для исследования режима опорожнения каскадных водохранилищ были использованы спутниковые изображения Landsat-8 за 2016-2017 года, дано картографическое представление исследуемой территории, построена математическая модель гидрологического режима Шамкирского и Еникендского водохранилищ, решена полученная система дифференциальных уравнений.

Литература

1. M.A. Hübətəliyev, B.Q. Mehdiyeva, C.Q. Daryabarıcavad. Şəmkir su anbarının həcmi boşalma rejiminin modelləşdirilməsində kosmik verilənlərdən istifadə // AMAKA-nın Xəbərləri. – 2017. – Cild 20, № 4 (20). – s. 57–63.
2. V. Məmmədov. Kür hövzəsinin su anbarları. (Araz çayı hövzəsi istisna olmaqla). – Elmi red. İ. Mustafayev // “Rüzgar” Ekoloji cəmiyyəti. – 2003. – 65 s.
3. Мехтиева Б.Г. Метод геоматематического моделирования, прогнозирования и оценки селевых потоков / Б.Г. Мехтиева // Геология, география и глобальная энергия. – Астрахань, 2010. – № 1 (36). – С. 29–36.
4. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. Опыт критического анализа / Ю.Б. Виноградов // Гидрометеоздат. – Л., 1988. – 141 с.
5. Мехтиева Б.Г. Моделирование процесса сброса Шамкирского водохранилища / Б.Г. Мехтиева // Measuring and computing devices in technological processes. – Khmelnytsky. – 2017. – № 4. – С. 92–97.

References

1. M.A. Hübətəliyev, B.Q. Mehdiyeva, C.Q. Daryabarıcavad. Şəmkir su anbarının həcmi boşalma rejiminin modelləşdirilməsində kosmik verilənlərdən istifadə // AMAKA-nın Xəbərləri. – 2017. – Cild 20, № 4 (20). – s. 57–63.
2. V. Məmmədov. Kür hövzəsinin su anbarları. (Araz çayı hövzəsi istisna olmaqla). – Elmi red. İ. Mustafayev // “Rüzgar” Ekoloji cəmiyyəti. – 2003. – s. 65.
3. B.G. Mekhtiyeva. Metod geomatematicheskogo modelirovaniya, prognozirovaniya i otsenki selevikh potokov // Geologiya, geografiya i globalnaya energiya. – Astrakhan, 2010. – № 1 (36). – s. 29–36.
4. Yu.B. Vinogradov. Matematicheskoye modelirovaniye processov formirovaniya stoka. Opit kriticheskogo analiza // Gidrometeoizdat. – L. – 1988. – s. 141.
5. B.G. Mekhtiyeva. Modelirovaniye processa sbrosa Shamkirskogo vodokhranilishcha. // Measuring and computing devices in technological processes. – Khmelnytsky. – 2017. – № 4. – S. 92–97.

Стаття прорецензована редакційною колегією

В.М. ПАЗЮК

Інститут технічної теплофізики НАН України

О.О. РУБАНЕНКО

Вінницький національний аграрний університет

В.М. ВИШНЕВСЬКИЙ

Науково-виробниче підприємство «Торенерго»

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУШІННЯ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ

В статті наведені дослідження з енергоефективного сушіння насіння ріпаку із застосуванням теплових насосів. Проаналізовано ефективність технологій сушіння насіння зернових культур: сушіння на традиційних видах палива, активне вентилявання, застосування енергозберігаючих технологій сушіння, сушіння з застосуванням теплових насосів. Зокрема, наведено переваги і недоліки кожної технології та наведено витрати теплоти. В роботі представлено будову і принцип роботи експериментальної теплонасосної зерносушарки.

Ключові слова: енергоефективність, сушіння, тепловий насос, теплонасосна зерносушарка.

V.M. PAZUK

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

O.O. RUBANENKO

Vinnytsia National Agrarian University

V.M. VISHNEVSKY

Research and Production Enterprise «Torenergo»

ENHANCEMENT OF ENERGY EFFICIENCY OF DRYING THE SEEDING OF GRAIN CULTURE BY USE OF HEAT PUMPS

The article is devoted to research on energy-efficient drying of rapeseed seeds using heat pumps. The efficiency of technologies of drying of seeds of grain crops has been analyzed: drying on traditional types of fuel, active ventilation, application of energy saving technologies of drying, drying with the use of heat pumps. In particular, the advantages and disadvantages of each technology are given and the costs of heat are given. The paper presents the structure and operation principle of the experimental heat pump grain dryer. The work of drying plants working with a heat pump on the waste heat carrier is as follows. The high costs of grain drying process (more than 5000 kJ / kg of moisture) and the development of the agrarian market in Ukraine require the development of modern technologies that allow to significantly reduce energy costs, therefore the purpose of the study is to improve the structure of experimental convective heat pump powder dryer, which will allow to reduce expenses of thermal energy in the process of drying process. For the effective operation of the heat pump installation, it is necessary to have a low-potential heat source. The use of heat pumps is quite extensive, they can use not only the heat of the environment, the heat of the exhaust gases and the coolant, but also alternative sources of energy, can combine the processes of heating, drying and cooling. The wet waste heat carrier is cooled in the evaporator of the heat pump to the dew point and is drained due to moisture condensation, then heated in a condenser and fed into the material. The process can be repeated repeatedly. The advantage of heat pump plants is to consume a relatively small amount of electricity in comparison with the received thermal energy. The heat pump produces 3 to 4 kW of thermal energy per kWh of consumed electricity. Research on the application of heat pumps in the processes of drying seeds of cereals, in particular wheat, barley and oats, showed a decrease in the energy costs of the process and a high similarity of the seeds.

Key words: energy efficiency, drying, heat pump, heat pump drying dryer.

Вступ

Використання відновлюваних джерел енергії набуває широкого розвитку в світі та в Україні, хоча темпи в нашій країні суттєво нижчі. Одним із напрямів розвитку альтернативних джерел енергії є використання теплової енергії довкілля (води, ґрунту, повітря), за допомогою теплонасосних установок (ТНУ).

Теплові насоси переводять енергію низькопотенціальних джерел у придатну для використання теплову енергію. Економічна доцільність використання ТНУ підтверджена світовим досвідом. Вже сьогодні у розвинутих країнах ТНУ широко використовуються для систем опалення та кондиціювання (США, Канаді, Швеції, Швейцарії, Німеччині, Австрії та ін.), для чого налагоджено промисловий випуск ТНУ у досить широких масштабах (США – 1 млн ТНУ щороку, у Японії – 3 млн) [1].

Мета і задачі роботи

Високі витрати на процес сушіння зернових матеріалів (більше 5000 кДж/кг вип. вологи), а також розвиток аграрного ринку в Україні вимагає розробки сучасних технологій, що дозволяють суттєво зменшити енергетичні витрати, тому метою дослідження є вдосконалення будови експериментальної конвективно-теплонасосної зерносушарки, що дозволить зменшити витрати теплової енергії при виконанні технологічного процесу сушіння.

Аналіз попередніх досліджень

На основі аналізу літературних джерел та результатів проведених експериментальних досліджень із питомих витрат на процес сушіння, зрозуміло, що впровадження ТНУ значно знижує енергетичні втрати, які становлять 3000 – 3800 кДж/кг, та залежать від схеми теплового насосу, виду зернового матеріалу та ін. факторів (табл. 1).

Для ефективної роботи ТНУ необхідно мати низькопотенційне джерело теплоти, що є їх беззаперечною перевагою. Використання теплових насосів досить широке, вони можуть використовувати не тільки теплоту навколишнього середовища, теплоту відпрацьованих газів та теплоносія, але і альтернативні джерела енергії, можуть поєднувати процеси нагрівання, сушіння та охолодження.

Таблиця 1

Ефективність технологій сушіння насіння зернових культур

№	Технологія	Витрати теплоти, кДж/кг	Переваги	Недоліки
1	Сушіння на традиційних видах палива	5000–11000	Високе знімання вологи, не потребує додаткового обладнання	Великі енергетичні витрати, зниження якості при порушенні технології
2	Активне вентилування	2500–3000	Енергозбереження, висока якість насіння	Тривалість процесу, невелике знімання вологи
3	Застосування енергозберігаючих технологій сушіння	3244–4800	Енергозбереження, висока якість продукції	Потрібні додаткові капітальні вкладення та введення нового обладнання
4	Сушіння із застосування теплових насосів (власні дослідження) [2]	3000–3800	Низькі енергетичні витрати, висока якість насіння, зниження собівартості	Недостатньо вивчено і потребує конструкторських розробок

Принцип роботи сушильних установок, що працюють з тепловим насосом на відпрацьованому теплоносії

Робота сушильних установок, що працюють з тепловим насосом на відпрацьованому теплоносії, відбувається наступним чином. Вологий відпрацьований теплоносієм охолоджується у випарнику теплового насоса до точки роси і осушується внаслідок конденсації вологи, потім нагрівається в конденсаторі і подається в матеріал для сушіння. Процес може багатократно повторюватись.

Перевага ТНУ полягає в споживанні малої кількості електроенергії в порівнянні з отриманою тепловою енергією. Тепловий насос виробляє 3–4 кВт теплової енергії на 1 кВт*год спожитої електроенергії, яка переважно використовується компресорною установкою ТНУ.

Дослідження із застосування теплових насосів в процесах сушіння насіння зернових культур, зокрема пшениці, ячменю та вівса, засвідчили зменшення енергетичних витрат на процес та високу схожість насіння.

Будова і принцип роботи експериментальної теплонасосної зерносушарки

Експериментальна теплонасосна зерносушарка складається з наступних частин (рис. 1): теплонасосного агрегату 1, зернової шахти 5 і приладів контролю-вимірювальних та систем автоматики: регулятора швидкості 6, лічильника електроенергії 7, терезів 8 з цифровим табло 11.



Рис. 1. Експериментальна конвективно-теплонасосна зерносушарка:
1 – теплонасосний агрегат з щитом керування; 2 – терморегулятор; 3 – автотрансформатор;
4 – блок нагрівачів; 5 – лічильник електроенергії; 6 – сушильна шахта; 7 – терези

За основу дослідження був взятий теплонасосний агрегат та зерносушильна шахта із завантаженням 25–40 кг по вологому зерну.

Методика проведення досліджень на конвективно-теплонасосній зерносушарці

1. Проведення досліду починається з вмикання вентилятора конвективно-теплонасосної зерносушарки та комп'ютерної система збору та обробки інформації (на рисунку не вказано).

2. Потім вмикається блок нагрівачів і за допомогою автотрансформатора регулюється необхідний температурний режим в сушильній камері зерносушарки.

3. Після встановлення в установці режиму сушіння засипаємо партію зернового матеріалу в сушильну шахту і проводимо сушіння до кінцевої вологості. При цьому реєструємо час проходження досліджу, температуру теплоносія, температуру на поверхні та в середині шару матеріалу, зміну маси сушильної камери із зерном. А також за допомогою лічильника електроенергії фіксуємо витрати електричної енергії та переводимо їх витрати в теплоту на кг випареної води.

4. З партії отриманого висушеного зернового матеріалу відбираємо дві проби:

4.1. Перша проба йде на визначення насіннєвих властивостей матеріалу.

4.2. Друга – визначає кінцеву вологість матеріалу.

5. Після визначення абсолютно сухої маси зразка розраховуємо і будуємо криві сушіння та швидкості сушіння насіння: $W = f(\tau)$, $dW/d\tau = f(W)$, а також зміну температури шару зерна під час сушіння.

Дослідження енергоефективності процесу сушіння в ТНУ проводилося на насінні ріпаку. Результати досліджень представлені на рис. 2.

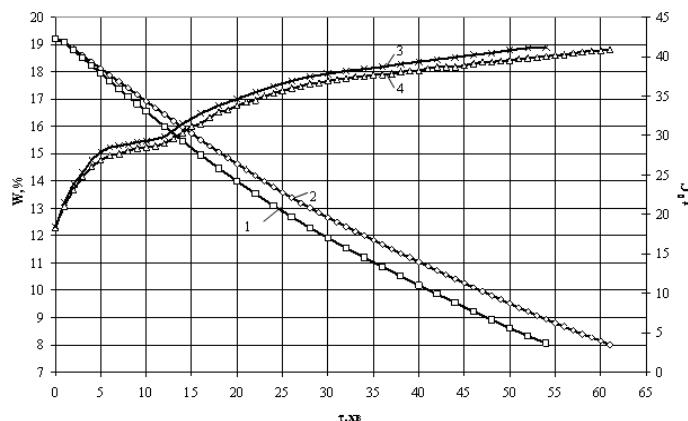


Рис. 2. Кінетика процесу та температурні криві сушіння насіння ріпаку з:
1 – тепловим насосом ($d = 6$ г/кг с. п.); 2 – електронагрівом ($d = 10$ г/кг с. п.).
 $t = 50^\circ\text{C}$, $V = 1,2$ м/с, $W_n = 19,2\%$, $\delta = 20$ мм

Визначення кінетики процесу сушіння насіння ріпаку проводилась в зерносушильній шахті з відстанню між коробами 20 мм при температурі теплоносія 50°C з швидкістю руху 1,2 м/с.

Зменшення вологовмісту теплоносія в тепловому насосі прискорює процес сушіння насіння ріпаку на 11%. Кінцева температура теплоносія в шарі ріпаку в теплонасосній зерносушарці при вологості зерна 8% складає $40,9^\circ\text{C}$, з електричним нагріванням – $41,2^\circ\text{C}$.

Питомі витрати теплоти в ТНУ в енергоефективних режимах сушіння складають 3675–3700 кДж/кг вип. води, що в 4 рази менше за нагрівання теплоносія в калорифері.

Схожість насіння ріпаку відповідає початковій схожості насіннєвого матеріалу і складає 100%.

Висновки

1. Тривалість процесу під час сушіння з тепловим насосом зменшується на 13%, кінцева температура нагрівання насіння в тепловому насосі складає $40,9^\circ\text{C}$, що найкраще впливає на схожість насіння.

2. Експериментальні дослідження показали, що використання теплових насосів створює умови для зменшення втрат теплоти на 30–40% в діючих зерносушарках, і в 4 рази в сушарках з електричним нагріванням.

Література

1. Снежкін Ю. Ф. Теплові насоси в системах теплохолодопостачання / Ю. Ф. Снежкін, Д. М. Чалаєв, В. С. Шаврин, Н. О. Дабіжа; під ред. академіка НАН України А. А. Долінського; НАН України, Ін-т техн. теплофізики. – Київ: «Поліграф-Сервіс», 2009. – 104 с.

2. Снежкін Ю.Ф. Теплонасосна зерносушарка для насіннєвого зерна / Ю.Ф. Снежкін, В.М. Пазюк, Ж.О. Петрова, Д.М. Чалаєв. – К.: Поліграф-Сервіс, 2012. – 154 с.

References

1. Sniezhkin Yu. F. Teplovi nasosy v systemakh teplokhodopostachannia / Yu. F. Sniezhkin, D. M. Chalaiev, V. S. Shavryn, N. O. Dabizha; pid red. akademika NAN Ukrainy A. A. Dolinskoho; NAN Ukrainy, In-t tekhn. teplofizyky. – Kyiv: «Polihraf-Servis», 2009. – 104 s.

2. Sniezhkin Yu.F. Teplonasosna zernosusharka dlia nasinnievoho zerna / Yu.F. Sniezhkin, V.M. Paziuk, Zh.O. Petrova, D.M..Chalaiev. – K.: Polihraf-Servis, 2012. – 154 s.

Рецензія/Peer review : 24.04.2018 р.

Надрукована/Printed :05.07.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

МАТЕМАТИКА В ФИЗИКЕ

В настоящей статье рассмотрены особенности использования математики в физике. Существуют математические понятия, которые воспринимаются исследователем, как само собой разумеющееся, однако их отображение на природу вызывает множество вопросов. К ним, в частности, относятся такие понятия как материальные: точка, линия и плоскость, мгновение и бесконечность. На оси распределения материи по объемам в трехмерном пространстве, определены ограничительные пределы существования вещества, которые обоснованы разрешающей способностью вещественных приборов. Они же послужили в статье отправной строкой в раскрытии таких понятий, как материальные: точка, линия и плоскость в физике, а также, что такое мгновение, в течение которого в природе распространяется потенциал напряженности поля. Раскрыта сущность бесконечности в существовании вещества. Исходя из разрешающей способности вещественных приборов, решена проблема Генриха Ольберса о яркости светимости небесного пространства. Основываясь на том, что, с уменьшением частоты фотона растет и энергетическое его содержание, в противовес обратному суждению, по ошибке, Планка, показано, что Вселенная не расширяется. Показано, также, что феноменологический способ познания природы, по существу, является, ничем иным, как методом «черного ящика». Из чего следует, что любая абстрактная математическая модель (функция), обнаруженная этим методом, не может быть, окончательно, адекватной природе. Она только, частично, по воздействию на исследуемую материальную область и по полученной реакции, довольно приближенно, может отображать ее. Отмечается, что использование в качестве абстрактной модели (математической функции), более адекватно природе отображают те функции, переменными в которых выступают материальные (физические) величины, но не величины отражающие время и пространство. Приведены примеры, подтверждающие этот вывод.

Ключевые слова: материальные точка, линия, плоскость, мгновение, бесконечность, расширяющаяся Вселенная, метод «черного ящика»

V.A. VYSHINSKIY

V.M.Glushkov Institute of cybernetics of National academy of Science of Ukraine

MATHEMATICS IN PHYSICS

In this paper, we consider the features of using mathematics in physics. There are mathematical concepts that are perceived by the researcher as a matter of course, but their mapping to nature raises many questions. These include, in particular, such concepts as material: point, line and plane, instant and infinity. On the axis of the distribution of matter by volume in three-dimensional space, the limiting limits of the existence of matter are determined, which are justified by the resolving power of material devices. They also served in the article as a starting line in the disclosure of such concepts as material: a point, a line and a plane in physics, and also that such an instant during which the potential of field intensity propagates in nature. The essence of infinity in the existence of matter is revealed. Proceeding from the resolving power of real instruments, the problem of Heinrich Olbers on the brightness of the luminosity of the heavenly space was solved. Based on the fact that, as the photon frequency decreases, its energy content also increases, contrary to the opposite judgment, by mistake, Planck, it is shown that the universe does not expand. It is also shown that the phenomenological way of cognizing nature, in essence, is nothing more than a method of a "black box". From which it follows that any abstract mathematical model (function), discovered by this method, can not be, finally, adequate to nature. It is only, in part, in terms of the effect on the material area under investigation and, according to the received reaction, rather approximately, can display it. It is noted that the use as an abstract model (mathematical function), more appropriate to nature, reflects those functions whose variables are material (physical) quantities, but not quantities that reflect time and space. Examples are given to support this conclusion.

Keywords: material point, line, plane, instant, infinity, expanding universe, black box method

1. Введение

В настоящих исследованиях мы строго придерживаемся аксиоматического метода, использующего систему постулатов, которая является следствием решения шестой проблемы Д. Гильберта [1]. В ней имеется постулат, предусматривающий познание природы, на основе принципа гносеологии – это когда «Материя непознаваема в конкретном участке пространства в фиксированное время, а в пределе последовательности различных моделей ее представления – познаваема» (Закон познания). Следуя этому постулату, человечество в процессе изучения окружающей среды создает различные абстрактные модели, которые, если они адекватны природе, могут быть реализованы в виде полезных для него технологий. Как правило, эти модели отражают либо математические, либо физические абстракции.

Множество математических абстракций значительно шире, нежели физических, поскольку оно является результатом фантазий человека, которые не обязательно регламентируются информацией об окружающей среде, что не присуще множеству физических абстракций. То есть, между двумя этими множествами нет взаимно однозначного (изоморфного) отображения. Учитывая богатый опыт в изобретении математических конструкций, можно утверждать, что любые абстрактные физические модели могут найти себе математический прообраз, но не наоборот, т.е. между множеством физических абстракций и множеством математических существует только мономорфизм. Аналогичное отображение (мономорфизм) имеет место и между множеством естественных систем, которые нам предоставляет природа, и физическими моделями, изобретенными человеком. В конечном итоге, следуя транзитивному отношению между рассматриваемыми множествами, приходим к утверждению, что между множеством всевозможных

математических абстракций и множеством материальных (природных) образований, с которыми сталкивается человек, явление изоморфизма отсутствует. Имеет место только мономорфизм, это, когда материальная структура окружающей среды может «себе найти» математическое описание, но не наоборот, любая изобретенная математическая абстракция, не обязательно должна иметь в природе свой прообраз.

Именно эта особенность математического мышления, его взаимосвязь между множеством абстрактных конструкций и множеством разнообразий распределения материи, накладывает свой отпечаток на процесс познания природы. Непонимание ее породило в физических исследованиях синдром Пигмалиона, отображающий в себе, подобие трогательной истории кипрского скульптора с Галатеей из греческой мифологии. Это, когда математик, работающий в физике, ставит в соответствие, придуманной им «ну очень красивой» формуле, модель распределения материи в пространстве и во времени. Ему кажется, что она лучшим образом описывает изучаемую материальную среду. Однако, как выясняется, такая формула «ну очень далека» от природы. Одним из оправданий поведения математика в этом случае есть распространенное, не без оснований, суждение о том, что природа описывается очень красивыми (изящными) математическими абстракциями (формулами). Приведенный выше синдром Пигмалиона часто наносит непоправимый ущерб научным исследованиям, особенно, если он проявляется у авторитетных ученых, разрекламированное доверие к которому безгранично – Нобелевский лауреат, академик, доктор наук и т.п. В настоящей работе, с учетом отмеченной выше взаимосвязи математики и физики, рассмотрим некоторые особенности корректного использования математического аппарата в естественнонаучных исследованиях.

2. Материальная точка, линия и плоскость, а также мгновение и бесконечность в природе

В математике не возникают «неудобства», связанные с такими понятиями, как точка, линия, плоскость. Имеется в виду учет их пространственных размеров, т.е. для точки – ее объем, для линии и плоскости – их толщины. Аналогичная ситуация имеет место и для точки на одномерной оси времени. Не вызывают трудности в математических рассуждениях и такие понятия, как бесконечно малые и бесконечно большие величины. То есть при формировании множества математических абстракций эти понятия вполне укладываются в ограничения мыслительных возможностей человека.

Несколько иная ситуация складывается, при исследованиях в естествознании. Здесь приходится сталкиваться с теми же понятиями, но, только, «наполненными» материальным содержанием, и тогда возникают такие вопросы, как, что такое материальная точка, материальные линии и плоскость, материальные бесконечности во времени и пространстве, а также мгновение – точка на оси времени. Иными словами, эти понятия «заземлены», т.е. имеют реальные пространственно-временные размеры.

Отмеченное различие в создаваемых моделях в математике и в естествознании вызывает известные неудобства при познании природы, когда требуется выполнить отображение результатов математических построений (соответствующих абстрактных моделей), так необходимых для эффективного процесса познания, на исследуемую локальную материальную среду. Таким образом, в естествознании стоит извечная проблема понимания того, что, из себя, представляют материальная точка, материальные линии и плоскости, мгновение и бесконечности в материальном мире. Попытаемся ее разрешить.

Известно, что процесс познания нуждается в экспериментальной проверке полученных результатов, которая, на современном этапе развития, обеспечивается приборами, выполненными из вещества, т.е. складывается ситуация, когда приходится вещество – измерять веществом. Оказалось, что в этом случае приборы имеют свои ограниченные разрешающие способности. А именно, в [2] показано, что в процессе измельчения вещества появляется такая его материальная частица, регистрация которой с помощью вещественных приборов уже невозможна. Именно ее мы относим к сгустку материальной субстанции, из множества которых в природе сформирован вакуум. Таким образом, напрашивается естественный вывод, согласно которому вакуум, как материальная среда, с помощью вещественных приборов (живых и не живых) не регистрируема, т.е. не видна.

Природа устроена таким образом, что в ней материя, сосредоточенная в вакууме, при определенных условиях, переходит в свою вещественную форму. Иными словами, происходит качественный скачок в существовании материи, т.е., когда в результате этого перехода, появившиеся материальные структуры приобретают принципиально новые, уже, вещественные свойства, отражающие взаимодействия, только, между ними, а не вообще между материальными сгустками. Эти взаимодействия обусловлены явлениями присущими электрическим, магнитным и гравитационным полям, а также кинетике вещества, а что касается более измельченной материи, находящейся на уровне субвакуума [3], то для нее известные полевые взаимодействия не проявляются. Ведь они возникают только над появившимися материальными структурами, которые в нашем лексиконе отнесены к вещественным структурам. Еще раз подчеркнем, что отмеченные взаимодействия имеют место, только, в вещественной форме материи, и являются, как бы, ее «визитной карточкой». Такими вещественными структурами являются материальные точки, линии и плоскости, и при определенных условиях они способствуют появлению элементарных частиц, из которых природа создает вещество. Сформулируем следующие определения.

Определение 1

Куб трехмерного пространства, материальное содержимое в котором регистрируемо вещественными приборами, а любая его составная часть не регистрируемая, является материальной точкой в вещественной форме существования материи.

Определение 2

Под материальной линией в вещественной форме существования материи следует понимать заполненный материальной субстанцией объем в трехмерном пространстве, измерение которого с помощью вещественных приборов возможно только вдоль одной координаты. Что относится к двум остальным координатам, то разрешающие способности указанных приборов не позволяют этого осуществить.

В качестве примера существования материальной линии в природе рассматриваются силовые линии поля по Фарадею, а также луч, вдоль которого движется фотон [4].

Определение 3

Под материальной плоскостью в вещественной форме существования материи следует понимать заполненный материальной субстанцией объем в трехмерном пространстве, измерение которого с помощью вещественных приборов доступно только вдоль двух координат. Что относится к третьей координате, то разрешающие способности указанных приборов не позволяют этого осуществить.

Примером такой материальной плоскости является пластина вакуума, в которой движутся так называемые когерентные лучи (фотоны).

Отмеченная в приведенных выше определениях особенность измерений проявляется не только при регистрации материи в трехмерном пространстве, но и в том случае, когда приходится фиксировать интервалы времени в природных явлениях, которые вещественными приборами, тоже, уже не обнаруживаются. Оказалось, что именно за такой интервал времени передается потенциал напряженности поля (электрического, магнитного и гравитационного). В этом месте изложения заметим, что этот наш вывод также следует из экспериментов, которые утверждают, что передача напряженности потенциала гравитации существенно превышает скорость света – по Лапласу в 10^7 раз, а по предположениям современных экспериментаторов – в 10^{11} раз. По-видимому, такая оценка высокой скорости передачи потенциала уже связана с отмеченными выше трудностями ее регистрации современными вещественными приборами. Таким образом, на переходе материи из вакуума в ее вещественное существование появляется точка на оси времени.

Определение 4

Нерегистрируемый вещественными приборами интервал времени, любое увеличение которого регистрируемое, является мгновением, или точкой на оси времени.

Легко объяснимые в математике такие понятия, как бесконечно малая и бесконечно большая величина, в естествознании приводят наши рассуждения к тупиковой ситуации. С одной стороны, согласно диалектико-материалистическому мировоззрению материя на любом ее этапе измельчения всегда является составной, т.е. процесс ее деления является бесконечным. Кроме того, ее размеры во вселенной тоже бесконечны. С другой стороны, реальное человеческое мышление, которое опирается на ближайшее окружение, представленное конечным количеством вещей с фиксированными и осязаемыми размерами, и ограниченное временными рамками их существования, не может позволить себе представить, что где-то, там, на больших расстояниях мир не заканчивается, а вот здесь под микроскопом измельчение материи бесконечно. Попытаемся и в этом случае «пролить свет» на эту извечную человеческую проблему.

В нашем аксиоматическом методе исследований имеется постулат, согласно которому «Существование материи характеризуется бесконечной последовательностью объемов ее распределения, каждый из которых есть составной частью большего объема и одновременно состоит из аналогичных меньших объемов». Этот постулат указывает на то, что материя в трехмерном пространстве распределяется вдоль оси объемов. Исходя из него, несложно заметить, что для вещественной формы существования материи на этой оси существуют фиксированные границы, преодоление которых выводит материю из ее вещественной формы. То есть, измельчая вещество до уровня планковских размеров (10^{-31} м.), такая граница фиксируется материальными точками, материальными линиями и материальными плоскостями. Эти материальные образования являются исходными для появления в природе элементарных частиц вещества, которых, по нашей модели [2], ровно девять. Дальнейшее измельчение материи вдоль оси объемов ее существования уже не относится к ее вещественной форме. Таким образом, вещество со стороны его измельчения имеет фиксированную границу, за которой деление материи уже не ограничивается и характеризуется бесконечным распределением во времени и пространстве.

Такая же «граница» вещества имеет место и со стороны его огромных размеров, т.е. в данном случае речь идет о размерах Вселенной относительно пространственного расположения Земли. В рассматриваемом случае будем исходить из той же ограниченной разрешающей способностью приборов, с помощью которых астроном пытается заглянуть в отдаленные уголки Вселенной. По мере удаления от наблюдателя угол телескопа, под которым он изучает фотоны, излучаемые далекой звездой, уменьшается и обязательно наступит момент, когда в его размер уже не может поместиться даже один фотон. Именно от этой разрешающей способности телескопа и зависят обозримые размеры нашей Вселенной.

Аналогично тому, как за подобной «границей» на оси объемов существования материи, которые она занимает в трехмерном пространстве, имеют место ограничения со стороны ее измельчения, материя в своем существовании распределена бесконечно, так и в рассматриваемом случае – на большом расстоянии за указанной «границей» вселенная бесконечна. То есть, по мере удаления от места ее наблюдения

регистрируемая вещественная форма пропадает с поля зрения наблюдателя, но сама материя не исчезает из природы. Если центр наблюдения сместить в пространстве Вселенной, то произойдут изменения и в вещественных «границах» относительно нового места наблюдателя, т.е. эта граница подобно горизонту будет смещаться для нашей регистрации.

Таким образом, рассматриваемая граница обнаружения вещественного существования материи не позволяет проникнуть к наблюдателю фотонов, которые излучаются бесконечным множеством звезд, находящихся за ее пределами, т.е. за этой границей. Эта особенность разрешающей способности приборов, выполненных из вещества, позволяет решить известную проблему, на которую обратил внимание в 1800 году Генрих Ольберс. Смысл ее состоит в следующем: если бы Вселенная была бесконечной с бесконечным числом сияющих звезд, то небо было бы не черным, а ярко светлым. Решение этой проблемы современные физики видят в том, что Вселенная конечная и имеет конечное количество звезд – отсюда и небо имеет черный цвет. С нашей точки зрения, такое объяснение является неверным. Истина состоит в том, что свет от звезд, расположенных за рассмотренной нами «границей», просто до нас не доходит, т.е. не регистрируется вещественными приборами, тем самым небо теряет свою яркость. Вообще решение проблемы Ольберса требует более подробного рассмотрения в отдельной статье. Кроме того, в этой же статье следует рассмотреть и проблему «расширяющейся» Вселенной на основе того, что увеличение длины волны фотона в природе не осуществляется за счет эффекта Доплера, а потому, что к нам доходят те фотоны, в которых больше заложено энергии, а таковыми являются «длинноволновые» фотоны. Иными словами, по мере увеличения длины электромагнитной волны в фотоне и увеличивается количество энергии в нем, что доказано в [4], и оно противоречит неверному выводу М.Планка из его известной формулы (1), согласно которой с увеличением частоты увеличивается и ее энергетическая составляющая

$$E = \eta \gamma, \quad (1)$$

где E – количество энергии фотона, η – постоянная Планка, γ – частота фотона.

Тогда вывод – однозначен, Вселенная не расширяется, и эффект Доплера здесь ни при чем.

3. Математика и метод черного ящика в физике.

Традиционно сложилась ситуация в физике, когда применение математики в ней неразрывно связано с методом, который с появлением науки кибернетики приобрел условное название «черный ящик». Этот метод позволяет изучать материальные системы, о которых либо ничего неизвестно, либо очень сложно по ее составляющим и структуре получить достаточные знания. Сущность этого метода сводится к воздействию на материальную систему (на ее входы) и изучению реакции, которая проявляется на ее выходах. Причем, для более верного получения знания о системе следует проводить не одно воздействие, а целую их серию, и тогда, с определенной достоверностью, можно судить о внутреннем содержимом и ее функционировании. Естественно, что вполне приемлемо эту серию воздействий рассматривать, как некоторую область, некоторый интервал (воздействий) существования функции, которая с определенной достоверностью описывает исследуемую область природы, его явление. По существу математик, изобретая формулу, которая, с его точки зрения, должна, выступать абстрактной моделью исследуемой материальной области, интервал ее существования, невольно, использует как область воздействий, согласно методу черного ящика. То есть он, как и в методе «черного ящика» сверяет значения этой формулы в точках интервала с состояниями, которые появляются в изучаемой области природы. Если эти значения не совпадают, то современные физики ответить ничего определенного не могут, и относят их к парадоксам, расхождением, закрывая глаза на то, что придуманная ими формула на данном ее интервале не отвечает реальности.

Использование математикой метода «черного ящика» в физических исследованиях невольно, привело к феноменологическому, т.е. описательному методу познания, когда исследуется функция, согласно которой на требуемом интервале существования материи в пространстве и во времени, она отражала бы изучаемое в ней природное явление. Причем, еще раз обратим внимание на то, что в этом случае идет речь о не раскрытии внутреннего содержимого материальной системы и ее поведении в трехмерном пространстве и во времени, а только о реакции ее на внешнее воздействие.

Поиск требуемой формулы для описания природы неразрывно связан с ее представлением, ее заданием. Опыт показал, что для этого существуют четыре способа: аналитический, табличный, графический и описательный, которые нашли широкое свое применение в практике, когда следует однозначно представлять интересующую функцию. Однако математику, работая в области физики, не всегда использование точного представления функции представляется возможным, да и необходимым, исходя из того, что любое математическое представление модели природы является, весьма, далеким от истинного ее состояния. Иначе, основываясь на гносеологическом принципе познания, какую бы функцию мы не представили для описания природы, она все равно, «окончательно», не отражает действительность.

Следуя этому принципу, и применяя метод «черного ящика» с давних времен задание функции основывалось на некоторых косвенных знаниях о свойствах, которые отражаются в ее производных, и интегралах на фиксированном интервале, обычно, ограниченном так называемыми начальными условиями. В этом случае математик для нахождения некоторого подобия искомой функции «прибегает» к интегральным, либо дифференциальным уравнениям, решением которых и выступают искомые функции. Другими словами, в задании функции уже применяются такое математическое понятие, как уравнение, «корнями» которого выступают функции.

В современной физике, весьма свободно, применяется понятие уравнение для задания функциональной зависимости (функции) в природе. С нашей точки зрения применение этого термина вполне оправдано только в приведенном выше случае, т.е. когда поиск нужной функции для описания природы сводится к решению дифференциального или интегрального уравнения. Что касается функций, которые вполне могут быть заданы традиционными четырьмя способами – аналитически, таблично, графически и с помощью предложения в человеческом языке, применение понятия уравнения лишено смысла. Ведь по определению под уравнением понимается условие задачи нахождения значений переменных двух функций, при которых наблюдается их равенство, т.е. нахождение корней этого уравнения. Такие случаи имеют место, когда в природе соприкасаются две материальные среды, воздействующие друг на друга. Самый простой случай это, когда одна материальная система силовым путем пытается сдвинуть в пространстве подобную систему. Примерами указанных ситуаций с системами является упругость среды, в которой происходит совместное взаимодействие двух материальных систем, и в этом случае в одной половине уравнения присутствует функция, описывающая одну из них, а во второй – описывающая другую систему.

Совмещение двух и более материальных систем в одних пространственно-временных координатах приводит не только к явлению упругости их общей среды, но также к явлениям, которые в современной физике относят к предмету исследований так называемой науки синергетика. В совмещении сред в течение проникновения их друг в друга в трехмерном пространстве возникают процессы, которые синергетики относят к самоорганизации материи. Никакой самоорганизации в рассматриваемом случае нет – просто происходит взаимное уравнивание материальных систем. Самым простым примером тому является совмещение влажной среды, появившейся в туче, при ее движении к Земле сквозь воздушные массы, т.е. случай выпадения дождя. Прежде чем капли дождя упадут на Землю, они по законам аэродинамики в воздухе выстроятся друг за другом и к ней подлетят, как отметили бы синергетики, «само организовано», т.е. одна капелька дождя падает вслед за другой. Иными словами дождь приземляется струйками. Примеров аналогичного совмещения материальных сред много, и их изучение, именно, под рассматриваемым углом интересно и полезно, однако оно требует отдельных исследований и публикаций их результатов.

Кроме того, следует учитывать, что разные функции могут быть схожими друг с другом, и более того, на определенных участках их существования, даже совпадать между собой, несмотря на то, что у них переменные имеют различное содержание. И тогда возникает вопрос, какой из рассматриваемых функций отдать предпочтение в естествознании. С нашей точки зрения, функции, зависящие от физических величин, более адекватно описывают явления природы, нежели, те из них, в которых переменные не отражают материальные процессы. В современных методах применения математики в физике на это отличие в переменных вообще не обращается внимание. Более того, в учебниках для студентов по математике [5], вначале перечня «различных физических величин», которые рассматриваются в качестве переменной функции, приведены: время, длина, объем. И тогда возникает вопрос: «А каким образом эти величины, которые не отражают материальную сущность природы, влияют на ее изменение?». Причем, еще раз подчеркнем, что, именно, эти величины отнесены к физическим величинам. Ведь они должны, воздействуя на материальный мир, вызывать в природе и новые материальные явления, описанию которых и предназначена, создаваемая математиком абстрактная модель. Иначе, изменение времени и пространства должно «рождать» новую материю, ее проявление. В истории науки такие предположения уже давно существовали, и в этом случае следует упомянуть Эйнштейна со своей общей теорией относительности, или того же Козырева сторонника материальной природы сути времени. Но вот проходит время, а теория Эйнштейна, и теория Козырева так и не находят своего подтверждения. Чтобы не приводили в пользу материального происхождения пространства и времени, они остаются не материальными, иначе, в любом поселке, в любой отдаленной от цивилизации местности уже давно бы работала электростанция или какой либо генератор, преобразующий течение времени, либо преобразования в пространстве в энергию.

Таким образом, создавая абстрактные модели в математике, следует помнить, что лучшим образом они могут представлять материальное существование мира, только, тогда, когда в их качестве будут выступать функции, переменными которых являются величины, представляющие не пространственно-временные изменения, а изменения в самой сути существования материи. И такими, как отмечается в том же перечне примеров физических переменных [5], являются: скорость изменения движения, масса, сила, энергия и т.п.

4. Функции от переменных, отражающих параметры материальной среды.

4.1. Функция, отражающая связь массы тела и его энергии

Практика познания показывает, что энергетические, силовые изменения в материальной системе для физика-исследователя более информативны, нежели иные в ней явления. По этому для понимания сущности процессов в природе, именно, они должны выступать переменными в искомых математических абстракциях (функциях). Основываясь на таком подходе, приведем пример функционального описания поведения материи при зарождении массы тела.

Уже давно было замечено, что масса тела взаимосвязана с ее энергетической составляющей, и это заметил еще Лейбниц, называя ее «живой силой». По его определению (трактаты 1686 и 1695) произведение массы объекта и квадрата его скорости и есть «живая сила», т.е. $E=mv^2$. Затем постоянным предметом

исследований эта формула стала у **скромного** нашего соотечественника Н.А. Умова, который рассматривал ее уже, как

$$E=mc^2. \quad (1)$$

Это уже затем целая вереница европейских ученых, начиная от Томсона (лорд Кельвин) и кончая Эйнштейном, пыталась присвоить эту формулу себе, так и не доказав, как связана в этой формуле масса тела со скоростью света c .

Приступая к поискам функции, связующей массу тела с энергией, вначале уясним, что следует понимать под энергией. Ведь диапазон пониманий, отражающих это свойство материи сегодня весьма велик, начиная, с отождествлением энергии с субстанцией, до рассмотрения ее в виде скалярной характеристики движения вещества. Анализ результатов исследований, проведенных корифеями в науке, показывает, что под энергией в физике «выкристаллизовалось» и внесено во все справочники и энциклопедии понятие энергии, как меры движения материи. То есть, будем считать, что это понятие энергии более адекватно природе, и что энергетическое состояние вещественной структуры зависит от ее движения. Итак, приступим к поискам этой естественной модели материи в математике, представляющей собой функцию, аргументом которой выступает скорость изменения движения. Еще раз подчеркнем, что, в данном случае, эта функция отражает не скорость преодоления расстояния во времени, а является «зеркалом» движения материи от изменения его скорости.

Таким образом, алгоритм познания энергетического состояния вещественной структуры при помощи математики состоит в определении указанной выше функции движения материи в ней, явившейся источником этого состояния, и, затем, начать исследование ее на богатом математическом аппарате. Попробуем, с таких позиций, проанализировать «законсервированную» энергию массы тела в известной, как сегодня принято говорить, формуле Эйнштейна (1). Для этого воспользуемся тем, что масса m формируется в природе из элементарных частиц вещества, природное появление которых рассмотрено в [2].

Напомним, при обрыве электромагнитного колебательного процесса в фотоне появляются элементарные частицы гравитационного поля, которые представлены двумя видами, отличающиеся тем, что одни из них движутся прямолинейно в одном направлении, а другой в противоположную сторону. Кроме того, каждая из них притягивает к себе подобные частицы по одну из сторон относительно вектора движения. Векторы силы притяжения и направления движения частицы взаимно перпендикулярны. При определенных условиях появления пары таких частиц в пространстве и во времени (с противоположными направлениями движения) происходит их притяжение. Однако оно не заканчивается совмещением в одной точке, поскольку этому препятствует движение частиц в противоположных направлениях. В результате такого взаимодействия рассматриваемых частиц – притяжения вдоль одной координаты и уход их друг от друга вдоль иной – в природе появляется элементарная масса вещества в виде гравитационного диполя. Определим энергетическое состояние такого диполя, который и представляет массу в формуле (1).

Рассмотрим в отдельности элементарные частицы вещества, с указанными противоположными свойствами m_1 и m_2 , входящие в этот диполь. Тогда функцией движения каждой из них будут следующие количества движений $f_1 = m_1 v_1$ и $f_2 = -m_2 v_2$. Затем, воспользуемся анализом этих функций посредством аппарата математики, сосредоточенного в дифференциальном и интегральном исчислении. Несложно заметить, что неопределенные интегралы этих функций будут

$$\int f_1(v)dv = \frac{m_1 v^2}{2} + C_1 \text{ и } \int f_2(v)dv = \frac{m_2 v^2}{2} + C_2. \quad (2)$$

Оказалось, что первые слагаемые в интегралах этих функций совпадают с известной формулой кинетической энергии движущегося тела, т.е. поступательного движения частицы с массой m_1 и частицы m_2 с соответствующими скоростями v_1 и v_2 . Если первые слагаемые в функциях (2) относятся к энергии создаваемым поступательным движением, т.е. кинетическую энергию этих элементарных частиц вещества, то вторые характеризует ту энергию, которая может быть вызвана внешним физическим полем, произвольного происхождения, по отношению к каждой частице. Поскольку массы элементарных частиц гравитационного поля одинаковы, как и одинаковы их скорости, то их, соответственно, обозначим через m и через v . Тогда энергия гравитационного диполя (элементарной массы вещества) будет равна следующей сумме.

$$\int f_1(v)dv + \int f_2(v)dv = E = mv^2 + C. \quad (3)$$

В этой сумме константа интегрирования объединена и обозначена через C . Таким образом, энергия «законсервированная» в элементарной массе вещества (гравитационном диполе) равна ее массе, умноженной на квадрат скорости движения элементарной частицы гравитационного поля вещества, да плюс еще наведенная энергия внешним физическим полем.

Под массой m в данном случае понимается материальное образование, обладающее свойством притягивать к себе подобные образования по обе стороны координатной оси аппликат, Декартовой прямоугольной системы координат, гравитационного диполя. Обратим внимание еще и на то, что скорость v передвижения элементарной частицы гравитационного поля вещества равна скорости распространения потенциала гравитационного поля, которая по современным оценкам на одиннадцать порядков превышает скорость света, что является существенным отличием выражения (3) от формулы

Эйнштейна, в которой это место занимает скорость света. Кроме того, следующим отличием известной формулы Эйнштейна от выражения (3) является то, что в ней недостает еще одного очень важного слагаемого – константы C , которая согласно математической операции интегрирования должна обязательно присутствовать. В природе ей соответствует естественное явление наведения в исследуемой массе m энергетической добавки за счет физических полей в окружающей среде.

Итак, приведенные выше исследования математической функции движения вещества показали, что ее интеграл характеризует скалярную величину рассматриваемого движения – энергию. Если эту функцию продифференцировать, по переменной v , то получим математическое описание явления силы, которое сопровождает исследуемое движение. Более того, становится более понятной природа возникновения этой векторной характеристики движения, результаты исследований которой предоставим в отдельной работе.

4.2. Функция распределения потенциала напряженности поля.

В предыдущем подразделе рассмотрена динамическая модель природы, т.е. такова, в которой учтено и пространственное, и временное существование исследуемой материальной системы. В то же время практика познания весьма часто ориентируется и на модели, в которых временной интервал существования системы зафиксирован. В частности, к ним относят некоторые модели, характеризующие силовые характеристики материальной системы. В настоящем подразделе работы рассмотрим математическую функцию распределения напряженности поля в пространстве его источника, в которой в качестве переменной выступает физическая величина, отражающая силовую линию поля по Фарадею.

Рассмотрим источник напряженности любого поля, которая характеризуется его силовой характеристикой, т.е. некоторой физической векторной величиной, имеющей скалярную и векторную составляющую, а именно – модуль силы и вектор ее направленности. Физическая (материальная) сущность понятия силы, проявляемой полем, приведена в [4]. В настоящем изложении будет обращено внимание, только, на функцию изменения ее значения по мере удаления от источника поля.

Наши исследования позволили построить модель силовой линии поля по Фарадею [6], которая на сегодняшний день более адекватно соответствует природе. На ее основе предложена модель фотона, которая, как и силовая линия, является формой существования вещества в двумерном пространстве. Это необычная особенность поля и его разновидностей (фотон) обладает уникальным свойством, которое замечено в современной физике, как когерентность. Например, фотоны реагируют друг на друга, только в том случае, когда они находятся в одном двумерном пространстве, т.е. когерентны. Это свойство позволяет фотону, находясь в «одиночестве» в собственном пространстве, двигаться, не ослабляясь, от очень далеких источников света (звезд во Вселенной). Тем же свойством обладает и силовая линия – для изменения интенсивности, которой необходимо проникнуть в ее пространство другой силовой линии, что природой исключено. Иными словами, ослабление одной силовой линии другой, которые находятся в различных пространствах, природой не предусмотрено, а это означает, что значение силовой линии источника поля не поддается изменению за счет внешнего воздействия. Ослабление силовой линии, как уже отмечалось в настоящей работе, может быть реализовано, только, в случае изменения разрешающей способности вещественного прибора, которым пользуется исследователь. Это свойство силовых линий нами будет учтено при формировании функции распределения напряженности физического поля в области действия его источника.

Для удобства изложения формирование указанной функции будем проводить на примере электрического поля. Величина напряженности этого поля, как об этом отмечалось выше, не зависит от интенсивности самых силовых линий, а является результатом сложения их количества. Попытаемся определить функцию изменения количества этих линий электрического поля по Фарадею по мере удаления их от источника поля. Для этого рассмотрим идеальный случай, когда от источника поля силовые линии распространяются в трехмерном пространстве во все стороны равномерно, т.е. равномерно на поверхности шара, центр которого находится в месте расположения этого источника. Тогда характер отмеченного распространения будет такой же, как и вдоль окружности плоского сечения, проведенного через его центр. То есть в пластине сгустков материальной субстанции вакуума. Этот подход упрощения исследований, приводит нас к рассмотрению силовых линий Фарадея только в плоскости прямоугольного треугольника, один из острых углов которого исходит из места нашего источника поля, и опирается на катет, характеризующий исследуемое неменяющееся по своим размерам место в пространстве. По мере удаления от источника поля, опирающийся на этот катет, угол будет уменьшаться, и количество силовых линий проходящих через него тоже уменьшаться. Таким образом, напряженность поля в рассматриваемой области пространства находится в прямой зависимости от функции изменения количества силовых линий в ней по мере удаления от источника напряженности поля.

Обратим внимание на то, что в вырожденном случае, с прямоугольным треугольником, когда катет, исходящий из источника поля, равен нулю, то количество силовых линий Фарадея будет максимальным и охватывать то их количество, которое генерируется электрическим зарядом исследуемого источника. Затем с увеличением этого катета количество силовых линий входящих в исследуемый участок потенциала уменьшается. То есть, кривая, описывающая распределение напряженности электрического поля, генерируемого электрическим зарядом, по мере увеличения катета, рассматриваемого треугольника, будет «снижаться», приближаясь к оси абсцисс, вдоль которой откладывается значение этого катета. Следует заметить, что, с бесконечным увеличением катета (удаления от источника поля), количество силовых линий

Фарадея, помещаемых в исследуемый участок пространства, будет постепенно уменьшаться, и при значительной удаленности, когда размеры второго катета, рассматриваемого треугольника, станут меньше пространственных размеров области действия одной силовой линии – напряженность исследуемого поля примет нулевое значение. Таким образом, напряженность источника поля в точке расположенной у начала координат, приближается к максимальной величине соответствующей исследуемому электрическому заряду, а на достаточном большом удалении, но конечном, – равно нулю.

Из нашей модели существования материи [6] видно, что силовая линия электрического заряда имеет две ветви, одна из которых притягивает к себе сгустки материальной субстанции вакуума, а вторая от них отталкивается. Если взять притяжение за положительное значение напряженности электрического поля, то рассмотренная выше картина ее распределения в плоской Декартовой системе координат может быть помещена в первую квадранту этой системы. В случае отталкивания, распределение напряженности находится в третьей квадранте, где значение напряженности приобретает отрицательные значения ординаты, а расстояния от источника поля вдоль отрицательных значений абсциссы.

Количество силовых линий Фарадея зависит от размера створа угла, который опирается на фиксированное место пространства (длину катета в нашем случае). В рассматриваемой модели распределения напряженности поля, этот угол изменяется от 90^0 до 0^0 в первой квадранте Декартовой системы и от -90^0 до 0^0 – в третьей квадранте этой же системы координат. При максимальном значении этого угла в первой квадранте количество силовых линий будет максимальным, которое соответствует исследуемому конечному источнику заряда. Это же количество силовых линий будет и в третьей квадранте, когда рассматриваемый угол будет равен -90^0 . Следует заметить, что данные гипотетические измерения количества силовых линий должны проводиться в нулевой точке координат со стороны положительных значений абсциссы (первая квадранта) – положительное значение напряженности, а если находится в той же нулевой точке со стороны отрицательных значений абсциссы (третья квадранта), то значение напряженности будет отрицательное. Напомним, положительное и отрицательное значение напряженности присутствует в одной силовой линии электрического поля, расположенного в своем двумерном пространстве. Таким образом, в природе значение напряженности электрического поля резко меняется в начале координат, т.е. в месте расположения его источника.

Характер рассмотренного выше распределение напряженности вокруг источника электрического поля подчинено закономерности, которая в математике описывается следующей функцией

$$y = \arctg \frac{1}{x}, \quad (4)$$

где y – напряженность электрического поля (количество его силовых линий) в рассматриваемом месте пространства, x – расстояние от источника электрического поля до точки измерения его напряженности.

Заметим, что значение функции (4), при x , стремящемся к бесконечности, приближается к нулю (см. графическое изображение функции на Рисунке). Однако в природе такого явления не существует. Нулевое значение напряженности поля становится конечным при фиксированном положении исследуемого участка пространства (в математике фиксированного значения x), хотя это значение (удаленное от источника поля) и очень велико. Обратим внимание еще и на то, что разрыв функции (4) первого рода, которым она характеризуется, в природе имеет свое физическое содержание. Его смысл состоит в том, что напряженность электрического поля по одну сторону от начала координат вдоль оси абсцисс имеет один знак, а с другой стороны – ему противоположный.

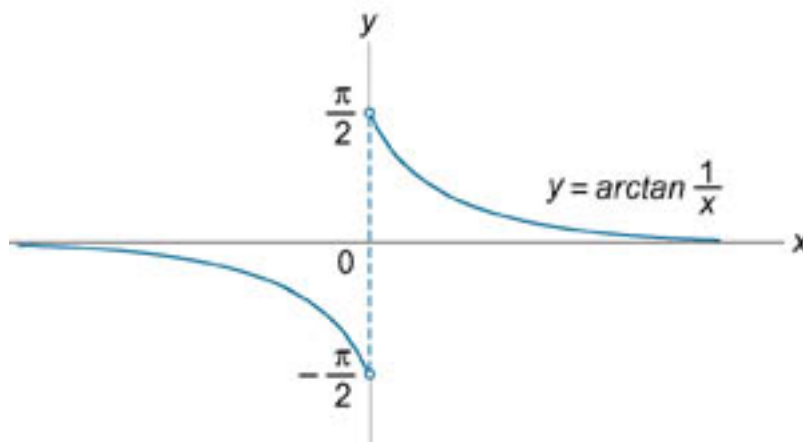


Рис. 1

В настоящей работе не предусматривается анализа функции закона распределения напряженности физического поля (4). Для этого нужны дополнительные исследования, результаты которых будут опубликованы в отдельной работе. Заметим лишь то, что предложенная функция распределения напряженности электрического поля, более адекватна природе, нежели известный закон Кулона. Как видно из этой функции, она «накрывает поведение» электрического поля, генерирующего заряды различных знаков, на что не «способен» закон Кулона. Что касается гравитационного поля, то предложенная функция (4), являясь частным случаем описания физического поля, отражает силы гравитации только в первой квадранте графического представления. Требуется, также, свои исследования в интерпретации, рассматриваемой функции распределения силовых линий, в магнитном поле.

5. Выводы

Итак, в настоящей работе рассмотрены узловые «тонкости» применения математических абстракций (функций) в естественной науке физике. Предложено, с позиций разрешающей способности вещественных приборов, понимание материальных точек, линий и плоскостей, как предельных форм вещества, разделяющих вещественные и вакуумные структуры на оси существования материи по объемам трехмерного пространства. С тех же позиций разрешающей способности таких приборов определено понятие мгновения существования вещества. Раскрыта сущность материальной бесконечности в сторону уменьшения и увеличения объема материальной системы. Предложено материалистическое решение проблемы Генриха Ольберса о яркости светимости небесного пространства, а также показано, что Вселенная не расширяется. Показано, что феноменологический способ познания природы, который доминирует в современной физике, является сутью применения метода «черного ящика». Показано также, что использование математического понятия уравнения для задания функции, описывающей природу материальной системы, уместно только для случаев применения дифференциальных и интегральных уравнений, а использование обычных уравнений – для описания уравнивания различных материальных систем в едином пространстве и времени. Показано преимущества использования для моделирования материальных систем функций от физических переменных на примерах задания функции, отражающей связь массы тела и его энергии и функции распределения потенциала напряженности любого поля.

Литература

1. Вышинский В.А. Новая система постулатов(аксиом) – решение шестой проблемы Д.Гильберта / В.А.Вышинский // «Единый всероссийский научный вестник», – 2016, часть 4, – №2, – С.29-34
2. Вышинский В.А. Элементарные частицы вещества / В.А. Вышинский // Единый всероссийский вестник, – 2016, – №8. – С. 21-29
3. Вышинский В.А. Модель, наиболее адекватно отражающая естественный вакуум / В.А. Вышинский // Единый всероссийский вестник, – 2016, – Часть 1, – №6. – С. 45-52
4. Вышинский В.А. Скалярная и векторная характеристики вещества / В.А. Вышинский // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. №3 –С.12-21
5. Фихтенгольц Г.М. Основы математического анализа том 1 / Г.М. Фихтенгольц. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1956. – 440 с.
6. Вышинский В.А. Электрические и магнитные силовые линии Фарадея. Электромагнитная волна / В.А. Вышинский // Единый всероссийский вестник, – 2016, – №7. – С. 62-69

References

1. Vyshinsky VA A new system of postulates (axioms) - solution of the sixth problem of D. Hilbert / VA Vyshinsky // "The United All-Russian Scientific Herald", - 2016, part 4, - №2, - P.29-34
2. Vyshinsky V.A. Elementary particles of matter. Vyshinsky // The All-Russian Herald, - 2016, - №8. - P. 21-29
3. Vyshinsky V.A. A model that most adequately reflects the natural vacuum. Vyshinsky // The One All-Russian Bulletin, - 2016, - Part 1, - №6. - P. 45-52
4. Vyshinsky VA Scalar and vector characteristics of matter. Vyshinsky // Vimiryuvalna that is quantitative in technology processes. - 2015. №3-C.12-21
5. Fikhtengolts G.M. Fundamentals of Mathematical Analysis Vol. 1 / G, M. Fichtenholz. - Moscow: State Publishing House of Technical and Theoretical Literature, 1956. - 440 p.
6. Vyshinsky V.A. Electric and magnetic lines of force Faraday. Electromagnetic wave / V.A. Vyshinsky // The All-Russian Herald, - 2016, - №7. - P. 62-

Рецензія/Peer review : 14.04.2018 р.

Надрукована/Printed :04.07.2018 р.

Стаття прорецензована редакційною колегією

FRACTAL GENESIS OF THE ANGLES OF THE NEUTRINO MIXING MATRIX

A fractal genesis of the angles of the neutrino mixing matrix hypothesis is being examined. (Pontecorvo – Maki–Nakagawa–Sakata matrix - PMNS matrix). It is assumed that framework for this genesis are gold algebraic fractals mantissas: of the Planck mass, of the Planck time and of the fine-structure constant, namely, sines of angles $\Theta_{12}, \Theta_{23}, \Theta_{13}$ are gold algebraic fractals: of the fine-structure constant, of the Planck mass and of the Planck time respectively. A gold algebraic fractal mantissa of any real number can be represented as additive gold algebraic fractal – an infinite sum of the power series (more exactly – geometrical) with the basis of the gold ratio large number. Assessed the Higgs boson mass based on additive gold algebraic fractal. The value of the angle of the Coriolis force is specified in the model of the rotating observable Universe. A new assessment of the contribution of dark matter to the overall energy balance of the observed Universe is given. The universality of Planck's constants and the fine structure constant for all structural and spatial levels of matter has been confirmed.

Key words: fractal genesis, neutrino mixing matrix, gold algebraic fractal, Planck constants, fine-structure constant, Higgs boson, spatial and structural levels of matter.

В.Ф. ТИМКОВ

Аппарат Совета национальной безопасности и обороны Украины

С.В. ТИМКОВ, В.А. ЖУКОВ, К.Е. АФАНАСЬЕВ

Научно-производственное предприятие «ТЖК»

ФРАКТАЛЬНЫЙ ГЕНЕЗИС УГЛОВ МАТРИЦЫ СМЕШИВАНИЯ НЕЙТРИНО

Рассматривается гипотеза о фрактальном генезисе углов матрицы смешивания нейтрино (Pontecorvo – Maki–Nakagawa–Sakata matrix - PMNS matrix). Предполагается, что основой этого генезиса являются мантиссы золотых алгебраических фракталов: массы Планка, времени Планка и постоянной тонкой структуры, а именно: синусы углов $\Theta_{12}, \Theta_{23}, \Theta_{13}$ являются золотыми алгебраическими фракталами соответственно: постоянной тонкой структуры, массы Планка и времени Планка. Мантисса золотого алгебраического фрактала любого вещественного числа может быть представлена в виде аддитивного золотого алгебраического фрактала – бесконечной суммы степенного (более конкретно – геометрического) ряда с основанием в виде большего числа золотой пропорции. Дана оценка массы бозона Хиггса на основе аддитивного золотого алгебраического фрактала. Уточнено значение угла силы Кориолиса в модели вращающейся наблюдаемой Вселенной. Дана новая оценка вклада темной материи в общий энергетический баланс наблюдаемой Вселенной. Подтверждена универсальность констант Планка и постоянной тонкой структуры для всех структурных и пространственных уровней материи.

Ключевые слова: фрактальный генезис, матрица смешивания нейтрино, золотой алгебраический фрактал, константы Планка, постоянная тонкой структуры, бозон Хиггса, пространственные и структурные уровни материи.

1. Introduction.

It's known that main fundamental physical constants, for example the gravitational constant G , the reduced Planck constant $\hbar$, the speed of light in vacuum c , can be determined with Planck constants: the Planck length l_p , the Planck mass m_p , the Planck time t_p :

$$G = \frac{l_p^3}{m_p t_p^2}; \hbar = \frac{m_p l_p^2}{t_p}; c = \frac{l_p}{t_p}. \quad (1)$$

Using the "Planck universal proportions" [1], the Planck constants values [2]:

$$l_p = 1.616229(38) \cdot 10^{-35} \text{ m}; t_p = 5.39116(13) \cdot 10^{-44} \text{ s}; m_p = 2.176470(51) \cdot 10^{-8} \text{ kg}; \quad (2)$$

and the Hubble constant [3]:

$$H_0 = 66.93 \pm 0.62 (\text{km} / \text{s}) / \text{Mpc}, \quad (3)$$

it's possible to evaluate the main spatial characteristics of the observable Universe [4]:

mass M_U , radius R_U , rotation period T_U [5], which is equal to the light signal propagation delay at a distance equal R_U :

$$T_U = t_p \frac{M_U}{m_p} = t_p \frac{R_U}{l_p} = \frac{1}{H_0} = 4.431534683326 \cdot 10^{17} \text{ s}, \quad (4)$$

$$M_U = m_p \frac{T_U}{t_p} = m_p \frac{R_U}{l_p} = \frac{c^3 T_U}{G} = 1.789337036792 \cdot 10^{53} \text{ kg}, \quad (5)$$

$$R_U = l_p \frac{M_U}{m_p} = l_p \frac{T_U}{t_p} = c T_U = 1.328540675427 \cdot 10^{26} \text{ m}. \quad (6)$$

As well, in accordance with the law “Planck universal proportions” – for every celestial body of the observable Universe (including the observable Universe), mass which is m , the curvature of space radius is S , which created by gravitational field mass which is m , with the light signal propagation delay is t_{dm} at distance equal to S , the gravitational constant G , and Planck force F_p , true:

$$G = \frac{l_p^3}{m_p t_p^2} = \frac{R_U^3}{M_U R_U^2} = \frac{S^3}{m t_{dm}^2} = 6.673045869 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}, \quad (7)$$

$$F_p = m_p \frac{l_p}{t_p^2} = M_U \frac{R_U}{T_U^2} = m \frac{S}{t_{dm}^2} = 1.21048301950 \cdot 10^{44} \text{ kg}^1 \text{ m}^1 \text{ s}^{-2}. \quad (8)$$

Energy of body E which mass m , a and also the observable Universe energy E_U are:

$$E = mc^2 = h_e t_{dm} = F_p S; E_U = M_U c^2 = h_e T_U = F_p R_U, \quad (9)$$

where: $h_e = \frac{E_p}{t_p}$ – is the quantum of the Planck energy, where E_p – the Planck energy: $E_p = m_p c^2$.

It is evident:

$$h_e = \frac{E_p}{t_p} = \frac{m_p c^2}{t_p} = \frac{m_p l_p^2}{t_p^3} = 3.628372528 \cdot 10^{52} \text{ J}^1 \text{ s}^{-1}. \quad (10)$$

It's known [6], that charge is function of the moment of the mass. Then for the elementary charge e is true:

$$e = \sqrt{10^7 \alpha m_p l_p} \left[\text{kg}^{\frac{1}{2}} \text{m}^{\frac{1}{2}} \right], \quad (11)$$

where α – is the fine-structure constant, it's value is [2]:

$$\alpha = 7.2973525664(17) \cdot 10^{-3}. \quad (12)$$

From formula (11), considering [6]:

$$c^2 = \frac{10^7}{4\pi\epsilon_0}, \quad (13)$$

$$a_0 = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2} = \frac{4\pi\epsilon_0 m_p^2 l_p^4}{10^7 \alpha m_e m_p l_p t_p^2} = \frac{m_p l_p}{\alpha m_e}, \quad (14)$$

where: a_0 – the Bohr Radius, m_e – the electron mass, ϵ_0 – electric constant, it follows:

$$a_0 \alpha m_e = m_p l_p; \alpha = \frac{m_p l_p}{a_0 m_e}; m_p = \frac{a_0 \alpha m_e}{l_p}; l_p = \frac{a_0 \alpha m_e}{m_p}; m_e = \frac{m_p l_p}{a_0 \alpha}. \quad (15)$$

Considering the formula (11) the Coulomb's law for two elementary charges in gravitational form is:

$$F = k_e \frac{e^2}{r_{12}^2} = G \alpha \frac{m_p^2}{r_{12}^2}. \quad (16)$$

In the formula (16) k_e – is the proportionality factor (Coulomb's constant, or the electric force constant), r_{12} – is a distance between two elementary charges.

From formulas (11 – 16) it follows then that measurement units of electromagnetic interaction on the basis of constants l_p, m_p, t_p, α can be expressed with units of length, of mass and of time [6].

For instance:

Coulomb:

$$[C] = k_C \left[kg^{\frac{1}{2}} \cdot m^{\frac{1}{2}} \right], \quad (17)$$

Ampere:

$$[A] = k_A \left[kg^{\frac{1}{2}} \cdot m^{\frac{1}{2}} \cdot s^{-1} \right], \quad (18)$$

Volt:

$$[V] = k_V \left[kg^{\frac{1}{2}} \cdot m^{\frac{3}{2}} \cdot s^{-2} \right], \quad (19)$$

impedance:

$$[\Omega] = k_{\Omega} \left[m^1 \cdot s^{-1} \right], \quad (20)$$

electric capacitance:

$$[F] = k_F \left[m^{-1} \cdot s^2 \right], \quad (21)$$

inductance:

$$[H] = k_H \left[m^1 \right], \quad (22)$$

magnetic induction:

$$[Tl] = k_{Tl} \left[kg^{\frac{1}{2}} \cdot m^{\frac{1}{2}} \cdot s^{-1} \right], \quad (23)$$

where: $k_C, k_A, k_V, k_{\Omega}, k_F, k_H, k_{Tl}$ – are dimensionless coefficients of proportionality between units of measurements. Given that units of electromagnetic interaction basis is a moving charge that is the function of moment of the mass, then electromagnetic interaction is particular case of gravitational interaction that also is confirmed by formulas (17 – 23).

Therefore in certain conditions exists gravitational-electromagnetic resonance [1,7,8]. The parameters of such resonance are defined by constants: l_p, m_p, t_p, α .

In [9] was shown that between fundamental constants exists fractal connectivity and basic characteristics of a muon are gold algebraic fractals of the Planck mass and of the Planck length.

Based on formulas (4 – 16) can be concluded that fundamental physic constants and spatially-energetic characteristics of the observable Universe – are multiplicative gold algebraic fractals of a muon.

Taking into account universal character of constants l_p, m_p, t_p, α , for gravitational and electro-magnetic interactions, i.e. for matter macro world, unity and the interrelationship of all spatial and structural levels of matter, it can be assumed that constants l_p, m_p, t_p, α are also take part in formation of micro world patterns but given it specific and the influence of scale. It is handier to look for relationship of constants representation l_p, m_p, t_p, α on macro and micro levels of matter along the lines of gold algebraic fractals, more particularly – on the basis of gold algebraic fractals mantissas for the physical constants case and mantissas functions for physical processes case.

2. Fractal genesis of the angles of the neutrino mixing matrix.

The angles $\Theta_{12}, \Theta_{23}, \Theta_{13}$ of neutrino mixing matrix have the following values [10]:

$$\sin^2(\Theta_{12}) = 0.307 \pm 0.013, \quad (24)$$

$$\sin^2(\Theta_{23})_{nm} = 0.51 \pm 0.04 \text{ (normal mass hierarchy),} \quad (25)$$

$$\sin^2(\Theta_{23})_{im} = 0.50 \pm 0.04 \text{ (inverted mass hierarchy),} \quad (26)$$

$$\sin^2(\Theta_{13}) = (2.10 \pm 0.11) \cdot 10^{-2}, \quad (27)$$

or:

$$\sin(\Theta_{12}) = 0.55407580708780 \pm 0.114, \quad (28)$$

$$\sin(\Theta_{23})_{nm} = 0.714142842854284 \pm 0.2, \quad (29)$$

$$\sin(\Theta_{23})_{im} = 0.70710 \pm 0.2, \quad (30)$$

$$\sin(\Theta_{13}) = 0.144913767461894 \pm 0.03316624790, \quad (31)$$

then:

$$\Theta_{12} = 33.64708224^\circ, \Theta_{12+} = 34.44990199^\circ, \Theta_{12-} = 32.83473313^\circ, \quad (32)$$

$$\Theta_{23nm} = 45.572996^\circ, \Theta_{23nm+} = 47.86958524^\circ, \Theta_{23nm-} = 43.28009362^\circ, \quad (33)$$

$$\Theta_{23im} = 45^\circ, \Theta_{23im+} = 47.29428287^\circ, \Theta_{23im-} = 42.70571713^\circ, \quad (34)$$

$$\Theta_{13} = 8.33228569^\circ, \Theta_{13+} = 8.54931942^\circ, \Theta_{13-} = 8.10961446^\circ. \quad (35)$$

Let's say that sines of the angles $\Theta_{12}, \Theta_{23}, \Theta_{13}$ are gold algebraic fractals of constants l_p, m_p, t_p, α .

Represent the constants l_p, m_p, t_p, α , numerical values for whom are defined by the formulas (2, 12), in form of gold algebraic fractals (in GAF form) [4,9,11]:
mantissa of the Planck length:

$$l_p^m = 1.2865859866, \text{ then: } l_p = l_p^m \cdot f_g^{167} m, \quad (36)$$

mantissa of the Planck mass:

$$m_p^m = 1.1756969040, \text{ then: } m_p = m_p^m \cdot f_g^{37} kg, \quad (37)$$

mantissa of the Planck time:

$$t_p^m = 1.588954250534220, \text{ then: } t_p = t_p^m \cdot f_g^{208} s, \quad (38)$$

mantissa of the fine-structure constant:

$$\alpha^m = 1.4522098299, \text{ then: } \alpha = \alpha^m \cdot f_g^{11}. \quad (39)$$

In formulas(36 – 39) f_g - is large number of golden ratio: $\frac{1}{f_g} = \frac{f_g}{f_g^2}, f_g + f_g^2 = 1$, is equal:

$$f_g = \frac{\sqrt{5}}{2} - 0.5 = 2 \sin(18^\circ) = 2 \cos(72^\circ) = 0.61803398874989484820...$$

(40)

Some constants can be used in two positions: as direct or inverse values.

For example, the inverse value of the fine-structure constant:

$$\frac{1}{\alpha} = 137.03599913815450, \quad (41)$$

in the form of gold algebraic fractals is:

GAF mantissa of the inverse value of the fine structure constant:

$$\alpha^{mi} = 1,11418746481018987150, \text{ then: } \frac{1}{\alpha} = \alpha^{mi} \cdot f_g^{-10}. \quad (42)$$

It is obvious that for all constants mantissas and for their inversions, on example of fine-structure constant is true:

$$\frac{1}{f_g} = \alpha^{mi} \cdot \alpha^m = 1.61803398874989484820... \quad (43)$$

Define first five levels of gold algebraic fractals of the constants: l_p, m_p, t_p, α .

For this sequentially multiply five times the mantissas of this constants by f_g . The results are presented in the table 1:

Table1

Mantissa name	Level1	Level2	Level3	Level4	Level5
Planck's length	0.79515387	0.49143212	0.30372175	0.1877103	0.11601
Planck's mass	0.726620	0.44907	0.27754439	0.17153187	0.106012
Planck's time	0.982028	0.6069265	0.3751012	0.23182529	0.14327590
Fine structure constant	0.89751503	0.55469479	0.3428202	0.21187456	0.13094568

Believing that numbers in the table 1 – are the sines of some angles will present their values in table 2:

Table2

Constant name	Level1	Level2	Level3	Level4	Level5
Planck's length	52.669791°	29.4347540°	17.681277°	10.819194°	6.6619637°
Planck's mass	46.6038340°	26.684433°	16.11370°	9.876896°	6.08550°
Planck's time	79.1209132°	37.3675974°	22.03057°	13.404558°	8.2374534°
Fine structure constant	63.833328°	33.68969567°	20.048792°	12.232228°	7.5242428°

If the hypothesis under consideration is right then the true values of the angles $\Theta_{12}, \Theta_{23}, \Theta_{13}$, the following:

$$\Theta_{12} = 33.68969567^\circ [\text{fine} - \text{structure constant, level 2}], \quad (44)$$

$$\Theta_{23} = 46.6038340^\circ [\text{Planck's mass, level 1}], \quad (45)$$

$$\Theta_{13} = 8.2374534^\circ [\text{Planck's time, level 5}]. \quad (46)$$

Angles represented in expressions (44-46) are within tolerance limits of the angles $\Theta_{12}, \Theta_{23}, \Theta_{13}$, which are given in the expressions (32 – 35).

In [9] is shown that the main characteristics of a muon are gold algebraic fractals of the fundamental constants: of the Planck mass and of the Planck length. Considering:

$$c = \frac{l_p}{t_p},$$

it could be argued that main characteristics of a real elementary particle – muon, underlies the fractal genesis of the angles (44, 45, 46).

In [5] was stated that the angle Θ_{13} is close to the integral angle of the Carioles force (which is equal to 9.79°) in the model of rotating observable Universe. According to updated data, this angle is closer to the angle: $\angle [\text{Planck's mass, level 4}] = 9.876896^\circ$. Considering that genesis if the angles $\Theta_{12}, \Theta_{23}, \Theta_{13}$, and also the integral angle of the Carioles force and of their fractals is determined by Big Bang, it is conceivable that the integral angle of the Carioles force and the angle $\angle [\text{Planck's mass, level 4}] = 9.876896^\circ$ – is the one and the same angle. Then contribution of dark matter in general energetic balance of Universe will be not 26.8%, but 26.88%, including contribution of the Carioles force constitutes 6.88%.

Conclusions. On the basis of gold algebraic fractals it is possible to research physical processes at different structural and spatial levels of matter. If the hypothesis under consideration is right then gold algebraic fractals of neutrino mixing matrix are related to the gold algebraic fractals of Planck constants, of a muon main characteristics and of the fine-structure constant.

3. Additive gold algebraic fractals.

In [4,9] were examined simple and multiplicative gold algebraic fractals. On example of the abstract physical constant $0 < A \leq 1$, consider additive gold algebraic fractals.

For this represent the constant A in the form of gold algebraic fractal:

$$A = m^A \cdot f_g^n, \quad (47)$$

where: m^A – GAF mantissa, n – integer number, value of structure level of GAF in doing so:

$$1 \leq m^A \leq \frac{1}{f_g}, 0 \leq n < \infty. \quad (48)$$

It is evident that: $\frac{1}{A}$ can be represented as: $\frac{1}{A} = m^{Ai} \cdot f_g^{-(n-1)}$, (49)

where m^{Ai} – is inversion of the mantissa m^A , wherein under the condition of formula (43):

$$\frac{1}{f_g} = m^A \cdot m^{Ai}. \quad (50)$$

Explore the mantissa m^A . For this we'll look at the power series as follows:

$$f_g^1 + f_g^2 + f_g^3 + \dots + f_g^k + \dots = \sum_{k=2}^{\infty} f_g^{k-1}. \quad (51)$$

It is obvious that the power series (51) – is geometrical progression given that it's every element z can be computed under formula:

$$f_g^z = f_g^1 \cdot f_g^{z-1}, 2 \leq z < \infty. \quad (52)$$

The series (51) makes sense as much as the following conditions are met:

- 1) the necessary test for the convergence: $\lim_{d \rightarrow \infty} f_g^d = 0, d = 1, 2, 3, \dots$
- 2) the sufficient test for the convergence:

$$\text{a) d'Alambert's: } \lim_{d \rightarrow \infty} \frac{f_g^{d+1}}{f_g^d} = f_g^1 < 1,$$

$$\text{b) the Cauchy's radical test: } \lim_{d \rightarrow \infty} \sqrt[d]{f_g^d} = f_g^1 < 1.$$

From the formula (52) follows that the number $f_g^1 = f_g$ – is denominator of the series (51), because $f_g^1 < 1$, than the series (51) – is decreasing geometrical progression, then the sum of the series is:

$$\sum_{k=2}^{\infty} f_g^{k-1} = \frac{f_g^1}{1-f_g} = \frac{f_g^1}{f_g^2} = f_g^{-1} = \frac{1}{f_g} = 1,61803398874989484820... \quad (53)$$

For the series:

$$f_g^2 + f_g^3 + f_g^4 + \dots + f_g^k + \dots = \sum_{k=3}^{\infty} f_g^{k-1}, \quad (54)$$

amount is:

$$\sum_{k=3}^{\infty} f_g^{k-1} = \frac{f_g^2}{1-f_g} = \frac{f_g^2}{f_g^2} = f_g + f_g^2 = 1. \quad (55)$$

For the series:

$$f_g^3 + f_g^4 + f_g^5 + \dots + f_g^k + \dots = \sum_{k=4}^{\infty} f_g^{k-1}, \quad (56)$$

amount is:

$$\sum_{k=4}^{\infty} f_g^{k-1} = \frac{f_g^3}{1-f_g} = \frac{f_g^3}{f_g^2} = f_g = 0,61803398874989484820... \quad (57)$$

For series:

$$f_g^4 + f_g^5 + f_g^6 + \dots + f_g^k + \dots = \sum_{k=5}^{\infty} f_g^{k-1}, \quad (58)$$

amount is:

$$\sum_{k=5}^{\infty} f_g^{k-1} = \frac{f_g^4}{1-f_g} = \frac{f_g^4}{f_g^2} = f_g^2 = 0,381966011250105151795... \quad (59)$$

For series:

$$f_g^5 + f_g^6 + f_g^7 + \dots + f_g^k + \dots = \sum_{k=6}^{\infty} f_g^{k-1}, \quad (60)$$

amount is:

$$\sum_{k=6}^{\infty} f_g^{k-1} = \frac{f_g^5}{1-f_g} = \frac{f_g^5}{f_g^2} = f_g^3 = 0,23606797749978969640... \quad (61)$$

Let:

$$i = 1, 2, 3, \dots \rightarrow \infty,$$

then in general case for considered series is true:

$$f_g^i + f_g^{i+1} + f_g^{i+2} + \dots + f_g^k + \dots = \sum_{k=i+1}^{\infty} f_g^{k-1} = f_g^{k-3}. \quad (62)$$

For example consequently for $k = 7, 8, 9, 10, 11, 12$, will get:

$$f_g^4 = 0,145898033750315455386..., \quad (63)$$

$$f_g^5 = 0,09016994374947424102..., \quad (64)$$

$$f_g^6 = 0,055728090000841214..., \quad (65)$$

$$f_g^7 = 0,0344418537486330267..., \quad (66)$$

$$f_g^8 = 0,02128623625220818770..., \quad (67)$$

$$f_g^9 = 0,01315561749642483896... \quad (68)$$

It is evident that at $k \rightarrow \infty$, is true:

$$f_g^i + f_g^{i+1} + f_g^{i+2} + \dots + f_g^k + \dots = \sum_{k=i+1}^{\infty} f_g^{k-1} = f_g^{k-3} \rightarrow 0. \quad (69)$$

GAF mantissa of any physical constant consisted of two parts: first part – is constant, which inherent for all mantissas – this is a number 1, wherein:

$$f_g^0 = f_g + f_g^2 = 1, \quad (70)$$

second part – is constant, let's define it as: m^{Ac} , which inherent only for particular GAF. It's characteristic number reflecting the specificities of the given fractal:

$$0 \leq m^{Ac} \leq f_g, \quad (71)$$

that is GAF m^A can be represented as:

$$m^A = 1 + m^{Ac} = f_g + f_g^2 + m^{Ac}. \quad (72)$$

On the basis of the formulas (51 – 69) it can be argued that an any characteristic number m^{Ac} can be represented with specified accuracy $\mathcal{E}$ in the form of series sum of the pattern (62). Let S – is the series sum of the form (62), representing number m^{Ac} with accuracy $\mathcal{E}$, i.e.:

$$|m^{Ac} - S| \leq \mathcal{E}. \quad (73)$$

Algorithm of the amount finding S is following:

- 1) find the amount S_1 , as series of (62) type, which value as close as possible to the number m^{Ac} , but is less than it on modulus;
- 2) define the accuracy $\mathcal{E}_1$:

$$m^{Ac} - S_1 = \mathcal{E}_1, \quad (74)$$

- 3) verify the ratio of accuracy $\mathcal{E}$ and $\mathcal{E}_1$, if: $\mathcal{E} < \mathcal{E}_1$, then:
- 4) define the amount S_2 , as series of (62) type, which value as close as possible to the number $\mathcal{E}_1$, but is less than it on modulus;
- 5) define the accuracy $\mathcal{E}_2$:

$$m^{Ac} - (S_1 + S_2) = \mathcal{E}_2, \quad (75)$$

- 6) verify the ratio of accuracy $\mathcal{E}$ and $\mathcal{E}_2$, if: $\mathcal{E} < \mathcal{E}_2$, then:
- 7) define the amount S_3 , as series of (62) type, which value as close as possible to the number $\mathcal{E}_2$, but is less than it on modulus;
- 8) define the accuracy $\mathcal{E}_3$:

$$m^{Ac} - (S_1 + S_2 + S_3) = \mathcal{E}_3, \quad (76)$$

- 9) verify the ratio of accuracy $\mathcal{E}$ and $\mathcal{E}_3$, and then:
- 10) do iterations of (74 – 76) type until the condition (73) will be met, then:

$$S = S_1 + S_2 + \dots + S_b, \quad (77)$$

where b – is the iterations quantity of (74 – 76) type, required to met the (73) condition.

N.B.: if characteristic number of the mantissa m^{Ac} is close to (59 – 68) or multiply to it, then the algorithm of it representation as power series is simplified.

From (70, 72, 77) it follows that any physical constant's mantissa can be represented as additive gold algebraic fractal with any specified accuracy.

Let's see the examples. Represent first ten numbers of a number sequence as additive gold algebraic fractals:

$$1 = (f_g + f_g^2) \cdot f_g^0, \quad (78)$$

$$2 = (f_g + f_g^2 + f_g^3) \cdot f_g^{-1}, \quad (79)$$

$$3 = (f_g + f_g^2 + f_g^4) \cdot f_g^{-2}, \quad (80)$$

$$4 = (f_g + 2 \cdot f_g^2 + f_g^4) \cdot f_g^{-2}, \quad (81)$$

$$5 = (f_g + f_g^2 + 2 \cdot f_g^5) \cdot f_g^{-3}, \quad (82)$$

$$6 = (f_g + 2 \cdot f_g^2 + f_g^7) \cdot f_g^{-3}, \quad (83)$$

$$7 = (f_g + f_g^2 + f_g^8) \cdot f_g^{-4}, \quad (84)$$

$$8 = (f_g + f_g^2 + f_g^4 + f_g^8) \cdot f_g^{-4}, \quad (85)$$

$$9 = (f_g + f_g^2 + f_g^3 + f_g^6 + f_g^8) \cdot f_g^{-4}, \quad (86)$$

$$10 = (f_g + 2 \cdot f_g^2 + f_g^6 + f_g^8) \cdot f_g^{-4}, \quad (87)$$

where $f_g^i, i = 1, 2, \dots, 8$ – determined by (57 – 67). Represent as additive gold algebraic fractals – the mass of some elementary particles: leptons (except for neutrino): a electron e , a muon μ , a tau τ and bosons: Higgs boson H^0 , Z^0 boson, $W^\pm$ boson. Wherein will use not the energetic but the gravitational equivalent of a mass. Mass values [12] of the above-mentioned elementary particles:

$$\text{electron mass } m_e : m_e = 9.10938356(11) \cdot 10^{-31} \text{ kg}, \quad (88)$$

$$\text{muon mass } m_\mu : m_\mu = 1.883531594(48) \cdot 10^{-28} \text{ kg}, \quad (89)$$

$$\text{tau mass } m_\tau : m_\tau = 3.16747(29) \cdot 10^{-27} \text{ kg}, \quad (90)$$

$$\text{Higgs boson mass } m_{H^0} : m_{H^0} = 2.2299(43) \cdot 10^{-25} \text{ kg}, \quad (91)$$

$$Z^0 \text{ boson mass } m_{Z^0} : m_{Z^0} = 1.625567(37) \cdot 10^{-25} \text{ kg}, \quad (92)$$

$$W^\pm \text{ boson mass } m_{W^\pm} : m_{W^\pm} = 1.43299(27) \cdot 10^{-25} \text{ kg}. \quad (93)$$

Mass values of elementary particles (88 – 93) in the form of gold algebraic fractals:

mantissa of the electron mass:

$$e^m = 1.13164233168890, \text{ then: } m_e = e^m \cdot f_g^{144} \text{ kg}, \quad (94)$$

mantissa of the muon mass:

$$\mu^m = 1.175788105912, \text{ then: } m_\mu = \mu^m \cdot f_g^{133} \text{ kg}, \quad (95)$$

mantissa of the tau mass:

$$\tau^m = 1.10190162111, \text{ then: } m_\tau = \tau^m \cdot f_g^{127} \text{ kg}, \quad (96)$$

mantissa of the Higgs boson mass:

$$H^{0,m} = 1.02054727240, \text{ then: } m_{H^0} = H^{0,m} \cdot f_g^{118} \text{ kg}, \quad (97)$$

mantissa of the Z^0 boson mass:

$$Z^{0,m} = 1.20374351254, \text{ then: } m_{Z^0} = Z^{0,m} \cdot f_g^{119} \text{ kg}, \quad (98)$$

mantissa of the $W^\pm$ boson mass:

$$W^{\pm,m} = 1.0611412325, \text{ then: } m_{W^\pm} = W^{\pm,m} \cdot f_g^{119} \text{ kg}. \quad (99)$$

Represent mantissas from formulas (94 – 99) as of gold algebraic fractals.

Mantissa of the electron mass: $e^m = 1.13164233168890$, is close to multiply value of $f_g^9 = 0.01315561749642483896\dots$, therefore approximately it can be represented:

with accuracy 10^{-3} :

$$e^m \approx f_g + f_g^2 + 10 \cdot f_g^9, \quad (100)$$

with accuracy 10^{-5} :

$$e^m \approx f_g + f_g^2 + 10 \cdot f_g^9 + f_g^{20} + f_g^{23} + f_g^{26} = 1.1316415716769572.$$

(101)

Approximation representation with accuracy 10^{-5} mantissa of the electron mass: $e^m = 1.13164233168890$

In the form of additive algebraic gold fractal on the algorithm (74 -77):

$$e^m \approx f_g + f_g^2 + f_g^5 + f_g^7 + f_g^{11} + f_g^{13} + f_g^{20} + f_g^{23} + f_g^{26} = 1.1316415716769572.$$

(102) Approximation representation of the electron mass in the form of additive gold algebraic fractal:

$$m_e \approx (f_g + f_g^2 + f_g^5 + f_g^7 + f_g^{11} + f_g^{13} + f_g^{20} + f_g^{23} + f_g^{26}) \cdot f_g^{144} \text{ kg}. \quad (103)$$

Mantissa of the muon mass: $\mu^m = 1.175788105912$ can be represented approximately as follows:

with accuracy 10^{-3} :

$$\mu^m \approx \sqrt{f_g + 2 \cdot f_g^2} = 1.175570504585, \quad (104)$$

with accuracy 10^{-5} :

$$\mu^m \approx f_g + f_g^2 + f_g^4 + f_g^8 + f_g^{10} + f_g^{16} + f_g^{24} = 1.175783598349. \quad (105)$$

Approximation representation of the muon mass in the form of additive gold algebraic fractal:

$$m_\mu \approx (f_g + f_g^2 + f_g^4 + f_g^8 + f_g^{10} + f_g^{16} + f_g^{24}) \cdot f_g^{133} \text{ kg}. \quad (106)$$

Mantissa of the tau mass: $\tau^m = 1.10190162111$ can be represented approximately with 10^{-5} in the form of additive gold algebraic fractal:

$$\tau^m \approx f_g + f_g^2 + f_g^5 + f_g^{10} + f_g^{12} + f_g^{16} + f_g^{21} = 1.1019001427232. \quad (107)$$

Approximation representation of the tau mass in the form of additive gold algebraic fractal:

$$m_\tau \approx (f_g + f_g^2 + f_g^5 + f_g^{10} + f_g^{12} + f_g^{16} + f_g^{21}) \cdot f_g^{127} \text{ kg}. \quad (108)$$

Mantissa of the Higgs boson mass: $H^{0,m} = 1.02054727240$ can be represented in the form of additive algebraic gold fractal:

$$H^{0,m} = f_g + f_g^2 + f_g^8 = 1.02128623625220. \quad (109)$$

Value of the Higgs boson mass in energetic equivalent is [12]:

$$m_{H^0} = 125.09 \pm 0.24 \text{ GeV}. \quad (110)$$

Value of the Higgs boson mass in energetic equivalent with (109) represented in the form of additive algebraic gold fractal is:

$$m_{H^0} = (f_g + f_g^2 + f_g^8) \cdot f_g^{118} = 125.18057589962250 \text{ GeV}, \quad (111)$$

what is within tolerance on formula (110). Should note that the Higgs boson mass and number 7 (formula (84)) – are one and the same additive algebraic gold.

Mantissa of the Z^0 boson mass: $Z^{0,m} = 1.20374351254$ can be represented approximately with accuracy 10^{-6} in the form of additive gold algebraic fractal:

$$Z^{0,m} \approx f_g + f_g^2 + f_g^4 + f_g^6 + f_g^{13} + f_g^{20} + f_g^{22} = 1.203743823360. \quad (112)$$

Approximation representation of the Z^0 boson mass in the form of additive gold algebraic fractal:

$$m_{Z^0} \approx (f_g + f_g^2 + f_g^4 + f_g^6 + f_g^{13} + f_g^{20} + f_g^{22}) \cdot f_g^{119} \text{ kg}. \quad (113)$$

Should note that characteristic number inversion of the mantissa of the Z^0 boson mass

approximately with accuracy 10^{-3} multiply to the value f_g^7 by formula (66), therefore inversion of mantissa's Z^0 boson mass approximately in the form of additive gold algebraic fractal:

$$Z^{0,mi} \approx f_g + f_g^2 + 10 \cdot f_g^7. \quad (114)$$

Mantissa of the $W^\pm$ boson mass: $W^{\pm,m} = 1.0611412325$ can be represented approximately with accuracy 10^{-5} in the form of additive gold algebraic fractal:

$$W^{\pm,m} \approx f_g + f_g^2 + f_g^6 + f_g^{12} + f_g^{13} + f_g^{17} + f_g^{19} = 1.0611400856. \quad (115)$$

Approximate value of the $W^\pm$ boson mass in the form of gold algebraic:

$$m_{W^\pm} \approx (f_g + f_g^2 + f_g^6 + f_g^{12} + f_g^{13} + f_g^{17} + f_g^{19}) \cdot f_g^{119} \text{ kg}. \quad (116)$$

Conclusions. Formulas (78 – 87) and (100 – 116) demonstrate that any physical constants which have any numerical value can be represented with specified accuracy in the form of additive gold algebraic fractals. Probably the Higgs boson mass and number 7 are one and the same gold algebraic fractal. In this case the Higgs boson mass can be defined accurately.

References

1. Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A.: Planck universal proportions. Gravitational - electromagnetic resonance., International scientific-technical magazine: Measuring and computing devices in technological processes, ISSN 2219-9365, 3 (52), p.p. 7 – 11, 2015. http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/vottp-2015-3.pdf // <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01329094v1>
2. https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?plkt|search_for=universal_in!
3. Aghanim N., Ashdown M., Aumont J., et al: Planck Collaboration: Planck intermediate results. XLVI.

Reduction of large-scale systematic effects in HFI polarization maps and estimation of the reionization optical depth. <https://arxiv.org/pdf/1605.02985.pdf>

4. Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A.,: Evaluation of the main spatial characteristics of the observable Universe based on the law "Planck Universal Proportions", International scientific-technical magazine: Measuring and computing devices in technological processes, ISSN 2219-9365, 1 (54), p. 144 – 147, 2016. http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/2016/vottp-2016-1.pdf. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01330333v3>

5. Timkov, V. F., Timkov, S. V.,: Rotating space of the Universe, as the source of dark energy and dark matter., International scientific-technical magazine: Measuring and computing devices in technological processes, ISSN 2219-9365, 3 (52), p.p. 200 – 204, 2015. http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/vottp-2015-3.pdf

6. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01329145v1>

7. Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A.,: Electric charge as a function of the moment of mass. Gravitational form of Coulomb's law., International scientific-technical magazine: Measuring and computing devices in technological processes, ISSN 2219-9365, 3 (56), pp.27 – 32, 2016. http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/2016/vottp-2016-3.pdf <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01374611v1>

8. Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A.,: Gravitational-electromagnetic resonance of the Sun as one of the possible sources of auroral radio emission of the planets in the kilometer range.,

9. International scientific-technical magazine: Measuring and computing devices in technological processes, ISSN 2219-9365, 4 (53), p.p. 23 – 32, 2015. http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/vottp-2015-4.pdf // <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01232287v1>

10. Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A.,: Gravitational-electromagnetic resonance of the Sun in the low-frequency of the radio spectrum of the Jupiter., International scientific-technical magazine: Measuring and computing devices in technological processes, ISSN 2219-9365, 2 (55), p.p. 198 – 203, 2016. http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/2016/vottp-2016-2.pdf. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01326265v1>

11. Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A., Afanasiev, K.E.,: Fractal structure of the fundamental constants. Numerical evaluation of the values of some of fundamental constants with use of the major characteristics of muon., International scientific-technical magazine: Measuring and computing devices in technological processes, ISSN 2219-9365, 3 (59), p.p. 188 – 194, 2017. http://fetrionics.ho.com.ua/pdf/pdf_full/2017/vottp-2017-3.pdf. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01581300v1> // <http://pdg.lbl.gov/2017/tables/rpp2017-sum-leptons.pdf>

12. Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A.,: Fractal structure of the Universe., International scientific-technical magazine: Measuring and computing devices in technological processes, ISSN 2219-9365, 2 (55), p.p. 190 – 197, 2016. http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/2016/vottp-2016-2.pdf. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01330337v1> // <http://pdglive.lbl.gov/Viewer.action>

Рецензія/Peer review : 20.04.2018 р.

Надрукована/Printed :08.07.2018 р.

Стаття прорецензована редакційною колегією

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 № 12 від 28.06.2018 р.**

Підп. до друку 28.06.2018 р. Ум.друк.арк. 36,23 Обл.-вид.арк. 39,93

Формат 30х42/4, папір офсетний. Друк різнографією.

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