

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

6.2018

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Том 2

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2018, Issue 6, Volume 267, Part 2

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, № 6, Том 2 (267)

**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	Синюк О. М. , д.т.н., професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем 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 С.В., д.т.н., Бойко Ю.М., д.т.н. Бубулис Алгимантас, д.т.н. (Литва), Говорущенко Т.О., д.т.н., 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., Карташов В.М., д.т.н., Кичак В.М., д.т.н., Кіницький Я.Т., 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., Попов В., доктор природничих наук (Німеччина), Прохорова І.А., д.т.н., Рогатинський Р.М., д.т.н., Ройзман В.П., д.т.н., Сарібеков Д.Г., д.т.н., Семенко А.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., Tomasz Kalaczynski, PhD (Польща), Elsayed Ahmed Elnashar, PhD (Єгипет).

<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 № 3 від 27.11.2018 р.**

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

т	(038-2) 67-51-08	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**Р.В. АМБАРЦУМЯНЦ, Е.Д. КАРА**КИНЕМАТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ШЕСТИЗВЕННОГО РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА ПРИВОДА НОГИ
ШАГАЮЩИХ МАШИН 7**В.О. ПРОЦЕНКО, О.Ю. КЛЕМЕНТЬЄВА**ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ КАНАТНО-РОЛИКОВОЇ МУФТИ НА ЇЇ РОБОТУ В
УМОВАХ РАДІАЛЬНОЇ НЕСПІВВІСНОСТІ 12**Н.О. КОСТЮК, А.І. ГОРДЄЄВ, Є.А. УРБАНИЮК**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМПЕНСАЦІЙНОЇ ПРУЖНОЇ СИСТЕМИ ВІБРАЦІЙНОЇ
МАШИНИ З ЕКСЦЕНТРИКОВИМ ПРИВОДОМ 19**В.П. ТКАЧУК, І.В. ДРАЧ**

ЗНИЖЕННЯ ВІБРАЦІЙ ЦЕНТРИФУГ ЦУКРОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ 27

В.П. МІСЯЦЬ, О.В. МІСЯЦЬ, М.Є. СКИБА, П.Ф. ЗОЗУЛЯ, А.О. ПОЛІЩУКМАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ПОПЕРЕДНЬОГО РОЗРІЗАННЯ ТАРИ З
ПОЛІЕТИЛЕНТЕРЕФЛАТАЛУ ПІД ЧАС ЗАВАНТАЖЕННЯ В РОТОРНІ ДРОБАРКИ 34**В.А. МАТВІЙЧУК, М.В. ЛЮБІН, О.А. ТОКАРЧУК, О.О. РУБАНЕНКО**ОСОБЛИВОСТІ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ДЛЯ ТРАНСПОРТУЮЧИХ
СИСТЕМ АПК 39**Д.В. СТАЦЕНКО, Б.М. ЗЛОТЕНКО**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА КУХОННОГО КОМБАЙНА НА
ОСНОВІ УНІВЕРСАЛЬНОГО КОЛЕКТОРНОГО ДВИГУНА 44**В.В. ЧУДОВ, О.В. БАТРАЧЕНКО, Н.В. ФІЛІМОНОВА, С.О. ФІЛІМОНОВ**

МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ НОЖІВ КУТЕРА З М'ЯСНОЮ СИРОВИНОЮ 48

О.Г. КУРПЕПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА РУЛОННОГО ПРОКАТУ ДЛЯ ТРУБ НА СТАНІ
СТЕККЕЛЯ ЗАВОДУ «FERRIERA VALSIDER» (ІТАЛІЯ) 53**М. Є. СКИБА, А. Ю. КРАВЧУК**РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПОЛІЕТИЛЕНУ ПІД ДІЄЮ
ВАЛКІВ ПРОФІЛЮ РЕЛО 60**ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ****О.В. НАХАЙЧУК, Е.А. ЗАХАРОВА, В.С. ГОРОБЧИШИНА, О.В. МАРЧУК**РОЗРОБКА ТРИВИМІРНОЇ МОДЕЛІ МАНЕКЕНУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОГРАМИ «КОМПАС-
3D» 64**О.С. ШОКРУТА, Н.В. ОСТАПЕНКО, Н.Д. КРЕДЕНЕЦЬ, Т.В. ЛУЦКЕР**

ДИЗАЙН-РОЗРОБКА КОЛЕКЦІЇ МОДЕЛЕЙ ЖІНОЧОГО ОДЯГУ 68

В. О. МУСІЄНКО, М. С. КИРЯЧОВА, К. Л. ПАШКЕВИЧОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРИНЦИПІВ МАСОВОЇ КАСТОМІЗАЦІЇ В ДИЗАЙН-
ПРОЕКТУВАННІ ОДЯГУ 74**Т.В. СТРУМІНСЬКА, Т.А. ПАШКОВСЬКА, К.В. КАБАНЕЦЬ**

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ СВЯТКОВОГО ОДЯГУ ДЛЯ ДІВЧАТ 80

Т.І. ПОПОВА, Н.В. ДЕВ'ЯТКО

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ СПЕЦОДЯГУ ДЛЯ ПРАЦІВНИКІВ САЛОНІВ КРАСИ 84

О.С. ВАСИЛЬЄВА, І.О. ГУЙВАН, І.В. ВАСИЛЬЄВА, О.Л. ЯВОРСЬКИЙ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ ФОРМЕНОГО ОДЯГУ ДЛЯ ШКОЛЯРІВ НА ОСНОВІ ПРИНЦИПІВ ТРАНСФОРМАЦІЇ	89
І.А. МАРТИРОСЯН, О.В. ПАХОЛЮК, В.І. ЛУБЕНЕЦЬ ВПЛИВ БІОЦИДНОГО ОБРОБЛЕННЯ ЦЕЛЮЛОЗОВІСНИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЗМІНУ ЇХ ВЛАСТИВОСТЕЙ	94
К.Ю. ПАНКРАТОВА, О.С. ВАСИЛЬЄВА ОСОБЛИВОСТІ СПРИЙНЯТТЯ КОЛЬОРУ СПОЖИВАЧЕМ У ДИЗАЙНІ УПАКОВКИ ХАРЧОВИХ ТОВАРІВ	99
О.А. ПАРАСКА, Т.С. РАК, Н. РАДЕК ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ ВИРОБІВ ПІСЛЯ ОБРОБКИ КОМПОЗИЦІЯМИ НА ОСНОВІ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН	103
Г.В. САКАЛОВА ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВІД ІОНІВ ХРОМУ ПРИРОДНИМИ СОРБЕНТАМИ. ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ	109
Ю.О. БУДАШ, Є.В. КУЧЕРЕНКО, В.П. ПЛАВАН, В.О. СОЗДАНА ВПЛИВ ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ПЕРЕРОБКИ ПРИРОДНИХ ВОЛОКОН НА ЇХ РОЗМІРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	115

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

О.В. ОСАДЧУК, О.О. СЕЛЕЦЬКА, Л.В. КРИЛИК МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ ОПТИЧНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ	121
О.І. ТОРЧИНСЬКИЙ, О.А. ПАСІЧНИК, Т.К. СКРИПНИК ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ АКТУАЛЬНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕНДЕНЦІЙ ВИМОГ ДО ФАХІВЦІВ ІТ-ГАЛУЗІ	126
О.В. БАРМАК, О.Д. КАЛИТА, Т.О. ГАЩУК, Т.К. СКРИПНИК ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЇВ ДІЛЯНОК ОБЛИЧЧЯ, ЩО ВІДТВОРЮЮТЬ ЕМОЦІЙНУ МІМІКУ	130
Г.І. МІХАЛЕВСЬКА, В.Ц. МІХАЛЕВСЬКИЙ КРИТЕРІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	135
Д.І. БІЛИЙ, Т.К. СКРИПНИК СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ САД/САЕ ДОДАТКІВ	141
Я.Е. ПШЕДЗЯЛ, Т.К. СКРИПНИК ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ОРГАНІЗАЦІЇ НА ПРИКЛАДІ КІНОТЕАТРУ	146
Н.Г. ШИРМОВСЬКА, І.Р. МИХАЙЛЮК, Г.І. ЛЕВИЦЬКА, Т.О. ВАВРИК СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ УПРАВЛІННЯ НИЗОВИХ РІВНІВ РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ НА ЗАСАДАХ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ	151
В.Ц. МІХАЛЕВСЬКИЙ, Г.І. МІХАЛЕВСЬКА ФУНКЦІЇ ПІДСИСТЕМ КАРТОГРАФІЧНОЇ ПІДТРИМКИ ПРОСТОРОВИХ ВЕБ-СЕРВІСІВ У ПРОМИСЛОВИХ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ	160
А.С. СВЕРСТЮК, Д.В. ВАКУЛЕНКО, О.М. КУЧВАРА, Ю.В. КРАВЧИК ПІДХІД ДО ЗАСТОСУВАННЯ ВІДКРИТИХ РЕСУРСІВ БІОСИГНАЛІВ PHYSIONET ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМ	165

А.А. ТАРАНЧУК, В.О. СЛОБОДЯН, О.В. ОСАДЧУК ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИЙ МЕМС-ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЯК ОСНОВА РЕАЛІЗАЦІЇ МІКРОЕЛЕКТРОННОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА	171
В. І. СТЕЦЬОК, В. В. МІШАН, В. В. КРИЛІВСЬКИЙ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ	178
М.А. ШЕВЧЕНКО, К.Л. ГОРЯЩЕНКО, О.Я. КУЧЕРУК ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА САМОПОДІБНІСТЬ ТРАФІКУ В ІР-МЕРЕЖАХ	183
Р.М. RADIUK NEUROEVOLUTION OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS FOR THE CLASSIFICATION OF LUNG CANCER IMAGES	188
Н.І. ПРАВОРСЬКА, Н.В. ГРИПІНСЬКА ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ОБМІНУ ДАНИМИ ДАТЧИКА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ	193
В.І. СТЕЦЬОК, В.Р. ЛЮБЧИК, А.С. СЕМЕНЮК МЕТОДИ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ	198
А. Б. КУНГУРЦЕВ, Я. В. ПОТОЧНЯК, А. Г. ЛИПИНСКАЯ, Л. С. ЖИРО ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ АББРЕВИАТУР ДЛЯ СЛОВАРЕЙ ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЕЙ	202
В.І. СТЕЦЬОК, В.В. МІШАН, О.В. БОЖЕНОК МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	209
V.V. ROMANUKE OPTIMAL PARTITIONING OF AN INITIAL DATASET INTO SUBDATASETS TO BE CLUSTERED FOR GETTING RID OFF THE DATASET SUPERFLUITIES FOR A MACHINE LEARNING TASK	213
С.Ю. ДАКОВ МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ SDN МЕРЕЖІ ЗА ДОПОМОГОЮ КЕРУЮЧОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	216
ОБМІН ПРАКТИЧНИМ ДОСВІДОМ, ТЕХНОЛОГІЯМИ ТА ОБГОВОРЕННЯ	
Д.В. ВАКУЛЕНКО, С.Н. ВАДЗЬОК, А.В. СЕМЕНЕЦЬ, О.В. ГЕВКО, І.Є. АНДРУЩАК ОБґРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ПРОФІЛАКТИКИ ТА РЕАБІЛІТАЦІЇ РІЗНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ	224
Б.П. КНИШ, Я.А. КУЛИК, А.І. ЛІСОВЕНКО МЕТОД РОЗПОДІЛУ ЧАСУ НА ДОСТАВКУ ТОВАРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЗГІДНО З ПРІОРИТЕТОМ	232
О.В. БАБЕНКО, А.А. ВИДМИШ, А.А. ШТУЦЬ НАБЛИЖЕНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ОСВІТЛЕНОСТІ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ СИСТЕМИ ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ	241
І.В. ГУНКО, С. А. БУРЛАКА, А.П. ЄЛЕНИЧ ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОСТІ НАФТОВОГО ПАЛИВА ТА БІОПАЛИВА З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДОЛОГІЇ ПОВНОГО ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ	246

DOI 10.31891/2307-5732-2018-267-6(2)-7-11
УДК 621.01

Р.В. АМБАРЦУМЯНЦ, Е.Д. КАРА
Одесская национальная академия пищевых технологий

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ШЕСТИЗВЕННОГО РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА ПРИВОДА НОГИ ШАГАЮЩИХ МАШИН

Работа посвящена кинематическому проектированию шестизвеного рычажного механизма в качестве привода ноги шагающих машин. Поставленная задача обоснована тем, что как показывает анализ современного состояния транспортирующих машин наиболее оптимальным способом передвижения, особенно при бездорожье, является шагание машин. Важнейшим устройством шагающих машин является привод ноги, обеспечивающий необходимую траекторию его движения. Наиболее эффективными с точки зрения эксплуатационных свойств являются цикловые механизмы и, особенно, рычажные механизмы, позволяющие обеспечить поступательное перемещение ноги шагающей машины по заданной траектории. В данной работе представлен метод кинематического синтеза направляющего рычажного дифференциального механизма с двумя обобщенными координатами, что является продолжением решения общей задачи кинематического синтеза, поставленной в ранней работе авторов. Решение поставленной задачи осуществлено методом теории приближения функций, а именно методом интерполирования. Приведен числовой пример.

Ключевые слова: механизм, рычажный, шатун, кинематический синтез, метод интерполирования, линейная система уравнений.

R.V. AMBARTSUMYANTS, E.D. KARA
Odessa National Academy of Food Technologies

KINEMATIC SYNTHESIS OF THE SIX-UNIT LEVER MECHANISM OF THE DRIVE OF THE LEG OF THE WALKING MACHINES

The work is devoted to the kinematic design of a six-membered linkage to drive the legs of walking machines. The task is justified by the fact that, as the analysis of the current state of transporting vehicles shows, the most optimal way of movement, especially when off-road, is pacing machines. The most important device for walking machines is the leg drive, which provides the necessary trajectory of its movement. The most effective from the point of view of operational properties are cyclic mechanisms and, especially, lever mechanisms, allowing to ensure the translational movement of the leg of the walking machine along a given trajectory. This paper presents a method of kinematic synthesis of a guide lever differential mechanism with two generalized coordinates, which is a continuation of the solution of the general problem of kinematic synthesis, posed in the early work of the authors. In this work, the problem of the kinematic synthesis of this mechanism was divided into subtasks; this solution allowed us to provide several predetermined conditions for kinematic synthesis: the presence of a crank as an input link; the presence of a straight portion of the connecting rod curve of a certain point of the connecting rod crank-slider mechanism; the required height of the connecting rod curve. The solution of the problem is realized by the method of the theory of approximation of functions, namely by the method of interpolation. Systems of linear and nonlinear equations were compiled for calculating three and four parameters of the mechanism and general methods for solving these systems are given. A numerical example of determining the parameters of the three-link guide lever differential mechanism is given.

Keywords: mechanism, lever, connecting rod, kinematic synthesis, interpolation method, linear system of equations.

В работе [1] установлено, что наиболее простыми среди рычажных цикловых механизмов в качестве привода ноги шагающих машин является шестизвеной рычажный механизм, образованный на базе кривошипно-ползунного механизма. Здесь же предложено задачу кинематического синтеза этого механизма разделить на подзадачи, решение которых позволит обеспечить несколько заданных условий:

- 1) наличие кривошипа в качестве входного звена;
- 2) наличие прямолинейного участка шатунной кривой некоторой точки шатуна кривошипно-ползунного механизма;
- 3) необходимая высота шатунной кривой.

Первая задача посвящена к кинематическому синтезу трехзвеного шарнирно-рычажного дифференциального механизма с двумя обобщенными координатами для воспроизведения заданной траектории ноги шагающих машин, что и решена в работе [1].

Вторая задача заключается в определении на шатуне трехзвеного шарнирно-рычажного дифференциального механизма некоторой ее точки, траектория которой мало отличается от прямой, описываемой уравнением

$$y_C = kx_C + d, \quad (1)$$

где y_C , x_C – координаты искомой точки шатуна в плоскости его движения.

Таким образом, поставленная вторая задача сводится к кинематическому синтезу направляющих механизмов и, в частности, к синтезу направляющего кривошипно-ползунного механизма, часть геометрических параметров которого определены при решении первой задачи [1].

К настоящему времени проведены многочисленные исследования, посвященные к кинематическому синтезу направляющих механизмов. В частности в фундаментальной работе [2] кинематический синтез направляющего кривошипно-ползунного механизма выполнен использованием рекуррентных соотношений и приемами аналитической геометрии по методу немецкого ученого Бурмейстера. Аналогичная методика применена для более сложных рычажных направляющих механизмов (рычажные восьмизвенники) [3, 4]. Однако во всех перечисленных и других аналогичных работах ставится одна цель – воспроизвести часть

заданной траектории (участок прямой линии или дуги окружности), что позволяет на их основе проектировать рычажные механизмы с остановкой выходного звена. Поэтому, предложенные в перечисленных работах методы неприменимы для трехзвенного рычажного дифференциального механизма с двумя обобщенными координатами, так как заданная траектория ноги шагающих машин уже предопределяет его основные геометрические и кинематические параметры.

Целью настоящей работы является разработка метода кинематического синтеза направляющего рычажного дифференциального механизма с двумя обобщенными координатами, т.е. продолжение решения общей задачи кинематического синтеза поставленной в работе [1].

На рис. 1 представлена, в декартовой прямоугольной системе координат yOx , расчетная схема трехзвенного рычажного дифференциального механизма, где обозначены $\tilde{r}_2, \tilde{r}_3, \tilde{r}_4$ – относительные радиусы части кривых заданной траектории, отнесенные к прямолинейному участку заданной траектории с длиной «единица»; $\tilde{h}$ – относительная высота траектории; $\tilde{y}_0$ – относительная ордината, определяющая положение траектории ноги относительно плоскости, параллельной к дорожному полотну; a, b – относительные длины кривошипа AB и шатуна BE .

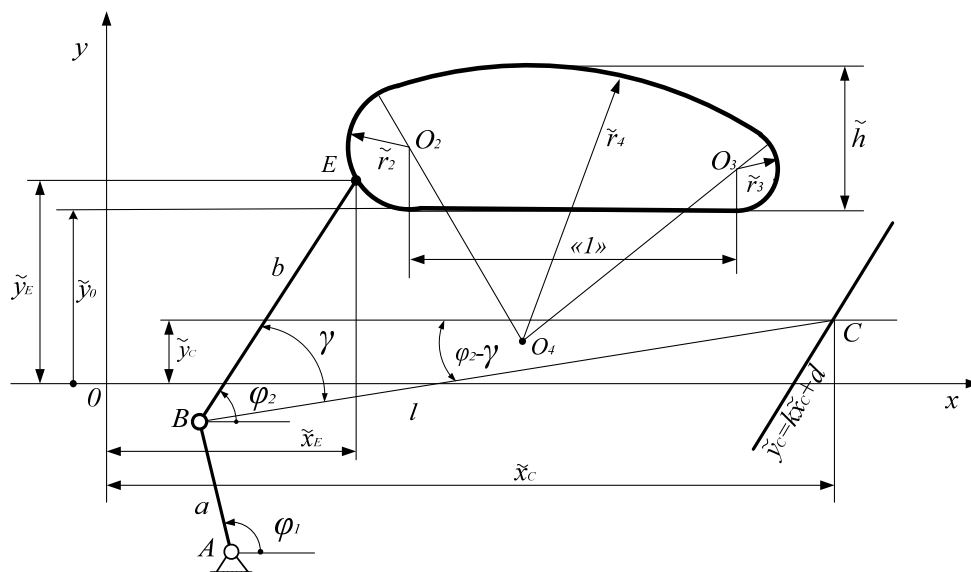


Рис. 1. Расчетная схема направляющего трехзвенного шарнирно-рычажного дифференциального механизма

Предположим траектория точки C шатуна BE мало отличается от прямой линии на некотором угле поворота φ_1 входного звена AB и описывается уравнением (1). Обозначим расстояние $(BC)=l$, а угол между прямыми BE и BC – через γ . Согласно расчетной схеме запишем:

$$\begin{bmatrix} x_C \\ y_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_E \\ y_E \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b \\ l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\cos \varphi_2 \cos(\varphi_2 - \gamma) \\ -\sin \varphi_2 \sin(\varphi_2 - \gamma) \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Поскольку координаты точки A , длины кривошипа AB и шатуна BE определены на первом этапе кинематического синтеза, то, принимая во внимание уравнение (2), определению подлежат значения максимум четырех параметров: l, k, d, γ .

Представим решение поставленной задачи методом теории приближения функций, а именно методом интерполирования [2]. Поскольку кроме обеспечения прямолинейного участка заданной траектории требуется обеспечить и высоту $\tilde{h}$, то одну точку интерполирования используем для получения необходимой высоты $\tilde{h}$, а три точки интерполирования располагаем на прямолинейном участке заданной траектории длиной «1». Точки интерполирования на участке «1» располагаем согласно рекомендациям [2], а параметры точки интерполирования, для заданной траектории, обеспечивающие высоту $\tilde{h}$, находим согласно рис. 2.

Из расчетной схемы следует, что абсцисса и ордината точки $E_{\tilde{h}}$ равны:

если радиусы $\tilde{r}_2 = \tilde{r}_3$, то

$$\tilde{x}_{E_{\tilde{h}}} = \tilde{x}_{02} + 0,5 = \tilde{x}_{03} - 0,5, \quad (3)$$

если они отличаются, то

$$\tilde{x}_{E_{\tilde{h}}} = \tilde{x}_{04}, \quad \tilde{y}_{E_{\tilde{h}}} = \tilde{r}_4 + \tilde{y}_{04}, \quad (4)$$

где $\tilde{x}_{04}, \tilde{y}_{04}$ – относительные значения координат точки O_4 , через которую описывается часть заданной траектории.

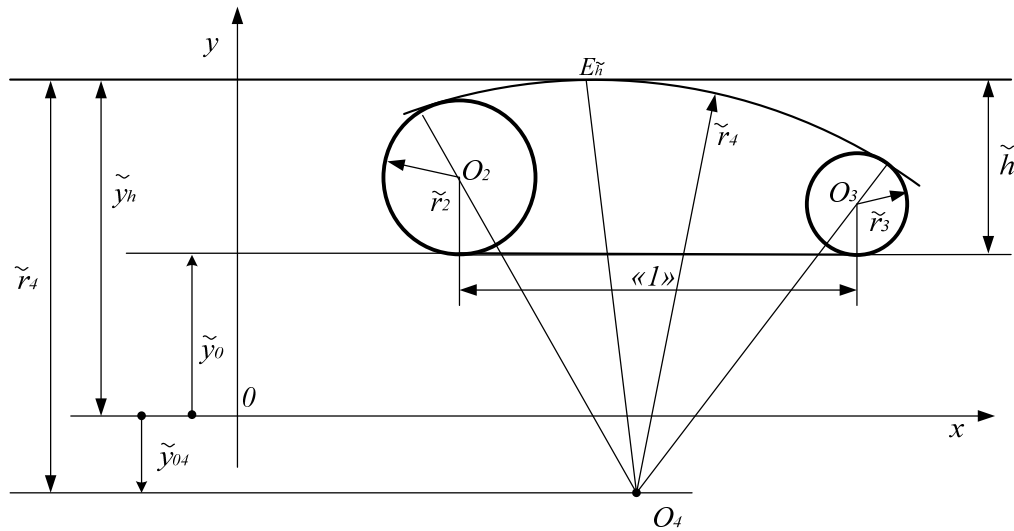


Рис. 2. К определению координат точки заданной траектории, определяющую ее максимальную высоту

Представим сначала решение поставленной задачи для вычисления трех параметров, располагая при этом два узла интерполирования на участке «1», руководствуясь рекомендациями [2], а третий узел совмещаем в точке E_h . По выбранным координатам точки E_h заданной траектории ноги шагающей машины, находим значения углов поворота φ_1 кривошипа AB и φ_2 шатуна BE . Имеем [1]:

$$\varphi_1 = 2 \arctg \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A};$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{\tilde{x}_E - \tilde{x}_A - a \cos \varphi_1}{b}, \sin \varphi_2 = \frac{\tilde{y}_E - \tilde{y}_A - a \sin \varphi_1}{b}, \quad (5)$$

где $A = 2a(\tilde{x}_A - \tilde{x}_E)$; $B = 2a(\tilde{y}_A - \tilde{y}_E)$; $C = (\tilde{x}_A - \tilde{x}_E)^2 + (\tilde{y}_A - \tilde{y}_E)^2 + a^2$.

Преобразуем выражения (2) с учетом уравнения (1) для вычисления трех параметров l , k , d . Имеем:

$$x_C = x_E - b \cos \varphi_2 + l \cos(\varphi_2 - \gamma); \quad (6)$$

$$kx_C = y_E - b \sin \varphi_2 + l \sin(\varphi_2 - \gamma) - d. \quad (7)$$

Перемножим уравнение (6) на k и с учетом (7) получим

$$kx_E - kb \cos \varphi_2 + kl \cos(\varphi_2 - \gamma) - y_E + b \sin \varphi_2 - l \sin(\varphi_2 - \gamma) + d = 0. \quad (8)$$

Обозначим: $P_0 = d$; $P_1 = k$; $P_2 = l$; $f_1(\varphi_2) = x_E - b \cos \varphi_2$; $f_2(\varphi_2) = \sin(\varphi_2 - \gamma)$;

$$f_3(\varphi_2) = \cos(\varphi_2 - \gamma). \quad (9)$$

Тогда для уравнения взвешенной разности [2] на основании (8) получим

$$\Delta_q = P_0 + P_1 f_1(\varphi_2) + P_2 f_2(\varphi_2) + P_1 P_2 f_3(\varphi_2) - y_E. \quad (10)$$

Обозначим углы поворота шатуна по выбранным узлам интерполирования φ_{21} , φ_{22} , φ_{23} значения которых находим по уравнения (5).

На основании (10) составим систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} P_0 + P_1 f_1(\varphi_{21}) + P_2 f_2(\varphi_{21}) + P_1 P_2 f_3(\varphi_{21}) - y_E &= 0 \\ P_0 + P_1 f_1(\varphi_{22}) + P_2 f_2(\varphi_{22}) + P_1 P_2 f_3(\varphi_{22}) - y_E &= 0 \\ P_0 + P_1 f_1(\varphi_{23}) + P_2 f_2(\varphi_{23}) + P_1 P_2 f_3(\varphi_{23}) - y_E &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (11)$$

Представим решение системы (11) методом последовательного исключения неизвестных. Первым шагом исключаем параметр P_0 и на основании (11) получим:

$$\left. \begin{aligned} a_1 P_1 + b_1 P_2 + d_1 (P_1 P_2) - c_1 &= 0 \\ a_2 P_1 + b_2 P_2 + d_2 (P_1 P_2) - c_2 &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (12)$$

где $a_1 = f_1(\varphi_{22}) - f_1(\varphi_{21})$; $a_2 = f_1(\varphi_{23}) - f_1(\varphi_{21})$; $b_1 = f_2(\varphi_{22}) - f_2(\varphi_{21})$; $b_2 = f_2(\varphi_{23}) - f_2(\varphi_{21})$;

$$d_1 = f_3(\varphi_{22}) - f_3(\varphi_{21}); d_2 = f_3(\varphi_{23}) - f_3(\varphi_{21}); c_1 = y_{E2} - y_{E1}; c_2 = y_{E3} - y_{E1} \quad (13)$$

Исключив из системы уравнения (12) неизвестную P_1 относительно неизвестной величины P_2 получим квадратное уравнение

$$A_1 P_2^2 + B_1 P_2 + C_1 = 0, \quad (14)$$

где $A_1 = \begin{vmatrix} b_2 d_2 \\ b_1 d_1 \end{vmatrix}$; $B_1 = \begin{vmatrix} a_1 b_1 \\ a_2 b_2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} c_1 c_2 \\ d_2 d_1 \end{vmatrix}$; $C_1 = \begin{vmatrix} a_2 c_2 \\ a_1 c_1 \end{vmatrix}$.

При решении уравнения (14) значением свободного параметра γ варьируем в границах $0 \leq \gamma \leq 360^\circ$ для минимизации отклонений

$$\Delta_1 = |\tilde{y}_{p \max} - \tilde{y}_0|_{\min} \text{ и } \Delta_2 = |\tilde{h}_{p \max} - \tilde{h}|_{\min}, \quad (15)$$

где $\tilde{y}_{p \max}, \tilde{h}_{p \max}$ – максимальные значения ординат шатунной точки E на прямолинейном участке «1» и высоты соответственно.

Рассмотрим возможность получения линейной системы уравнений кинематического синтеза, что приводит к существенному упрощению процедуры вычислений.

Преобразуем выражение (2) для вычисления значения параметров l, d и γ предполагая, что значение k известно и оно варьируется в границах $0 \leq k \leq 90^\circ$.

$$\text{Обозначим: } P_0 = d/k; P_1 = l \cos \gamma; P_2 = l \sin \gamma;$$

$$f_1(\varphi_2) = \cos \varphi_2 - 1/k \sin \varphi_2; f_2(\varphi_2) = \sin \varphi_2 + 1/k \cos \varphi_2; F(\varphi_2) = x_E - y_E/k - b(\cos \varphi_2 - 1/k \sin \varphi_2).$$

Тогда для вычисления параметров l, d и γ получим линейный полином вида:

$$\Delta_q = P_0 + P_1 f_1(\varphi_{2i}) + P_2 f_2(\varphi_{2i}) + F(\varphi_{2i}). \quad (16)$$

где $i = 1, 2, 3$ – число точек интерполирования.

Для решения системы уравнений, составленной на основании (16), можно воспользоваться стандартными программами, а для выбора наиболее удовлетворительного решения при варьировании значения k воспользуемся критериями (15).

Выражение (16) удобно тем, что кроме простоты его решения, удобно воспользоваться также методом квадратического приближения функций [2].

Преобразуем выражение (2) для вычисления максимально возможного числа параметров рассматриваемого механизма.

$$\text{Обозначим: } P_0 = d; P_1 = k; P_2 = l \cos \gamma; P_3 = l \sin \gamma; f_1(\varphi_2) = x_E - b \cos \varphi_2; f_2(\varphi_2) = \sin \varphi_2; f_3(\varphi_2) = \cos \varphi_2; F(\varphi_2) = y_E.$$

Для вычисления четырех параметров методом интерполирования получим нелинейную систему уравнений вида

$$P_0 + P_1 f_1(\varphi_{2i}) + (P_2 + P_1 P_3) f_2(\varphi_{2i}) + (P_3 + P_1 P_2) f_3(\varphi_{2i}) + F(\varphi_{2i}) = 0, \quad (17)$$

где $i = \overline{1, 4}$ – число точек интерполирования.

После исключения неизвестного коэффициента P_0 составим систему уравнений:

$$\begin{aligned} & P_1[f_1(\varphi_{21}) - f_1(\varphi_{22})] + (P_2 + P_1 P_3)[f_2(\varphi_{21}) - f_2(\varphi_{22})] + (P_3 + P_1 P_2)[f_3(\varphi_{21}) - f_3(\varphi_{22})] + \\ & + [F(\varphi_{21}) - F(\varphi_{22})] = 0; \\ & P_1[f_1(\varphi_{21}) - f_1(\varphi_{23})] + (P_2 + P_1 P_3)[f_2(\varphi_{21}) - f_2(\varphi_{23})] + (P_3 + P_1 P_2)[f_3(\varphi_{21}) - f_3(\varphi_{23})] + \\ & + [F(\varphi_{21}) - F(\varphi_{23})] = 0; \\ & P_1[f_1(\varphi_{21}) - f_1(\varphi_{24})] + (P_2 + P_1 P_3)[f_2(\varphi_{21}) - f_2(\varphi_{24})] + (P_3 + P_1 P_2)[f_3(\varphi_{21}) - f_3(\varphi_{24})] + \\ & + [F(\varphi_{21}) - F(\varphi_{24})] = 0 \end{aligned} \quad (18)$$

Обозначим:

$$\begin{aligned} a_j &= f_1(\varphi_{21}) - f_1(\varphi_{2j}); & b_j &= f_2(\varphi_{21}) - f_2(\varphi_{2j}); & c_j &= f_3(\varphi_{21}) - f_3(\varphi_{2j}); \\ d_j &= F(\varphi_{21}) - F(\varphi_{2j}), \text{ где } j = 2, 3, 4. \end{aligned}$$

Тогда система (18) принимает вид

$$\left. \begin{aligned} a_1 P_1 + b_1 (P_2 + P_1 P_3) + c_1 (P_3 + P_1 P_2) P_2 + d_1 &= 0 \\ a_2 P_1 + b_2 (P_2 + P_1 P_3) + c_2 (P_3 + P_1 P_2) P_2 + d_2 &= 0 \\ a_3 P_1 + b_3 (P_2 + P_1 P_3) + c_3 (P_3 + P_1 P_2) P_2 + d_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

или

$$\left. \begin{aligned} P_1 (a_1 + b_1 P_3 + c_1 P_2) + b_1 P_2 + c_1 P_3 + d_1 &= 0 \\ P_1 (a_2 + b_2 P_3 + c_2 P_2) + b_2 P_2 + c_2 P_3 + d_2 &= 0 \\ P_1 (a_3 + b_3 P_3 + c_3 P_2) + b_3 P_2 + c_3 P_3 + d_3 &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (20)$$

Из системы уравнений (20) легко исключить неизвестный коэффициент P_1 . Однако, полученная при этом система уравнений для вычисления значений неизвестных коэффициентов P_2, P_3 , получается слишком сложной, трудно поддающейся решению.

Представим систему (19) в другом виде:

$$\left. \begin{aligned} P_1 (a_1 + b_1 P_3) + P_2 (b_1 + c_1 P_1) + c_1 P_3 + d_1 &= 0 \\ P_1 (a_2 + b_2 P_3) + P_2 (b_2 + c_2 P_1) + c_2 P_3 + d_2 &= 0 \\ P_1 (a_3 + b_3 P_3) + P_2 (b_3 + c_3 P_1) + c_3 P_3 + d_3 &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (21)$$

После исключения из (21) неизвестного коэффициента P_2 и ее преобразования получим систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} n_1 P_1 + P_3(m_1 P_1 + k_1 P_1^2 + q_1) + g_1 &= 0 \\ n_2 P_1 + P_3(m_2 P_1 + k_2 P_1^2 + q_1) + g_2 &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (22)$$

где $n_1 = a_1 b_2 + d_1 c_2 - c_1 d_2$; $n_2 = a_1 b_3 + d_1 c_3 - c_1 d_3$; $m_1 = b_1 b_2$; $m_2 = b_1 b_3$; $k_1 = b_1 c_2$; $k_2 = b_1 c_3$; $q_1 = c_1 b_2 - c_2 b_1$; $q_2 = c_1 b_3 - c_3 b_1$; $g_1 = d_1 b_2 - d_2 b_1$; $g_2 = d_1 b_3 - d_3 b_1$.

После исключения из системы уравнений (22) коэффициента P_3 относительно неизвестного коэффициента P_1 получим кубическое уравнение.

Имеем:

$$AP_1^3 + BP_1^2 + CP_1 + D = 0, \quad (23)$$

где $A = n_1 k_2 - k_2 n_1$; $B = n_1 m_2 - n_2 m_1 + g_1 k_2 + q_2 k_1$; $C = n_1 q_1 - n_2 q_2 + g_1 m_2 - g_2 m_1$; $D = g_1 q_2 - g_2 q_1$.

Пример. Определить параметры трехзвенного направляющего рычажного дифференциального механизма при заданных: $S=1, \gamma=10^\circ$, $r_2=0,30$, $r_3=0,20$, $a=0,6234$; $b=2,5628$, $\tilde{x}_A=-1,00$, $\tilde{y}_A=-0,6668$

Поставленную задачу решили с помощью системы уравнений (16) путем варьирования свободного параметра k в границах $0 \leq k \leq 90^\circ$, шагом $\Delta_k = 5^\circ$. Из множества решений выбрано решение, удовлетворяющее условию $\Delta = (\Delta_{1\min})_{\max} + (\Delta_{2\min})_{\max} \rightarrow \min$, где $(\Delta_{1\min})_{\max}$ – максимальное значение отклонений от прямой линии из всех линейных значений; и $(\Delta_{2\min})_{\max}$ – максимальное значение отклонений высоты шатунной кривой из всех минимальных его значений.

Имеем $(\Delta_{1\min})_{\max} = \pm 0,011$, $(\Delta_{2\min})_{\max} = \pm 0,0065$, $\Delta = \pm 0,017$.

Выводы

1. Разбивка задачи кинематического синтеза направляющего кривошипно-ползунного механизма на две подзадачи позволяет упростить общую задачу кинематического синтеза и определить почти все геометрические размеры аналитическим методом.

2. Представленная методика кинематического синтеза позволяет использовать как метод интерполирования функций, так и метод квадратического приближения.

3. Установлено сочетание параметров кинематической схемы механизма, позволяющего получить линейный полином, что сравнительно упрощает вычислительную процедуру кинематического синтеза.

Литература

1. Амбарцумянц Р.В. Кинематический синтез шестизвенного рычажного механизма привода ноги шагающих машин / Р.В. Амбарцумянц, Е.Д. Кара // Вісник Хмельницького національного університету. – 2018. – № 1. – С. 208–212.
2. Артоболевский С.И. Синтез плоских механизмов / Артоболевский С.И., Левитский Н.Н., Черкудинов С.А. – М.: Физматгиз, 1959. – С. 1084.
3. Харжевский В.А. Метод определения положения шатунных точек для проектирования рычажных приближений направляющих механизмов / В.А. Харжевский // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого (Республика Беларусь). – 2015. – № 4 (63). – С. 7–13.
4. Харжевский В.О. Синтез важільних прямолінійних напрямних механізмів з використанням п'ятикратних вузлів інтерполяції / В.О. Харжевський // Вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут». Серія машинобудування. – 2015. – № 3 (75). – С. 30–36.
5. Павловский В.Е. О разработке шагающих машин / В.Е. Павловский // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. – 2013. – № 101. – С. 32.

References

1. Ambartsumyants R.V. Kinematicheskii sintez shestizvennogo ryuchajnogo mehanizma privoda nogi shagayuschih mashin / R.V. Ambartsumyants, E.D. Kara // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2018. – № 1. – S. 208–212.
2. Artobolevskiy S.I. Sintez ploskih mehanizmov / Artobolevskiy S.I., Levitskiy N.N., Cherkudinov S.A. – M.: Fizmatgiz, 1959. – S. 1084.
3. Harjevskiy V.A. Metod opredeleniya polozeniya shatunnykh tocek dlya proektirovaniya ryuchajnykh pribliheniy napravlyayuschih mehanizmov / V.A. Harjevskiy // Vestnik Gomelskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta im. P.O. Suhogo (Respublika Belarus). – 2015. – № 4 (63). – S. 7–13.
4. Kharzhevskiy V.O. Syntez vazhilnykh priamoliniinykh napriamnykh mekhanizmiv z vykorystanniam piatykratnykh vuzliv interpoliatsii / V.O. Kharzhevskiy // Visnyk NTUU «Kyivskiy politekhnichnyi instytut». Seriya mashynobuduvannia. – 2015. – № 3 (75). – S. 30–36.
5. Pavlovskiy V.E. O razrabotke shagayuschih mashin / V.E. Pavlovskiy // Preprinty IPM im. M.V. Keldysha. – 2013. – № 101. – S. 32.

Рецензія/Peer review : 7.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 18.12.2018 р.

Рецензент: д. т. н., проф. Гладушняк А.К.

В.О. ПРОЦЕНКО, О.Ю. КЛЕМЕНТЬЄВА

Херсонська державна морська академія

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ КАНАТНО-РОЛИКОВОЇ МУФТИ НА ЇЇ РОБОТУ В УМОВАХ РАДІАЛЬНОЇ НЕСПІВВІСНОСТІ

Стаття відноситься до галузі машинознавства та деталей машин. Представлено конструкцію муфти з канатним несівним елементом. Проаналізовано вплив конструктивних параметрів канатно-роlikової муфти на навантаженість її несівного каната в умовах наявності радіальної неспіввсності. Показано, що розроблена муфта характеризується низькою радіальною жорсткістю та відповідно високою компенсуючою здатністю. За рахунок цього канатно-роlikова муфта створює однакове силове навантаження на сполучені вали при неспіввсності на порядок вищий ніж муфта-прототип з пружною зіркою.

Ключові слова: муфта, канат, неспіввсність, момент, привод.

V.O. PROTSSENKO, O.YU. KLEMENTYIEVA

Kherson State Maritime Academy

INFLUENCE OF CONSTRUCTION PARAMETERS OF ROPE-ROLLER COUPLING ON ITS WORK IN RADIAL MISALIGNMENT CONDITION

Article belongs to area of mechanical engineering and parts of machines. Among the expenses for the operation of the drive units, the cost of installation and adjustment of the mutual position of the combined aggregates is significant. A significant reduction in installation costs can be achieved by using a coupling of high compensating power, since the accuracy of the alignment of these aggregates directly depends on the inconsistency, permissible coupling. In view of this, great interest has always been caused by couplings containing a floating bearing element, for example, cross-coupling couplings. Such couplings, however, quickly wear out, as their elements work in conditions of slipping at significant specific pressures and have high stiffness, and therefore did not gain much. Therefore, the development of new couplings of high compensating power and the study of their parameters is an urgent task. The purpose of the article is to determine the influence of the structural parameters of the cable-clutch coupling on its operation in conditions of radial non-alignment. New construction of coupling with rope bearing element is presented. Influence of construction parameters of rope-roller coupling on load its bearing rope element in radial misalignment condition is analyzed. The authors analyze the influence of the structural parameters of the rope-clutch coupling on the intensity of its nose rope in the presence of radial non-uniformity and it is determined that the effect of the angle of radial displacement on the tension of the rope is not linear and the size of the roller does not significantly affect the tension of the rope. However, it has been proved that when working in conditions of considerable disparity, it is advisable to increase the difference between the diameters in order to increase the length of the rope and decrease the relative elongation, and hence the additional tension from the non-uniformity and radial load on the shafts. It is shown, that designed coupling is characterized low radial stiffness and respectively high compensating ability. Through of this rope-roller coupling making the same radial load on connecting shafts in misalignment an order of magnitude higher than prototype jaw coupling with rubber spider flexible element.

Keywords: coupling, rope, misalignment, torque, transmission.

Вступ

Серед витрат на експлуатацію приводних агрегатів значну долю мають витрати на монтаж та регулювання взаємного положення сполучених агрегатів, і чим більші розміри та маса цих агрегатів – тим більші витрати [1]. Суттєвого зниження витрат на монтаж вдається досягнути застосуванням муфт великої компенсуючої здатності, оскільки потрібна точність центровки цих агрегатів напряму залежить від неспіввсності, допустимої муфтою. В таких умовах кожна десята доля міліметра допустимої муфтою неспіввсності є значним резервом для зниження витрат та спрощення технічного обслуговування. З огляду на це велику цікавість завжди викликали муфти, що містять плаваючий несівний елемент, наприклад хрестово-кулісні муфти. Такі муфти однак швидко зношуються, оскільки їх елементи працюють в умовах ковзання при значних питомих тисках та мають високу жорсткість, і тому значного поширення не набули. Тому розроблення нових муфт високої компенсуючої здатності та дослідження їх параметрів становить актуальну задачу.

Постановка задачі

В даній роботі досліджується муфта, ідею створення якої можна пояснити схемою згідно рис. 1, а. Муфта містить дві напівмуфти – зовнішню 1 і внутрішню 2, що сполучені відрізком каната 3, яких може бути кілька, обидва кінці 4 і 5 каната 3 закріплені у пальцях 6, що встановлені у зовнішній напівмуфті 1, а внутрішня напівмуфта 2 містить встановлені з можливістю повороту на осях 7 ролики 8, між якими розташовано канат 3, яким охоплені ролики 8. При роботі муфти, що сполучає співвісні вали ролики тиснуть на канат, або навпаки (в залежності від того, яка з муфт 1 чи 2 є ведучою) без перекочування по ньому. У випадку наявності радіальної неспіввсності Δ_r , одночасно з обертанням муфти (за її описаної «ідеалізованої» схеми) матиме місце взаємне переміщення напівмуфт за кожен оберт на величину неспіввсності та обкошування роликів по канату (без його видовження та радіального тиску на вали) із їх поворотом на кут α_p (рис. 1, б):

$$\alpha_p = \frac{2\Delta_r}{\pi d_p} \quad (1)$$

Однак в такому «ідеалізованому» варіанті, як показано на рис. 1 муфта працювати не зможе, оскільки це викличе надто великий натяг каната при її роботі, тому доцільно кінці канта закріпити таким чином, щоб досягалася охоплення ним роликів, як показано на схемі рис. 2. В такому варіанті розташування каната і роликів, однак, при роботі муфти в умовах неспіввідповідності, матиме місце додаткове видовження каната та радіальний тиск від муфти на вали. Очевидно, що цей тиск, як і інші характеристики муфти, залежатиме від її конструктивних параметрів. Тому встановлення впливу конструктивних параметрів канатно-роlikової муфти на радіальне навантаження від цієї муфти на вали становить мету даної роботи.

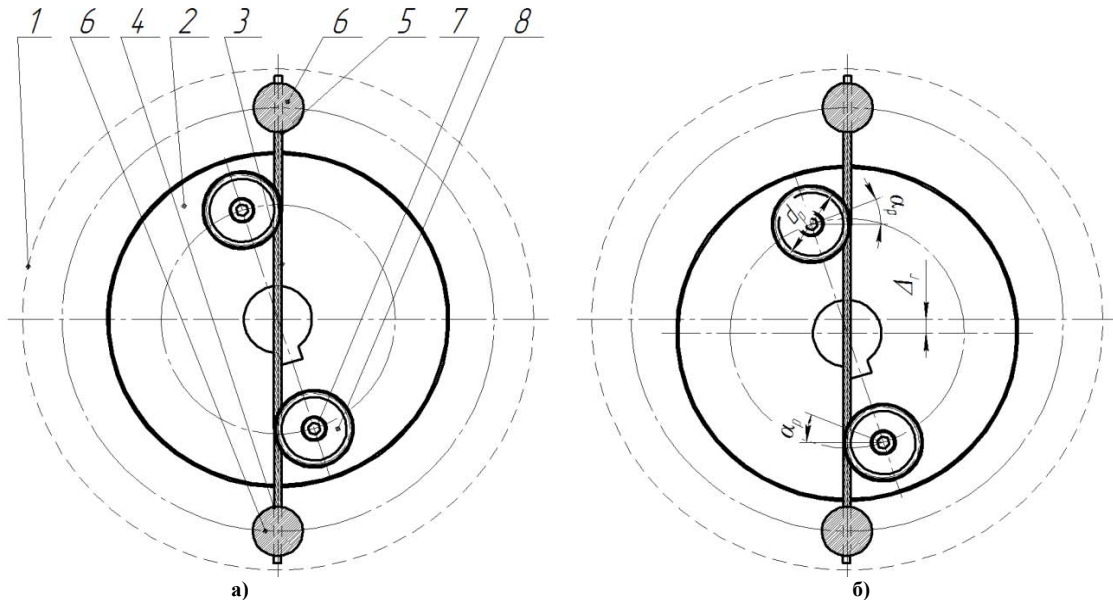


Рис. 1. Схема компенсації муфтою неспіввідповідності

Виклад основного матеріалу

У зовнішній напівмуфті (рис. 2) 1 досліджуваної муфти на діаметрі D_{36} закріплені кінці каната 2. Канатом 2 охоплені два роликів (блоки) 3 діаметром d_p (діаметр по центру каната), які встановлені з можливістю обертання на осях 4 діаметром d_o , що запресовані у ведену напівмуфту на діаметрі D_{6H} .

Проаналізуємо вплив конструктивних параметрів на роботу муфти в умовах неспіввідповідності, а саме основний робочий параметр – повний натяг каната $F_{H\Delta}$ як результат дії номінального, передаваного муфтою моменту (і відповідно робочого натягу F_H) та додаткового натягу $F_{\Delta} = F_{pad}$ від неспіввідповідності, який одночасно є радіальним зусиллям (2), що діятиме на неспіввідвідні вали.

$$F_{H\Delta} = F_H + F_{\Delta} = F_H + F_{pad} . \quad (2)$$

Робочий натяг каната F_H (рис. 2) при передачі муфтою номінального обертального моменту T можна обчислити за формулою (3):

$$\left\{ \begin{aligned} F_H &= \frac{T}{\sin \beta_2 \left[D_{6H} \cos \left(\arcsin \frac{d_p}{D_{6H}} \right) + d_p \tan \frac{\beta_2}{2} \right]} , \\ \beta_2 &= \xi + \arcsin \frac{d_p}{D_{6H}} + \arcsin \left(\frac{0,5 D_{6H}}{L_{AB}} \sin \xi \right) + \arcsin \left(\frac{0,5 d_p}{L_{AB}} \right) \end{aligned} \right. \quad (3)$$

де ξ – кут монтажного зміщення напівмуфт - кут між радіусами, на яких закріплено кінці канатів та осі роликів.

Довжина каната у муфті у випадку співвідповідності сполучених валів становить:

$$\left\{ \begin{aligned} L_K &= 2 \left(0,5 D_{6H} \cos \beta_3 + \frac{\pi d_p}{360} \beta_2 + L_{AB} \cos \beta_7 \right) , \\ L_{AB} &= \sqrt{0,25 (D_{36}^2 + D_{6H}^2) - 0,5 D_{36} D_{6H} \cos \xi} \end{aligned} \right. \quad (4)$$

В умовах радіальної неспіввідповідності (рис. 3) центр веденої напівмуфти в якій закріплено осі роликів зміститься на величину Δ_r з точки O в точку O_I . При цьому при обертанні муфти змінюються ряд відстаней за рахунок зміни кута монтажного зміщення ξ . Для аналізу зміни параметрів муфти точки розрахункової схеми, що відносяться до ролика та каната, які знаходяться над площиною радіального зміщення (площина в

якій лежать осі зміщених валів) позначимо індексом 1, а ті, що знаходяться під площиною зміщення – індексом 2. Відповідно кути – одним штрихом та двома штрихами.

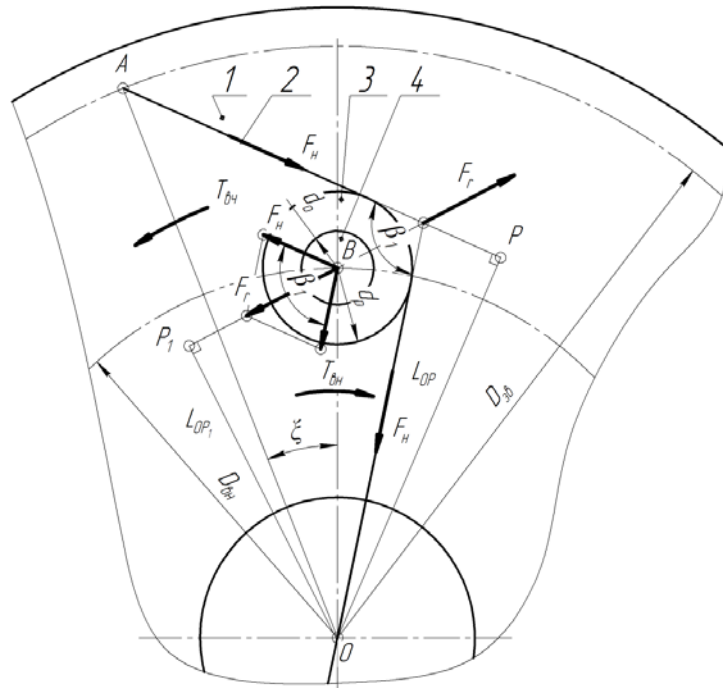


Рис. 2. Силова схема муфти

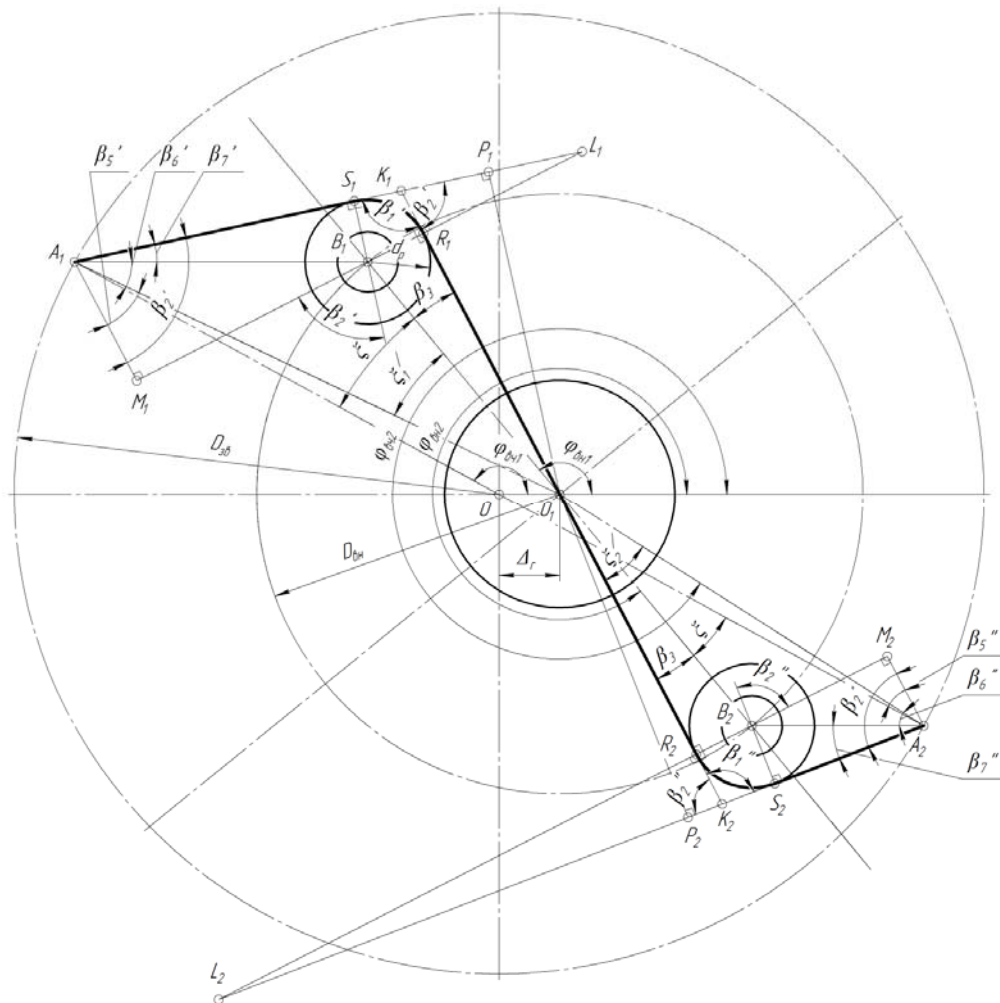


Рис. 3. Схема до геометричного розрахунку муфти при роботі в умовах радіальної неспіввісності

При цьому зведений кут монтажного зміщення ξ_i^l становитиме:

$$\left\{ \begin{aligned} \xi_i^l &= \arccos \left[\frac{L_{A_i O_i}^2 + 0,25 D_{\text{вн}}^2 - L_{A_i B_i}^2}{L_{A_i O_i} D_{\text{вн}}} \right] \\ L_{A_i B_i} &= \sqrt{[\Delta_r + 0,5 D_{\text{вн}} \cos \phi_{\text{вн}i} - 0,5 D_{3\phi} \cos \phi_{\text{вч}i}]^2 + [0,5 D_{\text{вн}} \sin \phi_{\text{вн}i} - 0,5 D_{3\phi} \sin \phi_{\text{вч}i}]^2} \\ L_{A_i O_i} &= \sqrt{\Delta_r^2 + 0,25 D_{3\phi}^2 - \Delta_r \times D_{3\phi} \cos \phi_{\text{вч}i}} \end{aligned} \right. \quad (5)$$

Кути розташування елементів муфти становлять:

$$\phi_{\text{вч}1i} = \phi_i, \quad (6)$$

$$\phi_{\text{вн}1i} = \phi_i - \xi, \quad (7)$$

$$\phi_{\text{вч}2i} = \phi_{\text{вч}1i} + \pi, \quad (8)$$

$$\phi_{\text{вн}2i} = \phi_{\text{вн}1i} + \pi. \quad (9)$$

Відповідно довжина каната у кожному положенні муфти становитиме:

$$L_{\kappa\Delta} = L_{\kappa1} + L_{\kappa2}, \quad (10)$$

де $L_{\kappa1} = S_1 A_1 + R_1 S_1 + O_1 R_1$ – довжина відрізка каната над площиною радіального зміщення;
 $L_{\kappa2} = S_2 A_2 + R_2 S_2 + O_2 R_2$ – довжина відрізка каната під площиною радіального зміщення.

Складові формули (10) можна обчислити за наступними виразами:

$$S_i A_i = L_{A_i B_i} \cos \left(\arcsin \frac{0,5 d_p}{L_{A_i B_i}} \right). \quad (11)$$

$$R_i S_i = \frac{\pi d_p}{360} \beta_2^i. \quad (12)$$

$$\beta_2^i = \xi_i^l + \arcsin \frac{d_p}{D_{\text{вн}}} + \arcsin \left(\frac{0,5 D_{\text{вн}} \sin \xi_i^l}{L_{A_i B_i}} \right) + \arcsin \left(\frac{0,5 d_p}{L_{A_i B_i}} \right). \quad (13)$$

$$O_1 R_1 = O_2 R_2 = 0,5 D_{\text{вн}} \cos \left(\arcsin \frac{d_p}{D_{\text{вн}}} \right). \quad (14)$$

Видовження каната ΔL_{κ} у неспіввісній муфті порівняно з довжиною L_{κ} каната в муфті, що сполучає співвісні вали становитиме:

$$\Delta L_{\kappa} = L_{\kappa\Delta} - L_{\kappa}. \quad (15)$$

Таким чином радіальне навантаження на вали від деформації каната становитиме:

$$F_{\text{рад}} = A_{\Sigma} E_{\kappa} \frac{\Delta L_{\kappa}}{L_{\kappa}}, \quad (16)$$

де A_{Σ} – сумарна площа дротин каната;

$E_{\kappa} = 1,0 \times 10^5$ МПа – модуль пружності каната при розтягу [3].

За отриманими формулами виконували моделювання роботи муфти в умовах неспіввісності з метою аналізу впливу конструктивних її параметрів на навантаженість муфти.

На першому етапі вивчали вплив кута монтажного зміщення ξ на прикладі модельної муфти з наступними параметрами: $D_{3\phi} = 120$ мм, $D_{\text{вн}} = 65$ мм, $d_p = 20$ мм. У муфті передбачали застосування каната конструкції $6 \times 7 (1+6) + 1$ о.с. ЛК-О ГОСТ 3069 діаметром $d_{\kappa} = 2,2$ мм з сумарною площею дротин $A_{\Sigma} = 1,64$ мм² та розривним зусиллям 2555 Н (маркерувальна група 1770 МПа). Радіальне зміщення модельної муфти для наочності приймали $\Delta_r = 2,5$ мм – вдесятеро більше ніж допустиме радіальне зміщення для муфти-прототипа з пружною зірочкою KTR ROTEX SIZE 28, для якої допускається лише

$[\Delta_r] = 0,25$ мм. Кут повороту муфти φ_i (5) змінювали в діапазоні $0...360^\circ$ через 30° . Кут ζ набував при моделюванні наступні значення $15^\circ; 30^\circ; 45^\circ; 60^\circ; 75^\circ; 90^\circ; 105^\circ$. Момент, що передає муфта приймали $T = 16$ Нм, що відповідало робочому навантаженню муфти-прототипа.

Результати моделювання для першого етапу показані у вигляді графіків на рис. 4.

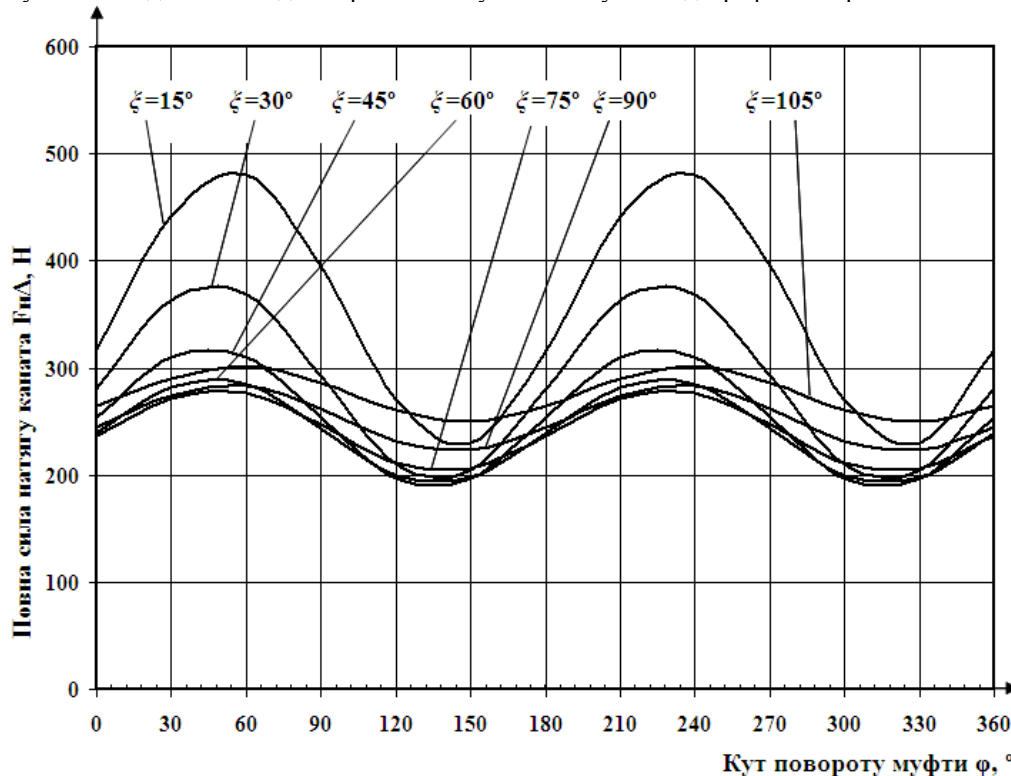


Рис. 4. Графік залежності зміни натягу каната від кута монтажного зміщення

Графіки свідчать, що вплив кута радіального зміщення на повний натяг каната не є лінійним. Так, на початковому етапі, зі збільшенням кута монтажного зміщення натяг зменшується – якщо при $\zeta = 15^\circ$ найбільший натяг $F_{H\Delta} = 480$ Н, при $\zeta = 30^\circ$ $F_{H\Delta} = 370$ Н (зменшується на 23%), при $\zeta = 45^\circ$ $F_{H\Delta} = 310$ Н (зменшується на 35%), при $\zeta = 60^\circ$ $F_{H\Delta} = 285$ Н (зменшується на 40%), то при $\zeta = 75^\circ$ $F_{H\Delta} = 275$ Н (зменшується на 43%). Далі натяг починає зростати – при $\zeta = 90^\circ$ $F_{H\Delta} = 282$ Н, а при $\zeta = 105^\circ$ $F_{H\Delta} = 300$ Н. Тобто в даному випадку найбільш прийнятним кутом монтажного зміщення є кут 75° .

На другому етапі вивчали вплив діаметра ролика, при цьому інші параметри муфти залишали незмінними (кут ζ приймали 45°) за виключенням діаметра ролика, який приймали послідовно $d_p = 12$ мм; 24 мм; 36 мм. Результати моделювання представлені графіками на рис. 5.

Якщо при $d_p = 12$ мм найбільший натяг становить $F_{H\Delta} = 345$ Н, то при збільшенні діаметра ролика в 2 рази до $d_p = 24$ мм натяг становить $F_{H\Delta} = 305$ Н (зменшується на 12%), а при збільшенні діаметра ролика в три рази порівняно з першим варіантом, до $d_p = 36$ мм, він становить $F_{H\Delta} = 280$ Н (зменшується на 19%). Таким чином можна стверджувати, що діаметр ролика при інших незмінних розмірах доцільно брати більшим.

На третьому етапі вивчали вплив співвідношення діаметрів зовнішньої та внутрішньої напівмуфт – коефіцієнта діаметра каната $\psi_D = D_{36} / D_{6n}$. При цьому діаметр внутрішньої напівмуфти залишали незмінним $D_{6n} = 65$ мм, а зовнішній діаметр D_{36} змінювали, варіюючи $\psi_D - D_{36} = 78$ мм ($\psi_D = 1,2$); 143 мм ($\psi_D = 2,2$); 208 мм ($\psi_D = 3,2$). Далі визначали повний натяг каната по описаній вище методиці та будували графіки, що показані на рис. 6.

Дані графіка свідчать, що найменший натяг каната має місце при найбільшій різниці між діаметрами зовнішньої та внутрішньої напівмуфт. При коефіцієнті діаметрів $\psi_D = 3,2$ має місце найменший сумарний натяг каната $F_{H\Delta} = 275$ Н, по мірі зменшення коефіцієнта діаметрів збільшується натяг – при $\psi_D = 2,2$ $F_{H\Delta} = 315$ Н (приріст 15%), при $\psi_D = 1,2$ $F_{H\Delta} = 480$ Н (приріст 75%). Це свідчить, що при роботі в умовах значних неспіввідностей різницю між діаметрами доцільно збільшувати, очевидно для збільшення довжини каната і зниження відносного видовження, а значить і додаткового натягу від

неспіввідності.

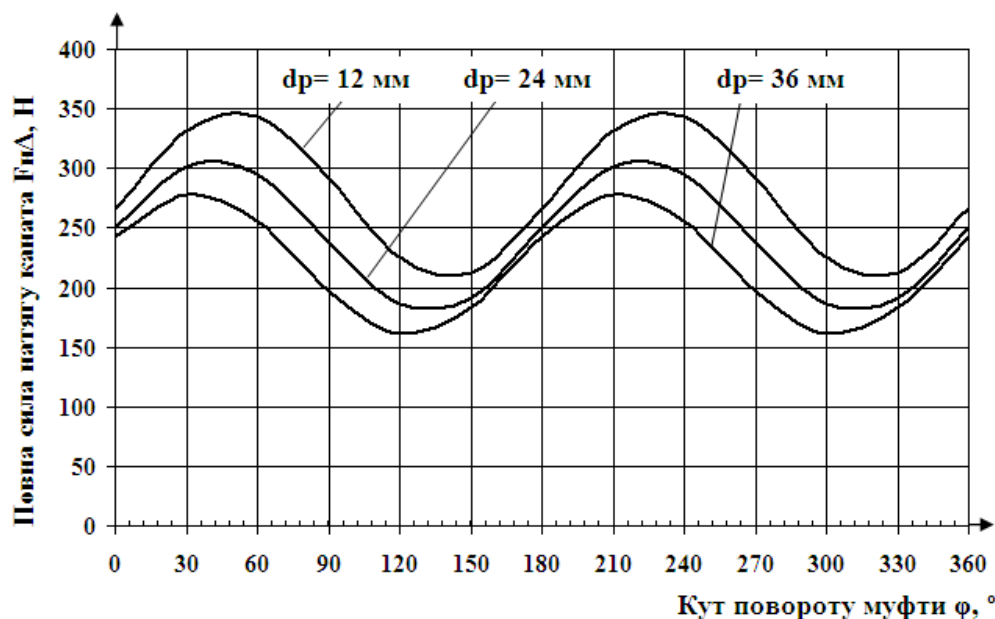


Рис. 5. Графік залежності зміни натягу каната від діаметра ролика

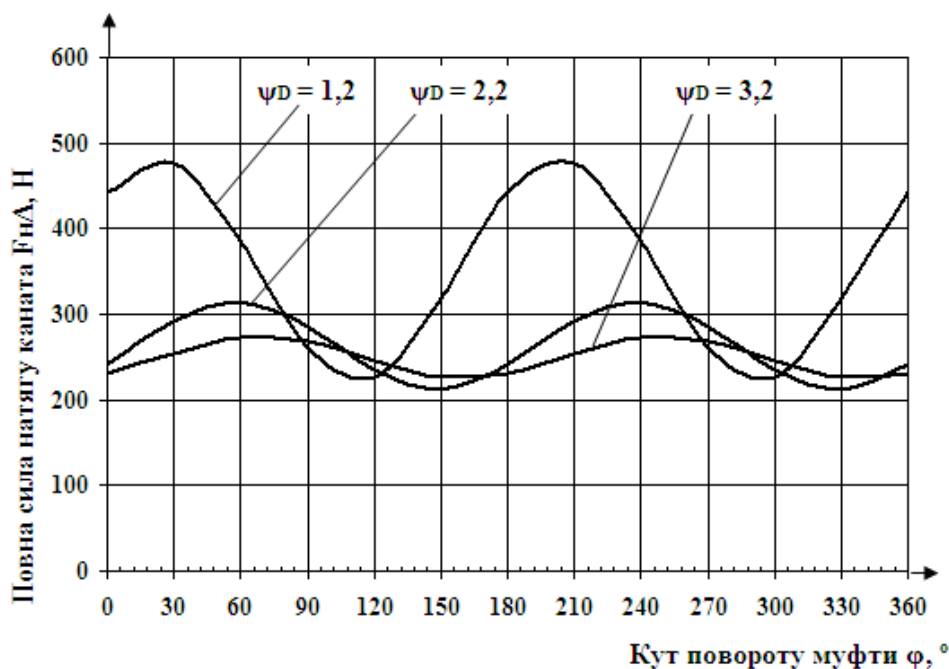


Рис. 6. Графік залежності зміни натягу каната від діаметра ролика

Цікаво отримані результати, навіть найбільш несприятливі з точки зору навантаження на вали з відповідним навантаженням від муфти-прототипа KTR ROTEX SIZE 28. Наприклад для найбільш несприятливої комбінації змінних при моделюванні конструктивних параметрів модельної канатно-роlikової муфти (при $\zeta = 15^\circ$) (рис. 4) найбільший натяг складав $F_{H\Delta} = 480$ Н, а робочий натяг розрахований за (2) складав $F_H = 227$ Н, що відповідає радіальному навантаженню на вали $F_{rad} = F_{\Delta} = F_{H\Delta} - F_H = 480 - 227 = 253$ Н, що

адекватно радіальній жорсткості $c_r = \frac{F_{rad}}{\Delta_r} = \frac{253}{2,5} \approx 100 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$. В той же час при найменшому сумарному

натягу каната (при $\zeta = 75^\circ$) $F_{H\Delta} = 275$ Н, а робочий складав $F_H = 204$ Н, що відповідає радіальному навантаженню на вали $F_{rad} = F_{\Delta} = F_{H\Delta} - F_H = 275 - 204 = 71$ Н, що адекватно радіальній жорсткості

$$c_r = \frac{F_{rad}}{\Delta_r} = \frac{71}{2,5} \approx 28 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}.$$

Радіальна муфти-прототипа KTR ROTEX SIZE 28 відсутня у каталогу [3], тому її визначали за даними проф. Є.І. Рівіна [4], що дало можливість отримати радіальну жорсткість близько $c_r = 700 \frac{H}{мм}$, тобто при допустимому для такої муфти виробником радіального зміщення $[\Delta_r] = 0,25$ мм, вона створюватиме навантаження на сполучені вали на рівні $F_{рад} = c_r \Delta_r = 700 \times 0,25 = 175$ Н, тобто величину одного порядку з розрахунковим радіальним навантаженням 71...253 Н для канатно-роликової муфти при радіальній неспіввідності $\Delta_r = 2,5$ мм. Таким чином можна отримати висновок, що досліджувана канатно-роликова муфта, в залежності від її конструктивних параметрів, характеризується в 7...25 разів нижчою радіальною жорсткістю і відповідно вищою компенсуючою здатністю ніж муфта-прототип з пружною зірочкою.

Висновки

В результаті виконаних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Проаналізовано вплив конструктивних параметрів канатно-роликової муфти на навантаженість її несівного каната в умовах наявності радіальної неспіввідності, при цьому показано, що:

- вплив величини кута радіального зміщення ζ на повний натяг каната не є лінійним. Так для модельної муфти, зі збільшенням кута монтажного зміщення натяг зменшується – якщо при $\zeta = 15^\circ$ найбільший натяг $F_{H\Delta} = 480$ Н, при $\zeta = 30^\circ$ $F_{H\Delta} = 370$ Н (зменшується на 23%), при $\zeta = 45^\circ$ $F_{H\Delta} = 310$ Н (зменшується на 35%), при $\zeta = 60^\circ$ $F_{H\Delta} = 285$ Н (зменшується на 40%), то при $\zeta = 75^\circ$ $F_{H\Delta} = 275$ Н (зменшується на 43%). Далі натяг починає зростати – при $\zeta = 90^\circ$ $F_{H\Delta} = 282$ Н, а при $\zeta = 105^\circ$ $F_{H\Delta} = 300$ Н;

- величина діаметра ролика впливає на натяг каната несуттєво: при $d_p = 12$ мм найбільший натяг становить $F_{H\Delta} = 345$ Н, при збільшенні діаметра ролика в 2 рази до $d_p = 24$ мм натяг становить $F_{H\Delta} = 305$ Н (зменшується на 12%), а при збільшенні діаметра ролика в три рази порівняно з першим варіантом, до $d_p = 36$ мм, він становить $F_{H\Delta} = 280$ Н (зменшується на 19%);

- найменший натяг каната має місце при найбільшій різниці між діаметрами зовнішньої та внутрішньої напівмуфт. Так, при коефіцієнті діаметрів $\psi_D = 3,2$ має місце найменший сумарний натяг каната $F_{H\Delta} = 275$ Н, по мірі зменшення коефіцієнта діаметрів збільшується натяг – при $\psi_D = 2,2$ $F_{H\Delta} = 315$ Н (приріст 15%), при $\psi_D = 1,2$ $F_{H\Delta} = 480$ Н (приріст 75%). Це свідчить, що при роботі в умовах значних неспіввідностей різницю між діаметрами доцільно збільшувати, очевидно для збільшення довжини каната і зниження відносного видовження, а значить і додаткового натягу від неспіввідності та радіального навантаження на вали.

2. Розроблена муфта характеризується низькою радіальною жорсткістю та відповідно високою компенсуючою здатністю – модельна муфта має жорсткість 28...100 Н/мм, а муфта-прототип з пружною зірочкою близько 700 Н/мм при адекватній навантажувальній здатності. За рахунок цього канатно-роликова муфта створює однакоке силове навантаження на сполучені вали при неспіввідності на порядок вищій ($\Delta_r = 2,5$ мм), ніж муфта з пружною зірочкою при допустимій виробником неспіввідності ($[\Delta_r] = 0,25$ мм).

Література

1. Малащенко В. О. Навантажувальна здатність приводів великомасових систем : монографія / В. О. Малащенко, Г. П. Куновський – Лівів : «Новий світ-2000», 2016. – 150 с.
2. Малиновский В. А. Стальные канаты: аналитический справочник / В. А. Малиновский. – Одесса : Астропринт, 2016. – 252 с.
3. KTR ROTEX Flexible Jaw Couplings. Catalogue, 2015. – 35 p.
4. Rivin E.I. Stiffness and Damping in Mechanical Design / E.I. Rivin // Marcel Dekker. – New York – Basel, 1999. – 514 p.

References

1. Malashchenko V. O. Navantazhuvalna zdavnist pryvodiv velykomasovykh system : monohrafiia / V. O. Malashchenko, H. P. Kunovskyi – Liviv : «Novyi svit-2000», 2016. – 150 s.
2. Malinovskiy V. A. Stalnye kanaty: analiticheskiy spravochnik / V. A. Malinovskiy. – Odessa : Astroprint, 2016. – 252 s.
3. KTR ROTEX Flexible Jaw Couplings. Catalogue, 2015. – 35 p.
4. Rivin E.I. Stiffness and Damping in Mechanical Design / E.I. Rivin // Marcel Dekker. – New York – Basel, 1999. – 514 p.

Рецензія/Peer review : 19.09.2018 р.

Надрукована/Printed : 18.12.2018 р.

Рецензент: к.т.н., доц. Бабій М.В.

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМПЕНСАЦІЙНОЇ ПРУЖНОЇ СИСТЕМИ ВІБРАЦІЙНОЇ МАШИНИ З ЕКСЦЕНТРИКОВИМ ПРИВОДОМ

Створено обладнання, яке застосовує низькочастотні вібрації для формування кавітаційних полів у рідинних субстанціях, що обробляються з метою зміни їх властивостей та знезаражування. В обладнанні використовуються активатори поршневого типу з ексцентриковим приводом. Проте паразитарні коливання, що виникають в ході роботи приводу при проходженні ексцентриком двох бокових положень, які спричинені появою сил інерції від нееврівноваженої маси шатуна, у свою чергу, негативно впливають на роботу вузла шток-втулка і призводять до його прискореного зношування. Для зменшення негативного впливу сил інерції та поліпшення динамічних характеристик машини в конструкцію машини введена пружна система. З метою аналізу діючих інерційних навантажень ланок приводу та обґрунтування динамічних параметрів компенсаційної пружної системи у середовищі SolidWorks створені просторові 3D-моделі ланок, визначені координати центрів мас та моментів їх інерції, з використанням програмного продукту MathCAD визначені швидкості, прискорення, кутова швидкість, а також величина та напрямок дії сили інерції. На основі отриманих результатів було розраховано конструктивні параметри пружної системи гасіння інерційних зусиль ексцентрикового приводу вібраційної машини.

Ключові слова: властивості води, вібраційні машини, кавітація.

N.O. KOSTIUK, A.I. HORDEEV, E.A. URBANYUK

Khmelnytskyi National University

A GROUND OF PARAMETERS OF COMPENSATIVE RESILIENT SYSTEM OF OSCILLATION MACHINE IS WITH ECCENTRIC PERSON OCCASION

Executed researches of the dynamic phenomena in multiphase liquid environments, nationals to the guided oscillation influences, showed that can be successfully used for intensification of different technological processes, namely for the change of properties and disinfection of water-courses. An oscillation equipment is created with the eccentric person occasion of piston type, that are base on application of low-frequency vibrations for forming of the cavitation fields in liquid substances, that is processed. Consists the feature of cavitation method in that the high degree of disinfection of water from eggs and larvae of vermin is arrived at due to their mechanical break by shock by waves. The construction of oscillation equipment of piston type is offered with an eccentric person occasion. Application of such occasion gives an opportunity to carry out the hard guided influence on the process of origin of cavitation cavities with formation of cavitation blisters by the selection of structural parameters of equipment and his office hours. For the improvement of dynamic descriptions of machine and reduction of parasite vibrations that arise up during work of occasion of machine, namely at passing of eccentric person of two lateral positions there are inertia efforts of unstable mass of piston-rod that result in undesirable vibrations that in turn negatively influence to work of knot slide-block-hob and results in her speed-up wear. With the aim of reduction of such influence in a construction the resilient system is entered for extinguishing of inertia forces. In the environment of SolidWorks it is created to space 3-D of model of links and their draft. The next stage of kinematics analysis was establishment of mass, coordinates of center of mass of links, and moments of inertia in the environment of SolidWorks. For a person-piston-rod mechanism it is found the analytical method of speed, acceleration of points and accelerations of links, their analogues, and also sizes and directions of forces and moments of forces of inertia of all links of mechanism and graphic dependences of forces and moments of forces of inertia are built on the corner of turn of crank, applying the software product of Mathcad. On the base of the got results the structural and power parameters of the resilient system of extinguishing of inertia efforts were expected.

Keywords: the properties of water, vibration machines, cavitation.

Вступ

Використання вібраційних коливань у технологіях з використанням рідинного середовища обумовлюється потребами підвищення інтенсивності процесів, поліпшення їх якісних показників, а в деяких випадках і просто можливості їх реалізації. Унікальні властивості вібраційного поля дозволяють успішно здійснювати не лише оздоблювально-зачисні операції та зміцнювальні технології, але і такі операції, як сепарація, перемішування, вібраційного транспортування у важких експлуатаційних умовах, гомогенізація, фільтрування, сушіння, насичення середовища певними речовинами, руйнування поверхонь тощо. Усе це обумовлює широке і ефективне застосування вібраційних технологічних машин в багатьох галузях промислового виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Як показали дослідження [1, 2] динамічних явищ у багатофазових рідинних середовищах, підданих керованим вібраційним впливам, багато з них можуть бути успішно використані як для інтенсифікації зазначених процесів, так і під час розроблення та реалізації принципово нових технологічних прийомів, а саме зміни властивостей та знезаражуванню водних потоків.

Одним із явищ, що впливає на дисперсність та хімічний склад рідини, є кавітація. Кавітація – явище розриву рідини під дією напруги, що виникає при появі розрідження в краплині рідини. При розриві краплини рідини утворюються порожнини – кавітаційні пухирці, заповнені паром чи газом. Отже, розрив рідини обумовлений зміною характеристик швидкостей і тисків. Кавітаційні пухирці утворюються в тих місцях, де тиск у рідині стає нижчим деякої критичної величини. Якщо тиск знижується внаслідок зростання

локальних швидкостей потоку краплинної рідини, то кавітацію називають гідродинамічною, якщо ж зниження тиску викликане проходженням акустичних хвиль, то кавітацію називають акустичною.

Критичне значення тиску, при якому відбувається розрив рідини, залежить від багатьох чинників: від чистоти рідини, вмісту у ній повітря, стану поверхні, на якій виникає кавітація. Кавітація може виникати в потоці рідини, що має змінний тиск, а також поблизу і на поверхні тіл різної форми у місцях найбільшого розрідження. Змінне поле тиску створюється різним чином: у результаті зміни швидкості потоку (руху тіла), впливу форми тіла, в наслідок коливального впливу на рідину (ультразвук або вібрації).

Природою кавітації та різними ефектами, що впливають на зношування металів, займалися багато дослідників [3, 4]. Проте їх дослідження, в основному, були направлені на пояснення кавітаційного та кавітаційно-ерозійного зношування поверхні металів, а зміни складу середовища, у якому виникала кавітація, були поза увагою досліджень. Якщо на робоче середовище протягом значного періоду часу впливає кавітація, то які фактори діють під час цих процесів і як змінюється хімічний склад робочого середовища?

У зв'язку з виключною складністю процесу кавітації і зв'язаного із ним кавітаційного руйнування поверхонь виробів про можливий механізм процесу дослідники висловлюють різні припущення та існує тенденція пояснювання кавітаційного руйнування дією якогось одного фактору. Усі ці гіпотези можна розділити на окремі групи, які базуються на теорії гідромеханічної дії, електрохімічної теорії кавітаційної ерозії, теорії миттєвих хімічних реакцій та на термодинамічній теорії кавітаційної ерозії. Аналіз робіт із кавітаційного руйнування показує, що більшість авторів як робочу гіпотезу приймають гідродинамічну теорію, розроблену Релеєм, і вважають, що цим визначальним фактором є механічна дія, спричинена руйнуванням пухирця на поверхні виробу. Проте важлива роль відводиться також і корозійному фактору [5], яка у ряді випадків кавітаційного руйнування може бути основною [6].

За останній період з'явився новий напрямок створення вібраційного обладнання для оброблення води кавітаційним процесом, який забезпечує надання воді нових властивостей та її знезараження. У національному університеті «Львівська політехніка» створені вібраційні електромагнітні кавітатори резонансної дії, робота яких ґрунтується на застосуванні низькочастотних вібрацій для формування кавітаційних полів у значних об'ємах оброблюваних рідинних субстанцій [7, 8]. Однак їм притаманні деякі недоліки – незначний час перебування рідини у стані виникнення кавітаційної зони та надмірна енергозатратність, що є, мабуть, найважливішим. Поряд із цим у Хмельницькому національному університеті створено ряд вібраційних машин для кавітаційного оброблення води з метою знезаражування та зміни її властивостей [9], які побудовані на основі використання ексцентрикового віброприводу і забезпечують дискретну обробку рідини. На даний час проводиться розроблення методики їх проектування.

Актуальність дослідження

Дослідження, що спрямовані на пошуки новітніх конструктивних рішень машин із досконалою динамікою роботи, спрямованих на мінімізацію енерговитрат, за умови їх придатності для промислового застосування, все ще залишаються як вагомим науково-технічним завданням, так і суспільною проблемою. Тому дослідження процесу коливальності рідини, розвиток наукових основ методики проектування та розроблення на основі цього нових конструкцій технологічного вібраційного обладнання як спеціалізованого, так і універсального типу, у якому рідина виступає як об'єкт, що піддається керованим вібраційним впливам для зміни властивостей та знезараження, і зумовлюють актуальність порушеної проблеми.

Виклад основного матеріалу

Запропоновано спосіб та конструкції обладнання для утворення пульсуючих струменів рідини [10], в якому використовується зворотно-поступальний рух рідини через насадок із гострими крайками на вході. При цьому на виході з насадка гідропульсатора отримується пульсуючий струмінь рідини, а при певних режимах його роботи утворюється струмінь із включеннями газових пухирців, що виділяються з рідини внаслідок кавітаційних явищ. На стадії прямої дії акустичних коливань на хід процесу можуть впливати тільки хімічно активні гази, тобто, O_2 і H_2 . У кінцевому результаті вплив кавітації на водні розчини зводиться до єдиного процесу - розщеплення молекул води в кавітаційних пухирцях. Незалежно від природи розчинених у воді речовин акустичні коливання впливають лише на воду, що призводить до зміни її фізико-хімічних властивостей - збільшення рН, електропровідності, числа вільних іонів і активних радикалів, а також структуризації та активації молекул. Окрім того різко збільшується швидкість реакції збуджених коливаннями молекул води з радикалами водню із виділенням складових OH та H_2 . Ці процеси насичують рідину радикалами $OH^\cdot$, $O^\cdot$, O^+ та активними газами O_2 , H_2 . З іншого боку зростають електричні нестационарні сили взаємодії між сусідніми диполями, які посилюють їх коливання як цілісного об'єкту і збільшують вірогідність руйнування рідкокристалічної структури рідини. Для підвищення ефективності процесу необхідно збільшити однократність вказаних впливів, що обумовлює високий ступінь зворотності реструктуризації та призводить до часткового повернення води до стану попередньої структури та, як наслідок, до низького ступеня її кінцевої реструктуризації.

Знезаражуюча дія кавітації заснована на ефектах, які виникають у турбулентних потоках рідини. Так при гідродинамічних коливаннях рідини виникають і зникають кавітаційні пухирці. При цьому стимулюються фазові переходи, підвищуються локальні температура і тиск. Окрім того, у моменти утворення і зникнення кавітаційних пухирців у газонаповненій порожнині створюються умови для появи

електричних зарядів, електричних і магнітних полів. У такий спосіб рідина, оброблювана кавітацією, піддається термобаричній і електромагнітній дії. Особливістю кавітаційного методу оброблення води полягає в тому, що високий ступінь знезаражування води від яєць і личинок паразитів досягається за рахунок їх механічного руйнування ударними хвилями. Для руйнування бактерій і вірусів термобаричний вплив підсилюється локальною електромагнітною дією, коли наведені електричні потенціали пробивають їх мембрани і оболонки.

Механічні та фізичні способи очищення води є перспективними. На даний час розроблено ряд нових вібраційних машин та обладнання, у яких вода піддається багаторазовому зворотно-поступальному проходженню (циклічній гідрокавітації) через кавітаційний пристрій. Типовим представником цієї групи є конструкція вібраційного обладнання поршневого типу з ексцентриковим приводом. Застосування такого приводу дає можливість здійснювати жорсткий керований вплив на процес виникнення кавітаційних порожнин з утворенням кавітаційних пухирців шляхом підбору конструктивних параметрів обладнання та режимів його роботи [10].

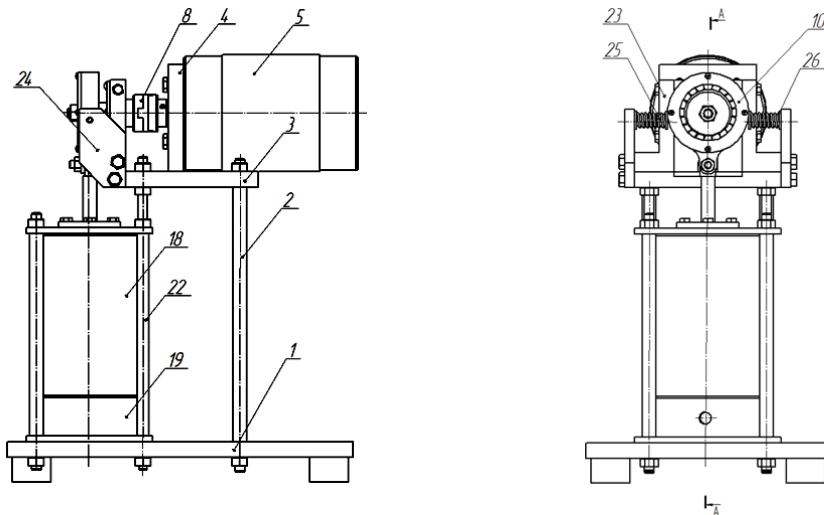


Рис. 1. Загальний вид вібраційної машини

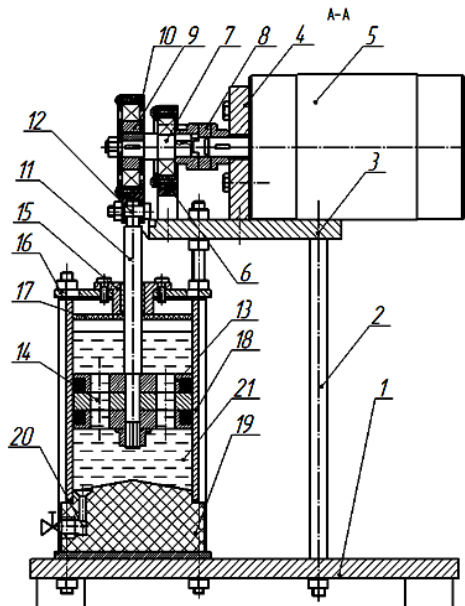


Рис. 2. Перетин А-А (до рис. 1)

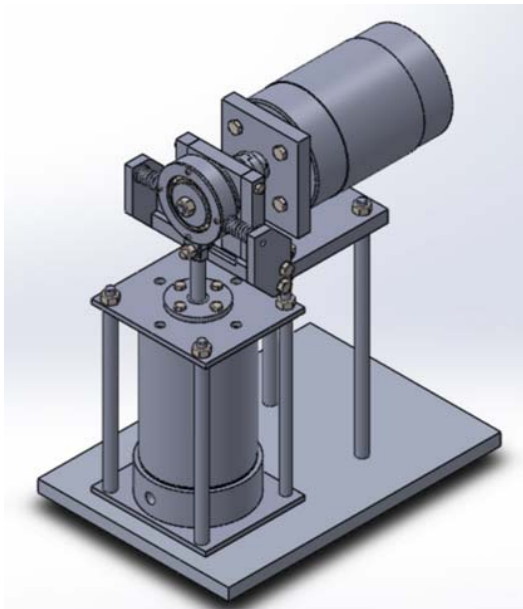


Рис. 3. Просторова 3D-модель вібраційної машини

Вібраційна машина для зміни властивостей та знезаражування водних середовищ (рис. 1–3) складається із корпусу 1, на якому на стійках 2 встановлено плиту 3. На фланці 4 встановлено електродвигун 5, а також підшипникову опору 6, в якій знаходиться вал 7, з'єднаний з електродвигуном 5 муфтою 8. На валу 7 встановлено ексцентрик 9 у підшипниковому корпусі шатуна 10, який з'єднаний із штоком 11 пальцем 12. На штокові 11 встановлено поршень 13 з отворами 14, які мають гострі краї. З'єднання шток-втулка, яка знаходиться в корпусі 15, що закріплений на кришці 16, забезпечує можливість зворотно-поступального руху штока. На штокові 11 також встановлено гумовий відбійник 17. Поршень 13 входить у циліндр 18, який знизу закритий кришкою 19, що має отвір 20 під кран для заливання водного середовища 21. Циліндр 18 кріпиться стійками 22 до корпусу 1. До підшипникової опори 6 болтами

приєднана планку 23, до якої і водночас до плити 3 з допомогою болтів прикріплені два упори 24. Між упорами 24 та підшипниковим корпусом шатуна 10 на пальцях 25 встановлені дві пружини 26. Просторова 3D-модель вібраційної машини для знезаражування водних середовищ з ексцентриковим приводом представлена на рис. 3.

Дослідження, пов'язані з питаннями підвищення ефективності захисту від негативного впливу коливань свідчать про те, що захист машинних агрегатів за допомогою пружинних гасників є одним з обов'язкових елементів технічної конструкції машин. Ефективність пружинних гасників пов'язана насамперед з наявним потенціалом для відтворення необхідної динамічної характеристики пристрою в реальному режимі часу, що дозволяє запобігти руйнуванню елементів машини. Основна мета захисту від негативного прояву коливань полягає в ізоляції визначеного об'єкту від негативного впливу джерела коливань за допомогою пружних елементів [11].

Проте паразитарні коливання, що виникають при роботі приводу при проходженні ексцентриком двох бокових положень, які спричинені появою сил інерції від невідновленої маси шатуна, у свою чергу, негативно впливають на роботу вузла шток-втулка і призводять до його прискореного зношування. Для зменшення негативного впливу сил інерції та поліпшення динамічних характеристик машини в конструкцію машини введена компенсаційна пружна система.

Для побудови аналітичної моделі запропонованої конструкції вібраційної машини розроблена її принципова схема, яка представлена на рис. 4. Для дослідження динаміки роботи машини і аналізу режимів роботи її проводу необхідно визначити параметри пружної системи, а саме: жорсткість пружної системи C_x , її конструктивні параметри та демпфувальну здатність k_x .

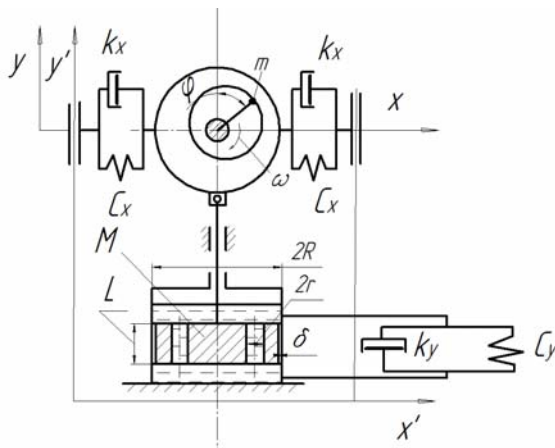


Рис. 4. Принципова схема вібраційної машини з ексцентриковим приводом:

m – маса ексцентрикового вузла; C_x – жорсткість пружної системи вібромашини по осі x ; C_y – жорсткість газорідинної суміші по осі y ; k_x – демпфувальна здатність пружної системи по осі x ; k_y – демпфувальна здатність газорідинної суміші по осі y ; R – радіус поршня; L – глибина отвору у поршні; r – радіус отвору в поршні; δ – зазор між поршнем та циліндром

З метою встановлення параметрів компенсаційної пружної системи вібраційної машини був проведений кінематичний та динамічний аналіз роботи її ексцентрикового приводу. Для цього розроблена кінематична схема ексцентриково-шатунного механізму приводу машини (рис. 5) із визначенням положення центрів мас його ланок та створені їх 3D-моделі у середовищі SolidWorks (рис. 6 і 7).

Наступним етапом аналізу механізму було встановлення для його ланок маси, координат центра мас та моментів їх інерції в середовищі SolidWorks. На рис. 8 представлені результати цього розрахунку для шатуна як найбільш важливої ланки ексцентриково-шатунного механізму.

Окрім того, аналітичним методом з використанням програмного продукту MathCAD для шатуна визначені швидкості, прискорення, кутова швидкість, а також величина та напрямок дії сили інерції. Для виконання цих розрахунків був створений масив постійних та змінних величин.

Як сталі величини приймаємо:

$$m_1 := 0.115 \quad m_2 := 0.383 \quad m_3 := 2.054 \quad \frac{1}{\omega} := 0.054$$

$$J_{S1} := 0.002 \quad J_{S2} := 0.031 \quad \varphi_0 := 0 \quad \frac{N}{\omega} := 36$$

як змінні:

$$r := 0.001 \quad I_{AS1} := 0.00108 \quad y_{S2.f90} := 0.00446$$

$$\omega_1 := 400 \quad a_2 := 0.00094$$

де r – зміщення кривошипа (прийняті значення 1, 1,5 і 2 мм); ω – частота обертання кривошипа (прийняті значення 400, 600, 800 і 1000 м/хв). Початкове положення кривошипа прийнято для випадку, коли кривошип знаходиться в крайньому правому положенні.

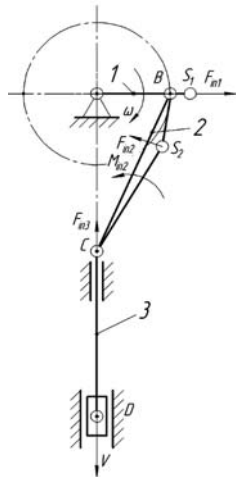


Рис. 5. Кінематична схема ексцентрово-шатунного механізму приводу машини: 1 – ексцентрик; 2 – шатун; 3 – повзун

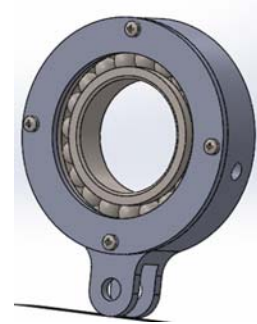


Рис. 6. 3D-модель шатуна (ланка 2)

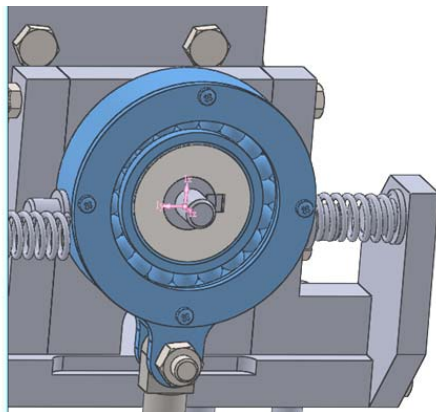


Рис. 7. 3D-модель вузла шатуна

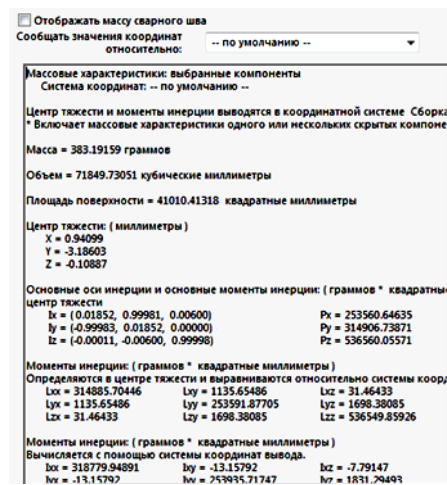


Рис. 8. Результати розрахунку координат центра маси вузла шатуна та моментів інерції в середовищі SolidWorks

Координати центра мас шатуна визначені із використанням методу замкнених векторних контурів за формулами:

- координата центру мас по осі X

$$x_{S2}(\varphi_1) := \frac{(a_2 \cdot b_2 \cdot \cos(\varphi_1))}{\sqrt{b_2^2 \cdot \cos(\varphi_1)^2 + a_2^2 \cdot \sin(\varphi_1)^2}}; \quad (1)$$

- координата центра мас по осі Y

$$y_{S2}(\varphi_1) := \frac{a_2 \cdot b_2 \cdot \sin(\varphi_1)}{\sqrt{b_2^2 \cdot \cos(\varphi_1)^2 + a_2^2 \cdot \sin(\varphi_1)^2}} - y_{S2.fi90} + r \quad (2)$$

Аналоги відповідних швидкостей та прискорень точок шатуна визначені за формулами:

- аналог кутової швидкості шатуна

$$\dot{\varphi}_2 = \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1}; \quad (3)$$

- аналог кутового прискорення шатуна

$$\ddot{\varphi}_2 = \frac{d^2\varphi_2}{d\varphi_1^2}; \quad (4)$$

- аналог прискорення центра мас шатуна

$$s_{s2}'' = \sqrt{x_{s2}''^2 + y_{s2}''^2} \quad (5)$$

- кутове прискорення шатуна

$$\varepsilon_2 = \omega_1^2 \varphi_2'' \quad (6)$$

Сили та моменти сил інерції, що діють на шатун механізму, визначені за формулами:

- сила інерції шатуна

$$F_{in2} = m_2 a_{s2}; \quad (7)$$

- момент інерції шатуна

$$M_{in2} = J_{s2} \varepsilon_2 \quad (8)$$

За результатами розрахунків були побудовані: траєкторія руху центра мас шатуна, графік зміни напрямку сили інерції та залежності сили інерції і моменту інерції шатуна від кута повороту ексцентрика (рис. 9–12).

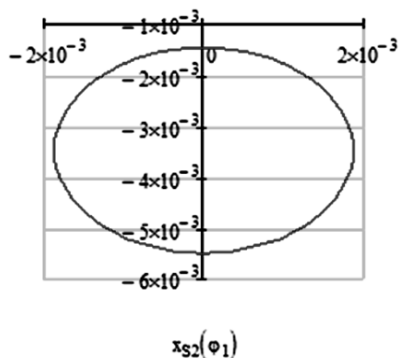


Рис. 9. Траєкторія руху центра мас шатуна

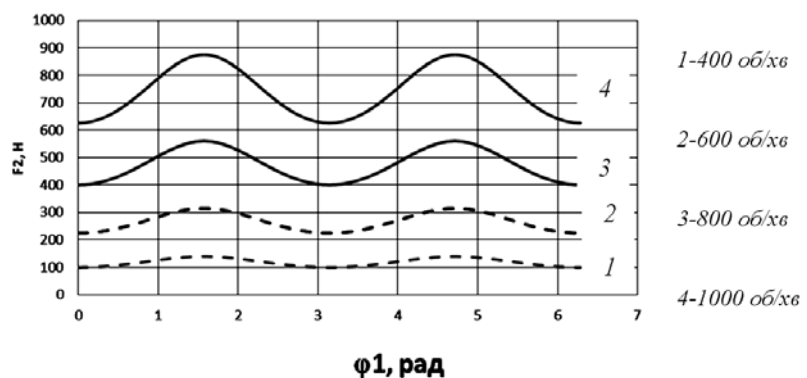


Рис. 10. Графік зміни сили інерції шатуна від кута повороту ексцентрика φ_1 з ексцентриситетом $r = 2$ мм при різних частотах обертання ротора електродвигуна

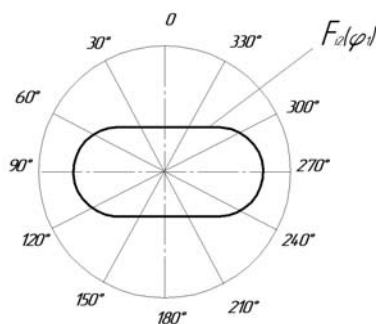


Рис. 11. Графік зміни напрямку сили інерції шатуна від кута повороту кривошипа

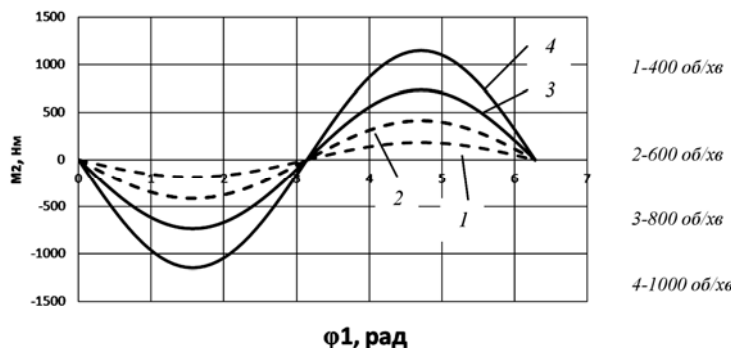


Рис. 12. Графік зміни моменту сили інерції шатуна від кута повороту ексцентрика з ексцентриситетом $r = 2$ мм при різних частотах обертання ротора електродвигуна

За результатами попередніх досліджень [9] рекомендовано застосовувати амплітуду коливань $A = 2$ мм та частоту обертання приводного валу з ексцентриком $n = 800$ об/хв. З графіка на рис. 10 знайдемо максимальну величину сили інерції шатуна, яка становить $F_2 = 561$ Н. Для цього значення сили інерції проведемо розрахунок силових та конструктивних параметрів пружного елемента – циліндричної гвинтової пружини (поз. 26, рис. 1).

Діаметр дроту пружини визначаємо за формулою:

$$d = \sqrt[3]{\frac{8kF_2 D_{сер}}{\pi \tau}} = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot 1,2 \cdot 6,15 \cdot 13,2}{3,14 \cdot 750 \cdot 0,5}} = \sqrt[3]{0,6615} = 1,2 \text{ мм}, \quad (6)$$

де $D_{сер}$ – середній діаметр пружини, який приймаємо, виходячи із конструктивних розмірів машини, $D_{сер} = 13,2$ мм; k – коефіцієнт кривизни витків, який приймаємо із врахуванням індексу пружини; якщо $i > 8$, то $k = 1,1 \dots 1,2$; τ – розрахункове значення напружень кручення, яке приймають із міркувань $\tau = (0,5 \dots 0,8) [\tau_k]$, де $[\tau_k]$ – допустимі напруження для пружин із сталі 60С2, $[\tau_k] = 750$ МПа. $F_2 = 6,149$ Н – сила стиснення

пружины при робочій деформації, яка відповідає максимальній величині сили інерції шатуна.

Зовнішній діаметр пружини (див. рис. 13) визначаємо як:

$$D_{\text{зов}} = D_{\text{сер}} + d = 13,2 + 1,2 = 14,4 \text{ мм}, \quad (7)$$

де d – діаметр дроту пружини; $D_{\text{сер}}$ – середній її діаметр.

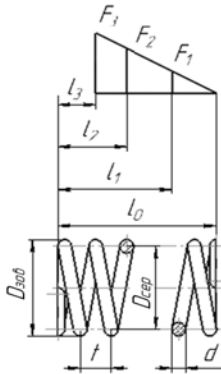


Рис. 13. Основні параметри пружини

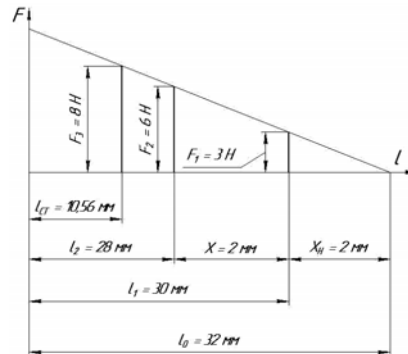


Рис. 14. Характеристика пружини

Внутрішній діаметр пружини визначаємо як:

$$D_{\text{вн}} = D_{\text{сер}} - d = 13,2 - 1,2 = 12 \text{ мм}. \quad (8)$$

Максимальну величину стиснення пружини у змонтованому стані X_k визначаємо за формулою:

$$X_k = \frac{X \cdot F_2}{F_2 - F_1} = \frac{2 \cdot 6,1}{6,1 - 3,05} = 4 \text{ мм}, \quad (9)$$

де X – хід пружини в робочому стані, $X = 2$ мм (див. рис. 14); F_2 – сила пружини при робочій деформації, $F_2 = 6,149$ Н; F_1 – сила пружини при попередній деформації, $F_1 = 0,5 \cdot F_2 = 0,5 \cdot 6,1 = 3,05$ Н.

Тоді число робочих витків:

$$n = \frac{G d^4 X_k}{8 F_2 D_{\text{сер}}^3} = \frac{7,85 \cdot 10^4 \cdot 1,2^4 \cdot 4}{8 \cdot 6,1 \cdot 13,2^3} = 6, \quad (10)$$

тут G – модуль зсуву для пружинної сталі, прийнято $G = 7,85 \cdot 10^4 \text{ МПа}$;

Повне число витків пружини:

$$n_1 = n + n_2 = 6 + 3,0 = 9, \quad (11)$$

де n – число робочих витків; n_2 – число доповнюючих опорних витків, приймаємо $n_2 = 3$.

Коефіцієнт жорсткості пружини визначаємо як:

$$c_x = \frac{F_2 - F_1}{X} = \frac{6,149 - 3,05}{2} = 1,55 \text{ Н/м}, \quad (12)$$

де X – робочий хід пружини, $X = 2$ мм; $F_2 = 6,149$ Н – сила стиснення пружини при робочій деформації;

F_1 – сила пружини при попередній деформації;

Тоді робоча деформація пружини визначиться як:

$$S_2 = \frac{F_2}{c_x} = \frac{6,149}{1,55} = 3,97 \text{ мм}. \quad (13)$$

Демфувальна здатність пружини k_x визначається як потенціальна енергія, яку поглинає пружина за один цикл, тобто:

$$k_x = \xi \cdot \frac{F_2 \cdot S_2}{X} = 0,6 \cdot \frac{6,149 \cdot 3,97}{2} = 7,324 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (14)$$

де ξ – коефіцієнт поглинання енергії за цикл стиснення-розтягування пружини, $\xi = 0,6$ [12].

Висновки

У результаті кінематичного та динамічного аналізу параметрів ексцентрикового приводу вібраційної машини встановлені величини силових та конструктивних параметрів компенсаційної пружини

системи вібраційної машини, а саме: жорсткості пружної системи C_x та її демпфувальної здатності k_x . Ці динамічні параметри можуть бути використані у подальшому при побудові аналітичної моделі роботи вібраційної машини.

Запропоновані підходи дозволили створити узагальнену методологію для розрахунку раціональних конструктивних і технологічних параметрів вібраційних машин, призначених для впливу на властивості води та її знезаражування.

Отримані результати можуть бути враховані в ході розроблення технологій та конструкцій вібраційного обладнання для очищення стічних вод промислових, комунальних підприємств, тваринницьких комплексів тощо.

Література

1. Сілін Р.І. Кавітаційна обробка та її вплив на склад води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, В.В. Третько, І.І. Сорока // Вісник ТУП. – 2002. – № 3. – С. 253–257.
2. Сілін Р.І. Науково-технічні основи розроблення вібромашин для впливу на властивості води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 4(56) – С. 141–148.
3. Рождественский В.В. Кавитация / В.В. Рождественский. – Ленинград : «Судостроение», 1977. – 240 с.
4. Кнепп Р. Кавитация / Р. Кнепп, Дж. Дейли, Ф. Хеммит ; пер. с англ. – М. : Мир, 1974. – 687 с.
5. Карасюк Ю.А. О соотношении коррозионного и эрозийного факторов в кавитационном разрушении металлов / Ю.А. Карасюк, В.И. Кочеров, В.В. Бенино и др. // Физ.-хим. механика материалов. – 1976. – № 5. – С. 14–16.
6. Тимербулатов М.Г. Влияние коррозии на кавитационную стойкость металлов / Тимербулатов М.Г. // Защита металлов. – 1972. – Т. 8, № 5. – С. 583–587.
7. Шевчук Л.І. Вібраційний електромагнітний кавітатор резонансної дії / Л.І. Шевчук, І.С. Афтаназів, О.І. Строган // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні : український міжвід. наук.-техн. зб. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2011. – Вип. 45. – С. 374–380.
8. Низькочастотні віброрезонансні кавітатори : монографія / Л.І. Шевчук, І.С. Афтаназів, О.І. Строган, В.Л. Старчевський. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 173 с.
9. Сілін Р.І. Властивості води та сучасні способи її очищення : монографія / Р.І. Сілін, Б.А. Баран, А.І. Гордєєв. – Хмельницький : ХНУ, 2009. – 254 с., іл.
10. Пат. на корисну модель № 126495 України. МПК (2006) C02F 1/00. Вібраційна машина для знезаражування водних середовищ / А.І. Гордєєв, Н.О. Костюк. – № у 2018 10090 ; заяв. 02.01.2018 ; опубл. 25.08.2018, Бюл. № 12. – 6 с.
11. Вульфсон И.И. Колебания машин с механизмами циклового действия / И.И. Вульфсон. – Л. : Машиностроение, 1990. – 389 с.
12. Вибрации в технике : справочник : в 6 т. / ред. В.Н. Челомей (пред.). – М. : Машиностроение, 1980. – Т. 3. – 544 с.

References

1. Silin R.I. Kavitatsiina obrobka ta yii vplyv na sklad vody / R.I. Silin, A.I. Hordieiev, V.V. Tretko, I.I. Soroka // Visnyk TUP. – 2002. – № 3. – S. 253–257.
2. Silin R.I. Naukovo-tekhichni osnovy rozroblennia vibromashyn dlia vplyvu na vlastyvoli vody / R.I. Silin, A.I. Hordieiev // Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh. – 2009. – № 4(56) – S. 141–148.
3. Rozhdestvenskii V.V. Kavitatsiia / V.V. Rozhdestvenskii. – Leningrad : «Sudostroenie», 1977. – 240 s.
4. Knepp R. Kavitatsiia / R. Knepp, Dzh. Deili, F. Khemmit ; per. s angl. – M. : Mir, 1974. – 687 s.
5. Karasiuk Iu.A. O sootnoshenii korrozionnogo i erozionnogo faktorov v kavitatsionnom razrushenii metallov / Iu.A. Karasiuk, V.I. Kocherov, V.V. Benino i dr. // Fiz.-khim. mekhanika materialov. – 1976. – № 5. – С. 14–16.
6. Timerbulatov M.G. Vliianie korrozii na kavitatsionnuu stoikost metallov / Timerbulatov M.G. // Zashchita metallov. – 1972. – Т. 8, № 5. – S. 583–587.
7. Shevchuk L.I. Vibratsiinyi elektromahnitnyi kavitator rezonansnoi dii / L.I. Shevchuk, I.S. Aftanaziv, O.I. Strohan // Avtomatyzatsiia vyrobnychkh protsesiv u mashynobuduvanni ta prykladobuduvanni : ukrainskyi mizhvid. nauk.-tekhn. zb. Nats. un-tu «Lvivska politekhnika». – 2011. – Vyp. 45. – S. 374–380.
8. Nyzkochastotni vibrerezonansni kavitory : monohrafiia / L.I. Shevchuk, I.S. Aftanaziv, O.I. Strohan, V.L. Starchevskiy. – Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 2013. – 173 s.
9. Silin R.I. Vlastyvoli vody ta suchasni sposoby yii ochyshchennia : monohrafiia / R.I. Silin, B.A. Baran, A.I. Hordieiev. – Khmelnytskyi : KhNU, 2009. – 254 s., il.
10. Pat. na korysnu model № 126495 Ukrainy. MPK (2006) S02F 1/00. Vibratsiina mashyna dlia znezarazhuvannia vodnykh seredovyshch / A.I. Hordieiev, N.O. Kostiuk. – № u 2018 10090 ; zaiav. 02.01.2018 ; opubl. 25.08.2018, Biul. № 12. – 6 s.
11. Vulfson I.I. Kolebaniia mashin s mekhanizmami tsiklovogo deistviia / I.I. Vulfson. – L. : Mashinostroenie, 1990. – 389 s.
12. Vibratsii v tekhnike : spravochnik : v 6 t. / red. V.N. Chelomei (pred.). – M. : Mashinostroenie, 1980. – Т. 3. – 544 s.

Рецензія/Peer review : 9.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 18.12.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Диха О.В.

В.П. ТКАЧУК, І.В. ДРАЧ
Хмельницький національний університет

ЗНИЖЕННЯ ВІБРАЦІЙ ЦЕНТРИФУГ ЦУКРОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

У статті викладено матеріали, які висвітлюють принцип роботи центрифуг для розділення утфелю на цукрових заводах та шляхи підвищення надійності і якості їх роботи. Зокрема розглянуто причини виникнення підвищених вібрацій центрифуг внаслідок незрівноваженості під час їх роботи. Запропоновано шляхи зниження вібрацій за рахунок застосування автобалансуючих пристроїв та наведено результати експериментальних досліджень на дослідному стенді.

Ключові слова: ротор, дисбаланс, автоматичне балансування (самобалансування), автобалансуючий пристрій (АБП), центрифуга.

V.P. TKACHUK, I.V. DRACH
Khmelnitskyi National University

REDUCED VIBRATION OF CENTRIFUGES FOR THE SUGAR INDUSTRY

Materials that describe operation concept of centrifuges for separation of massecuite strike on sugar refineries and methods of increasing reliability and performance quality of their operation are revealed in the article. Reasons of origin of centrifuge vibrations as a result of non-equilibrium during their operation are envisaged among other factors. Methods of vibration decreasing as a result of applying auto-balancing devices are offered and results of experimental researches on research stand are summarized.

Key words: rotor, imbalance, automatic balancing (self-balancing), auto balancing device (ABP), centrifuge.

Виробництво цукру-піску складається з наступних операцій: подача буряка на завод і очистка його від домішок (землі, піску, залишків бурячиння), різка коренів в стружку і одержання дифузного соку (бурякопереробне відділення); очищення від нецукрів за допомогою вапна з наступним доочищенням діоксидом вуглецю, згущення соку випаровуванням до густини сиропу (сокоочисне відділення); виділення сахарози з сиропу шляхом кристалізації, відокремлення цукру-піску від міжкристального розчину, сушка і пакування його в тару [1]. Продукт, після уварювання сиропу, називають утфелем. Одержаний утфель розділяють у швидкісних центрифугах на товарний цукор-пісок і міжкристальний розчин (відтік), який знецукрюють на наступних етапах кристалізації.

Темп центрифугування повинен забезпечувати звільнення утфелемішалки до часу вивантаження утфелю з наступного вакуум-апарату. При цьому необхідно звертати увагу на відповідність фактичного часу циклу центрифугування тому, який зазначено в інструкції по експлуатації центрифуги. Якщо час одного повного циклу виявиться більшим, збільшується витрата електроенергії і передчасно може вийти з ладу електродвигун центрифуги. Це спостерігається при переході з автоматичного на ручне керування, а також і при скороченні циклу, коли утфель має великі кристали і низьку в'язкість міжкристального розчину. Для нормальної експлуатації автоматизованих центрифуг необхідно підтримувати вміст кристалів цукру в утфелі у межах 50–55% і в'язкість, що забезпечує рівномірний його розподіл по висоті ротора так, щоб час завантаження складав 15–25 с.

Центрифуги використовують для розділення рідких неоднорідних сумішей (суспензій та емульсій) на складові елементи. Процес розділення в них відбувається в полі відцентрових сил з використанням суцільних або перфорованих перегородок. Перегородки виготовляються у вигляді циліндричних, конічних або комбінованих циліндрично-конічних роторів, які обертаються з великими частотами.

Суцільні стінки найчастіше виконуються у відстійних центрифугах. В них розділення суспензій та емульсій відбувається за принципом осадження (відстоювання), тобто дія сили тяжіння замінені дією відцентрової сили.

У фільтруючих центрифугах стінки роторів перфоровані і лише в окремих конструкціях – суцільні. В останніх відвід рідкої фази відбувається через отвори в верхньому та нижньому бортових кільцях. Процес розділення суспензій в таких центрифугах ведеться за принципом фільтрування рідкої фази через шар твердих частинок під дією відцентрової сили, величина якої залежить від прискорення відцентрового поля, створеного ротором.

Зупинимося докладніше на кресленні центрифуги ФПС, які широко поширені в цукровій промисловості українських виробництв, див. рис. 1. Подача суспензії на розподільний диск сприяє рівномірному завантаженню ротора. Форма ротора циліндрично-конічна, його нижній край з'єднаний декількома ребрами з упорною втулкою на валу. Розвантажувальні отвори між ребрами під час фільтрування і промивання осаду закриті підйомним конусом. Після віджимання осаду конус піднімається, швидкість обертання знижується і осад сповзає в бункер. Необхідна швидкість ротора під час саморозвантаження залежить від кута β між віссю ротора і твірною його конічної частини, а також коефіцієнта f тертя осаду об стінки. Частка масою m буде рухатися вздовж твірної контуру, якщо різниця між складовими сили тяжіння і відцентрової сили $m \cdot g \cdot \cos \beta - m \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \sin \beta$ перевищить силу тертя

$$f \cdot (m \cdot g \cdot \sin \beta + m \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \cos \beta) \text{ отже } \omega < \sqrt{\frac{g \cdot (1 - f \cdot \operatorname{tg} \beta)}{R \cdot (f + \operatorname{tg} \beta)}}, \text{ а умова саморозвантаження при } \omega = 0:$$

$$f < 1 / \operatorname{tg} \beta.$$

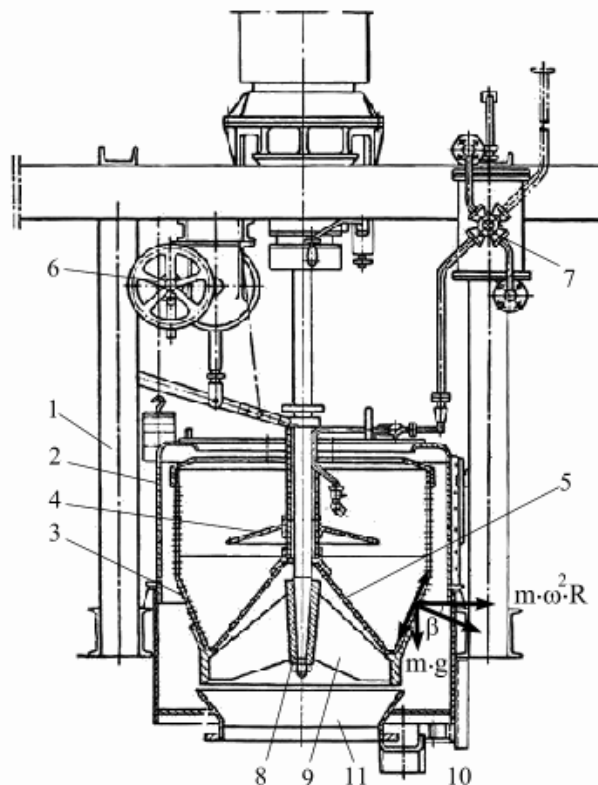


Рис. 1. Центрифуга ФПС

1 – корпус, 2 – кожух, 3 – ротор, 4 – розподільний диск, 5 – підйомний корпус, 6 – механізм піднімання, 7 – колектор, 8 – упорна втулка, 9 – ребро жорсткості, 10, 11 – вивантаження м'яса та цукру

В інженерній практиці для характеристики роздільних можливостей центрифуг використовують не величину прискорення відцентрового поля, а його відношення до прискорення сили тяжіння. Це відношення називають фактором розділення:

$$F_r = \omega^2 R / g, \quad (1)$$

де ω – кутова швидкість обертання ротора, рад/с.

$$\omega = \frac{\pi n}{30};$$

n – число обертів ротора за хвилину;

R – радіус ротора, м;

g – прискорення сили тяжіння, м/с².

Слід відзначити, що величина фактора розділення у періодично працюючих центрифугах неоднакова протягом усього циклу. Вона мінімальна під час розгону і досягає максимуму при центрифугуванні.

Нерівномірний розподіл утфелю внаслідок його низької або підвищеної в'язкості по висоті ротора викликає вібрацію центрифуги під час завантаження або при розгоні ротора і, як наслідок, суттєво підвищується рівень шуму.

На практиці обслуговуючий персонал центрифуг часто відчуває негативну дію шуму і вібрацій. Вплив вібрацій не тільки негативно позначається на здоров'ї, погіршує самопочуття, знижує продуктивність праці, але іноді призводить до професійних захворювань, зокрема, віброхвороби. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я підвищені рівні вібрації і шуму є основними факторами у виникненні серцево-судинних захворювань працівників.

Методи зменшення шкідливих вібрацій від працюючого обладнання можна поділити на дві основні групи:

1) засновані на зменшенні інтенсивності збуджуючих сил в джерелі їх виникнення;

2) ослаблення вібрації на шляху їх розповсюдження через опорні зв'язки від джерела до інших машин і будівельних конструкцій (вібродемпфування).

В інженерній практиці часто доводиться розробляти заходи щодо зменшення вібрацій на шляху її поширення від джерела вібрації. Ефективним способом боротьби зі шкідливою вібрацією є пасивна віброізоляція в поєднанні з застосуванням віброгасильних опор. З їх допомогою досягається зменшення передачі динамічної сили від машини до основи, а також зменшення вібрацій, що передаються від основи до робочих місць шляхом розміщення між ними пружних елементів (віброізоляторів або амортизаторів). Встановлення машин на пружні опори практично не знижує вібрації самої машини, але зменшує передачу вібрацій на підтримуючу конструкцію і, отже, зменшує вібрацію робочих місць. Також застосовується активна віброізоляція. Для її активізації використовується додаткове джерело енергії.

Віброізолятори виконують зі сталевих пружин, гуми та інших матеріалів. Застосовують також комбіновані гумометалеві і пружинно-гумові віброізолятори, пневморезинові амортизатори, в яких використовують пружні властивості стиснутого повітря.

Зменшити коливання, що передаються на робочі місця і будівельні конструкції можна шляхом їх встановлення на масивні віброізольовані основи.

Конструктивно віброізольовані основи виконують у вигляді залізобетонної плити, по периметру якої розміщують акустичний шов, що заповнюється легкими матеріалами та призначений для запобігання безпосередньої передачі коливань від фундаменту до будівельних конструкцій.

Практика роботи щодо зниження вібрацій роторів із вертикальною віссю обертання при умовах змінного дисбалансу під час роботи показує, що ефективним способом зниження вібрацій є автоматичне балансування за допомогою порожнистої камери, частково заповненої твердими і рідкими робочими тілами [2, 3].

Ідея автобалансування центрифуг цукрової промисловості не є новою. За наявними матеріалами перший АБП – кільцевий (рис. 2) запропонований німецьким інженером Альбертом Феска (Albert Fesca) з Берліна 26 березня 1872 р., коли він отримав патент США № 125036 на кільцевий АБП, призначений для зрівноваження вертикально розташованого барабана машини з осушення цукру. Патент був перевиданий як patent US №7,455 Reissued, 2 Jan. 1877 (в деяких оглядах історії балансувальної техніки це перевидання помилково розглядається як первинний патент, а дата 02.01.1877 р., як початок історії пасивної автобалансувальної техніки). А. Феска запропонував всередині барабана одягнути на його вал два і більше кільця, більшого внутрішнього діаметра, ніж діаметр валу.

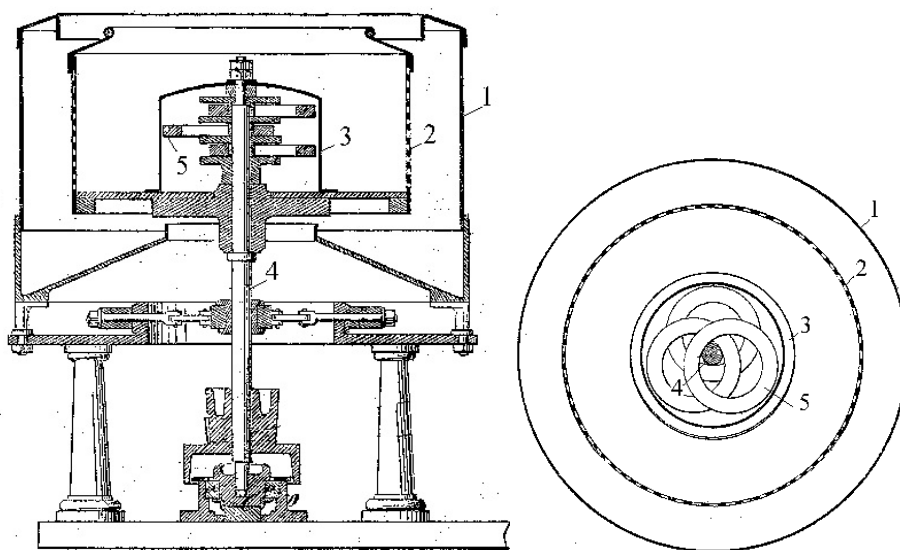


Рис. 2. Кільцевий АБП А.Феска (в 1872 р):

1 – машина для осушення цукру; 2 – барабан; 3 – АБП; 4 – вал; 5 – кільце

Аналіз літературних джерел показав, що теорія автоматичного балансування описана в багатьох роботах вітчизняних і зарубіжних авторів. У всіх роботах стверджується, що необхідною умовою зниження вібрацій за допомогою АБП є обертання ротора з частотою, що перевищує першу критичну (резонансну). Виходячи з цього конструкції сучасних АБП мають додаткові пристрої, які дозволяють робочим тілам включатися в роботу тільки на зарезонансних частотах обертання ротора. Це значно ускладнює конструкцію АБП і не дає можливості до їх широкого застосування.

Тим часом авторами на практиці було встановлено, що АБП можуть знижувати вібрації як на зарезонансних частотах, так і на дорезонансних, і на самому резонансі [4]. Експериментальні дослідження можливості ефективного автобалансування центрифуг пасивними балансирами було виконано на експериментальному стенді рис. 3 з установкою, вертикальний вал якої є жорстким і корпус жорстко закріплений з основою. Ротор установки з'єднаний із корпусом через систему пружин і може вільно виконувати прецесійний рух. Така конструкція є аналогічною конструкції ротора центрифуги.

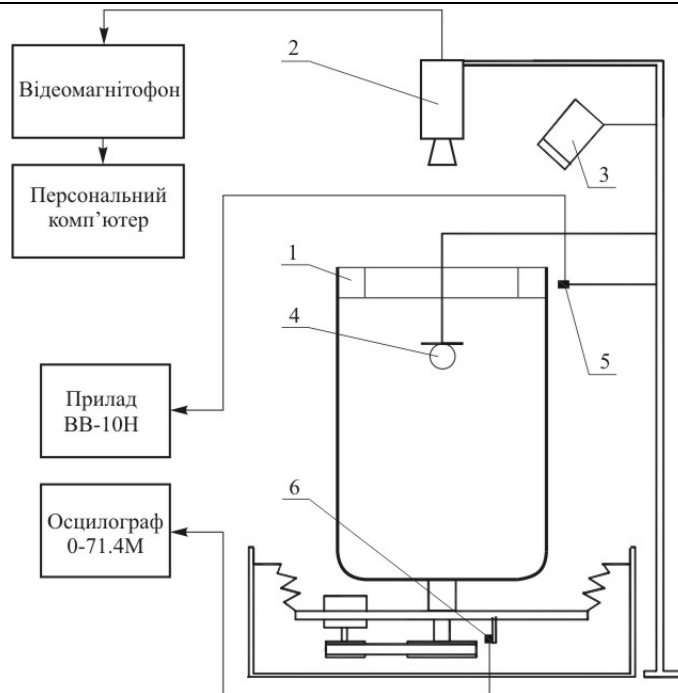


Рис. 3. Схема стенда для дослідження поведінки робочих тіл в АБП:
1 – макет АБП; 2 – відеокамера; 3 – стробоскоп; 4 – лампа розжарювання;
5 – індуктивний датчик; 6 – відмітник обертів

Для дослідження поведінки рідини в автобалансуючому пристрої в докритичній та закритичній зонах обертання ротора розроблено та виготовлено макет АБП із оптично-прозорого матеріалу, який дозволяє візуально або за допомогою сучасних засобів відеозйомки прослідкувати роботу АБП на всіх режимах експлуатації.

АБП є кільцем із зовнішнім діаметром $\varnothing 400$ мм, двома концентричними перегородками діаметрами $\varnothing 300$ і $\varnothing 200$ мм, що утворюють три концентричні камери для розташування в них робочих тіл. Загальний вид розробленого макета АБП наведений на рис. 4.

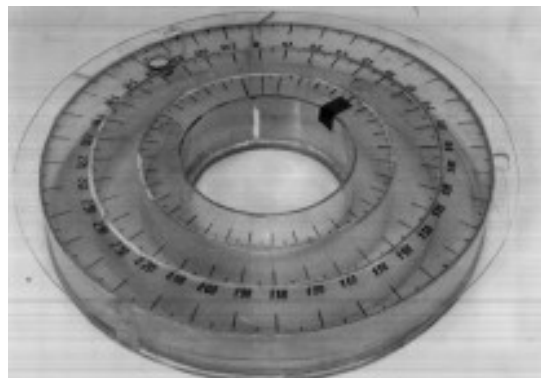


Рис. 4. Макет АБП

Усі три камери герметично ізолювані одна від одної, що дозволяє визначити залежність процесу автобалансування від геометричних розмірів камери.

Для проведення експериментальних досліджень роботи рідинних АБП запропоновано метод швидкісної відеозйомки руху робочих тіл за допомогою сучасної комп'ютерної та відеотехніки.

Дослідження поведінки робочих тіл в АБП проводилося на спеціально розробленому стенді, що містить таку апаратуру:

- відеокамера Panasonic 9000;
- відеомagnetofон Panasonic NC-NC 1000;
- персональний комп'ютер такої конфігурації: процесор – Celeron 2000 МГц, материнська плата – ASUS P4S533, ОЗП – 512 Мб, відеокарта – ATI Radeon 9000 (64 Мб), вінчестер – WD80BB (80 Гб), звукова карта – ESS 1938 (16 Bit, PCI) сумісна з Sound Blaster, TV Tuner – FlyTV Prime34 FM;
- шлейфовий осцилограф Н071.4;
- стробоскоп СШ-1;
- вимірювач переміщень BB-10Н;

- індуктивний датчик переміщень;
- індукційний датчик (відмітник обертів).

Блок-схема підключення апаратури наведена на рис. 3.

При проведенні попередніх досліджень, оперативного контролю за положенням робочих тіл в АБП використовувався стробоскоп СШ-1, засинхронізований із сигналом відмітника обертів ротора.

Відеокамера розміщувалась вертикально над АБП по осі обертання ротора. Відеозапис процесу балансування здійснювався синхронно з записом вібрацій ротора.

Обробка результатів проводилася шляхом зіставлення відеозаписів із записами на осцилографічній стрічці, що дало можливість визначити розташування резонансної області на відеозаписах, а також значення частоти обертання для оброблюваних відеокадрів.

Методика проведення досліджень за допомогою швидкісної відеозйомки роботи АБП на вертикальному роторі містить три етапи: підготовчий, дослідження перехідних режимів, дослідження стаціонарних і квазістаціонарних режимів.

1. Підготовчий етап включає:

- балансування ротора з АБП при відсутності робочих тіл у ньому;
- підбір величини і місця розташування штучного дисбалансу ротора;
- визначення оптимального обсягу робочої рідини в АБП;
- визначення оптимального освітлення АБП;
- визначення необхідної швидкості руху магнітної відеострічки;
- визначення оптимального положення відеокамери (вибір кута зору і відстані до АБП);
- пробні запуски всієї системи для узгодження взаємодії її окремих ланок.

Балансування ротора з макетом АБП при відсутності робочих тіл у ньому проводилося методом обходу пробним вантажами на робочій частоті обертання ротора.

Значення штучного дисбалансу ротора визначали на його робочих частотах обертання у такий спосіб: поступово збільшували масу штучного дисбалансу кроком у 30 г від запуску до запуску і вимірювали рівень вібрацій ротора.

Критичним максимальним значенням маси дисбалансу вважалося те, при якому амплітуда вібрацій досягала 40 мм (вищі значення в даній конструкції установки приводять до ударів рухливих елементів по корпусу) або коли електродвигун не в змозі збільшувати обороти при переході через резонанс системи і ротор “зависає” на критичній частоті обертання.

Знайдене за цими критеріями значення маси дисбалансу, зменшене на 30 г (величина одного кроку) і яке складає $m = 150$ г, було прийняте за вихідне значення для подальших досліджень.

Для проведення відеозйомки критерієм оптимальності об’єму робочої рідини в АБП було прийнято проглядуваність процесу автоматичного балансування на всіх обертах ротора, тобто, коли чітко проглядалося у світлі стробоскопа і на відеострічці положення робочої рідини стосовно місця розташування штучного дисбалансу. Визначення таких значень об’єму проводилося експериментально.

У результаті таких досліджень одержані обсяги рідини (підфарбованої прісної води), що склали 400 мл, 300 мл і 250 мл для зовнішньої, середньої і внутрішньої камер АБП відповідно.

Особливістю перехідних режимів обертання ротора з АБП (розгін, вибіг) є наявність кутового прискорення, що може впливати на рух (положення) робочих тіл.

Для дослідження руху робочих тіл при наявності кутового прискорення запропонована й експериментально випробувана така методика:

- на роторі встановлюється необхідний дисбаланс, в АБП заливається рідина;
- до електродвигуна привода ротора поступово підводиться електричний струм і фіксується мінімальне значення напруги U_0 , при якому починається рух ротора;
- на електродвигун привода подається максимальна напруга, завдяки якій ротор розкручується до заданої номінальної частоти обертання і фіксується значення $U_{\text{ном}}$;
- до електродвигуна привода підводиться мінімальна напруга U_0 і стрибком змінюється її значення до $U_{\text{ном}}$, при цьому фіксується час t_0 виходу ротора на робочі частоти обертання, що відповідає максимальному кутовому прискоренню ε_{max} ;
- за наближеною формулою обчислюється час, необхідний для зміни напруги від U_0 до $U_{\text{ном}}$, що підводиться до приводного електродвигуна:

$$t_i = \frac{\varepsilon_{\text{max}}}{\varepsilon_i} \cdot t_0 \quad (2)$$

де t_i – інтервал часу зміни напруги від U_0 до $U_{\text{ном}}$; ε_i – необхідне значення кутового прискорення ротора в i -му експерименті.

– синхронно з ротором і віброапаратурою запускається відеокамера і записується рух робочих тіл в АБП під час запуску при заданому кутовому прискоренні ε_i з витримкою на робочій частоті обертання протягом 10–15 с.

Резонансна швидкість обертання ротора складає $\omega_p = 56,5 - 63$ рад/с (540–600 об/хв.). Для вивчення поведінки робочих тіл в АБП на дорезонансних, резонансних і зарезонансних частотах обертання ротора, останньому задавалася кутова швидкість $0,5 \omega_p$ і $0,75 \omega_p$ (дорезонансна зона), ω_p (резонансна зона), $1,5 \omega_p$

(зарезонансна зона).

Відеокамеру разом з апаратурою вмикали після часу $\Delta t = 10\text{--}15$ с вистою ротора на заданій частоті обертання, коли положення робочих тіл щодо відміток на корпусі АБП стабілізувалося.

Відеозйомка на кожній із зазначених частот обертання проводилася протягом 20–30 с.

З метою визначення ефективності методу автоматичного балансування роторів з вертикальною віссю обертання рідиною було проведено ряд досліджень зі зміною маси штучних дисбалансів в діапазоні від 50 г до 250 г з кроком 50 г для різних радіусів камер, що заповнювались рідиною, $R = 0,2; 0,15; 0,1$ м і зміною кількості рідини в камері від 0 г до 350 г з кроком 50 г. Дисбаланси встановлювались майже в площині розташування камери АБП. Досліджуваний діапазон швидкостей обертання ротора становив 0 рад/с – 88 рад/с. Для детальних досліджень роботи АБП робились витримки в дорезонансній, резонансній і зарезонансній зонах обертання ротора на 5–10 с. Для кожного випадку будувалась амплітудно-частотна характеристика коливань верхнього краю барабана. Попередньо перед дослідженням проводилось добалансування ротора установки (бака пральної машини) методом обходу вантажем [5].

Перевірка ефективності роботи рідинного АБП здійснювалась двома шляхами: розрахунковим і експериментальним.

Для експериментальної перевірки впливу параметрів АБП, зокрема радіуса камери, на ефективність процесу балансування проведено серію досліджень з циліндричними камерами АБП однієї висоти (50 мм) і різними радіусами (200 мм, 150 мм, 100 мм). Попередньо здійснено запис вібрацій розбалансованого ротора при дисбалансі 3000 г·см. Далі по чергові заповнювались камери різного радіуса прісною водою об'ємом 150 мл і здійснювався запис вібрацій системи. АЧХ коливань верхнього краю барабана при дисбалансі 3000 г·см надано на рис. 5, де для порівняння показані АЧХ для випадків з рідиною в різних камерах АБП.

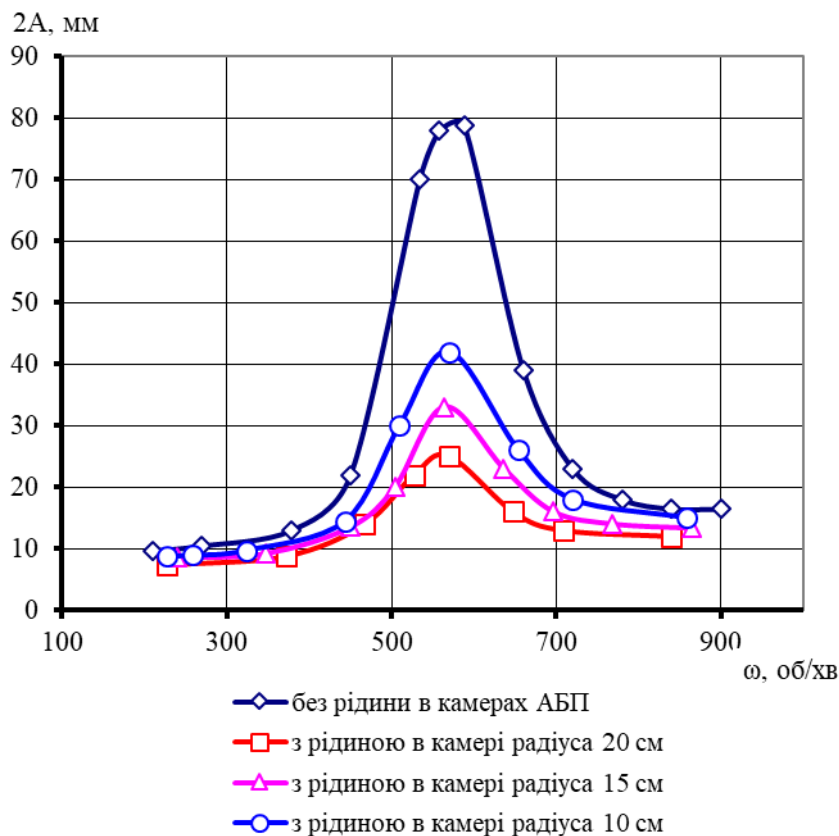


Рис. 5. АЧХ коливань верхнього краю барабана при дисбалансі 3000 г·см

Розрахункові результати дослідження підтверджуються експериментами (рис. 4). А саме:

- під час використання АБП з рідкими робочими тілами спостерігається зменшення амплітуд коливань ротора на всьому діапазоні частот обертання;
- при постійних масі та густині рідини, величині і місці розташування дисбалансу збільшення співвідношення радіуса до висоти камери АБП призводить до зменшення амплітуд коливань ротора;
- найбільший ефект балансування досягається, коли величина дисбалансу рідини близька до величини початкового дисбалансу; ефект балансування зростає при наближенні робочої швидкості до резонансної, що виражається в полегшенні переходу через резонансні і критичні частоти обертання.

Висновки

Проведено експериментальні дослідження поведінки робочої рідини в камері АБП з використанням швидкісної відеозйомки та динамічної фотозйомки. На основі результатів експериментальних і теоретичних

досліджень розроблена конструкція комбінованого рідинно-кулькового автобалансуючого пристрою, застосування якого дозволяє знизити вібрації ротора не менше, ніж в 2,5 разу в усьому діапазоні частот обертання. Схожість конструктивних схем експериментальної установки і центрифуги ФПН-125, що використовується в цукровій промисловості, дозволяє припустити, що використання методу автоматичного балансування для зниження вібрацій буде досить ефективним на даних типах центрифуг без застосування істотних змін у конструкції.

Література

1. Домарецький В.А. Технологія харчових продуктів / В.А. Домарецький, М.В. Остапчук, А.І. Українець. – К. : НУХТ, 2003. – 569 с.
2. Goroshko A. Quality and Reliability of Technical Systems: Theory and Practice / A. Goroshko, V. Royzman, M. Zembytska // System Analysis of Automatic Balancing (Self-Balancing) Machine Rotors with Liquid Working Bodies on the Example of Drum Type Washing Machines. – 2018. – Volume 2, August. – P. 26–60. – ISBN 978-609-96036-0-5. URL: <https://www.jvejournals.com/bookseries- Назва з екрану>.
3. Чоловський Р. Г. Вібрації та автоматичне балансування машин з вертикальною віссю обертання і змінним дисбалансом ротора : дис. ... канд. наук : 05.02.02 / Чоловський Роман Геннадійович. – 1999.
4. Ройзман В.П. Відмінності автоматичного балансування для роторів з горизонтальною і вертикальною осями обертання / В. П. Ройзман, В. П. Ткачук, І. В. Драч // Збірник наукових праць НАПСУ ім. Б. Хмельницького, серія: військові та технічні науки. – Хмельницький : НАПСУ, 2015. – С. 64–67.
5. Скубачевский Г.С. Авиационные газотурбинные двигатели. Расчет и конструкция деталей. / Г.С. Скубачевский. – М. : Машиностроение, 1974. – С. 266–269.

References

1. Domaretskyi V.A. Tekhnolohiia kharchovykh produktiv / V.A. Domaretskyi, M.V. Ostapchuk, A.I. Ukrainets. – K. : NUKhT, 2003. – 569 s.
2. Goroshko A. Quality and Reliability of Technical Systems: Theory and Practice / A. Goroshko, V. Royzman, M. Zembytska // System Analysis of Automatic Balancing (Self-Balancing) Machine Rotors with Liquid Working Bodies on the Example of Drum Type Washing Machines. – 2018. – Volume 2, August. – P. 26–60. – ISBN 978-609-96036-0-5. URL: <https://www.jvejournals.com/bookseries- Nazva z ekranu>.
3. Cholovskyi R. H. Vibratsii ta avtomatychne balansuvannia mashyn z vertykalnoiu vissiu obertannia i zminnym dysbalansom rotora : dys. ... kand. nauk : 05.02.02 / Cholovskyi Roman Hennadiiovych. – 1999.
4. Roizman V.P. Vidminnosti avtomatychnoho balansuvannia dlia rotoriv z horyzontalnoiu i vertykalnoiu osiamy obertannia / V. P. Roizman, V. P. Tkachuk, I. V. Drach // Zbirnyk naukovykh prats NAPSU im. B. Khmelnytskoho, seriia: viiskovi ta tekhnichni nauky. – Khmelnytskyi : NAPSU, 2015. – S. 64–67.
5. Skubachevskij G.S. Aviacionnye gazoturbinnye dvigateli. Raschet i konstrukcija detalej. / G.S. Skubachevskij. – M. : Mashinostroenie, 1974. – S. 266–269.

Рецензія/Peer review : 23.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 18.12.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Мазур М.П.

В.П. МІСЯЦЬ, О.В. МІСЯЦЬ

Київський національний університет технологій та дизайну

М.Є. СКИБА, П.Ф. ЗОЗУЛЯ, А.О. ПОЛІЩУК

Хмельницький національний університет

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ПОПЕРЕДНЬОГО РОЗРІЗАННЯ ТАРИ З ПОЛІЕТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТУ ПІД ЧАС ЗАВАНТАЖЕННЯ В РОТОРНІ ДРОБАРКИ

Проведено аналіз недоліків роботи роторних дробарок під час подрібнення тари з поліетилентерефталату і доцільність їх оснащення додатковим різальним пристроєм валкового типу. Представлено математичне моделювання взаємодії валків з відходами тари. Визначено умови захвату стиснених пляшок валками і визначено їх мінімально необхідний діаметр.

Ключові слова: роторна дробарка, відходи тари з поліетилентерефталату, валковий пристрій, завантаження, дискові ножі, попереднє різання.

V.P. MISIATS, O.V. MISIATS

Kyiv National University of Technology and Design

M.YE. SKYBA, P.F. ZOZULIA, A.O. POLISHCHUK

Khmelnytskyi National University

MATHEMATICAL MODELLING OF THE DEVICE FOR PRELIMINARY CUTTINGS OF CONTAINER FROM POLYETHYLENE TEREPHTHALATE DURING LOADING IN THE ROTOR CRUSHER

An analysis of the defects of the work of rotary crushers during the molding tare from polyethylene terephthalate and the expediency of their equipment with an additional cutting device of roll type have been made in this work. After the implementation of experimental studies, the design of the rotary crusher was improved by equipping it with a roller type device for deformation and preliminary cutting of used thin-walled tanks of large volume. The mathematical modelling of the interaction of rolls with packaging waste is presented. Conditions of capture of compressed bottles by rolls are determined and their minimum diameter was determined. Also in the process a deformation and cutting of the thin-walled capacities of large volume were first examined by the profiled roller mechanism with disk knives. The purpose of the research is to improve the design of the rotary crusher by equipping it with a roller device for deformation and preliminary cutting of used thin-walled tanks of large volume. The task of the work is an analytical and experimental study of the efficiency of the destruction of thin-walled capacities of large volumes by roller mechanism, and the development of its design. The object of the study is the process of crushing polymer waste in rotary crusher. The subject of the study is rotary crushers with roller loading mechanism. The methodological and theoretical basis of the study are the main provisions of the theoretical mechanics, the resistance of materials and parts of machines.

Keywords: the rotor crusher, wastes of container from polyethylene terephthalate, roll the device, loading, disk knives, previous cutting.

Мета та завдання роботи

Метою досліджень є удосконалення конструкції роторної дробарки шляхом оснащення її валковим пристроєм для деформування і попереднього різання використаних тонкостінних ємностей великого об'єму. Завданням роботи є аналітичне і експериментальне дослідження ефективності руйнування тонкостінних ємностей великого об'єму валковим механізмом та розробка його конструкції.

Об'єкт та предмет дослідження

Об'єктом дослідження є процес подрібнення полімерних відходів в роторних дробарках. Предметом дослідження є роторні дробарки з валковим механізмом завантаження відходів.

Методи та засоби дослідження

Методологічною і теоретичною основою дослідження служать основні положення теоретичної механіки, опору матеріалів і деталей машин.

Наукова новизна та практичне значення отриманих результатів. В роботі вперше розглядається деформування і різання тонкостінних ємностей великого об'єму за допомогою профільованого валкового механізму з дисковими ножами.

Результати дослідження

В роторних ножових дробарках [1] здійснюється зосереджене різання відходів ножами, які розташовані як в роторі, так в статорі.

Для проведення досліджень було використано роторну дробарку, кінематична схема і зовнішній вигляд якої представлені на рис. 1 та 2 відповідно.

Роторна дробарка складається (рис. 1) з корпусу 5, бункера 10, лотка 11, ротора 6 з закріпленими на ньому ножами 7, нерухомих ножів 8, закріплених на корпусі, змінної каліброваної решітки 9, розмір отворів якої задає необхідну дисперсність подрібнюваних матеріалів. Передача обертового моменту від валу електродвигуна 1 до ротора здійснюється пасовою передачею, що складається з шківів 3, маховика з шківом 4 та клинових пасів 2.

Процес подрібнення матеріалу починається з його завантаження в вікно 10, звідки він потрапляє на ротор і на його ножі. Матеріал подрібнюється при взаємодії з ножами ротора і нерухомо закріпленими

ножами статора. Після цього матеріал просіюється через решітку і потрапляє до бункера готового продукту. Даний тип подрібнювача досить широко використовується в хімічній промисловості, целюлозно-паперовій, харчовій, будівній і легкій промисловості.

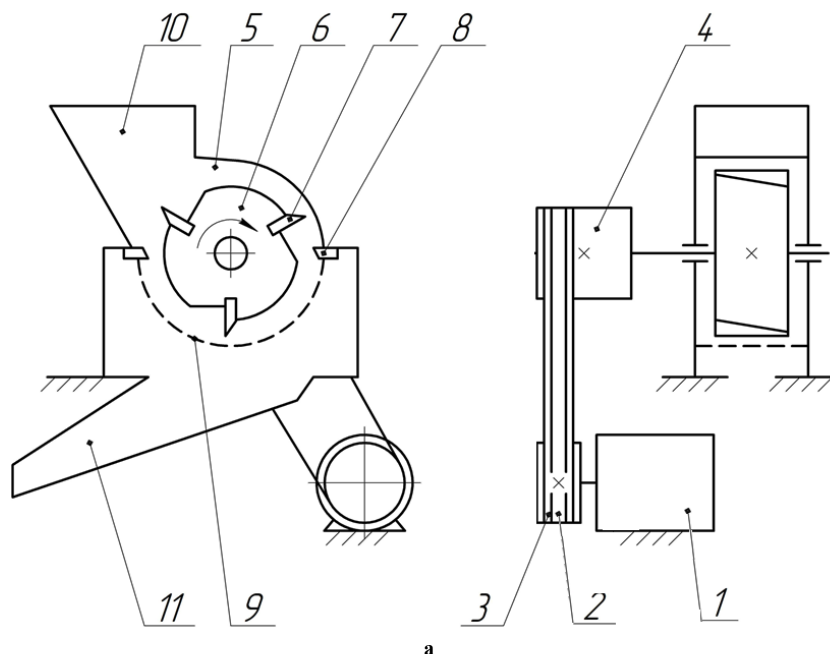


Рис. 1. Роторна ножова дробарка: а - кінематична схема; б - зовнішній вигляд установки;
1 - електродвигун; 2 - клинові паси; 3 - шків; 4 – маховик з шківом; 5 – камера подрібнення;
6 – ротор; 7 – ножі ротора; 8 – нерухомі ножі; 9 – калібрована сітка; 10 – вікно завантаження; 11 – лоток

Під час подрібнення відходів листових полімерних матеріалів роторна дробарка має досить високу продуктивність і рівномірність роботи. Головним критерієм цих показників є правильне завантаження відходів в робочу камеру, яке здійснюється оператором вручну.

Однак, при подрібненні використаних пляшок з поліетилентерефталату виявився значний недолік процесу завантаження їх в дробарку. Ємності, потрапляючи в робочу камеру, стикаються з рухомими ножами ротора, хаотично відбиваються від них і процес їх подрібнення супроводжується затримками. Причиною є співрозмірність простору між ножами і розміром ємностей.

Нами були проведені попередні експерименти [2], в ході яких визначався час подрібнення пляшок ємністю 2 л при послідовному безперервному завантаженні. Експерименти показали, що при завантаженні пляшок, що розрізані, повздовж на три частини продуктивність подрібнення в 5...6 разів вища ніж при завантаженні цілої тари.

В результаті експерименту було зроблено висновок про доцільність оснащення дробарки валковим пристроєм для деформування і попереднього різання використаних пляшок, який повинен бути встановлений на вході в робочу камеру.

Схема пристрою представлена на рис. 2. Він складається з двох валків, які профільовані таким чином, що в середній частині можливий надійний захват горловин ємностей з причини їх достатньо великої товщини і жорсткості.

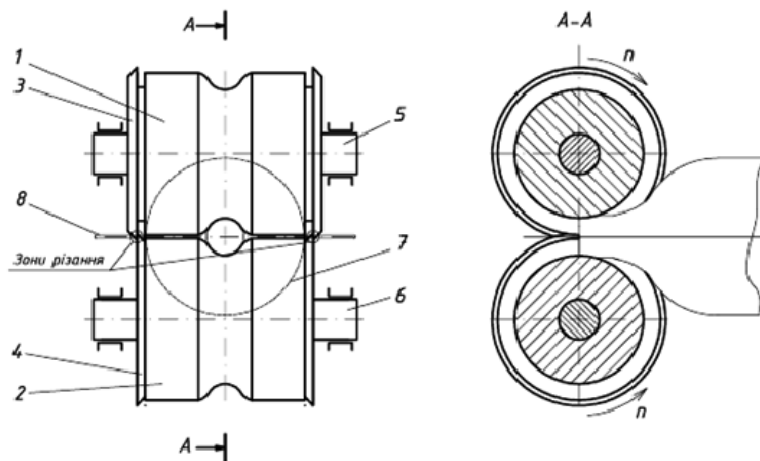


Рис. 2. Схема валкового пристрою для деформування і попереднього різання використаних тонкостінних ємностей при завантаженні в роторну дробарку: 1, 2 – профільовані валки; 3, 4 – пари дискових ножів; 5, 6 – вали; 7 – ємність в недеформованому стані; 8 – ємність після стиснення в міжвалковому зазорі

На торцевих поверхнях валків закріплено дві пари дискових ножів 3 і 4, які після деформування тонкостінної частини ємності валками розрізають її на три частини. При подачі розрізаних частин в робочу камеру дробарки інтенсивність процесу подальшого подрібнення значно зростає.

Запропонована конструкція валкового пристрою потребує аналітичного дослідження ефективності її роботи і експериментального підтвердження.

Розглянемо умови захоплення матеріалу (пляшок з ПЕТФ) валками. За рахунок поступального руху матеріалу і неминучої шорсткості контактних поверхонь пляшок і валів за певних умов матеріал захоплюється валками і втягується в простір між валками.

Центральний кут між лінією, що сполучає центри валів, і радіусом, що проходить через точку зіткнення контактуючої поверхні матеріалу з валами, носить назву кута захоплення. При цьому з боку валів діють нормальні і дотичні сили, прикладені до матеріалу через його контактуючі поверхні.

Визначимо умову захоплення матеріалу валками в початковий момент транспортування. На матеріал, що контактує з валками в початковий момент, діють сили нормального тиску N і сили тертя F_1 , F_2 (рис. 3а).

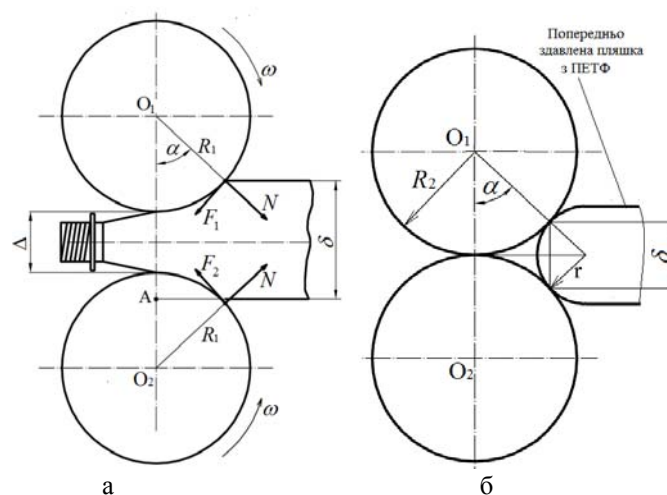


Рис. 3. Схеми взаємодії пляшок з ПЕТФ з валками: а – в центральній частині; б – в зонах стиснення

Спроектуємо вектори діючих сил на вісь X і отримаємо умову захоплення матеріалу валками:

$$(F_1 + F_2) \cos \alpha > 2N \sin \alpha, \quad (1)$$

де α – кут захоплення матеріалу валками; N – нормальна сила тиску валків на матеріал; F_1 , F_2 – сили тертя між валками і матеріалом.

За умови однакових поверхонь валків і умов їх контактування з матеріалом $F_1 = F_2 = F_{тер}$.

$$F_{тер} = N \cdot f, \quad (2)$$

де f – коефіцієнт тертя матеріалу об поверхні валків.

Враховуючи (2), з (1) отримуємо умову захоплення матеріалу валками в початковий момент транспортування:

$$\operatorname{tg} \alpha < f. \quad (3)$$

Згідно зі схемою на рис. 3а можна записати рівняння:

$$R_1 + \frac{\Delta}{2} = R_1 \cos \alpha + \frac{\delta}{2}.$$

Звідси

$$\Delta_{\min} = \delta - 2R_1 (1 - \cos \alpha). \quad (4)$$

Зі схеми на рис. 3а видно, що

$$AO_2 = R_1 - \frac{\delta - \Delta}{2}, \text{ або } AO_2 = R_1 \cdot \cos \alpha. \quad (5)$$

З (4) і (5) маємо:

$$\cos \alpha = 1 - \frac{\delta - \Delta}{2R_1}. \quad (6)$$

Представимо $\operatorname{tg} \alpha$ у вигляді:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha}}{\cos \alpha}. \quad (7)$$

Враховуючи вираз (6), формула (7) приймає вигляд:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{1 - \left(1 - \frac{\delta - \Delta}{2R_1}\right)^2}}{1 - \frac{\delta - \Delta}{2R_1}}. \quad (8)$$

Введемо позначення $\frac{\delta - \Delta}{2R} = x$ і перепишемо (8) з урахуванням (3) у вигляді:

$$f = \frac{\sqrt{1 - (1 - x)^2}}{1 - x}. \quad (9)$$

Виконуємо алгебраїчні перетворення виразу (9) і отримуємо рівняння:

$$(1 + f^2)x^2 - 2(1 + f^2)x + f^2 = 0. \quad (10)$$

Рішенням отриманого квадратного рівняння (10) є:

$$x_{1,2} = \frac{1}{2} \left(1 \pm \frac{1}{\sqrt{1 + f^2}} \right). \quad (11)$$

Нас задовольняє рішення (11), при якому точки дотику матеріалу знаходяться в середній частині валків (як на рис. 3а), тобто зі знаком «мінус». Підставляємо в (11) замість x його значення і отримуємо після перетворень:

$$R_1 = \frac{\delta - \Delta}{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + f^2}} \right)}. \quad (12)$$

Отримана нами формула (12) дозволяє визначити мінімальний радіус валків, який забезпечує умову захоплення матеріалу, при відомих значеннях його початкової товщини δ , зазору між валками Δ і коефіцієнта тертя f .

У випадку початкового контакту валків і пляшки, яка попередньо стиснена до товщини $2r$ (рис. 3б), величина δ може бути знайдена за схемою на рис. 3б і виражена формулою:

$$\delta = \frac{2r \cdot R_2}{r + R_2}. \quad (13)$$

Оскільки $\Delta \ll \delta$, для спрощення вважаємо $\Delta = 0$, тоді формула (12) з урахуванням (13) приймає вигляд:

$$R_2 = \frac{2r}{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1+f^2}}\right)} - r. \quad (14)$$

Коефіцієнт тертя поліетилентерефталату по сталі залежить від стану контактних поверхонь і має значення $f=0,5\dots0,7$.

На рис. 4 представлено графік залежності мінімально необхідного радіуса валків для захоплення ними пляшок з ПЕТФ від r і коефіцієнту тертя, який отримано за формулою (14).

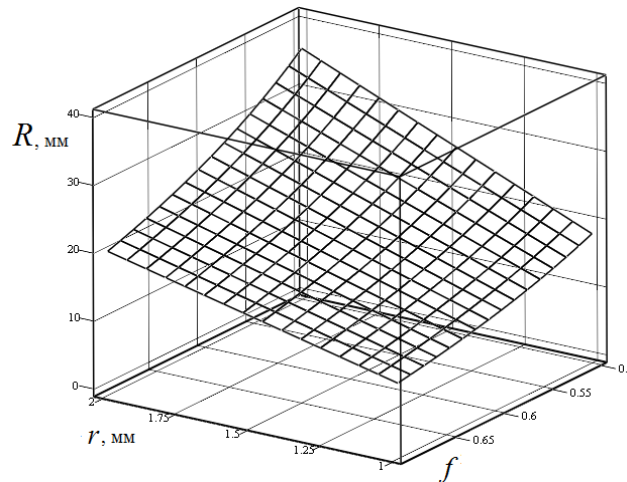


Рис. 4. Графік залежності мінімально необхідного радіуса валків для захоплення ними пляшок з ПЕТФ від r і коефіцієнту тертя f

Згідно з графіком можна зробити висновок, що захоплення навіть майже повністю стиснених пляшок гладкими валками (коли $r_{пл} = 1$ мм) гарантовано можливе при $R > 20$ мм.

В подальших дослідженнях потрібно виконати математичне моделювання процесу різання стиснених пляшок дисковими ножами та визначити конструктивні і енергетичні параметри всього пристрою.

Висновки

У роботі проведено аналіз недоліків роботи роторних дробарок при подрібненні тари з поліетилентерефталату і доцільність їх оснащення додатковим різальним пристроєм валкового типу. Представлено математичне моделювання взаємодії валків з відходами тари. Визначено умови захвату стиснених пляшок валками і визначено їх мінімально необхідний діаметр.

Також в роботі вперше розглядається деформування і різання тонкостінних ємностей великого об'єму за допомогою профільованого валкового механізму з дисковими ножами.

Література

1. Рубанка М. М. Експериментальні дослідження динаміки роторної дробарки для переробки відходів легкої промисловості / М. М. Рубанка, В. П. Місяць // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2016. – № 1 (94). – С. 27–36.
2. Місяць В.П. Удосконалення роторної дробарки для подрібнення використаної тари з поліетилентерефталату / В.П. Місяць, О.В., Місяць // Тези Міжнародної науково-технічної конференції «Інженерія та технології: наука, освіта, виробництво», м. Луцьк, 15-16 листопада 2018 р. – С. 168–169.

References

1. Rubanka M. M. Eksperymentalni doslidzhennia dynamiky rotornoi drobarky dlia pererobky vidkhodiv lehkoï promyslovosti / M. M. Rubanka, V. P. Misiats // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. – 2016. – № 1 (94). – S. 27–36.
2. Misiats V.P. Udoskonalennia rotornoi drobarky dlia podribnennia vykorystanoi tary z polietylenereftalatu / V.P. Misiats, O.V., Misiats // Tezy Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Inzheneriia ta tekhnolohii: nauka, osvita, vyrobnytstvo», m. Lutsk, 15-16 lystopada 2018 r. – S. 168–169.

Рецензія/Peer review : 13.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 18.12.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Кармаліта А.К.

В.А. МАТВІЙЧУК, М.В. ЛЮБІН, О.А. ТОКАРЧУК, О.О. РУБАНЕНКО
Вінницький національний аграрний університет

ОСОБЛИВОСТІ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ДЛЯ ТРАНСПОРТУЮЧИХ СИСТЕМ АПК

В статті розглянута можливість плавного запуску, зупинки та регулювання швидкості асинхронних електродвигунів, що використовуються в якості джерела енергії для транспортуючих систем агропромислового комплексу. В основу покладено принцип частотного регулювання швидкості асинхронного двигуна: змінюючи частоту струму, змінюємо кутову швидкість магнітного поля статора. Для отримання високих енергетичних показників двигуна необхідно одночасно з частотою змінювати і величину напруги. Регулювання вихідної напруги інвертора можна здійснювати двома способами: амплітудним і широтно-імпульсним. Також за допомогою перетворювача частоти можна здійснити відключення у разі перевищення величини струму при розгоні та в процесі зупинки.

Ключові слова: перетворювач частоти, асинхронний електродвигун, напруга, кутова швидкість, статор, струм, мінімальні енергозатрати.

V.A. MATVIYCHUK, M.V. LYUBIN, O.A. TOKARCHUK, O.O. RUBANENKO
Vinnytsia National Agrarian University

FEATURES OF FREQUENCY-REGULATED ELECTRIC DRIVER FOR TRANSPORTATION SYSTEMS OF AGRICULTURAL INDUSTRY

The article considers the possibility of smooth start, stop and speed regulation of asynchronous electric motors, used as a source of energy for transport systems of the agro-industrial complex. The basis of the principle of frequency regulation of the speed of the asynchronous motor is set: changing the frequency of the current, changing the angular velocity of the stator magnetic field. To obtain high energy indices of the engine it is necessary simultaneously with the frequency to change and the magnitude of the voltage. Adjustment of the output voltage of the inverter can be carried out in two ways: amplitude and pulse-width. Also, with the help of a frequency converter, it is possible to disconnect in case of exceeding the value of current in case of overclocking and in the process of stopping.

Keywords: frequency converter, asynchronous electric motor, voltage, angular velocity, stator, current, minimum energy consumption.

Вступ

Одним зі шляхів зменшення собівартості продукції, що виробляється на підприємствах АПК, є оптимізація енерговитрат. Зниження виробничих витрат за допомогою економічного споживання електроенергії можливе за рахунок використання енергоощадних технологій [1].

Робота будь-якого підприємства, незалежно від масштабів, пов'язана з переміщенням великої кількості вантажу (сировини, напівфабрикатів, готової продукції). Витрати на транспортуючі, навантажувально-розвантажувальні роботи у різних галузях становлять від 10 до 50% загальних витрат виробництва. Обсяг перерахованих робіт сягає мільярдів тонн, і з кожним роком зростатиме [2].

Крім традиційних транспортуючих машин: стрічкових, пластинчастих, скребкових, ковшових та норій у Європі уже більше 30 років широко використовують спіральні конвеєри, в Україні вони лише частково впроваджуються в технологічний процес.

Разом з тим, до всіх машин та механізмів, що забезпечують механізацію транспортуючих робіт, виставляють наступні вимоги: відповідність технологічному процесу виробництва; висока продуктивність; збереження вантажу, що переміщується; мінімальні енергозатрати; безпека та зручність в експлуатації.

Постановка проблеми

Останнім часом джерелом енергії для транспортних систем в основному є асинхронні електродвигуни. Це обумовлено їхньою простотою, надійністю, низькою собівартістю та високим коефіцієнтом корисної дії. З метою покращення їх технічних характеристик та продовження терміну експлуатації використовується багато пристроїв, які здійснюють, пуск, зупинку, регулювання швидкості та захист двигуна.

Важливою перевагою електроприводів з двигунами постійного струму є досить проста система регулювання швидкості, проте слабким місцем такого приводу є сам електродвигун. Він дорогий, не дуже надійний та вимагає постійного струму.

Основний недолік асинхронних електродвигунів – складність регулювання швидкості традиційними методами [3; 4].

Регулювання кутової швидкості асинхронних двигунів можна здійснювати зміною числа пар полюсів, зміною опору кола ротора або зміною напруги на статорі. Всі ці методи відрізняються незначним діапазоном регулювання кутової швидкості, зниженням жорсткості механічної характеристики і стабільності регулювання, зростанням витрат у двигуні.

Найбільш ефективним способом регулювання кутової швидкості асинхронних двигунів безумовно є регулювання зміною частоти струму. Тому одним з важливих пристосувань електроприводу є частотний перетворювач. Частотний перетворювач в комплекті з асинхронним електродвигуном дозволяє ефективно

замінювати електропривод з двигуном постійного струму.

Пуск і гальмування робочого органу транспортуючих машин при використанні перетворювача частоти відбувається плавно, без механічних ударів при пуску і гальмуванні, що збільшує термін служби машин та не перевантажує електричну мережу.

Розвиток частотно-регульованого електроприводу стримує висока вартість перетворювача частоти. Поява силових схем з IGBT-транзисторами і розробка продуктивних мікропроцесорних систем управління дала змогу різним фірмам Європи, США та Японії створити сучасні перетворювачі частоти доступної собівартості.

В комплект поставок транспортуючих систем за кордоном включають частотні перетворювачі, які забезпечують гарантовану безпеку від поломок, та ефективну роботу систем електроприводу. Проте деякі наші користувачі дуже часто вирішують економити на ціні та відмовляються від частотних перетворювачів, при цьому створюючи значні складності в умовах експлуатації обладнання.

Мета роботи

Мета роботи – розглянути технічні засоби керування і захисту асинхронних електродвигунів змінного струму, та забезпечити можливість плавного регулювання швидкості магнітним полем статора для покращення умов роботи транспортних систем.

Виклад основного матеріалу

Принцип частотного методу регулювання швидкості асинхронного двигуна полягає у тому, що змінюючи частоту f_1 напруги, можна змінювати кутову швидкість магнітного поля статора:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f}{p}, \quad (1)$$

де p – число пар полюсів; f – частота напруги на статорі.

Для отримання високих енергетичних показників асинхронного двигуна (коефіцієнтів потужності і корисної дії, перевантажувальної здатності) необхідно одночасно з частотою змінювати і напругу, закон зміни якої описується рівнянням:

$$U_1 = f_1 \sqrt{f_1^x}, \quad (2)$$

де U_1 ; f_1 – відносні одиниці напруги і частоти;

x – показник степеня в механічній характеристиці робочої машини.

Закон зміни напруги залежить від характеру моменту навантаження M_c .

При постійному моменті навантаження $M_c = \text{const}$ напруга на статорі повинна регулюватись пропорційно частоті:

$$\frac{U_1}{f_1} = \text{const}. \quad (3)$$

При змінному моменті, обернено пропорційно:

$$\frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = \text{const}. \quad (4)$$

Система частотного регулювання характеризується досить високим коефіцієнтом корисної дії, що забезпечує високу плавність регулювання в досить широкому діапазоні, штучні механічні характеристики при цьому мають велику жорсткість, тому стабільність регулювання є високою.

Конвеєри є складовою частиною сучасних технологічних процесів, вони задають та регулюють темп виробництва, забезпечують ритмічність, сприяють підвищенню продуктивності праці.

Транспортуючі машини, особливо при завантаженні вантажем, зазнають змінного навантаження на тяговий орган. Тому для ефективного протікання технологічного процесу бажано, щоб тяговий орган набирив швидкість поступово до необхідної величини, та не змінював суттєво швидкість при зміні навантаження.

Перетворювач частоти складається з некерованого діодного силового випрямляча В, автономного інвертора, системи керування ШІМ, системи автоматичного регулювання, дроселя L_b і конденсатора фільтра C_b (рис. 1). Регулювання вихідної частоти $f_{\text{вих}}$ і напруги $U_{\text{вих}}$ здійснюється в інверторі за рахунок високочастотного широтно-імпульсного управління. Широтно-імпульсне управління характеризується періодом модуляції, всередині якого обмотка статора електродвигуна підключається по черзі до позитивного і негативного полюсів випрямляча. Тривалість цих станів усередині періоду ШІМ модулюється за синусоїдальним законом. При високих (зазвичай 2...15 кГц) тактових частотах ШІМ, в обмотках електродвигуна течуть синусоїдальні струми [5].

Таким чином, форма кривої вихідної напруги є високочастотною двополярною послідовністю прямокутних імпульсів (рис. 2). Частота імпульсів визначається частотою ШІМ.

Регулювання вихідної напруги інвертора можна здійснити двома способами: амплітудним (АР) за рахунок зміни вхідної напруги U_b і широтно-імпульсним (ШІМ) за рахунок зміни програми перемикання вентилів $V1$ – $V6$ при $U_b = \text{const}$.

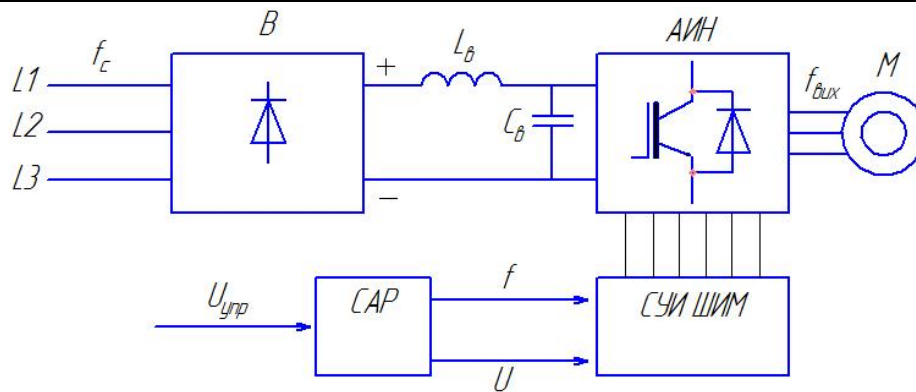


Рис. 1. Принципова схема перетворювача частоти

Другий спосіб отримав поширення в сучасних перетворювачах частоти завдяки розвитку сучасної елементної бази (мікропроцесори, IGBT-транзистори). При широтно-імпульсній модуляції форма струмів в обмотках статора асинхронного двигуна виходить близькою до синусоїдальної завдяки властивостям самих обмоток, що фільтруються [5]

Таке керування дозволяє отримати високий ККД перетворювача і еквівалентне аналоговому керуванню за допомогою частоти і амплітуди напруги.

Сучасні інвертори виконуються на основі повністю керованих силових напівпровідникових приладів, що замикаються: GTO-тиристорів, або біполярних IGBT-транзисторів з ізолюваним затвором. На рис. 4 представлена 3-фазна мостова схема автономного інвертора на IGBT-транзисторах. Вона складається з вхідного ємнісного фільтра C_ϕ і шести IGBT-транзисторів $V1-V6$ що включені зустрічно-паралельно діодами зворотного струму $D1-D6$. За рахунок почергового перемикавання

вентилів $V1-V6$ за алгоритмом, заданим системою керування, постійна вхідна напір U_δ перетворюється в змінну прямокутно-імпульсну вихідну напір. Через керовані ключі $V1-V6$ протікає активна складова струму асинхронного електродвигуна, через діоди $D1-D6$ – реактивна складова струму, I – 3-фазний мостовий інвертор, B – 3-фазний мостовий випрямляч, C_ϕ – конденсатор фільтра. [6]

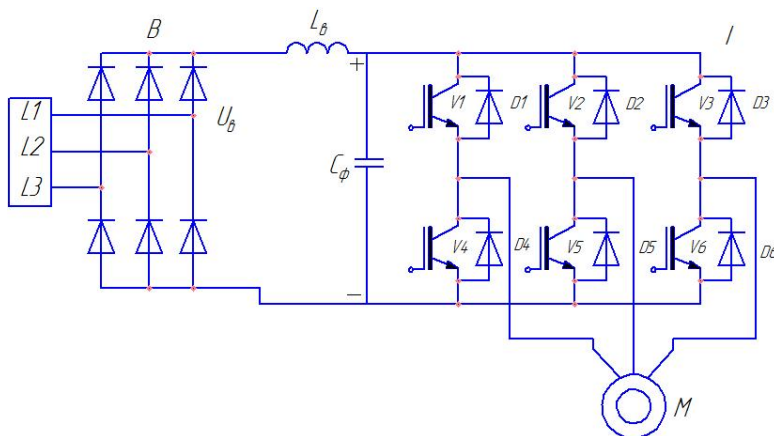


Рис. 4. Трьохфазна мостова схема автономного інвертора на IGBT-транзисторах

гальмівному опорі, можна отримати попередній сигнал тривоги електронного захисту двигуна від перегріву, повідомлення про необхідність проведення робіт з техобслуговування і навіть здійснити техобслуговування

Перетворювач частоти FR-D570 має багато функцій, які захищають двигун і перетворювач від ушкоджень у разі виникнення будь-яких несправностей. Зокрема, при активації такої захисної функції у разі виникнення несправності вихід перетворювача частоти блокується і електродвигун зупиняється [5]. На панелі керування з'явиться відповідне повідомлення про несправності. За допомогою такого перетворювача частоти також можна здійснити захист двигуна від перекидання (внаслідок струму перевантаження або перевищення напруги на проміжному контурі), перевантаження на

(рис. 5), сигнал про перевищення максимально допустимого значення напруги або несправності вентилятора. Також за допомогою перетворювача частоти можна здійснювати відключення при перевищенні струму в режимі розгону і при постійній швидкості обертання, відключення при перевищенні струму в процесі зупинки, перевищенні напруги при розгоні та при постійній швидкості обертання, перевищенні напруги в процесі гальмування або зупинки.

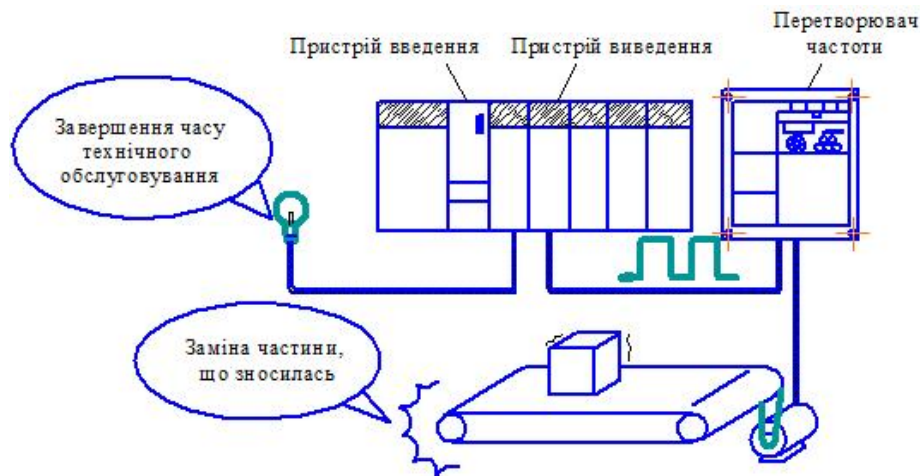


Рис. 5. Застосування перетворювача частоти

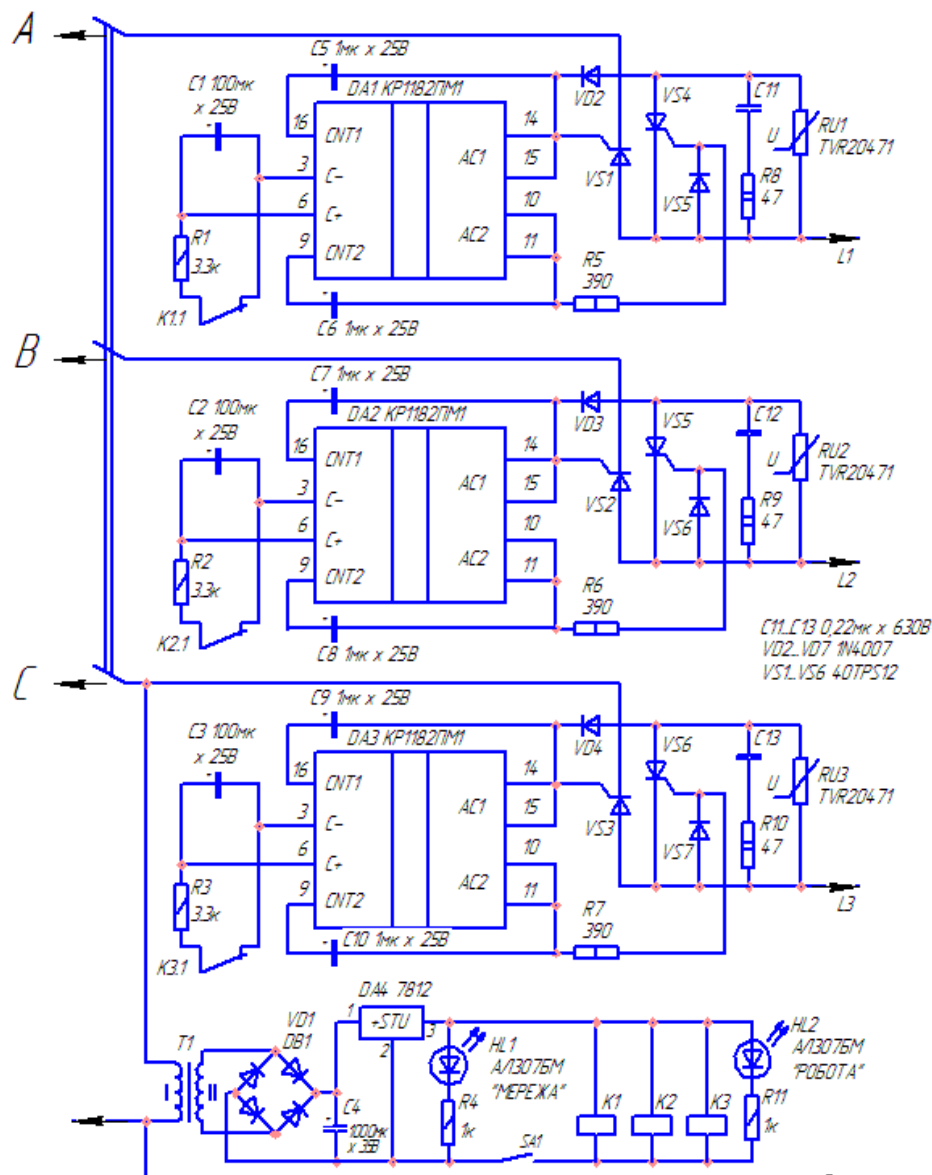


Рис. 6. Схема пристрою плавного запуску електродвигуна змінного струму

Цей пристрій здійснює захист електродвигуна від перевантаження (спрацювання теплового захисту) і перегріву радіатора. На сьогодні такі пристрої виготовляють переважно зарубіжні підприємства. Функцій у них багато і їх можна програмувати. Проте, при усьому цьому, у них є один мінус – досить висока вартість.

В лабораторних умовах університету був змонтований пристрій схема якого представлена а рис. 6. Основу пристрою складає регулятор потужності: фазового типу, який виконаний на основі мікросхем КР1182ПМ1, що встановлені на кожну фазу.

Роботу пристрою перевіряли на електроприводах транспортуючих машин (стрічковому, скребковому, гвинтовому). За результатами випробувань можемо відзначити, що під завантаженням транспортуючі машини повільно набирали швидкість переміщення, крім того швидкість переміщення була регульована.

Висновки

1. Встановлення фазочастотних перетворювачів є перспективним напрямком підвищення надійності електрообладнання і зменшення енерговитрат на підприємствах АПК

2. Для плавного регулювання обертання вала асинхронного двигуна можна використовувати як промислові перетворювачі частоти, так і виготовлені в лабораторних умовах.

3. Для забезпечення надійності роботи транспортних систем АПК та економії електроенергії в електроприводах конвеєрів необхідно використовувати частотні перетворювачі.

Література

1. Щодо Галузевої програми енергоефективності та енергозбереження на період до 2017 року : наказ 25.02.2009 № 152 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://consultant.parus.ua/?doc=0918FAC322>
2. Любін М.В. Конвеєри з гнучким тяговим елементом : навчальний посібник / М.В. Любін, І.В. Гунько. – К. : Хай-Тек Прес, 2012. – 272 с.
3. Малиновський А.А. Основи електропостачання / А.А. Малиновський, Б.К. Хохулін. – Львів : Львівська політехніка, 2005. – 324 с.
4. Белікова Л.Я. Електричні машини : навчальний посібник / Л.Я. Белікова, В.П. Шевченко. – Одеса : Наука і Техніка, 2011. – 480 с.
5. Пивняк Г. Г. Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы с широтно-импульсной модуляцией : монография / Геннадий Григорьевич Пивняк, Александр Васильевич Волков ; И.о. Нац. горный ун-т. – Днепропетровск : НГУ, 2006. – 470 с.
6. Преобразователи частоты. Основы выбора и подбора [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://powerqtoup.com.ua/vibor-preobrazovatelya-chastoti>
7. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування : підручник / Попович М.Г. – 2-е вид., перероб. і доп. / М.Г. Попович, О.В. Ковальчуки. – К. : Либідь, 2007. – 656 с.
8. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г.Г. Соколовский. – М. : Издательский центр “Академия”, 2006. – 272 с.
9. Руководство по эксплуатации. Преобразователь частоты FR-D700EC [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.briznsk.ru/download/equipment/mitsubishi/frf700_manual_ru.pdf
10. Любін М.В. Впровадження енергоощадних технологій на підприємствах АПК / М.В. Любін, О.А. Токарчук, О.О. Рубаненко // Енергетика і електротехнічні системи в агропромисловому комплексі : матер. II Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, 22-23 березня 2016. – Вінниця : ВНАУ 2016. – С. 79–82.

References

1. Shchodo Haluzevoi prohramy enerhoefektyvnosti ta enerhozberzhennia na period do 2017 roku : nakaz 25.02.2009 № 152 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://consultant.parus.ua/?doc=0918FAC322>
2. Liubin M.V. Konveieri z hnuchkym tiahovym elementom : navchalnyi posibnyk / M.V. Liubin, I.V. Hunko. – K. : Khai-Tek Pres, 2012. – 272 s.
3. Malinovskiy A.A. Osnovy elektropostachannia / A.A. Malinovskiy, B.K. Khokhulin. – Lviv : Lvivska politehnika, 2005. – 324 s.
4. Bielikova L.Ia. Elektrychni mashyny : navchalnyi posibnyk / L.Ia. Bielikova, V.P. Shevchenko. – Odesa : Nauka i Tekhnika, 2011. – 480 s.
5. Pivnyak G. G. Sovremennyye chastotno-reguliruemyye asinhronnyie elektropriivodyi s shirotno-impulsnoy modulyatsiei : monografiya / Gennadiy Grigorevich Pivnyak, Aleksandr Vasilevich Volkov ; I.o. Nats. gornyy un-t. – Dnepropetrovsk : NGU, 2006. – 470 s.
6. Preobrazovateli chastoty. Osnovy vyibora i podbora [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupu : <http://powerqtoup.com.ua/vibor-preobrazovatelya-chastoti>
7. Popovych M.H. Teoriia avtomatychnoho keruvannia : pidruchnyk / Popovych M.H. – 2-e vyd., pererob. i dop. / M.H. Popovych, O.V. Kovalchuky. – K. : Lybid, 2007. – 656 s.
8. Sokolovskiy G.G. Elektropriivodyi peremennogo toka s chastotnym regulirovaniem : uchebnyk dlya stud. vyssh. ucheb. zavedeniy / G.G. Sokolovskiy. – M. : Izdatelskiy tsentr “Akademiya”, 2006. – 272 s.
9. Rukovodstvo po ekspluatatsii. Preobrazovatel chastoty FR-D700EC [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupu : http://www.briznsk.ru/download/equipment/mitsubishi/frf700_manual_ru.pdf
10. Liubin M.V. Vprovadzheniia enerhooschadnykh tekhnolohii na pidpriemstvakh APK / M.V. Liubin, O.A. Tokarchuk, O.O. Rubanenko // Enerhetika i elektrotekhnichni systemy v ahropromyslovomu kompleksi : mater. II Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii molodykh vchenykh, 22-23 bereznia 2016. – Vinnytsia : VNAU 2016. – S. 79–82.

Д.В. СТАЦЕНКО, Б.М. ЗЛОТЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА КУХОННОГО КОМБАЙНА НА ОСНОВІ УНІВЕРСАЛЬНОГО КОЛЕКТОРНОГО ДВИГУНА

Стаття присвячена вдосконаленню системи керування електроприводом кухонних комбайнів. Методологічною і теоретичною основою дослідження служать основні положення теорії електроприводу, прикладної механіки та основ електроніки. Теоретично обґрунтовано можливість ефективного використання вдосконаленої системи керування електродвигуном кухонного комбайну зі зворотним за швидкістю і струмом якорем. Розроблено електричну схему і визначено її необхідні електричні і конструктивні параметри, які можуть бути використані для вдосконалення конструкцій побутових комбайнів.

Ключові слова: побутова техніка, універсальний колекторний двигун, кухонний комбайн, електропривод.

D.V. STATSENKO, B.M. ZLOTENKO

Kyiv National University of Technologies and Design

IMPROVEMENT OF THE FOOD PROCESSOR ELECTRIC DRIVE CONTROL SYSTEM BASED ON THE UNIVERSAL COLLECTOR ENGINE

This article is dedicated to improve the control system of food processor electric drive. Food processors are one of the most commonly used household appliances. Most of them have a traditional design. One of the directions of food processor development is the improvement of the electromechanical systems of the electric drive. Different types of food processing in kitchen utensils require their rational modes of operation at a constant, set speed. In order to regulate the speed and improve the operation of the electric drive in this work, next improvements were proposed: equipping the control system with feedback on the speed and current in the circle of the electric motor. The main principles of the theory of electric drive, applied mechanics and the foundations of electronics serves methodological and theoretical basis of the study. The theoretically proved the possibility of efficient use of an improved electric motor control system of a food processor with an inverse of the speed and current of the anchor. The electric circuit is developed and its necessary electrical and design parameters are defined, which can be used to improve the design of household combines.

Keywords: household appliances, universal collector engine, food processor, electric drive.

Вступ

Одними з пристроїв побутової техніки, які широко використовується у повсякденному житті, є кухонні комбайни. Більшість з них мають традиційну конструкцію. Основою є привод, що містить досить потужний електродвигун з передаточним механізмом, вісь якого виведена назовні. Вісь проходить через знімну чашу, на якій жорстко закріплюються різні ножі і змінні насадки. Додатково, конструкцією передбачені бічні вали для підключення різних допоміжних пристосувань. Двигуни, що приводять в рух насадки, у різних моделях мають не однакові швидкості обертання і потужність. Чим вище швидкість обертання, тим більше можливостей у апарату, також бажано враховувати плавне або ступінчасте регулювання швидкості. Продуктивність комбайна залежить від потужності двигуна і розмірів чаші, в яку закладаються продукти.

Одним з напрямків розвитку кухонних комбайнів є вдосконалення електромеханічних систем електроприводу. 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 даній роботі запропоновано удосконалення шляхом оснащення системою керування зі зворотним зв'язком по швидкості і струму в колі електродвигуна.

Аналіз досліджень та публікацій

В приводах сучасних кухонних комбайнів використовуються електродвигуни наступних типів: 1) універсальні колекторні двигуни; 2) асинхронні електродвигуни; 3) вентильні електродвигуни. Практично в усіх сучасних моделях кухонних комбайнів використовуються універсальні колекторні двигуни (УКД) різної конструкції і потужності. Їх перевага обумовлена, в першу чергу, простотою схеми управління, оскільки тут немає необхідності використовувати дорогі частотні перетворювачі [1, 2].

Для регулювання швидкості обертання універсальних колекторних двигунів застосовують два типи схем: 1) схеми з широтно-імпульсним регулюванням частоти обертання; 2) схеми з фазовим регулюванням частоти обертання.

Більш високу ефективність мають схеми з фазовим управлінням частотою обертання, в яких як регулюючі елементи використовуються тиристори. На основі результату аналізу деяких схем визначено, що можна досягти значного їх спрощення без жодного погіршення технічних характеристик пристрою. Стабільність частоти обертання двигуна в схемі не поступається імпортним ШІМ регуляторам, а за надійністю значно перевершує їх [3].

В основу роботи схеми покладений принцип фазового регулювання частоти обертання колекторного двигуна з використанням зворотних зв'язків за струмом і напругою. Таким чином, вказана

схема дозволяє забезпечити стабільні обороти двигуна при значних коливаннях навантаження на валу, а також живлячої напруги. Виходячи з вище наведеного, можна реалізувати режим, коли при збільшенні навантаження обороти двигуна збільшуються.

Електрична принципова схема приводу кухонного комбайну представлена на рис. 1. Недоліком схеми керування кухонного комбайну є відсутність можливості контролювати швидкість обертання робочих органів при його роботі і адаптувати режими роботи під час зміни моменту опору на валу електродвигуна.

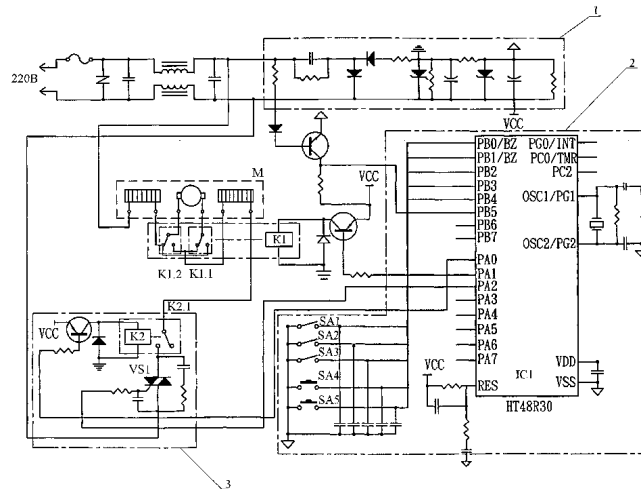


Рис. 1. Електрична принципова схема приводу кухонного комбайну

Формулювання цілей

Метою даної роботи є розробка удосконаленої системи керування електроприводом кухонних комбайнів.

Експериментальна частина

За основу розробки удосконаленої схеми електроприводу кухонного комбайну взято принцип керування швидкістю електродвигуна за допомогою симістора, при якому змінюється форма синусоїдальної напруги живлення електродвигуна. При цьому керування симістором здійснюється таким чином, що його відкриття відбувається з запізненням, тобто кут відкриття $\alpha > 0$ (рис. 2).

В приводі кухонного комбайну важливо забезпечити стабільність швидкості електродвигуна під час зміни навантаження на робочому органі машини. Для цього у розробленій схемі здійснено контроль швидкості двигуна за допомогою оптичного датчика сигнал з якого надходить на вузол керування (зворотний зв'язок).

З метою зменшення радіоперешкод, що виникають при роботі симістора в схемі передбачено індуктивно-ємнісний фільтр.

Система керування електроприводом складається з наступних блоків: 1) блок керування; 2) блок живлення; 3) блок підсилення сигналу від датчика швидкості; 4) блок перетворення «частота – напруга»; 5) блок диференціального підсилення; 6) блок порівняння рівнів сигналів (компаратор); 7) блок синхронізації; 8) блок генератора опорної напруги; 9) блок узгодження; 10) виконавчий орган (симістор); 11) вузол захисту; 12) блок розділення силової і електронної частин схеми (оптрон).

На рис. 3 наведена розроблена електрична принципова схема системи керування електроприводом побутового кухонного комбайну. Блок живлення складається з трансформатора $T1$, діодного містка $VD1$, конденсаторів $C4$, $C5$, $C7$, $C8$, що зменшують пульсацію напруги, стабілізатора опорної напруги (резистори $R8$, $R9$ і стабілітрони $VD4$, $VD5$) і транзисторів $VT1$, $VT2$.

Блок зворотного зв'язку складається з підсилювача і перетворювача «частота – напруга». Для підсилення сигналу служить операційний підсилювач $D1.1$. Перетворювач «частота – напруга» виконаний на операційному підсилювачі $D1.2$, резисторах $R5$, $R6$, $R7$, $R10$, $R11$, конденсаторах $C3$, $C6$, $C9$, стабілітронах $VD6$, $VD7$. Диференціальний підсилювач складається з резисторів $R16$, $R21$, $R14$, $R22$, операційного підсилювача $D2.1$ і конденсатора $C11$. Для порівняння рівнів сигналів служить компаратор $D2.2$.

Для синхронізації сигналів служить транзистор $VT3$ і резистори $R26$, $R23$. Блок генератора опорної напруги виконано за схемою стабілізатора струму на транзисторах $VT4$, $VT5$, стабілітрони $VD10$, конденсаторі $C15$ і резисторах $R31$, $R28$, $R30$. Блок узгодження виконано на транзисторі $VT6$, резисторах $R32$ - $R35$, оптронах $VD16$, $VD17$ і діодах $VD12$ - $VD15$. Для керування напругою служить симетричний тиристор (симістор) $VS1$, паралельно виходу з якого послідовно увімкнено ланцюг $R38$ - $C18$ для фільтрації

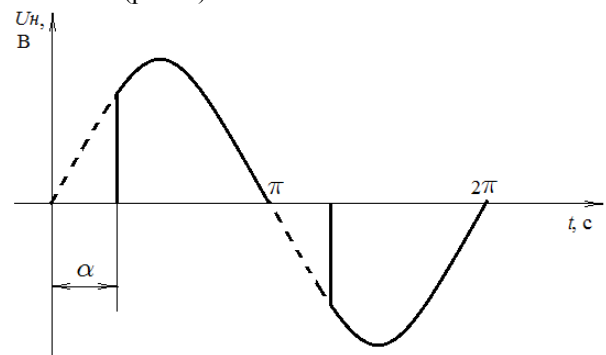


Рис. 2. Принцип фазового керування симістором

високочастотної напруги. Блок захисту виконано на операційних підсилювачах $D2.1$, $D2.2$, резисторах $R18$, $R25$, $R12$, $R15$, $R24$, діодах $VD8$, $VD9$, конденсаторах $C10$, $C13$, $C14$.

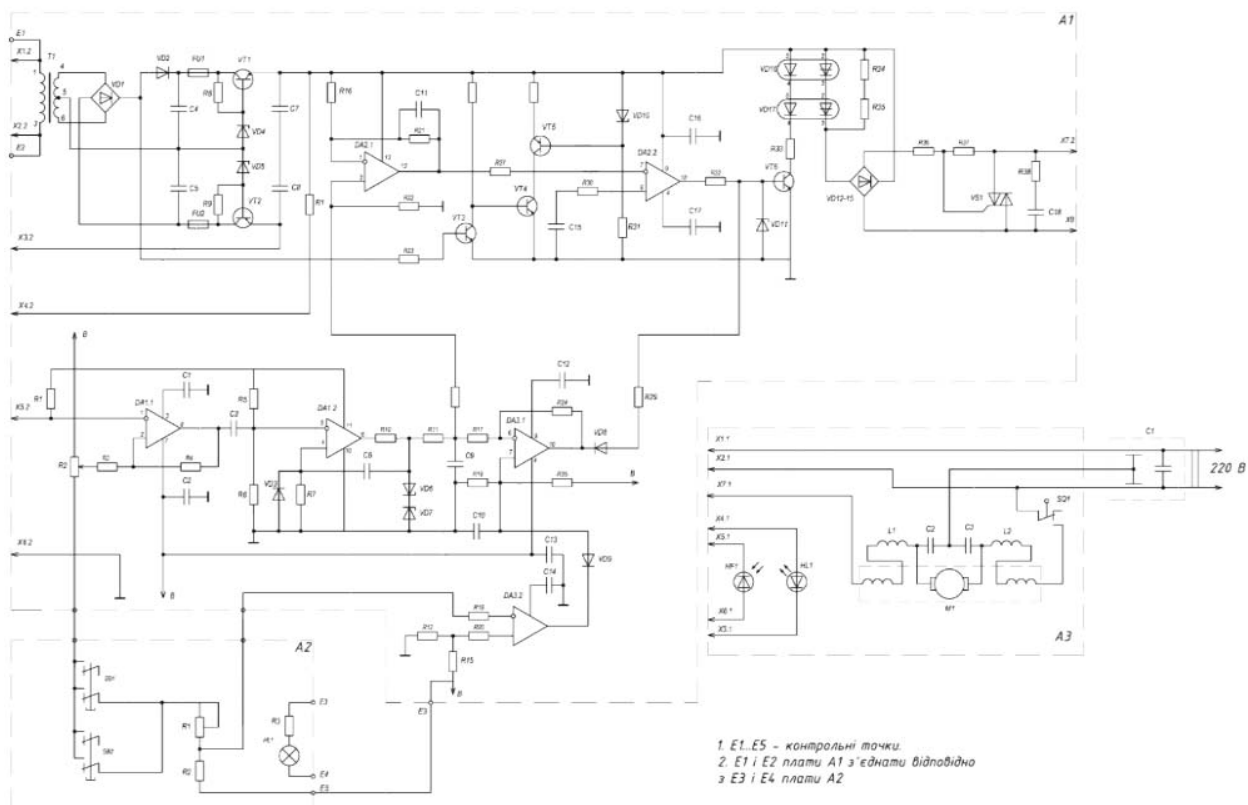


Рис. 3. Електрична схема удосконаленої системи керування електроприводом побутового кухонного комбайну

З метою підтримання постійної швидкості електродвигуна в схемі виконано контроль за частотою обертання валу на основі використання оптичного датчика. Датчик складається з світло діоду $VD16$ і фотодіоду $VD17$ і працює за принципом переривання світлового потоку перфорованим диском, який обертається разом з валом електродвигуна.

З фотодіоду $VD17$ прямокутна імпульсна напруга (меандр) подається на підсилювач $D1.1$. Після підсилення частотний сигнал від датчика швидкості за допомогою перетворювача «частота-напруга» ($D1.2$) перетворюється в постійну напругу U_{OC} , рівень якої залежить від вхідної частоти. Потім U_{OC} , що відповідає частоті обертання валу двигуна, подається на «неінвертований» вхід підсилювача $D2.1$. А на інвертований вхід підсилювача через $VD1$, $VD2$ подається постійна напруга від блоку керування, яка встановлена користувачем за допомогою змінного резистора $R1$.

Момент включення симістора визначається в результаті порівняння «пилкоподібного» сигналу від блоку генератора опорної напруги з сигналом U_{OC} .

Початок і кінець напруги «пилкоподібної» форми синхронізовані з моментами переходу через нуль напруги в мережі живлення. Інтервал зміни U_{OC} співпадає з періодом «пилкоподібної» опорної напруги, що дає змогу змінювати кут включення α симістора $VS1$ в межах усієї півхвилі напруги живлячої мережі (рис. 2).

При переході синусоїди напруги мережі 220В через нуль, блок синхронізації ($R23$, $VT3$) видає імпульс, який запускає генератор опорного «пилкоподібного» сигналу.

Напруга «пилкоподібної форми» що подається на вхід компаратора $D2.2$ формується за допомогою ключового транзистора $VT4$ і стабілізатора струму (на основі транзистора $VT5$).

Компаратор $D2.2$ формує сигнал у вигляді меандри, який через транзистор $VT6$ поступає на оптрони гальванічної розв'язки $VT16$, $VT17$.

При відхиленні частоти обертання валу електродвигуна від заданого значення «вверх» або «вниз», напруга зворотного зв'язку U_{zz} збільшується або зменшується. Це призводить до відповідного змінення рівня напруги на виході підсилювача, а також до зміни кута відкриття симістора α (рис. 2), тобто до стабілізації заданої користувачем частоти обертання валу двигуна.

Для захисту двигуна при обриві зворотного зв'язку і заклинювання валу двигуна служить вузол захисту, реалізований на операційному підсилювачі $D3.1$.

Вузол захисту електродвигуна (на $D3.1$) потрібен на випадок перевантаження робочого органу комбайна до повного зупинення, і при виході з ладу системи зворотного зв'язку (в останньому випадку можливий необмежений розгін якоря електродвигуна з послідовним збудженням). В будь-якому з двох аварійних випадків блок захисту закриває симістор і двигун знеструмується.

Також в роботі проведено розрахунок найбільш раціональних параметрів кухонного комбайну з

удосконаленою системою керування, 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. В приводі досліджуваного кухонного комбайну встановлено електродвигун ДК90-250-12 потужністю 250 Вт і частотою обертання 12000 об/хв [4]. Спираючись на дані, отримані з аналізу характеристик електродвигуна визначено, 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.

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

$$U_{\max} = \frac{M_{\text{оп}}}{M_{\text{ном}}} = 4,46$$

Частота обертання диску при нарізанні продуктів повинна становити 1000...1500 об/хв [4].

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 $n_{\text{де min}}=2825$ об/хв. Тоді мінімальне передаточне відношення:

$$U_{\min} = \frac{n_{\text{де min}}}{n_{\text{пиз}}} = 2,83$$

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

При $u = 3,5$ максимальна швидкість обертання диску буде: $\omega = \frac{p * n_{\text{он}}}{30 * u} = 359$ 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:

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

При кількості ножів 2, 3, 4 теоретична

продуктивність становитиме: $Q(2) = 0,51 \frac{2}{4,71} = 0,22$ кг/с; $Q(3) = 0,51 \frac{3}{4,71} = 0,33$ кг/с; $Q(4) = 0,51 \frac{4}{4,71} = 0,44$ кг/с;

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

Потужність при кількості ножів 2, 3, 4 становитиме:

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

Висновки

В даній статті виконано теоретичну розробку для модернізації системи керування електроприводом кухонних комбайнів та 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.

Література

1. Усольцев А. А. Общая электротехника : [учебное пособие] / А. А. Усольцев. – СПб : СПбГУИТМО, 2009. – 301 с.
2. Гребенников В. И. Электропривод: учеб. пособие к курсовому проектированию / В.И. Гребенников / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск : ЮРГТУ, 2009. – 75 с.
3. Схемотехніка електронних систем : у 3 кн. Кн. 1. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої : підручник / В.І. Бойко, А.М. Гуржій, В.Я. Жуйков та ін. – 2-е вид., допов. і переробл. – К. : Вища шк. 2004. – 366 с.
4. <http://www.avtomash.ru/pred/miela/dk90i.htm>

References

1. Usoltsev A. A. Obschaya elektrotehnika : [uchebnoe posobie] / A. A. Usoltsev. – SPb : SPbGUITMO, 2009. – 301 s.
2. Grebennikov V. I. Elektropriwod: ucheb. posobie k kursovomu proektirovaniyu / V.I. Grebennikov / YUj.-Ros. gos. tehn. un-t. – Novocherkassk : YURGTU, 2009. – 75 s.
3. Skhemotekhnika elektronnykh system : u 3 kn. Kn. 1. Analohova skhemotekhnika ta impulsni prystroi : pidruchnyk / V.I. Boiko, A.M. Hurzhii, V.Ia. Zhuikov ta in. – 2-e vyd., dopov. i pererobl. – K. : Vyshcha shk. 2004. – 366 s.
4. <http://www.avtomash.ru/pred/miela/dk90i.htm>

Рецензія/Peer review : 21.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 18.12.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Бурмістенков О.П.

МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ НОЖІВ КУТЕРА З М'ЯСНОЮ СИРОВИНОЮ

В сучасних кутерах робота ножової головки відрізняється недостатньою ефективністю. Згідно з результатами досліджень, одним із факторів зниження питомої продуктивності кутерів є винесення фаршу із зони подрібнення ножами внаслідок адгезійної взаємодії ножів із фаршем. Значення швидкості сировини сягають 118 м/с під час тонкого подрібнення фаршу та 68 м/с під час подрібнення кускового м'яса. По мірі збільшення відстані h від нижньої поверхні ножа швидкість руху сировини істотно знижується, досягаючи 0 при $h=20$ мм. Найбільші значення $v_{\text{сиров.}}$ відповідають $h \leq 1$ мм. Швидкість сировини стрімко збільшується по мірі збільшення радіуса обертання ділянок ножа. Максимальна швидкість спостерігається в зоні руху кінця ножа. При цьому швидкість руху поверхні ножа здійснює значно більший вплив на $v_{\text{сиров.}}$, ніж площа цієї поверхні. Збільшувати кількість ножів в одному ножовому блоці понад 2 є нераціональним для підвищення продуктивності кутера.

Ключові слова: кутер, продуктивність, ножі, м'ясна сировина, чисельне моделювання.

VOLODYMYR VOLODYMIROVICH CHUDOV, ALEXANDR VICTOROVICH BATRACHENKO,
NADYA VICTORIVNA FILIMONOVA, SERGEY ALEXANDROVICH FILIMONOV

Cherkassy State Technological University

MODELING OF THE INTERACTION OF KNITWEAR OF BOWL CUTTER WITH MEAT RAW MATERIAL

The manufacture of sausage products was and remains the kind of food production that can provide high profitability. As you know, the technological parameters of fine crushing of meat raw material, which are often performed with the help of curtains, are significantly influenced by the yield and the quality of manufactured sausage products. This multi-purpose unit, which is capable of performing the function of wool, mixers and machines for fine grinding of raw materials, is also capable of conducting the process under vacuum and subjecting the raw material to a heat treatment or treatment with cold. One of the main drawbacks of curtains is their high performance, which reduces the economic effect of their use. The aim of the work is to: study the influence of adhesive interaction of knife knives with meat raw material, as a factor in reducing its productivity. Investigation of adhesive interaction of knife knights with meat raw material was carried out using numerical simulation. The FlowVision software system and the following output data were used: fluid flow mode - laminar; liquid density - 1050 kg/m³, viscosity - 30, 700 Pa·s; the speed of knives rotation - 4500, 3000 min⁻¹; maximum knife length - 300 mm; distance from knife surface h . It is established that when the knife is rotated due to the contact interaction of the raw material with its lower side there is an intense movement of the layers of the raw material adjacent to the knife, along with it and after its passage in the direction of its movement. The value of the raw material speed reaches 118 m/s for fine ground mincing and 68 m/s for chopping lump meat. As the distance h increases from the lower surface of the knife, the velocity of the material moves substantially, reaching 0 at $h=20$ mm. The greatest values of the speed correspond to $h \leq 1$ mm. The rate of raw material is rapidly increasing as the radius of rotation of the sections of the knife increases. The maximum speed is observed in the zone of movement of the end of the knife. At the same time, the speed of movement of the surface of the knife makes a much greater impact on the guns. than the area of this surface. Children can conclude that the use of knife heads designs that contain more than 2 knives in one cutting plane is ineffective. Current is the development of new designs of knife heads of the curtain.

Key words: bowl cutter, productivity, knives, meat raw material, numerical simulation.

Постановка проблеми

Виготовлення ковбасних виробів було і залишається тим видом харчових виробництв, який здатен забезпечити високу рентабельність. Як відомо, на вихід та на якість виготовлених ковбасних виробів значним чином впливають технологічні параметри тонкого подрібнення м'ясної сировини, яке, найчастіше, виконують за допомогою кутерів. Це багатоцільовий агрегат, який здатний виконувати функцію вовчка, мішалки та машини для тонкого подрібнення сировини, крім того здатний проводити процес під вакуумом та піддавати сировину тепловій обробці або обробці холодом. Одним з основних недоліків кутерів є недостатньо висока їх питома продуктивність, що знижує економічний ефект від їх використання.

Принципова схема кутера наведена на рис. 1. Сировина завантажується в чашу 1, яка обертається в горизонтальній площині з частотою $n_1=9-18$ хв⁻¹. Чаша подає сировину крізь ножову головку 2, яка складається з кількох, найчастіше шести, ножів. Ножова головка обертається на ножовому валу 3 з частотою $n_2=300-6000$ хв⁻¹ [1]. Принцип дії кутера обумовлює контакт ножів із сировиною не лише поверхнею леза, а і нижньою поверхнею корпусу 6 (рис. 2). Дана поверхня контактує з шаром сировини, який подається чашею кутера в зону подрібнення.

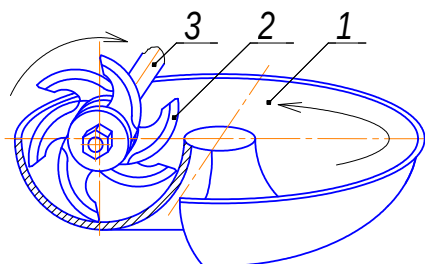


Рис. 1. Принципова схема кутера: 1 – чаша; 2 – ножова головка; 3 – ножовий вал

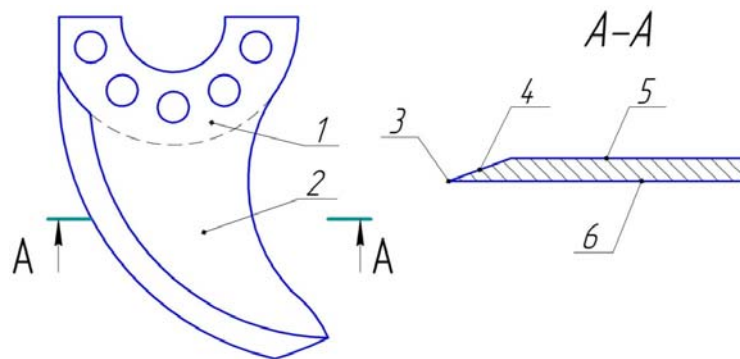


Рис. 2. Будова ножа кутера:

1 – посадочна частина корпусу; 2 – робоча частина корпусу; 3 – різальний крайок; 4 – передня поверхня леза;
5 – верхня поверхня корпусу; 6 – нижня поверхня корпусу

Попередні дослідження роботи кутерів вказують на те, що слід очікувати на інтенсивне тертя нижньої поверхні корпусу ножа 6 по сировині (рис. 2). Це може призводити до руху сировини під дією сил адгезії вслід за ножом та винесення її із зони подрібнення. Врахування даного явища дасть додаткову можливість виявити причини недостатньо високої питомої продуктивності кутерів.

Аналіз відомих джерел

Автором [2] проведено фундаментальні дослідження з розкриття природи процесу подрібнення м'яса в кутерах. Було застосовано фізичне моделювання процесів, високошвидкісну кінозйомку процесу взаємодії леза із сировиною, математичне моделювання. Залежності для аналітичного визначення продуктивності кутера наведено в роботах [3–6]. Однак представлені авторами математичні вирази та підходи для їх виведення не можуть пояснити достатньо низьку питому продуктивність сучасних кутерів. Так при максимальній частоті обертання чаші 18 хв^{-1} і середній тривалості циклу кутерування 7 хв сировина пропускається крізь ножову головку 126 разів, що вказує на низьку подрібнювальну здатність ножової головки, незважаючи на кількість ножів в головці (6 шт.) та частоту її обертання ($3000\text{--}6000 \text{ хв}^{-1}$).

В роботах німецьких дослідників (Günther Hammer, Stefan Stoyanov) за допомогою високошвидкісної відеозйомки, зокрема, встановлено, що тільки перший з боку подачі сировини чашею ніж здійснює різання протягом всього руху в чаші кутера [7, 8]. Другий ніж виконує різання на ділянці, що менше за половину такого шляху. У відомих роботах, не висвітлено питання винесення фаршу ножами першої площини обертання із зони подрібнення. Це не дозволяє виробити ефективні шляхи підвищення питомої продуктивності кутерів.

Метою роботи є встановлення значень швидкості сировини після її взаємодії із нижньою поверхнею корпусу ножа кутера.

Виклад основного матеріалу

Дослідження адгезійної взаємодії ножів кутера з м'ясною сировиною проводилось за допомогою чисельного моделювання. Використовувався програмний комплекс FlowVision та наступні вихідні дані: режим руху рідини – ламінарний; густина рідини – 1050 кг/м^3 [4], в'язкість – $30 \text{ Па}\cdot\text{с}$ (відповідає тонкоподрібненому фаршу [4]), $700 \text{ Па}\cdot\text{с}$ (відповідає кусковому м'ясу [4]); частота обертання ножів – $4500, 3000 \text{ хв}^{-1}$; максимальна довжина ножа – 300 мм ; відстань h від поверхні ножа варіювалась (рис. 3).



Рис. 3. Схема руху ножа та сировини при кутеруванні: $v_{\text{ножа}}$ – швидкість руху ножа при подрібненні сировини; $v_{\text{чаші}}$ – швидкість руху чаші пв ході її обертання; $v_{\text{сиров.}}$ – швидкість руху сировини внаслідок її адгезійної взаємодії з ножом; h – товщина шару сировини, який рухається зі швидкістю $v_{\text{сиров.}}$

Результати чисельного моделювання наведено на рис. 4, 5. Графічні залежності, що наведені на рис. 5, були апроксимовані квадратичною функцією виду:

$$v_{\text{сир.}} = a + b \cdot h + c \cdot h^2, \quad (1)$$

де a, b, c – коефіцієнти рівняння регресії (таблиця 1)

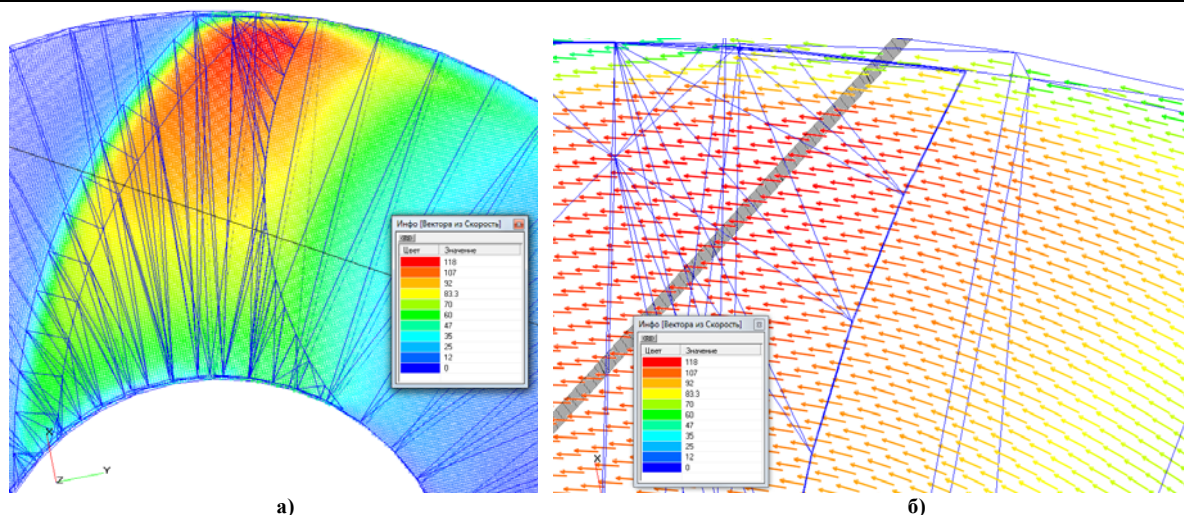


Рис. 4. Візуалізація результатів чисельного моделювання контактної взаємодії нижньої сторони ножа із сировиною ($h=1 \cdot 10^{-4}$ м): а) значення та напрямки швидкості сировини $v_{\text{сиров.}}$ по всьому радіусу ножа; б) значення та напрямки швидкості сировини $v_{\text{сиров.}}$ на кінці ножа

За результатами досліджень встановлено, що в ході обертання ножа внаслідок контактної взаємодії сировини з його нижньою стороною відбувається інтенсивний рух шарів сировини, що прилягають до ножа, разом із ним та після його проходження в напрямку руху ножа. Значення швидкості сировини сягають 118 м/с під час тонкого подрібнення фаршу та 68 м/с під час подрібнення кускового м'яса. Лінійна швидкість руху кінця ножа при цьому складає 141,3 м/с та 94,2 м/с. По мірі збільшення відстані h від нижньої поверхні ножа швидкість руху сировини істотно знижується, досягаючи 0 при $h=20$ мм. Найбільші значення $v_{\text{сиров.}}$ відповідають $h \leq 1$ мм.

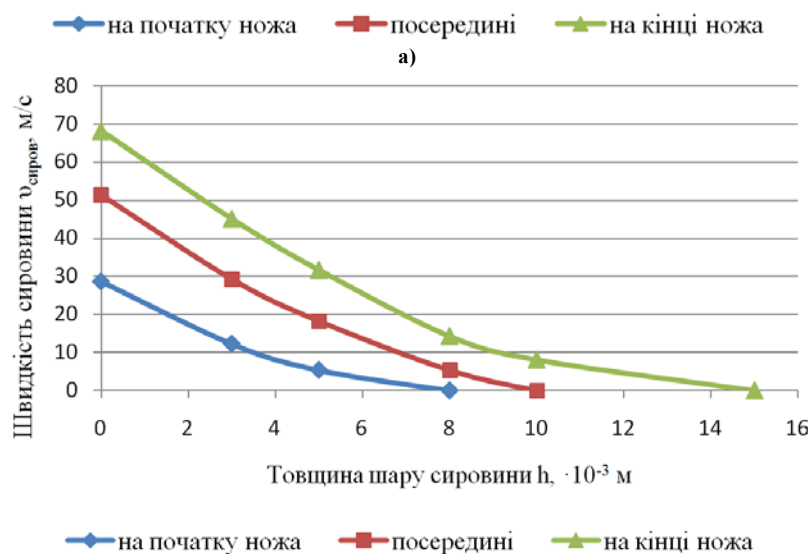
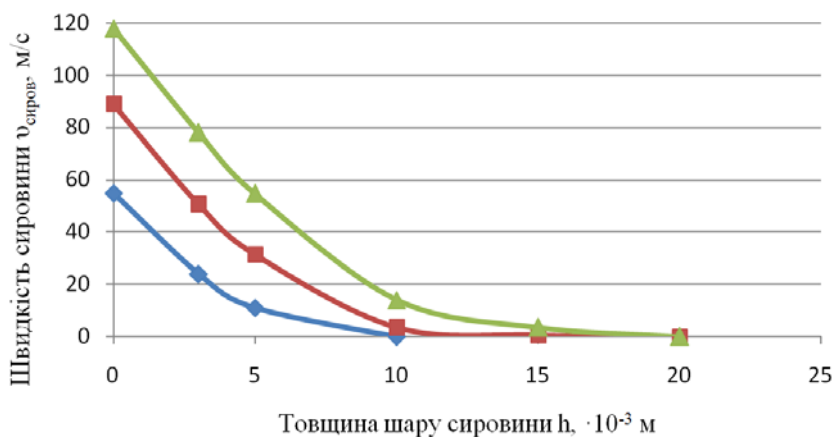


Рис. 5. Значення швидкості сировини $v_{\text{сиров.}}$: а) під час тонкого подрібнення фаршу (в'язкість рідини 30 Па·с); б) під час подрібнення кускового м'яса (в'язкість рідини 700 Па·с)

Таблиця 1

Коефіцієнти рівняння регресії				
Вид подрібнюваної сировини	Ділянка ножа	Коефіцієнти рівняння регресії		
		a	b	c
Тонкоподрібнений фарш	на початку ножа	54,9	-12,2	0,7
	посередині	85,4	-12,1	0,4
	на кінці ножа	116,9	-14,3	0,4
Кускове м'ясо	на початку ножа	28,7	-6,5	0,4
	посередині	51,3	-8,2	0,3
	на кінці ножа	68,7	-9,0	0,3

Швидкість сировини стрімко збільшується по мірі збільшення радіусу обертання ділянок ножа. Максимальна швидкість спостерігається в зоні руху кінця ножа. При цьому швидкість руху поверхні ножа здійснює значно більший вплив на $v_{\text{сиров.}}$ ніж площа цієї поверхні (рис. 4, а).

Аналіз отриманих при моделюванні результатів дозволяє дійти висновку, що внаслідок адгезійної взаємодії м'ясної сировини з нижньою поверхнею ножа відбувається винос частини м'ясної сировини із зони подрібнення в напрямку обертання ножа. Це призводить до зменшення кількості сировини, яка подається чашею кутера під наступний ніж даної площини різання, та, відповідно, до зменшення питомої продуктивності кутера. Підтвердженням даного висновку слугують дані, наведені на рис. 6 (об'єктом дослідження був вакуумний кутер Laska KRV-330-2).

Як видно з рис. 6, ножі другої та третьої площини різання відкидають сировину вверх на поверхню кришки ножової головки лише тонкими смугами (2), тоді як ножі першої площини різання формують і шар 2 (в ході гальмування ножової головки наприкінці кутерування), і шар 1. Шар 1 – це сировина, яка винесена ножами першої площини різання із зони подрібнення завдяки дії адгезії.

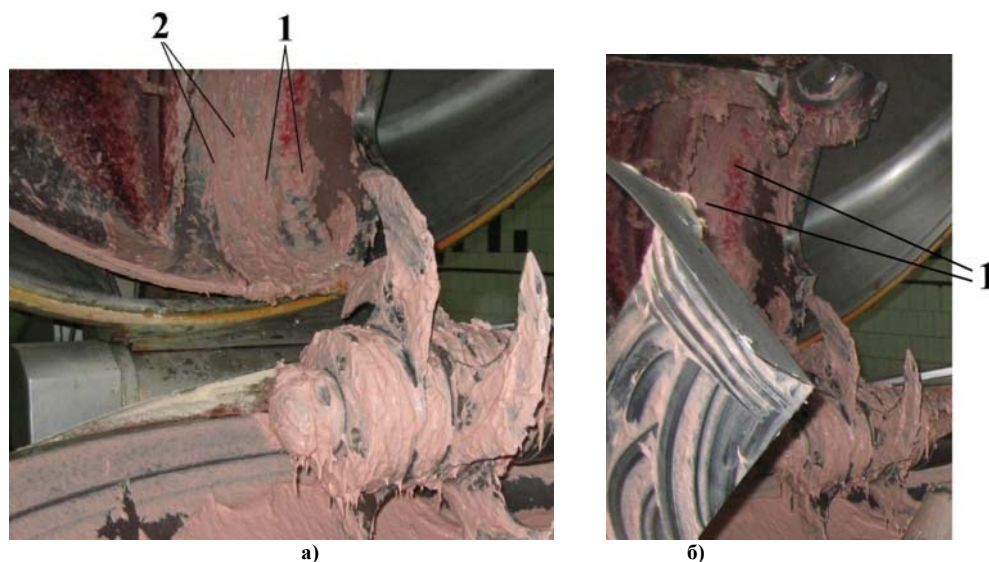


Рис. 6. Сліди шарів сировини, що знаходяться на поверхні відкритої кришки ножової головки кутера Laska KRV-330-2: а) вид збоку; б) вид по діагоналі; 1 – сировина, яка винесена ножами першої площини різання із зони подрібнення; 2 – сировина, яка відкинута ножами в площині їх обертання при вибігу (гальмуванні) ножової головки

Описана особливість взаємодії ножів першої площини різання із сировиною обумовлює недостатньо високу питому продуктивність кутерів та значні витрати енергії, які витрачаються на тертя ножа об сировину. Дане явище слід враховувати при розрахунку продуктивності і споживаної потужності кутера та при пошуку шляхів підвищення його питомої продуктивності.

Висновки

Шляхом чисельного моделювання встановлено, що при обертанні ножа кутера внаслідок контактної взаємодії сировини з його нижньою стороною відбувається інтенсивний рух шарів сировини разом із ним та після його проходження крізь зону подрібнення. Дане явище помітним чином зменшує продуктивність кутера, оскільки в такому разі перед наступним ножом однойменного ножового блоку знаходиться менша, недостатня, кількість сировини.

Виявлено, що значення швидкості сировини сягають 118 м/с під час тонкого подрібнення фаршу та 68 м/с – кускового м'яса. По мірі збільшення відстані h від нижньої поверхні ножа швидкість руху сировини істотно знижується, досягаючи 0 при $h=20$ мм. Найбільші значення $v_{\text{сиров.}}$ відповідають $h \leq 1$ мм. Швидкість сировини стрімко збільшується по мірі збільшення радіусу обертання ділянок ножа. Максимальна швидкість спостерігається в зоні руху кінця ножа. При цьому швидкість руху поверхні ножа здійснює значно більший вплив на $v_{\text{сиров.}}$ чим площа цієї поверхні.

Зважаючи на отримані результати можна дійти висновку, що використання конструкцій ножових головок, які містять більше 2 ножів в одній площині різання є неефективним. Актуальною є розробка нових конструкцій ножових головок кутера.

Література

1. Василевский О. М. Классификация машин непрерывного действия для тонкого измельчения мясного сырья / О. М. Василевский, О. В. Соловьев, Д. О. Трифонова // Мясные технологии. – 2006. – № 5. – С. 43–45.
2. Клименко М. Н. Развитие теории процесса резания мяса и совершенствование машин для измельчения сырья в производстве колбасных изделий : автореф. дис. на соиск. научной степени доктора техн. наук / М. Н. Клименко. – М. : МИПБТ, 1990. – 43 с.
3. Батраченко О. В. Підвищення ефективності роботи та довговічності м'ясорізальних машин : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12 / Батраченко О. В. – Вінниця, 2014. – 284 с.
4. Горбатов А. В. Гидравлика и гидравлические машины для пластично-вязких мясных и молочных продуктов / Горбатов А. В. – Москва : Агропромиздат, 1991. – 174 с.
5. Косой В. Д. Инженерная реология в производстве колбас / В. Д. Косой, А. Д. Малишев, С. Б. Юдина. – М. : КолосС, 2005. – С. 37–39.
6. Некоз О. І. Розрахунок продуктивності кутера / О. І. Некоз, С. Б. Вербицький, П. В. Иванов, О. В. Батраченко // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2009. – № 4. – С. 24–30.
7. Hammer G. Über das Kattern von Bruhwurstbrat / G. Hammer, S. Stoyanov // Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach. – 2008. – № 47. – S. 243–251.
8. Хаммер Г. Участие второго ножа куттера в измельчении фарша / Г. Хаммер, С. Стоянов // Мясные технологии. – 2010. – № 7. – С. 42–46.

References

1. Vasilevskiy O. M. Klassifikatsiya mashin nepreryivnogo deystviya dlya tonkogo izmelcheniya myasnogo syrya / O. M. Vasilevskiy, O. V. Solovov, D. O. Trifonova // Myasnyie tehnologii. – 2006. – № 5. – S. 43–45.
2. Klimenko M. N. Razvitie teorii protsessa rezaniya myasa i sovershenstvovanie mashin dlya izmelcheniya syrya v proizvodstve kolbasnyih izdeliy : avtoref. diss. na soisk. nauchnoy stepeni doktora tehn. nauk / M. N. Klimenko. – M. : MIPBT, 1990. – 43 s.
3. Batrachenko O. V. Pidvyshchennia efektyvnosti roboty ta dovhovichnosti miasorizalnykh mashyn : dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.18.12 / Batrachenko O. V. – Vinnytsia, 2014. – 284 s.
4. Gorbatov A. V. Gidravlika i gidravlicheskie mashiny dlya plastichno-vyazkiy myasnyy i molochnyy produktov / Gorbatov A. V. – Moskva : Agropromizdat, 1991. – 174 s.
5. Kosoy V. D. Injenernaya reologiya v proizvodstve kolbas / V. D. Kosoy, A. D. Malishev, S. B. YUdina. – M. : KolosS, 2005. – S. 37–39.
6. Nekoz O. I. Rozrakhunok produktyvnosti kutera / O. I. Nekoz, S. B. Verbytskyi, P. V. Ivanov, O. V. Batrachenko // Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. – 2009. – № 4. – S. 24–30.
7. Hammer G. Über das Kattern von Bruhwurstbrat / G. Hammer, S. Stoyanov // Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach. – 2008. – № 47. – S. 243–251.
8. Hammer G. Uchastie vtorogo noja kuttera v izmelchenii farsha / G. Hammer, S. Stoyanov // Myasnyie tehnologii. – 2010. – № 7. – S. 42–46.

Рецензія/Peer review : 18.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 18.12.2018 р.
Рецензент: д. т. н., проф. Осипенко В. І.

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА РУЛОННОГО ПРОКАТУ ДЛЯ ТРУБ НА СТАНІ СТЕККЕЛЯ ЗАВОДУ «FERRIERA VALSIDER» (ІТАЛІЯ)

В умовах стану Стеккеля, заводу «Ferriera Valsider» вперше розроблена технологія термомеханічної контрольованої прокатки гарячекатаних рулонів розмірами 12×1510 мм зі сталі марки X65, для подальшого виробництва електрозварних труб за стандартом API-5L. Технологія розроблена з використанням загальних вимог до виробництва прокату способом термомеханічної контрольованої прокатки з прискореним охолодженням із застосуванням відомих наукових і практичних підходів, а також за допомогою спеціально розробленого комплексу математичного моделювання. Розроблена технологія передбачає виконання чорнової прокатки в дві стадії, що сприяє формуванню більш дрібного аустенітного зерна, а отже більш дисперсної та однорідної успадкованої феритної структури в готовому прокаті. Під час моделювання технології утримання температури на стані 1780 Стеккеля на потрібному рівні здійснено шляхом регулювання кількості пальників в пічних моталках. В розробленій технології вперше для умов стану Стеккеля заводу «Ferriera Valsider» застосована технологія контрольованого повітряного охолодження рулонів до температури 400 °C, після змотування, що забезпечує зменшення товщини шару повітряної окалини та покращує якість поверхні, у тому числі при подальшому виготовленні електрозварних труб. На підставі розрахунку розроблені рекомендації щодо необхідної потужності головних двигунів, що дозволить підвищити продуктивність, знизити питомі енерговитрати та підвищити якість продукції, що виробляється. Виконане дослідження дозволило оцінити технічні можливості діючого устаткування та встановити можливість виробництва рулонів, що відповідають сучасним світовим вимогам та задовольняють потреби європейських виробників електрозварних труб.

Ключові слова: термомеханічна контрольована прокатка, гарячекатані рулони, стан Стеккеля, стандарт API-5L, сталь марки X65, технологія.

О.Н. КУРПЕ

METINVEST HOLDING, LLC, Mariupol, Ukraine

PROCESS DEVELOPMENT FOR PRODUCTION OF HOT ROLLED COILS FOR FURTHER PRODUCTION OF PIPE AT STECKEL ROLLING MILL, FARRIERA VALSIER SPA

At Steckel rolling mill facilities, Ferriera Valsider the technology of thermomechanical controlled rolling of hot-rolled coils (dimensions 12x1510mm, steel grade X65) has been developed at the first time; coils will be used for further manufacturing of electric-welded pipes in accordance with API-5L. The technology has been developed applying general requirements for rolled products produced under the method of thermomechanical controlled rolling with accelerated cooling and with the application of well-known scientific and practical approaches and also by using the purposely designed complex of the mathematical modelling. The developed technology provides carrying out of the roughing-down in two stages that facilitates the forming of a smaller austenite grain and therefore more dispersed and more homogeneous inherited ferrite structure in the finished rolled product. When modelling the technology, the holddown of the temperature at the desired level at 1780 Steckel rolling mill has been carried out by adjusting the number of burners in furnace coilers. At the first time in the developed technology for Steckel rolling mill, Ferriera Valsider the technology of controlled air-cooling of coils to the temperature of 400 °C after coiling has been applied that ensures the decrease of air scale layer thickness and improves the surface quality including that during the further manufacturing of electric-welded pipes. Based upon the calculation the recommendations as for the required main motors power has been worked out that allows to increase the productivity, decrease the specific energy consumption and increase the quality of the produced products. The research that has been performed allowed to evaluate the feasibility of the operating equipment and to determine the possibility to produce coils that meet the nowadays world requirements and satisfy demands of European producers of electric-welded pipes.

Keywords: thermomechanical controlled rolling, hot-rolled coils, Steckel rolling mill, API-5L standard, steel grade X65, technology.

Вступ

Найбільш поширеним способом виготовлення плоского прокату для труб великого діаметру є прокатка на товстолистових реверсивних станах, а також на станах безперервної прокатки. Особливе місце займає виробництво трубного сортаменту на станах Стеккеля. Цей спосіб є менш поширеним, але вдало застосовується світовими виробниками. Слід зазначити, що аналога реалізації виробництва трубного сортаменту великого діаметру на станах Стеккеля на території колишнього Радянського Союзу немає. При цьому в Канаді, Америці, Південній Кореї, Китаї такий спосіб виробництва є поширеним.

Отримання необхідних властивостей прокату у всіх випадках досягається переважно методом термомеханічного процесу з використанням або без використання прискореного охолодженням.

Застосування для виготовлення труб великого діаметру листового прокату або рулонного, а отже і виготовлення їх в прямо-шовному виконанні або спіральньо-шовному, багато в чому залежить від політичних, а також від історично сформованих технічних та технологічних аспектів конкретного регіону, країни. У той час як при реалізації великих проектів у східно-європейських та азійських країнах переважають трубопроводи у прямо-шовному виконанні, в низці Європейських держав, а також Канаді, Америці широко застосовуються спіральньо-шовні труби.

Безсумнівно, переваги і недоліки мають обидва варіанти виготовлення, починаючи від листового прокату і труб, та закінчуючи безпосередньо трубопроводом.

В останні роки отримав розвиток процес виробництва гарячого прокату на станах Стеккеля. Якщо базовим сортаментом, який вироблявся на таких станах, був гарячекатаний міцний прокат, при виробництві якого потрібно підтримувати температуру металу в аустенітній області. Сучасні стани Стеккеля та технології дозволяють виробляти прокат різноманітними способами шляхом керування необхідним рівнем температур для отримання бажаного комплексу механічних властивостей готового прокату [1–6].

Функціонуючі стани за своєю конструкцією поділяються на декілька типів: одноклітьові, двоклітьові, з чорною кліткою, з додатковими чистовими клітками [2, 6].

Відомо багато робіт авторів по дослідженню процесів виробництва на станах Стеккеля, серед яких роботи авторів [7–11]. В роботах [12–17] наведені дослідження окремих технологічних процесів, які також можна використати для проектування технології на стані Стеккеля.

Прикладну цікавість становлять технології, запропоновані авторами робіт [7, 8], що до виробництва прокату для труб великого діаметру, категорії міцності X80. Слід зазначити, що ці технології впроваджені на устаткуванні, яке збудоване у 90-х роках, що дозволяє зробити окремий аналіз технічних можливостей та відмінностей устаткування з устаткуванням, побудованим раніше.

В роботі [9] авторами наведено дослідження впливу температури на формування структурних складових вздовж смуги при виробництві аустенітних сталей, результати якого можуть бути частково застосовані при розробці технології або її корегуванні.

Окрему цікавість становлять результати дослідження авторів з лабораторного моделювання стану Стеккеля, які наведені в роботі [10].

Слід зазначити, що обмежена кількість досліджень залишає відкритим питання з оцінки технічних можливостей існуючого устаткування станів Стеккеля по освоєнню нового сортаменту підвищених категорій міцності.

Проектування технології виробництва рулонного прокату для труб на стані Стеккеля заводу «Ferriera Valsider» категорії міцності X65 є актуальним завданням, що дозволить оцінити технічні можливості діючого устаткування та встановити європейських виробників рулонів, що відповідають сучасним світовим вимогам та задовольняють потреби європейських виробників електрозварних труб.

Мета

Метою роботи є розробка технології виробництва рулонного прокату трубного сортаменту категорії міцності X65 на стані Стеккеля заводу «Ferriera Valsider» (Італія) з урахуванням технічних особливостей наявного нагрівального та прокатного устаткування.

Основна частина

Основне устаткування лінії стану Стеккеля заводу «Ferriera Valsider» SpA складає методична штовхальна піч, що має шість зон для нагрівання слябів, виробництва фірми Dendotti, яка опалюється природним газом продуктивністю 120 т/год, стан 3170 для прокатування плит та підкату для стану Стеккеля, який включає реверсивну кліть дуо з силою прокатки до 25 МН, та кліть з вертикальними валками, прохідну семи зонна роликову піч для проміжного підігріву підкату, яка опалюється природним газом. Стан Стеккеля включає реверсивну кліть кварто 1780 з силою прокатки до 24 МН та пічки камерного типу з барабаними моталками, які опалюються природним газом, які розташовані з обох сторін прокатного стану 1780. Установка для ламінарного охолодження полоси після прокатки довжиною 41 м, яка дозволяє охолодити метал зі швидкістю до 40 °C/с. Моталки для змотування полоси товщиною до 20 мм.

Основним сортаментом стану є товстолистовий та рулонний прокат конструкційного призначення, у тому числі стійкого до атмосферної корозії, прокат для суднобудування та вироблення деталей для машинобудування.

Сортамент, що виробляється, обумовлює існуючий технологічний регламент роботи всього основного устаткування, тобто високі температури нагрівання слябів під прокатку, порядку 1230 °C, високу температуру пічки при проміжному підігріванні підкату від 1100 °C до 1250 °C, високі температури пічних моталок порядку 1070 °C. Слід зазначити, що при вказаних температурах є суттєвий резерв енергосилових параметрів. Фактична сила прокатки в чорновій і чистовій клітках знаходиться у межах 12–14 МН, при відносній ступені деформації за прохід від 15% до 50% відповідно до сортаменту, що дає змогу до подальшого розвитку технології та розширенню сортаменту.

Схема основної технологічної лінії по виробництву гарячекатаних рулонів на заводі «Ferriera Valsider» наведена на рис. 1.

Оцінка можливостей заводу з освоєння технології виробництва рулонів трубного сортаменту базувалася на аналізі технічних характеристик існуючого устаткування.

В результаті аналізу та виконання попередніх розрахунків гранично допустимих технологічних навантажень на основне устаткування клітей, за допомогою комплексу математичного моделювання відзначена недостатня потужність двигунів головного приводу стану 3170 та стану 1780 Стеккеля при досить високих силових характеристиках обох клітей, що не дозволяє експлуатувати їх на повну потужність. Виходячи з розрахунку отримані наступні результати, табл. 1.

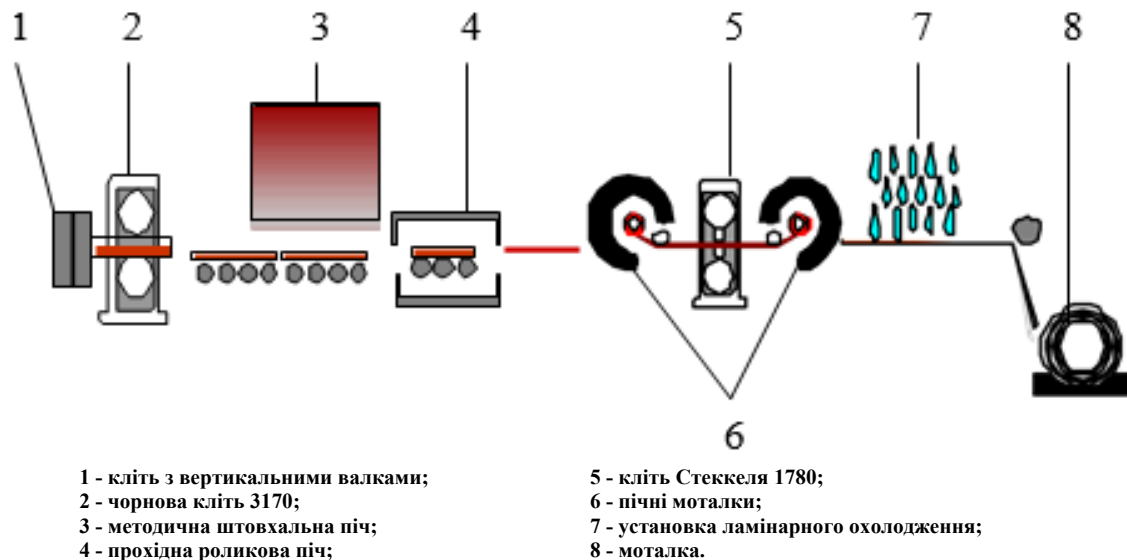


Рис. 1. Схема технологічної лінії з виробництва гарячекатаних рулонів на заводі «Ferriera Valsider»

Таблиця 1

Порівняння існуючої потужності двигунів і розрахованої

Кліть/тип	Кількість двигунів головного приводу, шт.	Максимальна сила прокатки, МН	Фактична потужність двигуна, кВт	Розрахована, необхідна потужність двигуна, кВт
3170/дуо	2	25	2x2240	2x4430
1780/кварто	2	24	2x4480	2x5770

Таким чином, підвищення ефективності експлуатації клітей на заводі «Ferriera Valsider» шляхом підвищення продуктивності, зниження питомих енерговитрат, підвищення якості виробленої продукції можливо шляхом встановлення нових, більш потужних двигунів головного приводу.

Недостатня потужність двигунів вносить певні труднощі в розробку і реалізацію технології термомеханічної прокатки на існуючому устаткуванні.

Розробка технології виробництва рулонів трубного сортаменту можлива в двох наступних варіантах.

Реалізація на стані технології ТМСП без прискореного охолодження з необхідністю завершення деформації в феритній області, що призведе до значної (до 30%) втрати продуктивності за рахунок вимушеного збільшення кількості проходів. Крім цього, при виконанні чистової прокатки досить складним буде планування і реалізація роботи пічних моталок як в частині силових характеристик при змотуванні, так і безпосередньо підтримання необхідного температурного режиму прокатки, який буде змінюватися в широкому діапазоні.

Застосування технології ТМСП з прискореним охолодженням є більш прийнятним варіантом. Безумовною перевагою цієї технології є більш високі споживчі властивості одержуваної продукції, що неодноразово підкреслювалося багатьма дослідженнями, менші витрати на виробництво, в тому числі за рахунок зниження рівня мікролегуєчих елементів, які додаються в сталь, зниження енерговитрат на нагрівання та прокатку. Крім цього, і що особливо важливо для цього стану Стеккеля, це зниження навантажень на двигуни головного приводу і пічних моталок за рахунок проведення деформації в більш високій температурній області.

Розробка технології контрольованої прокатки з прискореним охолодженням виконувалася із застосуванням відомих наукових і практичних підходів, а також за допомогою спеціально розробленого комплексу математичного моделювання.

У якості заготовки для виробництва рулонів розмірами 12x1510мм, категорії міцності Х65 було розглянуто використання слябів МК «АЗОВСТАЛЬ» поточного виробництва, перерізом 220x1510 мм. Хімічний склад дослідних слябів наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Хімічний склад дослідної сталі категорії міцності Х65

№ плавки	Переріз слябів, мм	Хімічний склад, %														
		C	Mn	Si	S	P	Al	Nb	V	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti	N	B
1002129	220x1510	0.09	1.40	0.23	0.002	0.011	0.036	0.030	0.066	0.02	0.02	0.03	0.01	0.015	0.0070	0.0005

Нагрівання слябів виконується в шестизонній методичній печі. Температура нагрівання слябів для прокатування повинна становити $1170 \pm 10^\circ\text{C}$. Визначення необхідної температури аустенізації здійснювалося на підставі даних по температурах розчинності частинок NbC та Nb (C, N) в структурі безперервно литого слябу.

Нагріті сляби надходять до чорнової кліті дуо стану 3170, попередньо проходячи камеру гідрозмиву для видалення пічної окалини з поверхні. Температура слябів після гідрозмиву повинна становити $1130 \pm 10^\circ\text{C}$.

Прокатку в чорновій кліті необхідно здійснювати по поздовжній схемі в дві стадії. Перша стадія прокатки здійснюється у верхній частині аустенітної області в діапазоні температур від 1130 до 1020°C , де протікає інтенсивна рекристалізація деформованого аустеніту, зі ступенем деформації більш ніж 10% за прохід, за винятком перших двох-трьох проходів, ступінь деформації в яких обмежена максимальним кутом захоплення, потужністю та обертаючим моментом двигуна. Після виконання першої стадії підкат охолоджується шляхом поступального переміщення на рольгангу до температури 920°C . Відсутність деформації в даній температурній області дозволяє зберігати частину ніобію в розчиненому вигляді для подальшого дисперсійного зміцнення металу, так як на даному етапі некогерентні частки Nb (C, N), а також Ti (C, N) що виділяються, не вносять істотних змін в зміцнення сталі. Останні 2–4 пропуски виконуються в області гальмування рекристалізації в інтервалі температур 920 – 880°C , при ступені деформації $\geq 10\%$.

Виконання чорнової прокатки в дві стадії сприяє формуванню більш дрібного аустенітного зерна, а отже більш дисперсної та однорідної успадкованої феритної структури в готовому прокаті. Товщина підкату повинна бути не менше, ніж трьох кратної від кінцевої товщини.

Рекомендований температурно-деформаційний режим прокатки по проходах в кліті 3170 наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Рекомендований температурно-деформаційний режим прокатки в чорновій кліті 3170.

№ проходу	Товщина перед проходом, мм	Товщина після проходу, мм	Ступінь деформації, %	Температура перед проходом, $^\circ\text{C}$	Сила прокатки, МН
1	222	202	9,0	1130	14,07
2	202	183	9,4	1122	14,22
3	183	165	9,8	1117	14,25
4	165	148	10,3	1113	14,24
5	148	132	10,8	1107	14,28
6	132	117	11,4	1102	14,28
7	117	103	12,0	1094	14,38
8	103	90	12,6	1087	14,43
9	90	78	13,3	1076	14,61
10	78	67,5	13,5	1066	14,26
11	67,5	58	14,1	1051	14,46
12	58	49,5	14,7	1037	14,54
Охолодження на рольгангу					
13	49,5	44,5	10,1	917	14,42
14	44,5	40	10,1	902	14,40

Після прокатки в чорновій кліті підкат товщиною 40 мм охолоджується на рольгангу до температури 830 – 820°C .

Далі підкат надходить до прохідної роликової пічки, де відбувається вирівнювання температури по перерізу та довжині, а також підігріву бічних кромок.

Температура металу після вирівнювання в роликовій печі повинна становити $835 \pm 5^\circ\text{C}$.

Остаточна прокатка здійснюється в кліті кварто стану Стеккеля.

Прокатка в кліті Стеккеля повинна починатися при температурі 825 – 835°C , тобто нижче температури повного гальмування рекристалізації аустеніту, і закінчуватися при температурі не менш ніж 810°C . Ступінь деформації по всіх пропусках повинна становити не менше 10%.

В ході реалізації описаних температурно-деформаційних параметрів при чистовій прокатці відбувається витягування аустенітних зерен, межі яких закріплені за допомогою фаз Nb (C, N), що виділяються в процесі прокатки та дозволяють істотно подрібнити успадковане зерно фериту.

Рекомендований температурно-деформаційний режим прокатки по пропусках в кліті 1780, наведений в табл. 4.

Режим деформації розрахований таким чином, щоб останній пропуск виконувався по ходу процесу прокатки.

Змінення температури та сили прокатки по проходах в кліті Стеккеля наведені на рис. 2.

З метою виконання умов термомеханічного процесу прокатки необхідне утримання температури металу по проходах в кліті Стеккеля. Під час моделювання технології утримання температури на потрібному рівні, який є низьким відносно діючої технології, здійснено шляхом регулювання кількості пальників в пічних моталках.

Таблиця 4

Рекомендований режим прокатки в кліті 1780 стану Стеккель

№ проходу	Товщина перед проходом, мм	Товщина після проходу, мм	Ступінь деформації, %	Температура перед проходом, °C	Сила прокатки, МН
1	40	35,5	11,25	830	14,60
2	35,5	31,5	11,27	829	13,97
3	31,5	28	11,11	828	13,22
4	28	24,5	12,50	827	13,75
5	24,5	21,5	12,24	826	12,89
6	21,5	18,5	13,95	825	13,50
7	18,5	16	13,51	824	12,49
8	16	14	12,50	822	11,23
9	14	12	14,29	819	11,87

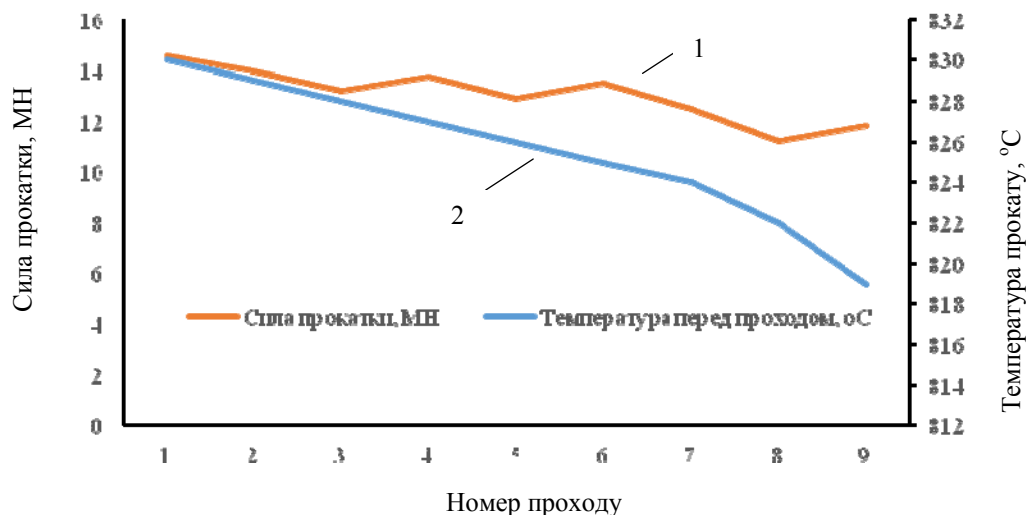


Рис. 2. Динаміка змінення сили прокатки (1) та температури (2) по проходах в кліті Стеккеля

Після прокатки смуга без затримок передається на установку ламінарного охолодження.

Послідовність проходження технологічних агрегатів перед ламінарним охолодженням повинна бути наступною:



З огляду на малу відстань розкочувальних полів, робота всього технологічного обладнання повинна бути синхронізованою.

Охолодження рулонів на установці прискореного охолодження повинно вироблятися зі швидкістю 12–14 °C/сек до температури 560–580 °C.

Прискорене охолодження з нижнього діапазону аустенітної області дозволить сформувати остаточну дисперсну феріто-бейнітну структуру в готовому прокаті. Виділення на даній стадії частинок Nb (С, N) з твердого розчину дозволить значно підвищити міцність металу.

Після прискореного охолодження, смуга змотується в рулон на фінішній моталці.

З метою зменшення товщини шару повітряної окалини, змотані рулони необхідно піддати додатковому контрольованому повітряному охолодженню до температури 400 °C, за допомогою промислових аераторів. Остаточне сповільнене охолодження рулонів виконується на складі протягом 48 годин.

Висновки

1. Вперше для умов стану Стеккеля заводу «Ferritiera Valsider» SpA виконано оцінку технічних можливостей та розроблено комплексну технологію для виробництва рулонів категорії міцності X65 для подальшого вироблення електрозварювальних труб великого діаметру нафто-газового призначення.

2. Вперше для заводу «Ferriera Valsider» SpA виконано розрахунок та встановлена необхідна потужність головних двигунів прокатних станів 3170 та 1780, що дозволить підвищити продуктивність, знизити питомі енерговитрати та підвищити якість продукції, що виробляється.

3. З метою покращення якості поверхні рулонів, вперше для стану Стеккеля запропоновано застосування технології контрольованого повітряного охолодження рулонів після змотування.

Література

1. John G. Lenard. Primer on flat rolling: Second edition / John G. Lenard // Department of Mechanical and Mechatronics Engineering University of Waterloo. Elsevier Ltd. – Ontario, Canada. – 2014. – 404 p.
2. Коновалов Ю.В. Справочник прокатчика. Производство горячекатаных листов и полос : справочное издание в 2-х книгах. Книга 1 / Ю.В. Коновалов. – М. : Теплотехник, 2008. – 640 с.
3. Кнеппе Г. Экономическое производство полос из коррозионной стали на станах Стеккеля / Г. Кнеппе, В. Роде ; пер. с нем. – М. : Metallurgiya, декабрь 1993. – С. 33–43.
4. Bohlin A. New technologies on Avesta Polarit's Steckel rolling mill / A. Bohlin, H. Nygren, O. Jepsen et al. // MPT International. – 2002. – № 6. – P. 56–62.
5. Otavio L. Continuous Steckel mill improvements at ACESITA SA Brazil / L. Otavio, D. Berger, G. Djumlija, F. Reiter, A. Marples, K. Berger // La Revue de Métallurgie. – 2005. – P. 583–588. – DOI: <https://doi.org/10.1051/metal:2005175>.
6. Stalheim D. G. Optimisation considerations for new or revamped plate / D. G. Stalheim // Steckel mills. Institute of Materials, Minerals and Mining Published by Maney on behalf of the Institute. Ironmaking and Steelmaking. – 2009. – VOL 36. NO. 4. – P. 259–264. – DOI 10.1179/174328109X439252.
7. Collins L. E. Production of High Strength Line Pipe Steel by Steckel Mill Rolling and Spiral Forming / L. E. Collins, F. Hamad, M. Kostic, T. Lawrence // Frontier Pipe Research Unit, IPSCO, P. O. Box 1670, 100 Armour Rd, Regina, SK S4P 3C7, Canada. – 2013. – P. 17.
8. Collins L.E. Processing of Niobium-Containing Steels by Steckel Mill Rolling / L.E. Collins // Niobium Science and Technology, Niobium. – Bridgeville. PA. – 2001. – P. 527–542.
9. Robert D. Knutsen. Analysis of Microstructure Evolution during Steckel Mill Rolling of AISI304 Stainless Steel / Robert D. Knutsen, Sa-Aadat Parker // ISIJ International. – 2008. – Vol. 48, No. 2. – P. 200–207. – DOI: <https://doi.org/10.2355/isijinternational.48.200>.
10. John S. Hinton. A Laboratory Steckel Mill Simulation / John S. Hinton, John H. Beynon // Steel research int. 79. – 2008. – NO. 4. – P. 278–286. – DOI: <https://doi.org/10.1002/srin.200806352>.
11. Курпе О. Г. Уточнення розрахунку теплових втрат металу на станах Стеккеля / О. Г. Курпе, В. В. Кухар, Є. В. Змазнева // Проблеми трибології = Problems of Tribology. – 2018. – № 1. – С. 78–84.
12. Kukhar V. Designing of induction heaters for the edges of pre-rolled wide ultrafine sheets and strips correlated with the chilling end-effect / Volodymyr Kukhar, Andrii Prysiashnyi, Elena Balalayeva, Oleksandr Anishchenko // Modern Electrical and Energy System MEES'2017 / IEEE Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. – 2017. – P. 404–407. – DOI: <https://doi.org/10.1109/MEES.2017.8248945>.
13. Максименко О. П. Теоретический анализ момента при прокатке с натяжением полосы / О. П. Максименко, А. Г. Присяжный, В. В. Кухарь, Е. В. Кузьмин // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. / ДГМА. – Краматорск : ДГМА. – 2017. – № 1 (44). – С. 199–203.
14. Кухарь В. В. Уточнение методики расчета тепловых потерь металла на непрерывных станах горячей прокатки / В. В. Кухарь, А. Г. Курпе // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. / ДГМА. – Краматорск : ДГМА. – 2018. – № 1 (46). – С. 159–166.
15. Кухар В. В. Розробка технології виробництва листового прокату товщиною 4 мм на стані 3200 заводу Tramel SpA / В. В. Кухар, О. Г. Курпе // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. – 2018. – № 2. – С. 24–29.
16. Kukhar V. Improvement of the Method for Calculating the Metal Temperature Loss on a Coilbox Unit at The Rolling on Hot Strip Mills / Volodymyr Kukhar, Oleksandr Kurpe, Eduard Klimov, Elena Balalayeva, Vladimir Dragobetskii // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – 7 (4.3). – P. 35–39.
17. Курпе О.Г. Освоєння виробництва прокату товщиною 1,2 мм на стані 1700 ПрАТ «ММК ІМЕНІ ІЛЛІЧА» / О.Г. Курпе, В.В. // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 5 (265). – С. 171–175.

References

1. John G. Lenard. Primer on flat rolling: Second edition / John G. Lenard // Department of Mechanical and Mechatronics Engineering University of Waterloo. Elsevier Ltd. – Ontario, Canada. – 2014. – 404 p.
2. Kononov YU.V. Spravochnik prokatchika. Proizvodstvo goryachekatanykh listov i polos : spravocnoe izdanie v 2-h knigah. Kniga 1 / YU.V. Kononov. – M. : Teplotehnik, 2008. – 640 s.
3. Knepp G. Ekonomicheskoe proizvodstvo polos iz korrozionnoy stali na stanah Stekkelya / G. Knepp, V. Rode ; per. s nem. – M. : Metallurgiya, dekabr 1993. – S. 33–43.
4. Bohlin A. New technologies on Avesta Polarit's Steckel rolling mill / A. Bohlin, H. Nygren, O. Jepsen et al. // MPT International. – 2002. – № 6. – P. 56–62.
5. Otavio L. Continuous Steckel mill improvements at ACESITA SA Brazil / L. Otavio, D. Berger, G. Djumlija, F. Reiter, A. Marples, K. Berger // La Revue de Métallurgie. – 2005. – P. 583–588. – DOI: <https://doi.org/10.1051/metal:2005175>.

6. Stalheim D. G. Optimisation considerations for new or revamped plate / D. G. Stalheim // *Steckel mills*. Institute of Materials, Minerals and Mining Published by Maney on behalf of the Institute. Ironmaking and Steelmaking. – 2009. – VOL 36. NO. 4. – P. 259–264. – DOI 10.1179/174328109X439252.
7. Collins L. E. Production of High Strength Line Pipe Steel by Steckel Mill Rolling and Spiral Forming / L. E. Collins, F. Hamad, M. Kostic, T. Lawrence // *Frontier Pipe Research Unit, IPSCO*, P. O. Box 1670, 100 Armour Rd, Regina, SK S4P 3C7, Canada. – 2013. – P. 17.
8. Collins L.E. Processing of Niobium-Containing Steels by Steckel Mill Rolling / L.E. Collins // *Niobium Science and Technology*, Niobium. – Bridgeville. PA. – 2001. – P. 527–542.
9. Robert D. Knutsen. Analysis of Microstructure Evolution during Steckel Mill Rolling of AISI304 Stainless Steel / Robert D. Knutsen, Sa-Aadat Parker // *ISI International*. – 2008. – Vol. 48, No. 2. – P. 200–207. – DOI: <https://doi.org/10.2355/isijinternational.48.200>.
10. John S. Hinton. A Laboratory Steckel Mill Simulation / John S. Hinton, John H. Beynon // *Steel research int.* 79. – 2008. – NO. 4. – P. 278–286. – DOI: <https://doi.org/10.1002/srin.200806352>.
11. Kurpe O. H. Utochnennia rozrakhunku teplovykh vtrat metalu na stanakh Stekkelia / O. H. Kurpe, V. V. Kukhar, Ye. V. Zmaznieva // *Problemy trybolohii = Problems of Tribology*. – 2018. – № 1. – S. 78–84.
12. Kukhar V. Designing of induction heaters for the edges of pre-rolled wide ultrafine sheets and strips correlated with the chilling end-effect / Volodymyr Kukhar, Andrii Prysiashnyi, Elena Balalayeva, Oleksandr Anishchenko // *Modern Electrical and Energy System MEES2017 / IEEE Kremenichuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*. – 2017. – P. 404–407. – DOI: <https://doi.org/10.1109/MEES.2017.8248945>.
13. Maksimenko O. P. Teoreticheskii analiz momenta pri prokatke s natyajeniem polosy / O. P. Maksimenko, A. G. Prisyajnyi, V. V. Kukhar, E. V. Kuzmin // *Obrabotka materialov davleniem : sb. nauch. tr. / DGMA. – Kramatorsk : DGMA. – 2017. – № 1 (44). – S. 199–203.*
14. Kukhar V. V. Utochnenie metodiki rascheta teplovykh poter metalla na nepreryivnykh stanah goryachey prokatki / V. V. Kukhar, A. G. Kurpe // *Obrabotka materialov davleniem : sb. nauch. tr. / DGMA. – Kramatorsk : DGMA. – 2018. – № 1 (46). – S. 159–166.*
15. Kukhar V. V. Rozrobka tekhnolohii vyrobnytstva lystovoho prokatu tovshchynoiu 4 mm na stani 3200 zavodu Trametel SpA / V. V. Kukhar, O. H. Kurpe // *Metallurhycheskaia y hornorudnaia promyshlennost. – 2018. – № 2. – S. 24–29.*
16. Kukhar V. Improvement of the Method for Calculating the Metal Temperature Loss on a Coilbox Unit at The Rolling on Hot Strip Mills / Volodymyr Kukhar, Oleksandr Kurpe, Eduard Klimov, Elena Balalayeva, Vladimir Dragobetskii // *International Journal of Engineering & Technology*. – 2018. – 7 (4.3). – P. 35–39.
17. Kurpe O.H. Osvoiennia vyrobnytstva prokatu tovshchynoiu 1,2 mm na stani 1700 PrAT «MMK IMENI ILLICHa» / O.H. Kurpe, V.V. // *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2018. – № 5 (265). – S. 171–175.*

Рецензія/Peer review : 15.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 18.12.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Кухар В.В.

М. Є. СКИБА, А. Ю. КРАВЧУК
Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПОЛІЕТИЛЕНУ ПІД ДІЄЮ ВАЛКІВ ПРОФІЛЮ РЕЛО

Статтю присвячено розробці моделі напружено-деформованого стану полімерного матеріалу під впливом на нього робочих органів перероблювального обладнання. Отримана математична модель зміни структури полімерів під дією навантаження розтягу, за допомогою якої можна розраховувати поля напружень та деформацій поліетилену.

Ключові слова: валки, поліетилен, переробка, напруження, деформація, поле, руйнування.

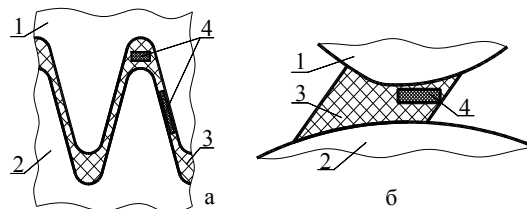
M. YE. SKYBA, A. YU. KRAVCHUK
Khmelnytskyi National University

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL OF PLASTIC DEFORMATION OF POLYETHYLENE BY ROLLS OF REULEAUX PROFILE

The article is devoted to the development of a model of stress-strain state of polymer material under the influence of working bodies of processing equipment on it. The mathematical model of the change of the structure of polymers under the influence of tensile loading is obtained, with the help of which it is possible to calculate stress fields and deformations of polyethylene.

Key words: rolls, polyethylene, processing, stress, deformation, field, destruction.

Розглянемо модель напружено-деформованого стану нескінченно малого об'єму полімеру, що умовно вирізаний із полімерних відходів, які перероблюються в пристроях із зубчастими валками та валками профілю Рело (рис. 1). В пристрої із зубчастими валками матеріал спочатку витягується, а потім стискається, що дозволяє створити і зафіксувати в матеріалі орієнтовану надмолекулярну структуру. Після цього орієнтований полімерний матеріал поступає в пристрій із валками Рело, де він піддається деформаціям стиску і зсуву, при яких його структура руйнується в поперечному до попередньої орієнтації напрямку [1].



1, 2 – верхній і нижній валки; 3 – полімерні відходи; 4 – нескінченно малий об'єм полімеру
Рис. 1. Схема деформації полімеру між зубчастими валками (а) і валками профілю Рело (б)

Під впливом складного напружено-деформованого стану в полімерних матеріалах виникають в'язкопружні та пластичні деформації.

Для інтерпретування в'язкопружного напружено-деформованого стану полімеру будемо використовувати співвідношення між напруженнями і деформаціями у вигляді інтегралів Стілтєса, записаних у тензорній формі [2]:

$$\sigma_{ij}(t) = \int_0^t E_{ijkl}(t-\tau) \cdot \left[\frac{d\varepsilon_{kl}(\tau)}{d\tau} \right] \cdot d\tau; \quad \varepsilon_{ij}(t) = \int_0^t J_{ijkl}(t-\tau) \cdot \left[\frac{d\sigma_{kl}(\tau)}{d\tau} \right] \cdot d\tau \quad (1)$$

де τ – час релаксації; E_{ijkl} , J_{ijkl} – відповідно функції релаксації і повзучості, які утворюють тензори четвертого порядку.

При $-\infty < t < 0$ тензори E_{ijkl} , J_{ijkl} дорівнюють нулю, тобто $E_{ijkl}(t) = J_{ijkl}(t) = 0$, і кожен елемент цих тензорів має обмежену варіацію в будь-якому замкнутому підінтервалі з області $-\infty < t < \infty$.

Напруження, що виникають у полімерному матеріалі в процесі його обробки (рис. 2), визначимо з виразу узагальненого закону Гука таким чином:

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \cdot \varepsilon_{kl} \quad i, j, k, l = 1, 2, 3, \quad (2)$$

де σ_{ij} і ε_{ij} – тензори другого рангу, відповідно, напруження і деформації; C_{ijkl} – тензор коефіцієнтів четвертого рангу, що описує в'язкопружні властивості полімерних матеріалів.

Полімер будемо розглядати як трансверсально ізотропний матеріал (в'язкопружні константи в напрямках 1 і 2 еквівалентні), що дозволяє описати його за допомогою п'яти в'язко-пружних констант. Деформація полімерних відходів у валкових пристроях відбувається в умовах плоского напруженого стану, що дозволяє записати: $\sigma_{33} = 0$; $\sigma_{23} = 0$; $\sigma_{13} = 0$.

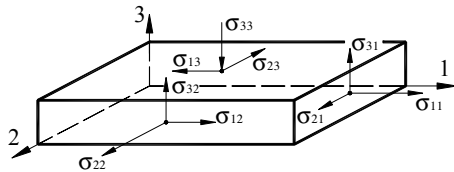


Рис. 2. В'язкопружна деформація нескінченно малого об'єму полімеру

Підставляючи ці умови в рівняння (2), отримаємо систему рівнянь, що описує поведінку полімеру при створенні в ньому складного напружено-деформованого стану за допомогою чотирьох в'язкопружних констант:

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/E_{11} & -\nu_{21}/E_{22} & 0 \\ -\nu_{12}/E_{11} & 1/E_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 1/G_{12} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_6 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де E_1 , E_2 , G_{12} – релаксаційні модулі полімерного

матеріалу, що визначаються за рівняннями, отриманими в [1].

Із рівняння (3) визначимо деформації в орієнтованому полімерному матеріалі, на який діють напруження стиску і зсуву:

$$\varepsilon_1 = \sigma_1/E_1 - \sigma_2\nu_{21}/E_2; \quad \varepsilon_2 = -\sigma_1\nu_{12}/E_1 + \sigma_2/E_2; \quad \gamma_{12} = \sigma_{12}/G_{12}, \quad (4)$$

Оскільки зовнішнє навантаження, що призводить до деформації полімеру, задане, то нормальні напруження σ_1 , σ_2 та напруження зсуву σ_{12} мають бути еквівалентними середньому нормальному або тангенціальному напруженню. В результаті деяких перетворень виразів (4), враховуючи рівність напружень і деформацій у паралельних площинах полімеру, отримаємо [3]:

$$\sigma_1 = -\frac{4\hat{\sigma}}{E_1 h_2} \left(\frac{A_{22} + \nu_{12} A_{12}}{A_{11} A_{22} + A_{12}^2} \right), \quad \sigma_2 = -\frac{4\hat{\sigma}}{E_2 h_2} \left(\frac{A_{12} + \nu_{12} A_{11}}{A_{11} A_{22} - A_{12}^2} \right), \quad \sigma_{12} = \frac{4\hat{\sigma}_{12}}{h_2 G_{12} A_{33}}. \quad (5)$$

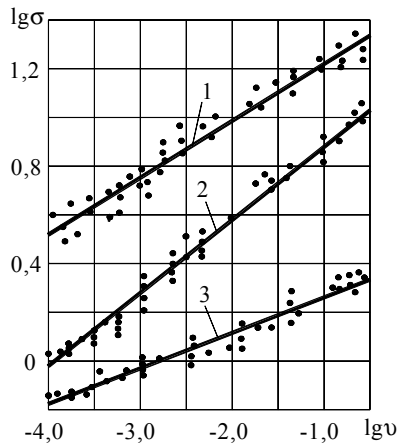
де $A_{11} = 4/E_1 \cdot h_2$; $A_{22} = 4/E_2 \cdot h_2$; $A_{33} = 4/G_{12} \cdot h_2$; $A_{12} = A_{21} = -4\nu_{12}/E_1 \cdot h_2$, $\hat{\sigma} = (\sigma_1 + \sigma_2)/2$ – еквівалентне напруження розтягу.

З рівняння (3), враховуючи рівняння (5), отримаємо такі вирази для визначення нормальних і дотичних напружень:

$$\sigma_1 = \varepsilon_1 \cdot E_1 h_2 \cdot \frac{\frac{1}{E_1 E_2 h_2^2} - \left(\frac{\nu_{12}}{E_1 h_2} \right)^2}{\frac{1}{E_2 h_2} - \frac{\nu_{12}^2}{E_1 h_2}}, \quad \sigma_2 = \varepsilon_2 \cdot E_1 h_2 \cdot \frac{\frac{1}{E_1 E_2 h_2^2} - \left(\frac{\nu_{12}}{E_1 h_2} \right)^2}{\frac{\nu_{12}^2}{E_1 h_2} - \frac{\nu_{12}^2}{E_2 h_2}}, \quad \sigma_{12} = \varepsilon_{12} \cdot G_{12}, \quad (6)$$

де ν_{12} – коефіцієнт Пуассона.

Отримані вирази для розрахунку напружень (6), які створюють в'язкопружні деформації в полімерному матеріалі, можна використовувати для визначення раціональних конструктивних параметрів перероблювального обладнання та ефективних режимів його роботи, при яких забезпечується необхідна орієнтація структури полімеру та його руйнування.



1 – $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – $T=50\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – $T=80\text{ }^{\circ}\text{C}$
Рис. 3. Залежність руйнівного напруження від швидкості розтягу полівінілхлориду

Після досягнення граничної в'язкопружної деформації для поліетилену та поліпропілену в них виникає пластична деформація. В результаті досягнення граничного значення пластичної деформації згадані вище полімери пластично руйнуються.

Для моделювання процесу пластичної деформації полімерного матеріалу між валками перероблювального пристрою скористаємося відомим з теорії пластичності рівнянням [4, 5]:

$$\sigma_{nm} = \sigma \cdot \delta_{nm} + s_{nm} = (\lambda \cdot \xi \cdot \delta_{nm} + 2\mu \cdot e_{nm}^{nl}) \cdot t, \quad (7)$$

де s_{nm} – компоненти девіатора тензора напружень; $\sigma \delta_{nm}$ – компоненти кульового тензору напружень; σ – гідростатичний тиск; δ_{nm} – символ Кронекера; λ , μ – коефіцієнти Ламе, Па; σ_{nm} та e_{nm} – компоненти тензора

напружень та тензора швидкостей деформацій, c^{-1} ; ζ – швидкість об'ємної деформації, c^{-1} ; t – час дії валків на полімерний матеріал, с.

Вплив температури на активність руху сегментів ланцюгів макромолекул, а отже, на напружено-деформований стан у полімерному матеріалі визначаємо за допомогою рівняння Арреніуса [6]:

$$\eta = \eta_0 \cdot \exp(U/RT), \quad (8)$$

де U – енергія активації в'язкої течії; η_0 – постійна, яка може бути визначена з умови $T > T_{пл}$, де $T_{пл}$ – температура плавлення полімеру.

Діапазон тиску, при якому полімер зміцнюється (зміцнення враховується кульовим тензором напружень $\sigma \cdot \delta$ (7)), визначався за допомогою побудови граничних поверхонь в області пластичної деформації. В результаті цього встановлено, що значення тиску, який створюється в полімері робочими органами перероблювального обладнання, знаходиться за межами області зміцнювання. Таким чином, в дисертаційній роботі моделювався вплив на полімерний матеріал напружень зсуву, що створюються валками профілю Рело, як наслідок – форма полімеру змінюється аж до його руйнування при цьому об'єм лишається незмінним.

Відповідно до інкрементальної теорії пластичності швидкість пластичної деформації пропорційна девіатору напружень, який є постійним [6]:

$$e_{nm} = d\lambda \cdot s_{nm}, \quad (9)$$

де $d\lambda$ – множник пропорційності в диференціальній формі.

На основі рівняння Ламе, враховуючи модель Кельвіна для в'язкопружних деформацій полімеру і умову нестисливості та використовуючи гіпотезу квазістаціонарності пластичної деформації, запишемо рівняння, що пов'язують напруження і швидкості деформацій таким чином:

$$\partial \tau / \partial x = \eta \cdot \nabla^2 u; \quad \partial \tau / \partial y = \eta \cdot \nabla^2 v, \quad (10)$$

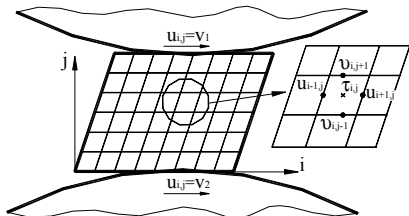


Рис. 4. Сітка фіксованих комірок, що покриває область деформації полімеру

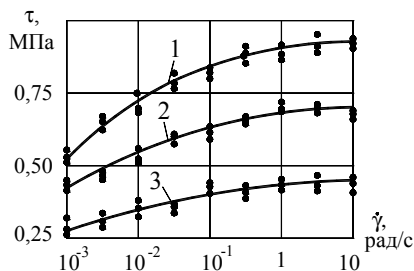
де η – динамічна в'язкість полімерного матеріалу, Па·с; u, v – компоненти вектора швидкості пластичної деформації, м/с; τ – дотичні напруження, що викликають пластичну деформацію, Па.

Наведена вище математична модель процесу пластичної деформації полімеру між валками перероблювального пристрою була розрахована за допомогою скінченнорізницевого методу, згідно з яким всі диференціальні рівняння та граничні умови записуються у скінченних різницях на сітці фіксованих комірок (рис. 4), що покриває область деформованого полімерного матеріалу.

У результаті цього отримали таку систему рівнянь:

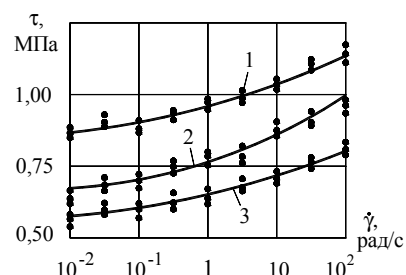
$$\left. \begin{aligned} u_{i,j} &= 0,25 \cdot [u_{i+1,j} + u_{i-1,j} + u_{i,j+1} + u_{i,j-1} - (\tau_{i+1,j} - \tau_{i,j}) \cdot h / \eta_{ij}] ; \\ v_{i,j} &= 0,25 \cdot [v_{i+1,j} + v_{i-1,j} + v_{i,j+1} + v_{i,j-1} - (\tau_{i,j+1} - \tau_{i,j}) \cdot h / \eta_{ij}] ; \\ \tau_{i,j} &= 0,25 \cdot (\tau_{i+1,j} + \tau_{i-1,j} + \tau_{i,j+1} + \tau_{i,j-1}) ; \\ T_{i,j} &= 0,25 \cdot (T_{i+1,j} + T_{i-1,j} + T_{i,j+1} + T_{i,j-1}) ; \\ \eta_{ij} &= \eta_0 \cdot \exp(U/RT_{ij}). \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

До цієї системи рівнянь додаються початкові і граничні умови біля поверхонь валків, що враховують радіуси, кутову швидкість валків і притискне зусилля, яке залежить від мінімальної міжвалкової відстані та від товщини оброблювального матеріалу. Числове моделювання напружено-деформованого стану здійснювалося послідовними кроками протягом певного періоду часу при зміні навантаження. За результатами числового моделювання отримано графіки, що пов'язують швидкість зсувних деформацій, створюваних робочими органами перероблювального обладнання, з дотичними напруженнями, що виникають у матеріалі (рис. 5, 6).



1 – при температурі $T = 20^\circ \text{C}$;
2 – $T = 50^\circ \text{C}$; 3 – $T = 80^\circ \text{C}$

Рис. 5. Залежність зсувного напруження від швидкості деформації поліетилену



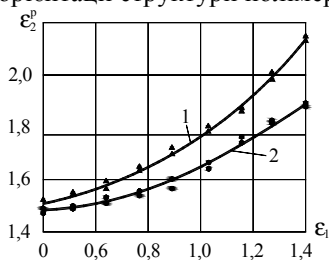
1 – при тиску, що створюється валками, $\sigma = 5 \text{ МПа}$;
2 – $\sigma = 3,5 \text{ МПа}$; 3 – $\sigma = 2 \text{ МПа}$

Рис. 6. Залежність зсувного напруження від швидкості деформації поліпропілену

З рис. 5, 6 видно, що в результаті збільшення швидкості деформації, яка визначається коловими швидкостями та радіусами валків, збільшується значення максимальних дотичних напружень у матеріалі.

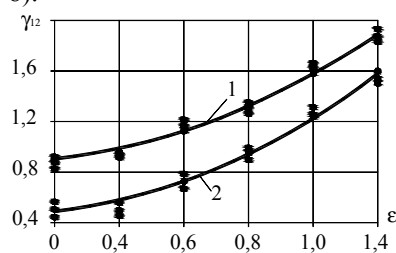
Одновременно спостерігається суттєвий вплив на величину цих напружень температури матеріалу і тиску, що створюється валками.

Важливе значення для проектування перероблювального обладнання має гранична деформація поперечної орієнтації структури полімерного матеріалу (рис. 7, 8).



1 – швидкість розтягу $v_1 = v_2 = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м/с;
2 – $v_1 = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м/с, $v_2 = 3,0 \cdot 10^{-3}$ м/с

Рис. 7. Графіки залежності руйнівної поперечної деформації розтягу для поліетилену від попереднього розтягу



1 – швидкість розтягу $v_1 = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м/с, $n_2 = 0,15$ с⁻¹;
2 – $v_1 = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м/с, $n_2 = 0,30$ с⁻¹

Рис. 8. Графіки залежності руйнівної поперечної деформації зсуву для поліпропілену від попереднього розтягу

Експериментальні дослідження впливу цієї деформації на деформацію в поперечному напрямку до орієнтації структури показали, що збільшення ступеня попереднього витягування полімерного матеріалу призводить до збільшення значень руйнівних деформацій у поперечному напрямку. В результаті проведених експериментальних досліджень визначено ефективні значення граничної деформації попереднього розтягу, які становлять для поліетилену $\varepsilon_1 = 1,3$; для поліпропілену – $\varepsilon_1 = 1,2$; для полівінілхлориду – $\varepsilon_1 = 0,32$. За таких значень граничної деформації попереднього розтягу поліетилену руйнівна деформація в поперечному напрямку збільшується на 18 %, а величина руйнівного напруження зменшується на 10 %.

Висновки. Таким чином, отримано аналітичні вирази для визначення руйнівних напружень, що створюють граничні деформації в полімерних відходах залежно від фізико-механічних характеристик полімеру; числовий метод для визначення дотичних напружень залежно від швидкостей деформацій, які дозволяють визначати раціональні конструктивні параметри перероблювального обладнання при різних технологічних режимах переробки полімерних відходів для отримання частинок з анізотропією експлуатаційних властивостей, які можуть використовуватися як армувальні елементи у виробництві полімерних виробів легкої промисловості.

Література

1. Синюк О.М. Метод визначення ефективних властивостей багат шарових полімерних матеріалів / О.М. Синюк, М.Є. Скиба // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 6 (231). – С. 54–62.
2. Самуль В.И. Основы теории упругости и пластичности : [учеб. пособие] / В.И. Самуль. – М. : Высш. школа, 1982. – 264 с.
3. Кристенсен Р.М. Введение в механику композитов / Р.М. Кристенсен ; пер. с англ. А.И. Бейля, Н.П. Жмудя ; под ред. Ю.М. Тарнопольского. – М. : Мир, 1982. – 336 с.
4. Лурье А. И. Теория упругости / А. И. Лурье. – М. : Наука, 1970. – 940 с.
5. Качанов Л.М. Основы теории пластичности / Л.М. Качанов. – М. : Наука, 1969. – 420 с.
6. Стефанов Ю.П. Численное исследование поведения упруго-идеальнопластических тел, содержащих неподвижную и распространяющуюся трещины, под действием квазистатических и динамических растягивающих нагрузок / Ю.П. Стефанов // Физическая мезомеханика. – 1998. – Т. 1, № 2. – С. 81–93.

References

1. Syniuk O.M. Metod vyznachennia efektyvnykh vlastyvoستي bahatosharovykh polimernykh materialiv / O.M. Syniuk, M.Ye. Skyba // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2015. – № 6 (231). – S. 54–62.
2. Samul' V.I. Osnovy teorii uprugosti i plastichnosti : [ucheb. posobie] / V.I. Samul'. – M. : Vyssh. shkola, 1982. – 264 s.
3. Kristensen R.M. Vvedenie v mehaniku kompozitov / R.M. Kristensen ; per. s angl. A.I. Bejlja, N.P. Zhmudja ; pod red. Ju.M. Tarnopol'skogo. – M. : Mir, 1982. – 336 s.
4. Lur'e A. I. Teorija uprugosti / A. I. Lur'e. – M. : Nauka, 1970. – 940 s.
5. Kachanov L.M. Osnovy teorii plastichnosti / L.M. Kachanov. – M. : Nauka, 1969. – 420 s.
6. Stefanov Ju.P. Chislennoe issledovanie povedenija uprugoo-ideal'noplasticheskikh tel, sodержashhih nepodvizhnuju i rasprostranjajushhujusja treshhiny, pod dejstviem kvazistaticheskikh i dinamicheskikh rastjagivajushhih nagruzok / Ju.P. Stefanov // Fizicheskaja mezomehanika. – 1998. – T. 1, № 2. – S. 81–93.

Рецензія/Peer review: 3.11.2018 р. Надрукована/Printed: 21.12.2018 р.
Прорецензовано редакційною колегією

DOI 10.31891/2307-5732-2018-267-6(2)-64-67

УДК 004.896+687.051.4

О.В. НАХАЙЧУК, Е.А. ЗАХАРОВА, В.С. ГОРОБЧИШИНА, О.В. МАРЧУК

Вінницький інститут конструювання одягу і підприємництва

РОЗРОБКА ТРИВИМІРНОЇ МОДЕЛІ МАНЕКЕНУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОГРАМИ «КОМПАС-3D»

В даній статті розроблений метод проектування одягу на основі використання тривимірної моделі манекена в програмі «КОМПАС-3D». На основі тривимірної антропометричної бази даних, що включає розробку зовнішнього вигляду віртуальних манекенів, авторами виконано аналіз систем автоматизованого проектування одягу, визначено склад антропометричної інформації типової фігури жінки з використанням існуючого програмного забезпечення «КОМПАС-3D». Обґрунтовано, що для збільшення конкурентоспроможності швейних виробів та скорочення часу операцій під час розробки об'ємної моделі манекена торсу жіночої фігури у «КОМПАС-3D», доцільно використовувати метод фотограмметрії.

Визначено положення антропометричних точок точкового каркасу поверхні торсу фігури та вперше запропоновано формули, що дало можливість удосконалити алгоритм побудови тривимірної моделі манекена в програмі «КОМПАС-3D». Результати досліджень показали відповідність параметрів торсів манекенів розмірам та формі фігур даної групи споживачів для застосування моделі на різних етапах проектування одягу.

Ключові слова: типові фігури, корсетні вироби, бюстгальтер, градація, лекала, розмір, повнота, конструктивні точки, креслення, програма «КОМПАС-3D».

O.V. NAKHAYCHUK, E.A. ZAKHAROVA, V.S. GOROBCHYSHYNA, O.V. MARCHUK

Vinnytsia Institute of Designing of Clothes and Entrepreneurship

DEVELOPMENT OF A MANIFATED MANUFACTURING MODEL WITH KOMPAS-3D APPLICATION

The authors analyzed the systems of automated design (CAD) clothing on the basis of a three-dimensional anthropometric database, including the development of the appearance of virtual dummies. The 3D modelling technology allows you to get the most complete information about the human figure needed for designing clothing. In this article, a method of designing clothes based on the use of a three-dimensional model of a dummy in the program "KOMPAS-3D" is developed. The authors determine the composition of the anthropometric information of a typical figure of a woman using the existing software "KOMPAS-3D". In order to increase the competitiveness of sewing products and reduce the time of operations during the development of a volumetric model of a female body torso dummy in "KOMPAS-3D", the authors of the article used the method of photogrammetry. The position of the anthropometric points of the point frame of the surface of the torso of the figure is determined and for the first time a formula was proposed, which made it possible to improve the algorithm of constructing the 3D model of the "KOMPAS-3D" mannequin. In this work, the conformance of torsion dummy parameters to the dimensions and shape of the figures of this group of consumers was achieved for the application of the model at various stages of designing the garment. The sequence of stages of the formation of a three-dimensional base of mannequins of typical figures has been developed and tested, which allows ensuring the quality of planting of finished products on consumer's figures.

Key words: typical figures, corsetry, bra, graduation, patterns, size, completeness, constructive points, drawings, "KOMPAS-3D" program.

Вступ

Нині одним з пріоритетних напрямків наукових досліджень у швейній галузі є розробка нових сучасних методів математичного моделювання поверхні тіла людини – об'єкту проектування одягу. Перспективною вважається розробка систем автоматизованого проектування (САПР) одягу на основі тривимірної антропометричної бази даних у вигляді віртуальних манекенів. Такі САПР зорієнтовані на вирішення проблеми забезпечення відповідності конструкції одягу фігурам споживачів. Підвищення ефективності віртуального автоматизованого проектування одягу засновано на тривимірних технологіях отримання та перетворення вихідної інформації. Найбільш повну інформацію про фігуру людини, необхідну для проектування одягу, дозволяє отримати технологія тривимірного макетування [1].

Віртуальні манекени використовуються в системах тривимірного моделювання САПР Gerber, Lectra, Optitex, «Ассоль», «Леко», JULIVI і «Грація». Однак антропометричне забезпечення, що використовується в програмах для завдання поверхні віртуальних манекенів, закрито для споживачів і не дозволяє проводити трансформацію манекенів фігур, адекватну тій чи іншій розмірній типології.

До точності і антропометричної форми манекена висувають найвищі вимоги, оскільки манекени є центральною ланкою в технологіях тривимірного проектування і основним засобом для контролю посадки одягу і проектування його форми. Однак аналіз складу сучасних антропометричних стандартів показав їх недостатність для обґрунтованого завдання форми жіночих манекенів.

Розробка антропометричних обґрунтованих манекенів для масового виробництва одягу є актуальною науковою проблемою, вирішення якої дозволить удосконалити процеси проектування і оцінки посадки одягу і створить умови для впровадження комп'ютерних технологій.

Мета роботи полягає в удосконаленні процесу проектування одягу на основі використання тривимірної моделі манекена в програмі «КОМПАС-3D». Мету досягнуто шляхом вирішення наступних

завдань:

- розробка антропометричного забезпечення для побудови тривимірної моделі поверхні манекена торсу жіночої фігури;
- визначення складу антропометричної інформації типової фігури жінки з використанням існуючого програмного забезпечення «КОМПАС-3D»;
- розробка та реалізація в автоматизованому режимі алгоритму розрахунку віртуального манекену із застосуванням інформаційного забезпечення «КОМПАС-3D».

Об'єкт дослідження – процес проектування одягу з використанням систем автоматизованого проектування на етапі формування вихідної антропометричної інформації.

Предмет дослідження – антропометрична інформаційна база для проектування тривимірного манекену.

Експериментальна частина

Важливою задачею є збільшення конкурентоспроможності приватних підприємств, а також підготовка молодих спеціалістів за допомогою використання загально-інженерних програм на прикладі «КОМПАС-3D». Для досягнення максимального скорочення часу та операцій під час розробки об'ємної моделі манекена торсу жіночої фігури у «КОМПАС-3D» пропонується метод фотограметрії. Процес створення об'ємної моделі манекена за допомогою метода фотограметрії в програмі «КОМПАС- 3D» можна розділити на два етапи.

Перший етап – створення потрібних для побудови проєкційних ліній за допомогою методу фотограметрії (рис. 1). Для розробки зовнішньої форми манекена використовують вихідну інформацію у вигляді координат точок, що описують форму поверхні типової фігури.

Для визначення просторового положення точок точкового каркасу поверхні торсу фігури у циліндричній системі координат були запропоновані формули, виведені з математичних залежностей між розмірними ознаками встановленого складу антропометричної інформації (початок системи координат – точка перетину середньої сагітальної, фронтальної, проведеної через точку основи шиї збоку, та горизонтальної площини на рівні підлоги).

Другий етап – перенос проєкційних ліній в 3D площини та безпосередньо створення об'ємної моделі манекена, за допомогою роботи з поверхнями (рис. 2).

Створення 3D-моделі манекена – послідовний процес зміни геометричних характеристик, який виконують за допомогою інструментів моделювання в «КОМПАС- 3D» для отримання необхідної зовнішньої форми манекена залежно від його призначення [2].

На даний момент розробка манекенів складний і трудомісткий процес, який передбачає використання людських ресурсів. Отримання віртуального манекена полегшує процес оцінки якості посадки швейних виробів. При розробці манекена виконують послідовні операції:

- отримання вихідної інформації, яка описує фігуру людини;
- обробка вихідної інформації інструментами «КОМПАС- 3D» (отримання робочої форми манекена);
- необхідна доробка зовнішньої поверхні манекена;
- отримання тривимірного зображення віртуального манекена.

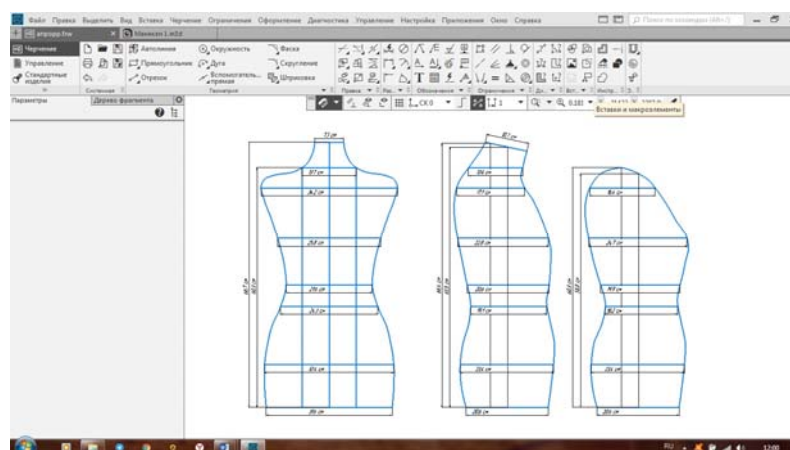


Рис. 1. Побудова проєкційних ліній торсу типової фігури 164-88-96 в «КОМПАС-3D»

Використання запропонованих операцій для розробки манекенів дозволить отримати достовірні антропометричні манекени, які відповідають зовнішній формі поверхні типової або індивідуальної фігури.

Для побудови тривимірної моделі поверхні манекена використано «КОМПАС- 3D», здатну забезпечити такі вимоги: автоматичне керування та побудова згладженої поверхні 3D-моделі. Отримання тривимірної моделі манекена здійснюють в певній послідовності: отримання, обробка та спрощення вихідної інформації, відновлення поверхні.

Наукову антропометричну основу для проектування одягу масового виробництва та виготовлення

промислових манекенів складають антропометричні стандарти, які містять інформацію щодо параметризації типових фігур населення. Отримання тривимірної моделі починають з внесення типових розмірних ознак згідно з ОСТ 17-326-81 «Изделия швейные, трикотажные, меховые. Типовые фигуры женщин. Размерные признаки для проектирования одежды». У тривимірній системі координат X, Y і Z визначають координати, які призначені для опису зовнішньої поверхні об'єкта.

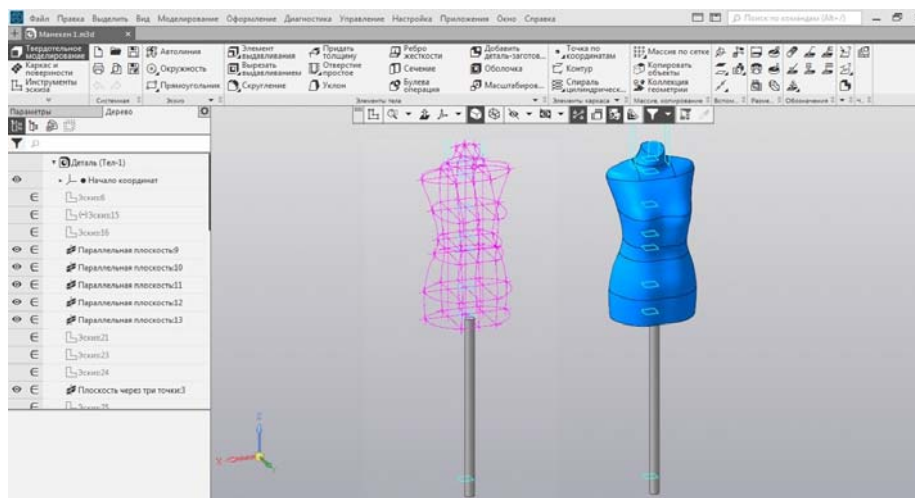


Рис. 2. Тривимірний манекен торсу типової фігури жінки 164-88-96, побудований в «КОМПАС-3D»

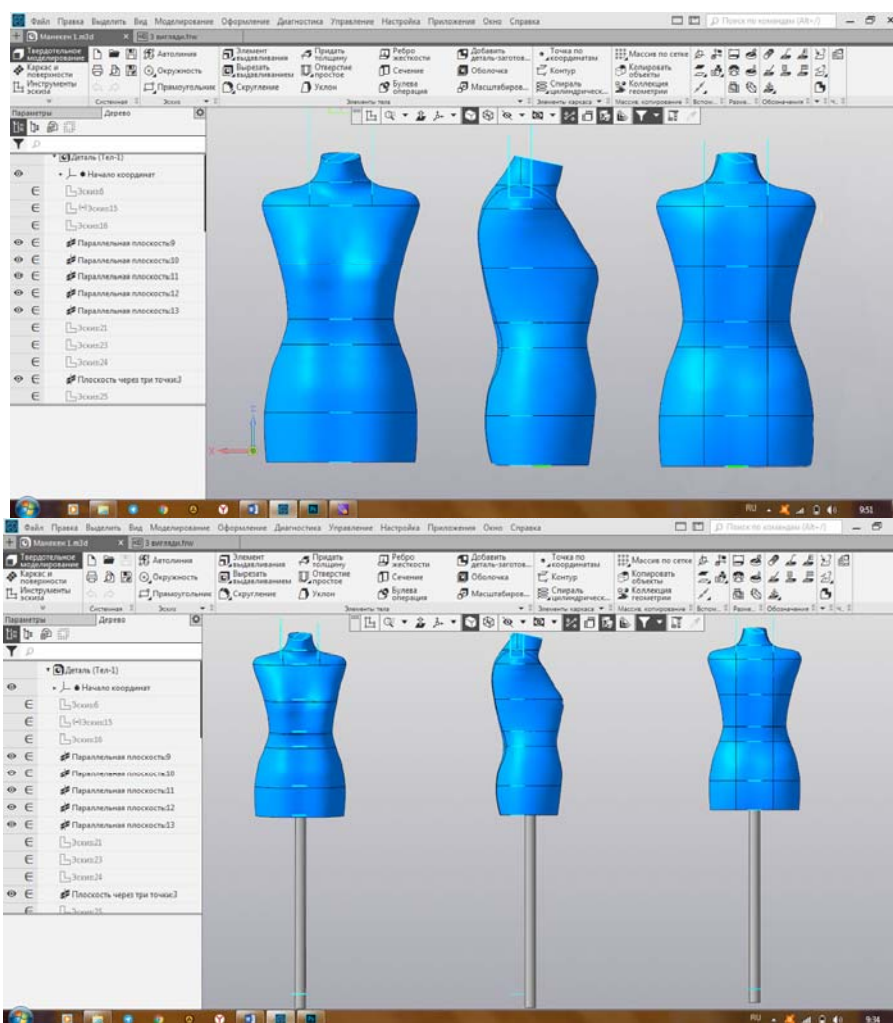


Рис. 3. Тривимірний манекен типової фігури жінки (164-88-96), побудований за удосконаленим алгоритмом

З урахуванням можливостей програмного забезпечення САПР одягу сформовано достатній склад антропометричної інформації для побудови тривимірної моделі апроксимованої поверхні торсу типової жіночої фігури. До методики побудови тривимірної моделі манекену були включені 32 розмірні ознаки, які визначають просторове положення стандартних та додаткових антропометричних точок для побудови

точкового каркасу поверхні торсу фігури. Вони характеризують форму основних антропометричних рівнів та ділянок тіла, важливих для проектування плечового одягу.

Результати порівняльного аналізу на відповідність параметрів торсу типової фігури жінки з параметрами 164-88-96 та її віртуального манекена, побудованого з використанням програмного модуля «Тривимірний манекен» «КОМПАС-3D» показали, що не виявлено суттєвих розбіжностей у величинах розмірних ознак, які характеризують пропорції фігури, поставу, просторове положення основних антропометричних точок та рівнів.

На підставі запропонованих формул було удосконалено алгоритм побудови тривимірного манекена в програмі «КОМПАС-3D» щодо формування ділянок торсу типової жіночої фігури, побудова інших ділянок поверхні виконувалась за існуючим алгоритмом.

Розроблений та впроваджений удосконалений алгоритм у програмне забезпечення «КОМПАС-3D» дозволяє відтворити у тривимірному манекені особливості зовнішньої форми торсу типової фігури, які мають бути враховані при побудові конструкцій плечового одягу, а саме: поставу, положення та розмах плечей, пропорції фігури, форму та просторове положення основних антропометричних рівнів фігури. Використання побудованих за удосконаленим алгоритмом тривимірних манекенів «КОМПАС-3D» з метою перевірки якості посадки спроектованих плечових виробів та відповідного уточнення їх конструкцій дозволить скоротити кількість проміжних етапів відпрацювання конструкції в матеріалі та забезпечить проектування плечового одягу співрозмірного фігурам споживачів.

На підставі результатів проведеного наукового дослідження було розроблено послідовність етапів формування антропометричної бази даних, яка передбачає створення тривимірної бази манекенів типових фігур з використанням програми «КОМПАС-3D».

Результати дослідної роботи відкривають можливість подальших досліджень в області проектування одягу з урахуванням геометрії поверхні різних типів фігур та побудови розгорток поверхонь манекенів для отримання плоских деталей конструкції одягу.

Висновки

1. Теоретично обґрунтовано та сформовано склад антропометричної інформації щодо характеристики об'ємно-просторової форми фігури жінки, необхідної та достатньої для побудови тривимірних моделей поверхонь манекенів торсів фігур для цілей проектування плечового одягу з використанням програмного забезпечення «КОМПАС-3D».

2. Для визначення циліндричних координат просторового положення антропометричних точок точкового каркасу поверхні торсу фігури вперше запропоновано формули, засновані на встановленому складі антропометричної інформації, що дало можливість удосконалити алгоритм побудови тривимірної моделі манекена «КОМПАС-3D» та досягти, таким чином, відповідності параметрів торсів манекенів розмірам та формі фігур даної групи споживачів для застосування моделі на різних етапах проектування одягу.

3. Розроблено та апробовано послідовність етапів формування антропометричної бази даних для побудови базових конструкцій одягу, яка передбачає створення тривимірної бази манекенів типових фігур, що дозволяє забезпечити якість посадки готових виробів на фігурах споживачів та вирішити питання недостатньої інформативності антропометричних стандартів.

4. Результати наукових досліджень щодо удосконалення алгоритму побудови тривимірного манекена з використанням програмного забезпечення «КОМПАС-3D» впроваджені на навчально-виробничому підприємстві «Інтеграл-М», м. Вінниця, Україна. Наведені дані з ефективності використання результатів досліджень.

Література

1. Коблякова Е. Б. Конструирование одежды с элементами САПР : учеб. для вузов / Коблякова Е. Б. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Легпромбытиздат, 1988. – 464 с.
2. Березненко Н.П. Системы автоматизированного проектирования в легкой промышленности / Березненко Н.П., Комиссаров О.Ю. – К., 1992.

References

- 1.1.1..1. Koblyakova E. B. Konstruirovaniye odejdy s elementami SAPR : ucheb. dlya vuzov / Koblyakova E. B. – 4-e izd., pererab. i dop. – M. : Legprombytizdat, 1988. – 464 s.
- 1.1.1..2. Berezenko N.P. Sistemyi avtomatizirovannogo proektirovaniya v legkoy promyshlennosti / Berezenko N.P., Komissarov O.YU. – K., 1992.

Рецензія/Peer review : 11.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 18.12.2018 р.

Рецензент: к.ф.-м.н., доц. Шньорко В.М.

ДИЗАЙН-РОЗРОБКА КОЛЕКЦІЇ МОДЕЛЕЙ ЖІНОЧОГО ОДЯГУ

В роботі представлено результати дослідження художньо-композиційних і конструктивних ознак авторської творчої колекції моделей жіночого одягу. Для досягнення поставленої мети застосовано комплексний підхід, метод системно-структурного та морфологічного аналізу вихідного об'єкту дослідження з подальшим його синтезом на основі отриманих даних. Розроблено творчу колекцію жіночого одягу, на яку перенесено ключові ознаки творчого джерела. Проаналізовано, виокремлено та систематизовано характерні ознаки моделей колекції жіночих комплектів.

Ключові слова: колекція жіночого одягу, творче джерело, модні тенденції, композиційні ознаки.

O.S. SHOKRUTA, N.V. OSTAPENKO, N.D. KREDENETS, T.V. LUCKER

Kyiv National University of Technologies and Design

DESIGN-DEVELOPMENT OF COLLECTION OF MODELS OF WOMEN'S CLOTHING

The article analyzes the artistic-compositional and constructive features of the author's creative women's clothing collection. To achieve this goal, was used an integrated approach which included method of system-structural and morphological analysis of the original object of research with its further synthesis on the basis of the obtained data is used A creative collection of women's clothes was developed taking into account the specific characteristics of the artistic and aesthetic value of the source of inspiration in the further development of models. The creative source from which the set of features is selected for the collection is explored, namely the shape, color, texture, decoration, silhouette, which is transferred to the products of the collection. The only integral concept and harmonious design image is confirmed by the developed and presented creative sketches of the author's collection with the introduction of the dominant features of the source of inspiration. Summarized and systematized interconnected common elements of the models of the collection on various grounds, which illustrate the main characteristics of the projected models. The author's collection of women's kits called "Mac's passion", which consists of products of a wide range of items, in particular dresses, trousers, vests, shirts that can form different sets, is developed and produced. The stylistic decision is determined on the basis of floral images of the creative source, therefore the collection is executed in a classically romantic style. The collection was presented in 2018 at the international competition of young designers "Pechersk Chestnuts" in the nomination "Pret-a-porter" at the Kyiv National University of Technology and Design.

Key words: women's clothing collection, creative source, fashion trends, compositional features.

Вступ

Сучасне різноманіття швейних товарів вітчизняного і зарубіжного виробника вимагає від дизайнерів одягу нових, неординарних і перспективних рішень, оскільки одяг – це один з наймасовіших і найчастіше змінюваних продуктів дизайну. Пошук нових форм, фактур, функціональних і естетичних рішень, цікавих прийомів носіння, нових варіантів підбору комплектності, раціональної конструкції і технології – ось ті основні завдання, які стоять перед сучасним дизайнером.

Необхідною умовою для успішної розробки колекції є наявність творчого джерела. Саме джерело, творчий прообраз є основоположним і визначним аспектом у формуванні стильових, образно-емоційних і формотворчих характеристик в задуманому автором виробі.

Постановка завдання

Стрімкий темп життя потребує новітніх підходів до дизайн-проектування і виготовлення моделей жіночого одягу та пошуку цікавих художніх образів. Таким чином, невпинно зростає попит на оригінальні інтерпретації джерела натхнення, які знаходять своє втілення у формі, силуеті, матеріалі, кольорових рішеннях та їх поєднаннях тощо [1].

В сучасних умовах розвитку промисловості одним із провідних завдань є задоволення зростаючої потреби населення у художньо-виразних високоякісних виробах, які б відповідали напрямку моди, вимогам споживачів, і навіть випереджали їх очікування [2]. Важливо донести в моделях композиційно цілісне сприйняття системи «людина – образ – одяг», де все взаємопов'язано і підпорядковано ідеї художнього образу костюма [3]. З метою дизайн-розробки творчої колекції одягу потрібно проаналізувати, виокремити, і впровадити ознаки творчого джерела для створення її гармонійного художньо-виразного образу.

Результати досліджень

Джерелом натхнення для даної колекції обрано мак – квіти з яскраво-червоними пелюстками, великими, шовковистими на дотик і чорними плямами правильної форми біля основи. Відбувається трансформація джерела натхнення шляхом виокремлення, переосмислення та впровадження характеристик, після чого обрано спосіб їх перенесення на об'єкт дизайн-проектування, на основі системно-структурного аналізу. Колаж творчого джерела представлено на рис. 1.

Уміння абстрагуватися від другорядних характеристик об'єкту, узагальнювати і розвивати свою ідею в потрібному напрямі – завдання першого етапу дизайн-проектування. Асоціативні уявлення є важливим чинником при створенні моделей, які дають можливість досягти різноманітності образу і новизни рішення [4].

Головною ознакою творчого джерела є квітковий образ, який асоціюється з романтичним стилем, червоний колір з чорними плямами, об'ємні пелюстки округлої форми без гострих ліній, гладка фактура.



Рис. 1. Колаж творчого джерела

На основі аналізу творчого джерела виділено притаманні лише йому специфічні ознаки, які у повній мірі відповідають задуму і модним тенденціям. Виявлено колористичні рішення, об'ємність, форму, пластику джерела, фактуру його поверхні, а також стиль. На цьому етапі дизайн-проектування виконано серію фор-ескізів, в яких джерело трансформовано в умовно-узагальнений стилізований образ (рис. 2).

Створення фор-ескізів – чуттєвий і емоційно напружений етап ескізної роботи, що вимагає творчого художнього мислення. Фор-ескізи зображують костюм на фігурі людини, відтворюючи спосіб носіння виробів, характерні рухи, відповідні створеному образу [5]. Склалося яскраве уявлення про колекцію, яку формують легкі, елегантні, класично-романтичні вироби.

В результаті аналізу фор-ескізів щодо новизни та оригінальності відповідно до концепції та напрямку моди сформовано узагальнене бачення моделей колекції, визначено основні форми та елементи проєктованих виробів, які лягли в основу творчих замальовок колекції. Виробам притаманні плавні лінії, гармонійне співвідношення, об'ємні форми низу виробів та прилеглий, напівприлеглий верх. Головний акцент – червоний колір з чорними вставками.



Рис. 2. Фор-ескізи моделей колекції

У фор-ескізах початкові задуми конкретизовано, розвинуто на шляху подальшого вдосконалення та відпрацювання форми. На основі аналізу та відбору фор-ескізів створено художні ескізи. Створення творчих

ескізів характеризується більш детальним опрацюванням форми, виявленням формотворних та декоративних ліній, кольорових рішень, чітка функціональна спрямованість [6]. Основними критеріями колекції є пропорційна відповідність частин виробу, ясність ритмічного поєднання деталей та елементів, стилістична однорідність всіх складових і відповідність всього композиційного образу характеристикам матеріалів, близьких за пластичними властивостями і технічними характеристиками [7].

На цьому етапі остаточно обрано такі художньо-композиційні ознаки, як прилеглий і розширений силует, червоний колір з чорними вставками, гладку і шорстку фактуру, представлені в фор-ескізах. Образ створюваного костюма стилізовано і узагальнено, ескіз костюма-образу перероблено в ескіз реального костюма, зберігаючи при цьому образно-асоціативний зв'язок з джерелом натхнення.

Остаточні ескізи моделей колекції виконано за законами композиції із чітким опрацюванням пластики форми, силуету, застосуванням принципу пропорційності між елементами виробів з використанням особливостей матеріалу – кольору та фактури (рис/ 3).



Рис. 3. Творчі ескізи колекції жіночого одягу

Стильове рішення нав'язане квітковими образами, тому колекція виконана в класично-романтичному стилі. Колекцію складають вироби широкого асортиментного ряду, зокрема сукні, брюки, жилети, майки, які можуть утворювати різні комплекти (рис. 4).



Рис. 4. Асортимент виробів колекції

Силуетні рішення виробів реалізовано через прилеглий, напівприлеглий та розширений до низу крій. В моделях гармонійно поєднано малі і великі об'єми, що відображено в пишних спідницях і прилеглому верху (рис. 5).



Рис. 5. Силуетні рішення виробів колекції

Чорні плями на пелюстках маку, що є джерелом творчості даної колекції, стали прототипом для мереживних вставок на спідницях, рукавах та ліфі. У виробах без вставок чорний колір присутній в інших конструктивно-декоративних елементах, зокрема в поясах та комірах жилетів (рис. 6).



Рис. 6. Конструктивно-декоративні елементи у виробах колекції

Колекція виготовлена з сукняно-костюмної тканини червоного кольору, а як додатковий матеріал використовується чорний атлас з гладкою фактурою. Крім того, вироби прикрашає мереживо з шорсткою фактурою (рис.7).



Рис. 7. Кольорово-фактурні ознаки тканини виробів

З метою створення завершеного гармонійного образу колекції стилістика виробів передбачає використання мережива, яке розшите пастками, та вишивку бісером для підсилення візуальної екстравагантності, чуттєвості та емоційного ефекту образу, і водночас об'єднання всіх виробів [8] (рис. 8).



Рис. 8. Види оздоблення моделей колекції

Творче джерело дає поштовх і напрями розвитку ідеї. В першу чергу воно відображається в кольорі

моделей, формі, силуеті колекції, лініях внутрішнього членування, прийомах декоративного оформлення, фактурному рішенні (рис. 9).

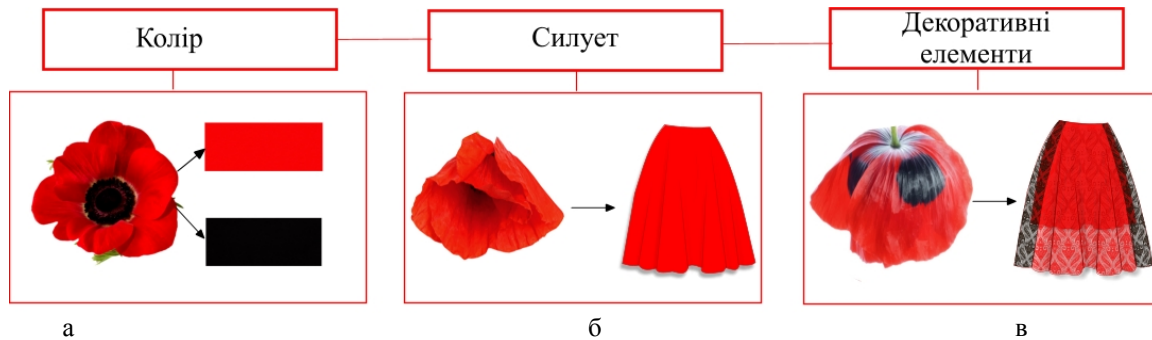


Рис. 9. Відображення ознак джерела натхнення в моделях колекції: а – кольорового поєднання; б – силуету; в – декору

Важливою ознакою колекції є її цілісність, що забезпечується єдністю авторської концепції образу, застосовуваних у колекції матеріалів, кольорової гами, форми, базових конструкцій, стильового рішення [9].

Дана робота являє собою авторську колекцію Pret-a-porte одягу, яка розрахована на сучасну жінку віком від 18 до 35 років. Вона зорієнтована на сильну і незалежну, рішучу і принципову особистість, яка надає перевагу неординарним та особливим речам, слідує за модою, має свій неповторний стиль, прагне бути в центрі уваги, не боїться змін, любить експериментувати зі своїм одягом і зовнішністю. Вона доволі часто відвідує урочисті заходи з певним дрес-кодом, надає перевагу якісним речам та є вибагливою до вибору матеріалів.

Під час проектування одягу важливо враховувати особливості форми фігури споживача, її пропорції та розміри, співвідношення частин тіла. В даній роботі колекція спроектована на типову фігуру нормальної постави та пропорцій. Базовий зріст становить 170-176 см, суміжні розміри 84-88.

Результатом дизайнерської розробки магістра КНУТД Шокрути О.С. є спроектована і виготовлена творча колекція моделей жіночого одягу під назвою «Макова пристрасть» (рис. 10). Колекцію представлено на міжнародному конкурсі молодих дизайнерів «Печерські каштани» в номінації «Pret-a-porter» у 2018 році.



Рис. 10. Виготовлена творча колекція жіночого одягу

Висновки

Сформовано концепцію авторської колекції одягу із врахуванням специфічних характеристик художньо-естетичної цінності творчого джерела натхнення в подальшій розробці моделей. Досліджено творче джерело, з якого виокремлено для колекції ряд ознак, а саме форму, колір, фактуру, оздоблення, силует і перенесено в моделі колекції. Єдину цілісну концепцію та гармонійний проектний образ підтверджено розробленими і представленими фор- і творчими ескізами п'яти комплектів авторської колекції із впровадженими домінуючими ознаками джерела натхнення. Узагальнено і систематизовано

взаємопов'язані спільні елементи моделей колекції за різними ознаками, які ілюструють основні характеристики проєктованих моделей. Розроблену і виготовлену авторську колекцію жіночих комплектів в класично-романтичному стилі представлено у 2018 році на міжнародному конкурсі молодих дизайнерів «Печерські каштани» у Київському національному університеті технологій та дизайну.

Література

1. Гайдук Л.М. Сучасні технології моделювання і художнього оздоблення одягу : навчальний посібник / Л.М. Гайдук, І.В. Васильєва. – К. : КНУТД, 2008. – 130 с.
2. Колосніченко М.В. Moda і одяг. Основи проєктування та виготовлення одягу : навч. посібник / М.В. Колосніченко, К.Л. Процик – К. : КНУТД, 2011. – 238 с.
3. Коблякова Е.Б. Основы конструирования одежды / Е.Б. Коблякова, А. В. Савостицкий, Г.С. Ивлева и др. – 3 изд. – М. : Легкая индустрия, 1980. – 448 с.
4. Малинська А.М. Розробка колекцій одягу : навч. посібник / А.М. Малинська, К.Л. Пашкевич, М.Р. Смирнова, О.В. Колосніченко. – К. : ПП НВЦ Профі, 2014. – 140 с.
5. Мельников Б.Н. Современное состояние и перспективы развития технологии крашения текстильных материалов / Б.Н. Мельников, М.Н. Кириллова, А.П. Морыганов. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 232 с.
6. Пашкевич К.Л. Застосування сучасних методів для проєктування колекцій одягу складних форм / К. Л. Пашкевич, М.В. Колосніченко, К.О. Науменко, О.С. Хапанцева // Теорія та практика дизайну : збірник наукових праць. – К. : «Дія», 2015. – Вип. 8: Технічна естетика. – С. 217–225.
7. Чуприна Н. В. Принципы проведения предпроектного анализа в индустрии моды / Н. В. Чуприна // SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS 2015. – Vienna, 2015. – Vol. 1. – С. 149–150.
8. Лабенко О.А. Дизайн-проєктування сценічного ансамблю з використанням бісеру / О.А. Лабенко, Н.В. Остапенко, М.В. Колосніченко, А.Ю. Антоноженко // Вісник ХНТУ. Технічні науки. – 2017. – № 1 (245). – С. 68–72.
9. Єременко І. І. Джерело натхнення в дизайні одягу: аспекти вивчення і використання в творчому процесі [Електронний ресурс] / І. І. Єременко // Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв. Мистецтвознавство. Архітектура. – 2007. – № 9. – С. 41–48. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/had_2007_9_5.

References

1. Gayduk L.M. Modern technologies of modeling and artistic decoration of clothes: a textbook / L.M. Hayduk, I.V. Vasiliev - K.: KNUTD. - 2008 - 130 s.
2. Kolosnichenko M.V. Fashion and clothing. Basics of designing and manufacturing of clothes. Teaching manual / M.V. Kolosnichenko, K.L. Protsik - K.: KNUTD, 2011. - 238 p.
3. Koblyakova E. B. Principles of designing clothes / E.B. Koblyakova, A.V. Savostitsky, G.S. Ivleva et al. - 3 ed. - M.: Light Industry, 1980. – 448 p.
4. Malinskaya A.M. Development of clothing collections: Teaching. manual / A.M. Malinskaya, K.L. Pashkevich, M.R. Smirnov, O.V. Kolosnichenko - K.: PP Prognosis, 2014. - 140 p.
5. Melnikov B.N. Current state and prospects of the technology of dyeing of textile materials / B.N. Melnikov, M.N. Kirillova, A.P. Morygans - M.: Light and edible craftsmanship, 1983. - 232 p.
6. Pashkevich K.L. Application of modern methods for designing collections of clothing of complex forms / K. L. Pashkevich, M.V. Kolosnichenko, K.O. Naumenko, O.S. Khapantseva // Theory and practice of design: a collection of scientific works. - K.: "Action", 2015. - Issue. 8: Technical aesthetics. - P. 217-225.
7. Chuprina N.V. Principles of pre-design analysis in the fashion industry // SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS 2015. - Vienna, 2015. - Vol. 1. - P. 149-150.
8. Labenko O.A. Design-design of stage ensemble using beads / O.A. Labenko, N.V. Ostapenko, M.V. Kolosnichenko, A.Yu. Antonyughenko // Bulletin of the KhNTU. Technical sciences. - 2017 - No. 1 (245). - P. 68-72.
9. Eremenko I. I. The source of inspiration in the design of clothes: aspects of studying and using in the creative process [Electronic resource] / I. I. Eremenko // Bulletin of the Kharkov State Academy of Design and Arts. Art studies. Architecture. - 2007. - No 9. - P. 41-48. - Mode of access: http://nbuv.gov.ua/UJRN/had_2007_9_5

Рецензія/Peer review : 22.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.

Рецензент: д.т.н. Остапенко Н.В.

В. О. МУСІЄНКО, М. С. КИРЯЧОВА, К. Л. ПАШКЕВИЧ

Київський національний університет технологій та дизайну

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРИНЦИПІВ МАСОВОЇ КАСТОМІЗАЦІЇ В ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННІ ОДЯГУ

В роботі розглянуто принципи використання масової кастомізації під час дизайн-проектування одягу різного асортименту та призначення. Розкрито сутність принципів масової кастомізації в різних галузях, виконано аналіз товарів і послуг за різними стратегіями масової кастомізації, надано приклади застосування принципів кастомізації у різних сферах дизайн-проектування. На основі теоретичних досліджень систематизовано принципи масової кастомізації, визначено способи виготовлення моделей одягу з персоналізацією. Розроблено творчу колекцію жіночого одягу із застосуванням модульного принципу кастомізації шляхом варіювання оздоблення.

Ключові слова: масова кастомізація, колекція одягу, індивідуальний підхід.

V. O. MUSIENKO, M. S. KYRIACHOVA, K. L. PASHKEVYCH

Kyiv National University of Technology and Design

FEATURES OF USE OF PRINCIPLES OF MASS CUSTOMIZATION IN DESIGNING OF CLOTHES

Determination of the principles of using mass customization when designing clothes of different assortment and purpose. The concept of customization is considered, the essence of the principles of mass adaptation in various fields is revealed. The analysis of goods and services is carried out under various strategies of mass adaptation, examples of application of the principles of adjustment in different spheres of design are presented - designing with the purpose of obtaining qualitative and improved goods, its personalization, examples of principles of mass adjustment in accordance with the technique of execution to various objects. The ways of solving the problem of overproduction and the use of the principles of mass customisation in the design of clothing are determined. It is revealed that customization gives an opportunity to increase the competitiveness of goods and services, to make the image of the consumer exclusive and unique. It is disclosed that the settings are divided into separate strategies: cosmetic, expert, modular and adaptive. Created sketches and built a collection of women's clothing, based on the principle of modular mass adaptation, which consists in creating an individual product by completing already existing harvested parts. In the presented collection, the principle of modular customization was the possibility of changing the decorative elements of clothing. The methods of customization of the given made collection for the consumer are determined by choosing and applying the location, quantity, color and scale of these elements of customization on the selected product. When developing a creative collection, consumers' needs are taken into account in their desire to stand out among others, to personalize things for the consumer, regardless of factors that may affect the ability to purchase an individual assortment.

Keywords: mass customization, clothing collection, individual approach.

Вступ

Кожна людина – індивідуальність, що проявляється в її характері, поведінці, манері спілкування, зовнішності, стилі і т.д. Людина виражає свою особистість за допомогою одягу, неповторного і персоналізованого під кожного. Пропозиції масового виробництва поступово втрачають свої позиції, а потреба на брендові речі зростає, проте і ці речі стають масовими через нелегальні виробництва підробок у всьому світі. Через ідентичність продукції споживач, щоб не втратити свою особистість, орієнтується на індивідуальний дизайн та налаштування готової продукції під власний смак. Одним з ефективних способів персоналізувати одяг для різних матеріально забезпечених груп споживачів є створення нового виду продукту за допомогою кастомізації. За рахунок включення елементів кастомізації споживач може підлаштувати товар під себе шляхом вибору і застосування розташування, кількості, кольорів і масштабності цих кастомізованих елементів на обраному виробі. Принципи масової кастомізації використовують для створення дизайн-об'єктів у різних сферах, така концепція дає можливість підвищити конкурентоспроможність товарів і послуг, зробити образ споживача ексклюзивним і неповторним, тому, аналіз принципів масової кастомізації, дослідження на прикладах різних дизайн-проектів шляхів застосування стратегій масової кастомізації, визначення її переваг і недоліків є актуальним завданням.

Аналіз попередніх досліджень та публікацій

Значний внесок у дослідження питань застосування принципів масової кастомізації і трактування даного терміну здійснив С. Девіс [2]. Він першим запропонував термін «масова індивідуалізація», де визначив: «...велику кількість клієнтів можна отримати в масових ринках промислової економіки, і одночасно розглядати індивідуально, як у підлаштуванні ринків до індустріальної економіки» [2, с. 78]. На той час цей термін ще не був актуальним, оскільки лише кілька компаній застосовували даний підхід.

Пайн Б.Д. в своїх роботах [8] досліджував масову кастомізацію, запропоновану в працях С. Девіса. Автор більш детально характеризує стратегії і моделі протягом наступних десяти років, аналізує перехід від масового виробництва до масової кастомізації, досліджує ринок попиту і ділової компетентності масової кастомізації.

Забродін А.Ю. в своїй науковій роботі трактує поняття кастомізація: «... це переосмислення цінностей масового виробництва і перехід до виготовлення товарів і послуг дрібними партіями різноманітного асортименту продукції, призначених для різних цільових груп споживачів і сегментів ринку» [3, С. 50].

В статті [4] розглянуто кастомізацію як напрям підвищення ефективності маркетингової діяльності підприємства, висвітлено теоретичні аспекти сутності масової індивідуалізації, проаналізовано існуючі визначення поняття «кастомізація», охарактеризовано різновиди кастомізації та її можливості в сучасних ринкових умовах господарювання вітчизняних підприємств. Авторами статті [12] проаналізовано стратегію масової кастомізації, як маркетинговий хід на прикладі рентабельної компанії з виробництва комп'ютерів Dell, яка за допомогою даної стратегії вийшла в лідери на ринку.

Проблема масової індивідуалізації товарів опрацьовується і в Україні. Омеляненко Т.В. здійснив спробу аналізу масової індивідуалізації попиту, що надало підставу ідентифікувати «масову кастомізацію» як нову стратегію у сучасному виробництві товарів [6]. В статті [13] приділено увагу процесу логістичного ланцюга стратегій масової індивідуалізації на різних етапах просування товарів, обґрунтовано етапи впровадження масової індивідуалізації у ланцюг поставок кастомізованих товарів, описано використання стратегій масової індивідуалізації на цих етапах. У праці Гліненко Л. К. [1] розглянуто закономірності розвитку різновидів кастомізації, пропозиції цінності та організаційно-управлінські інновації, необхідні для впровадження кастомізаційних стратегій. Автором запропоновано еволюційні моделі кастомізації, придатні для оцінки ефективності інновацій у межах таких стратегій.

Таким чином, проведений аналіз показав, що принципи масової кастомізації досліджували різні автори стосовно окремих напрямів, класифікували на окремі стратегії, характеризували стратегії кастомізації, описували способи і технології впровадження принципів масової кастомізації у різноманітних галузях, зазвичай сфери економіки, бізнесу та маркетингу, проте використання принципів масової кастомізації в дизайні одягу та текстильних виробів потребує подальшого дослідження.

Постановка завдання

Визначення принципів масової кастомізації та шляхів їх використання при дизайн-проектуванні одягу.

Експериментальна частина

З розвитком новітніх технологій, високої конкуренції, збільшенням платоспроможності населення та обізнаності споживачів у своїх потребах концепція масового виробництва відходить на другий план. На поведінку і потреби споживачів впливає низка факторів: вік, стиль життя, рід занять, соціальний статус, фінансове становище, особливості характеру тощо. Запропонований С. Девісом метод масової кастомізації здатен задовольнити потреби споживчого класу незалежно від їхнього матеріального забезпечення. Кастомізація може бути застосована до будь-якого продукту, головне щоб споживачу подобався даний виріб і у нього було бажання підлаштувати обраний ним товар під свій смак. Кожну річ можливо кастомізувати, якщо на неї є покупець з бажанням зробити її індивідуальною, або надати послугу, яка б приваблювала клієнтів більше, ніж конкурентні організації. Кастомізація користується попитом, дизайнери використовують прийоми масової кастомізації у різних сферах діяльності як товарів, так і послуг.

Кастомізацію використовують у виробництві різноманітних товарів: одяг, взуття, сумки, шкіргалантерея, автомобілі, техніка, персональні комп'ютери, харчові продукти, меблі, канцелярські товари, засоби гігієни, сувеніри тощо. Приклад багатьох сучасних корпорацій показує можливості успішної кастомізації, а саме підлаштування товару під потреби клієнта.

Масова кастомізація – це налаштування та персоналізація послуг і товарів для індивідуального споживача за ціною політикою масового виробництва [5]. Проте між масовим виробництвом і кастомізованою продукцією існують відмітні риси. Масове виробництво зосереджене на виготовленні великої кількості продукції за фіксованою ціною на потреби монотипного споживача. Масова кастомізація, в свою чергу, на вже створеному продукті пропонує доповнення, комбінації їх різновидів, тобто змінює зовнішній вигляд з можливістю швидкого виконання.

Сутність концепції масової кастомізації полягає в суміщенні елементів масового виробництва і виробництва на замовлення. Масовому виробництву властиво зниження витрат за рахунок використання повного завантаження потужностей, але сучасна тенденція кастомізації призводить до того, що компанії змушені все більше адаптувати продукцію до вимог споживача, задовольняти диференційовані запити конкретних клієнтів. Повною мірою це можливо за рахунок одиничного виробництва або виробництва на замовлення. При масовій кастомізації технологічна база або основа товарів створюється на масовому виробництві, а потім модифікується під вимоги кожного конкретного клієнта.

Існує багато способів кастомізації об'єктів дизайну, можливості сучасної кастомізації багатогранні та різноманітні за технікою свого виконання незалежно від сфер застосування. Предмети персоналізовані за різного роду доповненнями, коректування форми, накладання, зміна деяких конструктивних або декоративних параметрів тощо. Приклади застосування прийомів кастомізації до різноманітних об'єктів надані на рис. 1.

На шляху до розвитку компаній-виробників наявність кастомізованої продукції або послуги стає необхідною. Концепції бізнесу на основі масової кастомізації підштовхують споживачів на створення відчуття, що виріб виготовлений спеціально для нього. В різних сферах застосування принципи кастомізації впроваджують з метою зацікавлення клієнтів, щоб вплинути на їх остаточний вибір. В дизайні одягу масова кастомізація виконується у вигляді: лазерної різки, випалювання, гільйошування, тиснення, рисування, вишивання, гравіювання, комбінування різних матеріалів, за рахунок використання аплікації, печворку, додавання різних ефектів та конструктивно-декоративних елементів тощо.

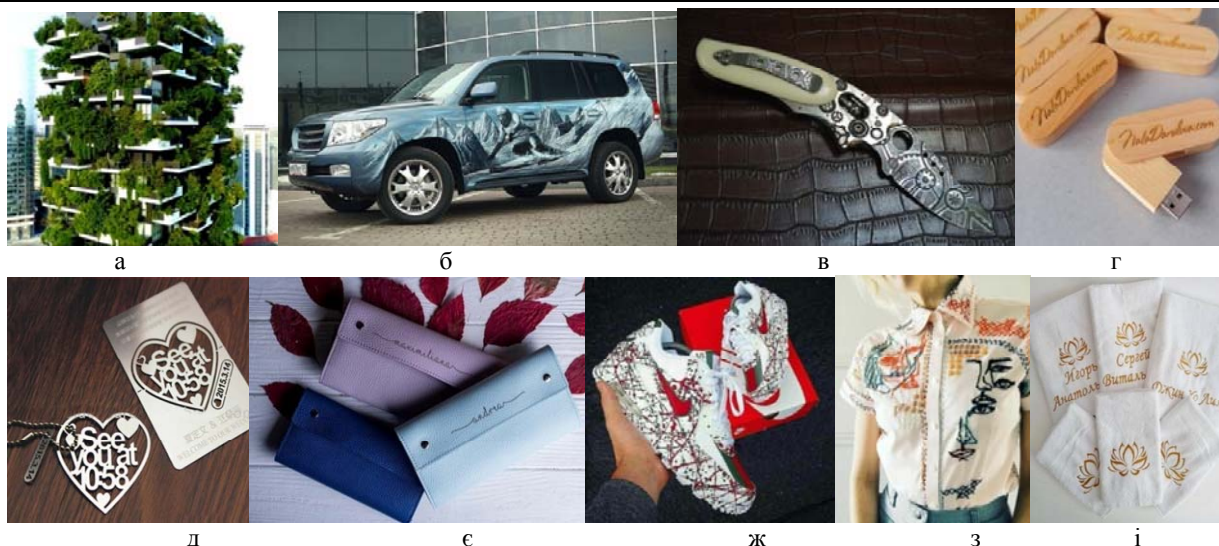


Рис. 1. Застосування прийомів кастомізації до різних об'єктів: а – архітектура; б – транспортні засоби; в – аксесуари; г – дерево; д – метал; е – шкіргалантерея; ж – взуття; з – одяг; і – текстильні вироби

Масова кастомізація систематизується в окремі стратегії з різними принципами створення кастомізованої продукції. Аналіз показав, що можна виділити чотири основні види масової кастомізації: косметична, модульна, експертна, адаптивна. Види кастомізації дизайн-об'єктів та їх характеристика надана на рис. 2.

Косметична кастомізація – це стандартна послуга чи товар із зовнішньою зміною самого товару або пакування на особисте замовлення споживача за масовою стандартною ціною [10]. Наприклад, американська фірма «TreasureKnit» займається виробництвом різних видів ковдр із фотозображенням. Споживачі, замовляючи продукт, надсилають підприємству свої персональні фотографії, малюнки, написи, які хочуть бачити на ковдрі, та протягом двох тижнів замовлення виконується [19]. Такий підхід використовує компанія «Handart», яка спеціалізується на виготовленні і нанесенні власних індивідуальних принтів, рисунків, картин та 3D малюнків на вироби, надані клієнтами [16].

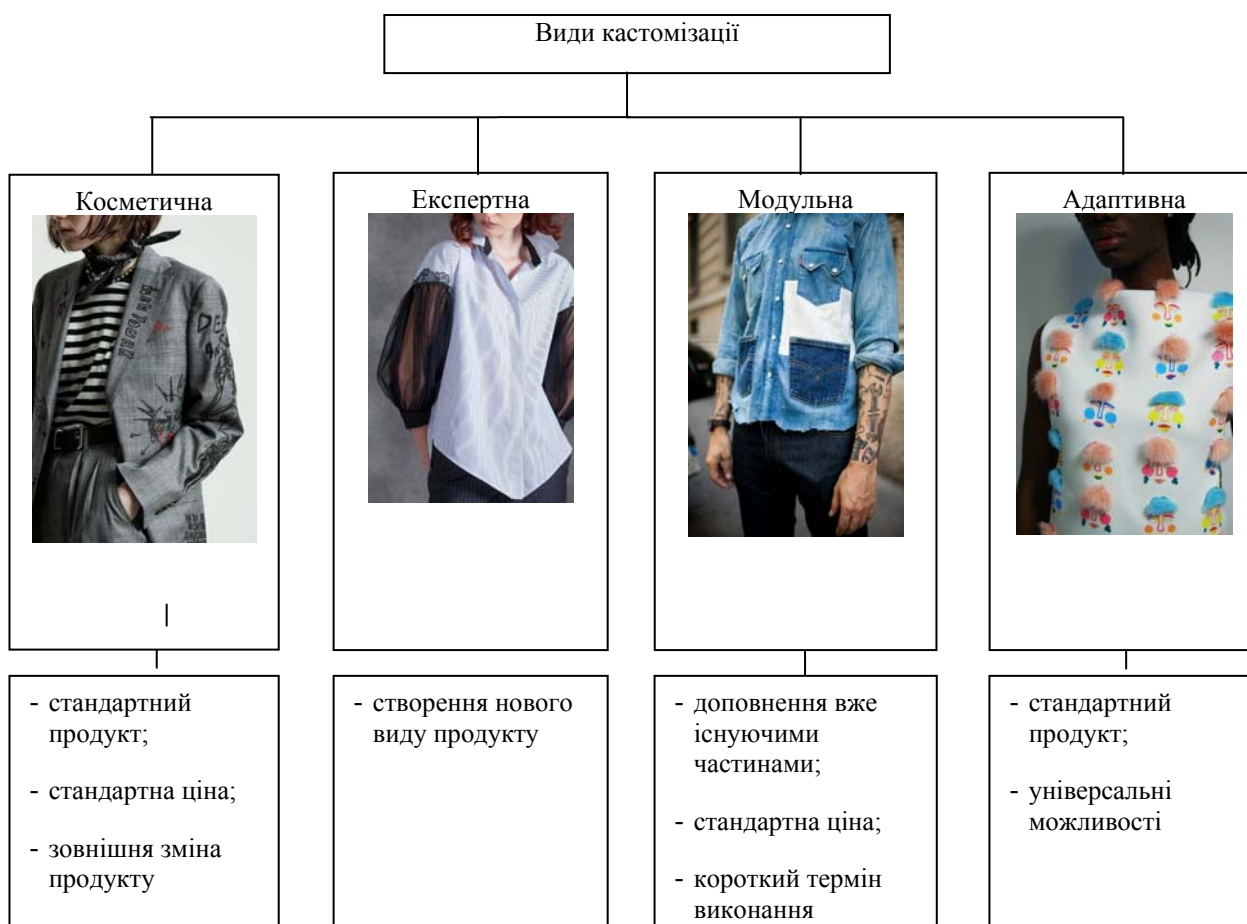


Рис. 2. Види кастомізації дизайн-об'єктів

Експертна кастомізація – це зміна послуги чи товару від його первинного етапу до експлуатації з урахуванням побажань та інтересів споживачів. На даній стратегії витрачається час на дослідження потреб окремого споживача, що є найбільш складним і витратним етапом. Прикладом даної стратегії є японська компанія «ParisMiki», яка виготовляє індивідуальні моделі окулярів. Модель розробляється фахівцями компанії за допомогою Mikissimes Custom Designed Eyewea System – спеціальної комп'ютерної програми, яка аналізує фотографію клієнта і його індивідуальні особливості і створює індивідуальний дизайн окулярів [18]. Такий же принцип кастомізації, але в одязі пропонує інтернет-ательє «Рубашка на заказ», яке спеціалізується на пошитті костюмів і чоловічих сорочок за індивідуальними вимірами. Виріб розробляється за допомогою спеціальної програми, яка при введенні трьох конкретних параметрів розраховує всі параметри одягу автоматично. Крім того, клієнту надається можливість обрати тканину, з якої буде виготовлений виріб, типи ґудзиків, варіанти комірців, методи обробки манжет, а також пропозиція нанесення вишивки, ініціалів тощо [9].

Модульна кастомізація – це створення індивідуального товару шляхом доповнення вже існуючих заготовлених частин [13]. Науковці зазначають, що "...масова індивідуалізація розбиває процес створення продукту на модулі, щоб створювати різні фінальні конфігурації". Наприклад, американська фірма «Build-A-Bear» [14] з виробництва дитячих іграшок пропонує інтерактивно або на місці продажу зробити іграшку. Існує базовий формат кількох десятків різновидів іграшок, окремо представлені елементи за допомогою яких можна створити кінцевий результат індивідуальної іграшки на свій смак, для чого представлено сотні різних наборів костюмів, а також різні аксесуари. Отже, покупцю надається можливість зробити індивідуальну іграшку за звичайною ціною. Модульною стратегією користується американська компанія «Nike», яка спеціалізується на виготовленні спортивного одягу і взуття. Даний бренд надає можливість створити власний дизайн кросівок. Клієнт обирає базову модель і змогу створювати комбінації із запропонованих можливих варіантів матеріалів, функціональних та декоративних елементів, підшви, кольорів, також надається можливість нанесення текстури чи логотипу [11].

Адаптивна кастомізація – це виробництво стандартного продукту з універсальними можливостями, які споживач може налаштовувати під свої власні потреби. Наприклад, за допомогою системи освітлення «Lutron» споживачі мають змогу програмувати різні ефекти, наприклад, для веселих вечірок, романтичних моментів або для тихих вечорів читання. Замість того, щоб постійно коригувати окремі вимикачі світла, поки правильна комбінація знайдена, клієнт може швидко досягти бажаного ефекту за запрограмованих налаштувань [7]. Компанія «Levi's» надає послуги кастомізації, персоналізації і ремонту речей даного бренду за допомогою Levi's Tailor Shop. Споживачу надана можливість створити або переробити будь-яку готову шаблонну модель одягу під себе шляхом вибору металевої або кольорової фурнітури, нашивання нашивок, зміни форми і розмірів деталей, формування потертостей, нанесення рисунків, надписів, додавання інших за структурою і кольором матеріалів тощо [17].

За рахунок одягу люди демонструють свою індивідуальність і неповторність. Проведені дослідження дали можливість розробити колекцію жіночого одягу з використанням модульного принципу масової кастомізації, який полягає в можливості зміни декоративних елементів одягу шляхом зняття деталей, на яку вони кріпилися (рис. 3).



Рис. 3. Ескізи колекції «Спокій кольору»

Колекцію розроблено для жінок молодшої вікової групи, що проживають у великому місті,

займаються творчою діяльністю, відвідують світські заходи і за допомогою виробів доповнюють свою індивідуальність. Проектна розробка комплектів жіночого одягу святкового призначення витримана в романтичному стилі. Моделі за допомогою підібраних матеріалів створюють уяву легкості, тендітності. Оздоблення квітами використано на ділянках манжет блузок, на горловинах суконь, пілочках тунік і полотнищах спідниць. Розроблена колекція містить п'ять образів, які складаються з двох штанів, двох спідниць, двох блузок, однієї туніки і двох суконь.

Перший комплект складається з туніки прямого силуету з рукавами вшивного покрою. Модель кастомізована за рахунок елементів, які розташовані на пілочці та полотнищах спідниці. До другого комплекту належить блузка прямого силуету та штани, об'єкт кастомізації розташовано на пілочці блузки. Третя модель – сукня напівприлеглого силуету, відрізна по лінії талії, кастомізована у V-образному вирізі горловини. Четвертий комплект кастомізовано оздобленням на манжетах блузки. П'ята модель – сукня O-подібного силуету з нижньою спідницею-сонце кастомізована на пілочці.

Основною технікою створення елементів кастомізації (квітів) є вирізання різного розміру клаптиків шифону, обпалювання їх країв для закріплення, формування форми квітів шляхом накладання елементів тканини один на інший, фіксування і закріплення на сітчасту тканину. Таким же способом оброблено декоративну капронову стрічку з подальшим скручуванням її у формі руликів з подальшим закріпленням.

Вироби є прикладами застосування модульної стратегії масової кастомізації. Такі елементи можливо підлаштувати під смак споживача оформлюючи модель одягу у різноманітних варіаціях кольорових співвідношень, форм, елементів, технік і способів виготовлення. Колекція «Спокій кольору» представлена в півфіналі міжнародного конкурсу молодих модельєрів-дизайнерів «Печерські каштани» у 2018 році (м. Київ, КНУТД).

Висновки

Наведено приклади принципів масової кастомізації за технікою виконання до різноманітних об'єктів. Визначено, що кастомізацію поділяють на окремі стратегії: косметична, експертна, модульна і адаптивна. Встановлено способи кастомізації одягу і текстильних виробів, які виконуються у вигляді лазерної різки, випалювання, гільйонування, тиснення, рисування, вишивання, гравіювання, комбінування різних матеріалів, використання аплікації, печворку, додавання різних ефектів та конструктивно-декоративних елементів. Надано систематизацію типів масової кастомізації. Розроблено ескізи та виготовлено колекцію жіночого одягу, побудовану на принципі модульної масової кастомізації. При дизайн-проектуванні творчої колекції враховано потреби споживачів у прагненні виокремитися з поміж інших, персоналізувати річ під споживача, не залежно від факторів, що можуть вплинути на можливість придбання кастомізованого асортименту.

Література

1. Гліненко Л. К. Стратегії кастомізації як інструмент стійкого розвитку бізнесу / Л. К. Гліненко. – Т. : Економіка, 2008. – 113 с.
2. Девіс С. М. Досконале майбутнє / С. М. Девіс. – К. : Аддісон-Уеслі, 1997. – 272 с.
3. Забродин А. Ю. Интеллектуальные услуги в бизнесе : зб. наук. раб. / А. Ю. Забродин. – М. : Экономика, 2008. – 640 с.
4. Кастомізація як напрям підвищення ефективності маркетингової діяльності підприємства [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://global-national.in.ua/archive/11-2016/116.pdf>
5. Массовая кастомизация [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://lib.sale/besplatno_menedjment/massovaya-kastomizatsiya.html
6. Омеляненко Т. В. Нова виробничо-ринкова реальність: масове виробництво на замовлення : зб. наук. пр. / Т. В. Омеляненко. – К. : КНЕУ, 2004. – 113 с.
7. Освітлення будинків від Lutron [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.proelectro.info/ru/content/detail/3556>
8. Пайн Б. Д. Масова кастомізація. Нова межа в діловій конкуренції / Б. Д. Пайн. – К. : Менеджмент, 1992. – 324 с.
9. Пашкевич К.Л. Розробка проекту Інтернет-ательє з виготовлення чоловічого одягу за індивідуальним замовленням [Електронний ресурс] / К.Л. Пашкевич, Ю.І. Бузовська // Технології і дизайн – 2013. – № 2(7). – Режим доступу : http://archive.nbuv.gov.ua/e-journals/td/2013_2/index.html
10. Стратегії масової кастомізації. Сутність, види, переваги і недоліки [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/11174/1/28.pdf>
11. Товари Nike з власним дизайном [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://store.nike.com/ru/ru_ru/product/nike-air-max-95-id-winter578701515
12. Фальцман В.К. Интенсивный курс МВА : навч. посібник / В. К. Фальцман, Е. Н. Крилатих. – К. : Інфра-М, 2011. – 544 с.
13. Чухрай Н. І. Логістичні прийоми забезпечення індивідуалізації товарів в ланцюгу поставок : зб. наук. пр. / Н. І. Чухрай. – Ч. : ЛДТУ, 2008. – 325 с.
14. Build-A-Bear Workshop [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.buildabear.com>
15. Chuprina N.V. Substantiation of the fashion system as the concept of fashion conduct in modern

- consumer society / N.V. Chuprina, M.V. Kolosnichenko // Art and design. – 2018. – № 3. – P. 9–20.
16. Handart – студія кастомізації [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://vk.com/handartstudio&usg=AOvVaw02uCG4QmxqDLrhWz_nJ_w8
17. Levi's Tailor Shop [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.facebook.com/events/535861319894903>
18. Paris Miki Company [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.paris-miki.com.au>
19. Treasure knit linen [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.treasureknit.com>

References

1. Hlinenko L. K. Stratehii kastomizatsii yak instrument stiikoho rozvytku biznesu / L. K. Hlinenko. – Т. : Ekonomika, 2008. – 113 s.
2. Devis S. M. Doskonale maibutnie / S. M. Devis. – К. : Addison-Uesli, 1997. – 272 s.
3. Zabrodyn A. Yu. Yntellektualnye usluhy v byznese : zb. nauk. rab. / A. Yu. Zabrodyn. – М. : Ekonomika, 2008. – 640 s.
4. Kastomizatsiia yak napriam pidvyshchennia efektyvnosti marketynhovoї diialnosti pidpriemstva [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://global-national.in.ua/archive/11-2016/116.pdf>
5. Massovaia kastomizatsiia [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : http://lib.sale/besplatno_menedjment/massovaya-kastomizatsiya.html
6. Omelianenko T. V. Nova vyrobnycho-rynкова realnist: masove vyrobnytstvo na zamovlennia : zb. nauk. pr. / T. V. Omelianenko. – К. : KNEU, 2004. – 113 s.
7. Osvitlennia budynkiv vid Lutron [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.proelectro.info/ru/content/detail/3556>
8. Pain B. D. Masova kastomizatsiia. Nova mezha v dilovii konkurentsii / B. D. Pain. – К. : Menedzhment, 1992. – 324 s.
9. Pashkevych K.L. Rozrobka proektu Internet-atelie z vyhotovlennia cholovichoho odiahu za indyvidualnym zamovlenniam [Elektronnyi resurs] / K.L. Pashkevych, Yu.I. Buzovska // Tekhnologii i dyzain – 2013. – № 2(7). – Rezhym dostupu : http://archive.nbuv.gov.ua/e-journals/td/2013_2/index.html
10. Stratehii masovoi kastomizatsii. Sutnist, vydy, perevahy i nedoliky [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/11174/1/28.pdf>
11. Tovary Nike z vlasnym dyzainom [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://store.nike.com/ru/ru/product/nike-air-max-95-id-winter578701515>
12. Faltsman V.K. Intensyvnyi kurs MVA : navch. posibnyk / V. K. Faltsman, E. N. Krylatykh. – К. : Infra-M, 2011. – 544 s.
13. Chukhrai N. I. Lohistychni priiomy zabezpechennia indyvidualizatsii tovariv v lantsiuhu postavok : zb. nauk. pr. / N. I. Chukhrai. – Ch. : LDTU, 2008. – 325 s.
14. Build-A-Bear Workshop [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.buildabear.com>
15. Chuprina N.V. Substantiation of the fashion system as the concept of fashion conduct in modern consumer society / N.V. Chuprina, M.V. Kolosnichenko // Art and design. – 2018. – № 3. – P. 9–20.
16. Handart – studiya kastomizatsii [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : https://vk.com/handartstudio&usg=AOvVaw02uCG4QmxqDLrhWz_nJ_w8
17. Levis Tailor Shop [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.facebook.com/events/535861319894903>
18. Paris Miki Company [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.paris-miki.com.au>
19. Treasure knit linen [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.treasureknit.com>

Рецензія/Peer review : 11.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 18.12.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Кизимчук О.П.

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ СВЯТКОВОГО ОДЯГУ ДЛЯ ДІВЧАТ

Розглянуто сучасні тенденції дитячої моди сезону 2018-2019, виявлено найтиповіші силуети для дитячих святкових суконь. Систематизовано різновиди дитячих святкових суконь, запропоновано рекомендації щодо розміщення декоративних елементів на виробі залежно від видів оздоблення. Виконано аналітичні дослідження історичного розвитку дитячого святкового одягу і визначено найбільш характерні ознаки формоутворення сучасного дитячого святкового одягу для дівчат дошкільної групи в індустрії моди. На основі проведеного аналізу модних тенденцій було систематизовано стилістичні різновиди дитячих святкових суконь для дівчат дошкільної групи (4–6 років).

Ключові слова. дитячий святковий одяг, оздоблення, стилі одягу, декоративні елементи, конструктивне рішення, дівчата дошкільної групи.

TETIANA STRUMINSKA, TETIANA PASHKOVSKA, KATERYNA KABANEC

Kyiv National University of Technologies and Design

FEATURES DESIGNING OF FESTIVE GIRLS CLOTHES

Designing children's holiday clothes for young girls that meets all modern requirements is based on emotional and physiological development of children, standards of art development and ergonomics. High quality clothing for children is impossible without a rational selection of materials and decor to create a children's holiday dress. The paper presents the study and determination of peculiarities of children's clothing design for holidays. The historical influence on the design and decoration of children's holiday dresses is analysed. Based on the analysis of fashion trends, stylistic varieties of children's dresses for girls aged 4-6 were systematized. The requirements are most important for the design of children's holiday dresses. In the design of children's festive clothing, great attention is paid to decorative decoration. The type of decoration, its quantity, themes and methods of technological execution are different depending on the child's age. Recommendations for placement of decorative elements depending on the types of decoration are developed. Comparative and structural-analytical methods, method of morphological analysis are used. The analytical researches of historical development of children's festive clothes are executed and the most characteristic signs of formation of modern children's festive clothes for girls aged 4-6, in the fashion industry are determined. The presented research results consist in the possibility of using the received recommendations regarding the placement of decorative elements depending on the types of decoration when designing and manufacturing children's holiday clothes for girls 4-6 years.

Keywords: children's holiday clothes, decoration, clothing styles, decorative elements, recommendations for the placement of decorative elements, constructive decision.

Постановка проблеми

Проектування дитячого святкового одягу для дівчат дошкільної групи (4–6 років), який відповідає всім сучасним вимогам, здійснюється з урахуванням ергономіки, емоційного і фізіологічного розвитку дітей. Неможливо розробити дитячий святковий одяг високої якості без раціонального підбору матеріалів, декоративних елементів та оздоблення. Яскравість та святковість надають костюму декорування, різноманітні деталі, якісна фурнітура, оздоблення. Для визначення особливості проектування дитячого святкового одягу необхідно здійснити аналіз сучасних тенденцій дитячої моди, систематизувати різновиди дитячих святкових суконь, визначити особливості проектування святкового одягу для дівчат дошкільного віку та розробити рекомендації розміщення декоративних елементів в залежності від виду оздоблення.

Аналіз останніх джерел

Теоретичною основою для дослідження стали наукові праці фахівців з проектування та оздоблення дитячого одягу. У загальнотеоретичному аспекті художнє проектування дитячого одягу висвітлюється в працях Козлової Є.В., Кондратенкової Л.Ф., Безкоровайної Г.П., Баландинової Е.А., формоутворення і колористика виробів розглядається в працях Осауленко Т.В., Кернеш В.П.

Метою роботи є дослідження сучасних стилів, силуетів, оздоблення та визначення особливості проектування та підвищення якості дитячого святкового одягу.

Виклад основного матеріалу

Історія розвитку дитячого одягу з'явилася тільки 200 років тому. Протягом тисячоліть дитячий костюм був зменшеною копією дорослого, лише з XVIII – XIX ст. почала формуватися дитяча мода. На початку XIX ст. з'явився розподіл в кольоровій гамі, дівчат вдягали в рожевий, а хлопчиків в блакитний одяг. Тільки в другій половині XIX ст. дитяча мода перестала копіювати дорослу, дівчат почали вдягати в легкі сукні без корсета. Мода початку XX ст. звільнила батьків та дітей від «загальноприйнятих норм» носіння одягу. В цей період з'являються прості короткі сукні із заниженою талією. Але більш суттєва зміна в дитячій моді почалась після Другої світової війни – стиль дитячих суконь стає різноманітним та сміливим, з'являються цілі індустрії дитячої моди, які займаються підбором тканини [3].

В XXI столітті модні віяння в проектуванні дитячого одягу зазнали значних змін. Одяг стає дуже яскравим і різноплановим, актуальності набуває одяг зі значною кількістю декоративних елементів та різноманітним оздобленням. У сучасному суспільстві батьки більш ретельно стежать за модними тенденціями не тільки в дорослому одязі, але і в дитячому. Окремо розробляються дитячі сукні для

святкових заходів.

Головними трендами у сезоні 2018-2019 році є: багатшаровість в сукні, асиметричний крій, використання баски, волани, рюші, аплікації, вишивка, стрази, пастки, мереживо, брошки, стрічка-пояс, печворк. Серед принтів актуальними стали флористичні мотиви, графічні орнаменти, зображення тварин, смужка [8].

Для аналізу сучасних модних тенденцій було обрано провідні світові бренди як дорослого, так і дитячого одягу: David Charles, Dolce&Gabbana, Dorian HO, в яких були виявлені найтипівіші силуети для дитячих святкових суконь дошкільної групи (4–6 років) – це овал, прямокутник, трапеція, які використовують дизайнери у своїх колекціях та визначені типові силуети дитячих святкових суконь – це сонце, футляр, сарафан, балон [8–12]. Актуальними та найбільш поширеними є стилі дитячих святкових суконь – ретро, етнічний стиль, принцеса, русалка і фея, з характерними силуетами, конструктивними рішеннями, видами оздоблень (рис. 1) [4].



Рис. 1. Основні стилі дитячих суконь: а – ретро; б – етнічний; в – принцеса; г – русалка; д – фея

На основі проведеного аналізу модних тенденцій дитячих святкових суконь для дівчат 4–6 років було систематизовано їх різновиди за ступенем оздоблення, за сезоном, за конструкцією, за силуетом та за призначенням. За ступенем оздоблення поділяється на: часткове оздоблення (ліф, спідниця, горловина, пояс, комбіноване) та без оздоблення; за сезоном: зимовий, демісезонний, літній; за конструкцією: сарафан, футляр, сонце, балон; за силуетом: трапеція, прямокутник, овал; за стилем: ретро, етнічний, принцеса, русалка, фея; за призначенням: для фотосесії, для виступу на сцені, для виступу в дитячому садку, для святкування дня народження, інші заходи (рис. 2).

Проектуючи дитячий святковий одяг для дівчат дошкільної групи, важливу увагу надають конструктивному рішенню. Найчастіше в колекціях сучасних брендів сезону 2018-2019 зустрічаються сукні з рукавом: крильце, волан, ліхтарик або звичайним прямим рукавом. Характерні види комірців в дитячих святкових сукнях – це плосколежачий, комір «стояк» або без комірка. Так, як в дітей дошкільного віку, талія ще не виражена, то в сукнях зазвичай лінію талії роблять завищеною, заниженою або намагаються зробити природною як в дорослої людини [7].

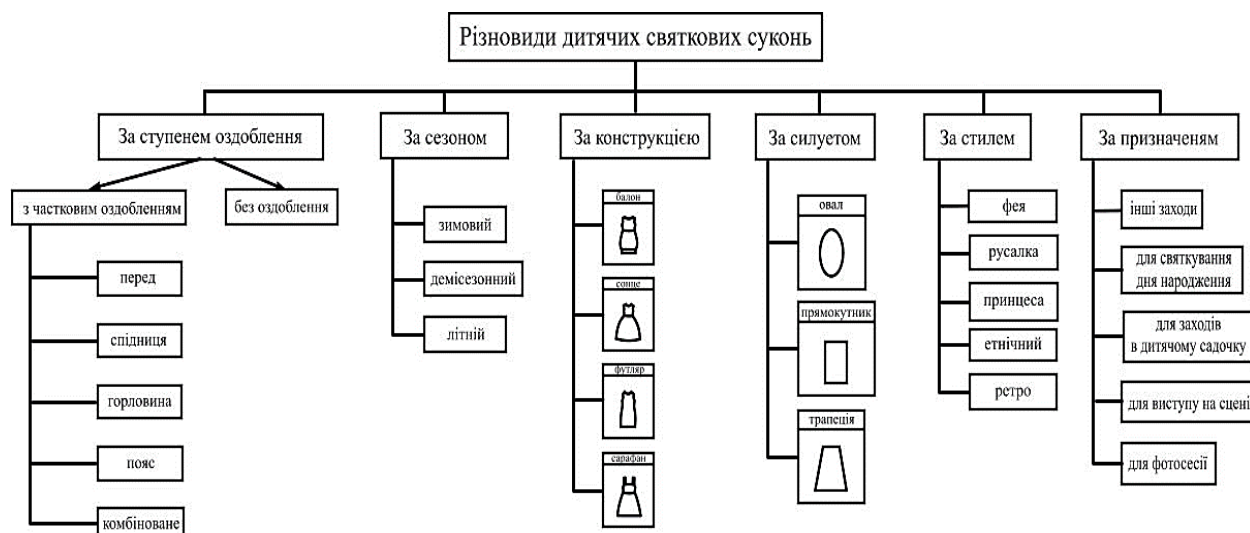


Рис. 2. Класифікація дитячих святкових суконь

Для різних вікових груп існують різні вимоги до одягу, такі як споживчі та виробничі. Вимоги до

дитячого святкового одягу дошкільної групи безперечно важливі, але не настільки значимі як ергономічні та естетичні, які необхідні для проектування. Ергономічні вимоги поділяються на : антропометричні, гігієнічні, психофізіологічні. Антропометричні вимоги відповідають формі тіла, пропорціям, особливостям будови дитячої фігури, різним віковим групам, характеру виконуваних рухів. Велику увагу слід приділити крою рукавів як найбільш рухливих частин сукні. Пройма повинна бути трохи поглиблена, щоб запобігти натиранням шкіри. Гігієнічні вимоги дитячого святкового одягу забезпечуються застосуванням теплопровідних, гігроскопічних, повітропроникних матеріалів [2]. Теплопровідність дитячого святкового одягу відбувається завдяки повітряному прошарку, який розташований між волокнами тканини. Важливо, щоб шар повітря, який контактує зі шкірою дитини виконував рівномірну вентиляцію, для запобігання захворювання дитини [5].

Психофізіологічні вимоги є не менш важливими для проектування дитячих святкових суконь. Одяг не повинен викликати у дітей негативну реакцію і неприємні симптоми. Негативний вплив на організм і тіло дитини може надавати зайва маса виробу, його товщина, груба обробка швів, колючість тканини та застібки, занадто вузькі бретелі, щільно прилеглий комірець, корсети, резинка, туго стягуюча талію, зап'ястя або щиколотки. Довжина суконь для дошкільного віку не повинна бути занадто великою так, як це може ускладнити рух дитини і спричинити травматичну ситуацію [6].

Головна функція дитячого святкового одягу – це прикрашати образ дитини і створення святкового настрою, можна стверджувати що естетичні вимоги є найважливішими в дитячому святковому одязі для дівчат дошкільної групи. Естетичні вимоги, визначаються досконалістю композиційного і колірного рішення моделі, гармонією, відповідністю частин і цілого, пластичної виразності форми, стилістичної зв'язком з предметним світом, новизною моделі і конструкції [2].

У проектуванні дитячого святкового одягу велика увага надається декоративному оздобленню. Характер обробки, її кількість, тематика і прийоми технологічного виконання різні в залежності від віку дитини. В святкових сукнях найчастіше, в якості оздоблення, застосовують: мереживо, рюші, пастки, вишивку, аплікації, з'ємні комірці, стрічковий пояс. Використовуючи той, чи інший вид оздоблення в дитячих святкових сукнях, необхідно дотримуватися ряду певних вимог: оздоблення повинно бути урівноваженим та доречним, підкреслювати або доповнювати форму; оздоблення повинно бути композиційним центром, привертати до себе увагу та надавати виробу образну виразність; вид оздоблення має відповідати якості матеріалу, з якого виготовлений одяг, наприклад, товста, важка тканина потребує великої рельєфною вишивки, а тонка – витонченої та легкої; оздоблення повинно бути міцно прикріпленим на одязі, щоб дитина не змогла відірвати та покласти її до рота; оздоблення має бути пропорційним відносно цілого виробу. В процесі дослідження дитячих святкових суконь було розроблено рекомендації до розташування декоративних елементів на деталях святкових суконь для певного виду оздоблення (рис. 3).

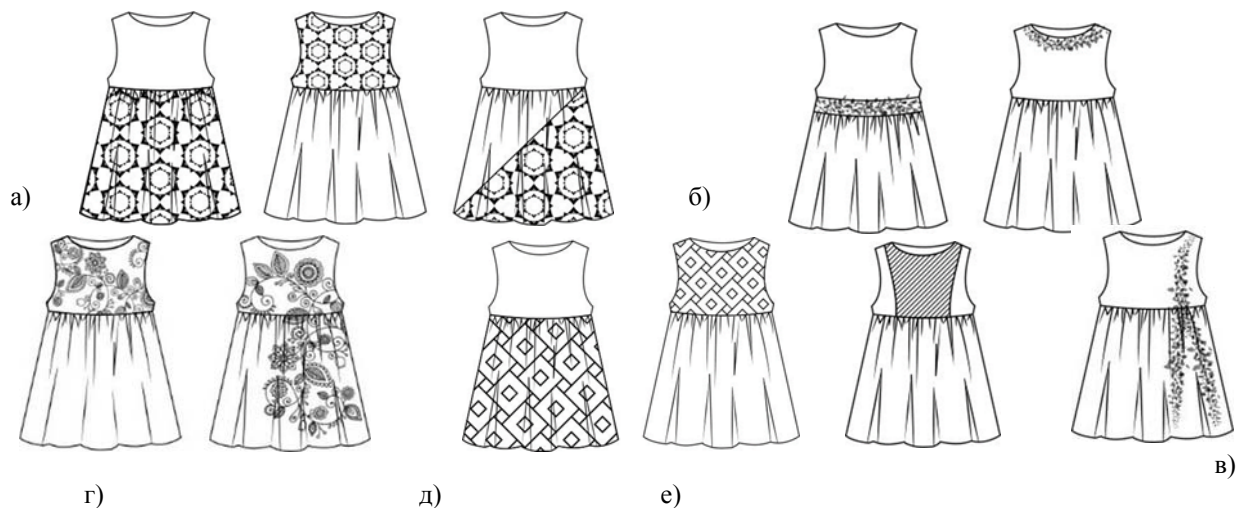


Рис. 3. Основні рекомендації до розташування декоративних елементів залежно від видів оздоблення: а – принти; б – мереживо; в – вишивка; г – печворк ; д – пастки; е – аплікація

Принти рекомендовано розмішувати повністю по всій поверхні або зонально. Мереживо бажано розмішувати або на поясі або по горловині, але не по низу виробу, так як дитина може розірвати мереживо під час певних рухів та дій. Вишивку можна розмішувати окремо по верхній або по нижній частині сукні, чи по всій площині сукні. Для того, щоб унеможливити зорового «перевантаження» дитячого образу, печворк рекомендовано використовувати або по верхній частині, або по нижній частині сукні. Пастки рекомендується пришивати подалі від пройми, щоб дитина не отримала поранень, та не зіпсувала оздоблення своїми рухами. Сучасні тенденції в декоративному оздобленні дитячого одягу пропонують застосовувати аплікацію з верхньої частини сукні, плавно переходячи до нижньої частини сукні або хаотично по всій поверхні сукні.

Висновки

Сучасний дитячий одяг підкорюється своїм законам, не зазнає істотних змін, як це відбувається в одязі для дорослих. В дитячому одязі повинні знаходити відображення провідні тенденції сучасного моделювання одягу, а саме: витончена простота, зручність і доцільність форм і композиції, різноманітність матеріалів і обробок [1]. Визначено, що відповідно до сучасних тенденцій дитячої моди, сукня для дівчинки 4–6 років, повинна бути вільного крою з завищеною лінією талії, завдяки чому буде забезпечуватися вільність рухів, фактура матеріалу та фурнітура, яка торкається поверхні шкіри дитини, не повинна завдавати дискомфорту, оздоблення повинно міцно триматися на виробі. Визначення актуальних силуетів та стилів дитячих святкових суконь та розроблені рекомендації щодо розміщення декоративних елементів на виробках залежно від видів оздоблення дозволяють в подальшому розробляти та виготовляти дитячий святковий одяг для дівчат дошкільного віку.

Література

1. Андросова Э.М. Основы художественного проектирования костюма / Э.М. Андросова. – Челябинск : Медиа – Принт, 2004. – 184 с.
2. Бескоровайна Г.П. Проектирование детской одежды / Г.П. Бескоровайна, С.В. Куринова. – М. : Академия, 2002. – 96 с.
3. Васильев А.А. Детская мода Российской империи / А.А. Васильев. – М. : Альпина нон-фикшн, 2013. – 230 с.
4. Кабанец К.В. Аналіз особливості проектування святкового одягу для дівчат дошкільного віку / К.В. Кабанец, Т.В. Струмінська // Тези доповідей XVII Всеукраїнської наукової конференції молодих учених та студентів [«Наукові розробки молоді на сучасному етапі»], (Київ, 26-27 квітня 2018 р.) / Мін-во освіти і науки України, КНУТД. – К. : КНУТД, 2018. – С. 145–146.
5. Крысова В.А. Гигиена и безопасность одежды : учеб. Пособие / Крысова В.А., Морилова Л.В. – Киров : Изд-во ВятГГУ, 2012. – 137 с.
6. Ларькина Л.В. Разработка технологии проектирования детской одежды с учетом психофизиологического развития ребёнка : дис. ... канд. техн. Наук : 05.19.04 / Л.В. Ларькина – М., 2001. – 272 с.
7. Пашкевич К.Л. Конструювання дитячого одягу : навчальний посібник / К.Л. Пашкевич, Т. М. Баранова. – К. : Профі, 2012. – 320 с.
8. Пашковська Т.А. Естетичні цілі у проектуванні дитячого образу майбутніми дизайнерами / Т.А. Пашковська, Ю. С. Кукош // Легка промисловість. – 2016. – № 3. – С. 28–30.
9. Офіційний сайт інтернет видання Kid's wear [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.kidswear-magazine.com/kids-collection/season/ss-2018/> (дата звернення 15.08.2018).
10. Офіційний сайт будинку мод Dolce&Gabbana [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.dolcegabbana.com/child/> (дата звернення 15.08.2018).
11. Офіційний сайн будинку мод Dorian HO [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.dorianho.net/#/kids> (дата звернення 15.08.2018).
12. Офіційний сайт будинку мод David Charles [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://davidcharleschildrenswear.com/> (дата звернення 15.08.2018).

References

1. Androsova E.M. Osnovy khudozhestvennogo proektirovaniia kostiuma / E.M. Androsova. – Cheliabinsk : Media – Print, 2004. – 184 s.
2. Beskorovainaia G.P. Proektirovanie detskoi odezhdy / G.P. Beskorovainaia, S.V. Kurenova. – M. : Akademiia, 2002. – 96 s.
3. Vasilev A.A. Detskaia moda Rossiiskoi imperii / A.A. Vasilev. – M. : Alpina non-fikshn, 2013. – 230 s.
4. Kabanets K.V. Analiz osoblyvosti proektuvannia sviatkovoho odiahu dla divchat doshkilnoho viku / K.V. Kabanets, T.V. Struminska // Tezy dopovidei XVII Vseukrainskoi naukovoï konferentsii molodykh uchenykh ta studentiv [«Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi»], (Kyiv, 26-27 kvitnia 2018 r.) / Min-vo osvity i nauky Ukrainy, KNUTD. – K. : KNUTD, 2018. – S. 145–146.
5. Krysova V.A. Gigiena i bezopasnost odezhdy : ucheb. Posobie / Krysova V.A., Morilova L.V. – Kirov : Izd-vo ViatGGU, 2012. – 137 s.
6. Larkina L.V. Razrabotka tekhnologii proektirovaniia detskoi odezhdy s uchetoм psikhofiziologicheskogo razvitiia rebenka : dis. ... kand. tekhn. Nauk : 05.19.04 / L.V. Larkina – M., 2001. – 272 s.
7. Pashkevych K.L. Konstruiuvannia dytiachoho odiahu : navchalnyi posibnyk / K.L. Pashkevych, T. M. Baranova. – K. : Profi, 2012. – 320 s.
8. Pashkovska T.A. Estetychni tsili u proektuvanni dytiachoho obrazu maibutnimy dyzaineramy / T.A. Pashkovska, Yu. S. Kukosh // Lehka promyslovist. – 2016. – № 3. – С. 28–30.
9. Ofitsiyni sait internet vydannia Kids wear [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.kidswear-magazine.com/kids-collection/season/ss-2018/> (data zvernennia 15.08.2018).
10. Ofitsiyni sait budynku mod Dolce&Gabbana [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.dolcegabbana.com/child/> (data zvernennia 15.08.2018).
11. Ofitsiyni sain budynku mod Dorian HO [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.dorianho.net/#/kids> (data zvernennia 15.08.2018).
12. Ofitsiyni sait budynku mod David Charles [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://davidcharleschildrenswear.com/> (data zvernennia 15.08.2018).

Рецензія/Peer review : 18.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 18.12.2018 р.

Рецензент: к.т.н., доц. Чуприна Н.В.

Т.І. ПОПОВА, Н.В. ДЕВ'ЯТКО

Українська інженерно-педагогічна академія

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ СПЕЦОДЯГУ ДЛЯ ПРАЦІВНИКІВ САЛОНІВ КРАСИ

У статті розглянуто стан, проблеми і перспективи розвитку технологічних дисциплін на прикладі проектування швейних виробів. Запропоновані засоби поліпшення учбового процесу шляхом застосування активних методів навчання і поглиблення зв'язку з виробництвом.

Ключові слова: спецодяг, проектування, працівники салонів краси, технологічний процес, комбінезон, майстер манікюру та педикюру, фахівець.

T.I. POPOVA, N.V. DEVIATKO

Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy

FEATURES OF DESIGNING FOR WORKING SALONS OF BEAUTY

The purpose of the article is to determine the components of the uniform of the beauty salon employee, to study the historical aspects of the development of the working clothes, to identify the requirements for working clothes and determine the most important indicators of quality of working clothes and features of its design. In recent years, there was a need for a professional approach to the design and manufacture of special cloths for masters of manicure and pedicure. Most salons require an individual approach to the development and manufacture of sewing products not large batches, taking into account their own interior image, its trade mark, etc. Consequently, there are contradictions between the lack of an individual approach to the design of overalls for beauty salon masters and the need for quality of that meets fashion trends, aesthetic, ergonomic, and technological requirements, which led to the choice of the topic of our study "Features of designing of working cloths for beauty salon workers". The most important indicators of quality of overalls for the beauty salon are (included): indicators of ergonomics, functionality, aesthetics, constructive ones. Then technological and economical features, which have significant influence on choice of working cloths, particularly of the material of the overalls. In the course of the developing of models by designers and technologists of the models of overalls for the purpose of manufacturing, the following indicators were taken into account: constructiveness, technology, efficiency. During the survey, the questionnaire and expert assessment, features and quality indicators are determined. This is important to consider, when designing work clothes for beauty salon workers.

Key words: overalls, designing, beauty salon workers, costume, master of manicure and pedicure.

Постановка проблеми. Працівник салону краси є важкою і в той же час цікавою роботою, яка, зобов'язує володіти професійними знаннями, уміннями та мати певні комунікаційні якості для спілкування з людьми. Моральна стійкість, зібраність, доброзичливість, пунктуальність, працьовитість і терпіння – якості, які щодня допомагають фахівцям будь-якої професії індустрії краси створювати теплу атмосферу на робочому місці.

Важливість професії полягає, по-перше, в наданні якісних послуг та отриманні гарного результату виконаної роботи, а по-друге – в тому, що клієнт певного салону краси довіряє майстру власну зовнішність та здоров'я.

Робота працівника салону краси пов'язана з постійною динамікою, зміною пози статури і в такому ритмі працівник повинен відпрацювати вісім і більше годин. Отже, вкрай цінно, щоб майстер, зокрема манікюру та педикюру, відчував себе комфортно, охайно в спецодязі під час роботи. Саме тому важливо правильно підбирати спецодяг, який повинен відповідати всім нормам і вимогам, бути технологічним, естетичним, а найголовніше бути зручним і комфортним.

Аналіз останніх досліджень. Проектуванням спеціального одягу займалися Кокеткін П.П., Чубарова З.С., Афанасьєва Р.Ф., особливості виготовлення спеціального одягу розглядали Амірова Е.К., Сакуліна О.В. та ін. Однак питання щодо проектування спецодягу для працівників саме салонів краси у сучасних умовах не були вивчені і досліджені.

Протягом останніх років виникла потреба у професійному підході до проектування та виготовлення спеціального одягу для майстрів манікюру та педикюру. Більшість салонів потребують індивідуального підходу до розробки і виготовлення швейних виробів не великими серіями, з урахування власного іміджу салону, його торгового знаку та ін. Отже, існують протиріччя між відсутністю індивідуального підходу до проектування спецодягу для працівників салонів краси та необхідністю виготовлення якісного одягу, який би відповідав тенденціям моди, естетичним, ергономічним, технологічним вимогам, що зумовило вибір теми нашого дослідження «Особливості проектування спецодягу для працівників салонів краси».

Мета дослідження – визначити складові костюму працівника салону краси, вивчити історичні аспекти розвитку костюму, виявити вимоги до спеціального одягу і визначити найбільш важливі показники якості спецодягу та особливості його проектування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Проектування сучасного спецодягу передбачає врахування індивідуальності працівника, його захист від забруднень і зовнішніх впливів, зручність для виконання службових обов'язків та створення відповідного комфорту для життєдіяльності організму, що сприяє успішності роботи салону краси в цілому.

Дослідження історичного розвитку та становлення косметологічного спецодягу від простих форм до формування фірмового стилю показало, що одяг для виконання певної роботи виник ще в Давньому Єгипті

у IV–VII ст. н. е., (у вигляді звичайного фартуха, який мав вигляд смужки тканини, яка чергувалась зі шкірою або плетеною лозою) пройшов певний шлях розвитку. На сьогоднішній день спецодяг для працівників салонів має певні складові (брюки, куртка (блузон), халат, фартух, комбінезон, головний убір, рукавички, змінне взуття), що відповідають певним вимогам (гігієнічним, зручності, функціональним, стильним, розробленим з урахуванням модних тенденцій).

В ході проведеного опитування в соціальній мережі «Instagram», в якому взяли участь 60 салонів з 15 різних міст України (рис. 1) встановлено, що спецодяг для всіх майстрів присутній тільки в 12% салонах краси. У 59% опитаних спецодяг носять тільки косметологи, а в 29% салонів передбачені медичні або «марочні» халати для косметологів та майстрів манікюру.

Наявність спецодягу в салонах краси

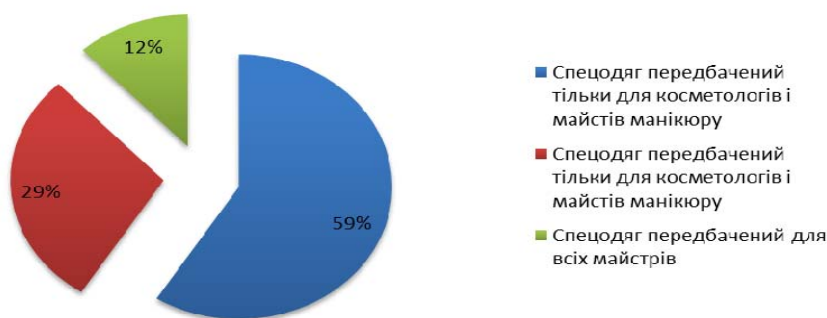


Рис. 1. Наявність спецодягу в салонах краси

Відомо, що при згадці слова «спецодяг» у багатьох працівників салонів краси виникають асоціації з безформеною, одноманітною «уніформою», яка не тільки не виражає індивідуальність співробітника, але і сприяє зниженню його творчого потенціалу і бажання якісно працювати. Однак за цим терміном криється безліч можливостей для самореалізації працівника і успішності салону краси в цілому.

Зараз створенням різних варіантів уніформи займаються багато дизайнерів і модельєрів, а число організацій і компаній, що бажають придбати уніформу для своїх співробітників, постійно зростає. До основних властивостей спецодягу віднесено:

- Захист від забруднень і зовнішніх впливів.
- Практичність. Вона повинна бути зручна для виконання службових обов'язків, не повинна утрудняти рухів.
- Формування почуття причетності. Людина в уніформі відчуває підвищене почуття відповідальності за свою роботу, відчуває себе частиною компанії.

Співробітники в уніформі привертають увагу оточуючих не тільки до себе, але і до своєї компанії. Так, сьогодні існує декілька типів салонів краси, які відрізняються один від одного асортиментом послуг, досвідом персоналу і цінами. Отже, можна відокремити 3 основних варіанти салону краси:

Перший варіант – це салон краси базового рівня. Це звичайна перукарня. Основні послуги тут – це стрижка волосся та їх фарбування. Зазвичай такий салон краси знаходиться близько до потенційних клієнтів, тобто в спальному районі. Персонал в салоні працює зі спеціальною освітою та має достатні навички для виконання роботи.

Другий варіант салону краси – це салон середнього рівня. На відміну від попереднього тут працюють більш професійні майстри, які знають останні тенденції в моді і можуть проконсультувати своїх клієнтів. Прейскурант тут ширше, він включає крім стрижки та фарбування, манікюр, педикюр, масаж і деякі інші послуги.

Третій варіант, найпрестижніший варіант – це салон краси класу "люкс". В ньому працюють найкращі фахівці, на чолі яких зазвичай стоїть відомий в місті або навіть в країні майстер, який має різноманітні грамоти і нагороди за свою професійну діяльність. Відомі майстри можуть проконсультувати клієнта з того чи іншого питання.

У гарному салоні відвідувач має почуватися затишно з найперших кроків. З будь-яким клієнтом важливо встановити психологічний контакт. Одним клієнтом потрібно порадити, що буде їм більше личити, інші самі все заздалегідь знають. Потрібне часто людське вміння вести розмову і переконувати для того, щоб не тільки виконати побажання клієнта, але й показати йому щось нове, тоді він прийде знову та порадить звернутися до вас своїм знайомим.

В статті представлений до розгляду саме спецодяг для майстрів манікюру (фахівець з догляду за нігтями і шкірою на руках). Для здійснення професійної діяльності майстер манікюру повинен володіти певними знаннями (правила виконання манікюрних робіт; санітарії та гігієни; призначення інструментів та особливості їх використання, прийоми користування ними та правила їх зберігання; способи підбору лаків різних видів, кольорів та відтінків; правила обслуговування відвідувачів та принципи професійної етики; способи надання першої медичної допомоги тощо) та вміннями (гігієнічно чистити нігті на пальцях рук;

знімати лак, гель-лак; обпилювати нігті для надання їм потрібної форми, покривати їх лаком, гель-лаком; підбирати лаки різних видів кольорів та відтінків; підготувати робоче місце до роботи, утримувати його в порядку; правильно користуватися приладами, інструментами, апаратурою; виконувати різні види манікюру, фарбування, нейл-дизайну; дезінфікувати інструменти; дотримуватись правил техніки безпеки).

В ході дослідження встановлено, що асортимент тканин, що відповідає всім необхідним вимогам спецодежды високої якості, постійно поповнюється новими розробками. При виготовленні одягу для майстрів салонного бізнесу доцільно застосовувати високоякісні матеріали з використанням еластичних волокон, завдяки чому одяг комфортний у використанні і не сковує рухів. При виборі тканини для спецодежды враховують наступні характеристики:

- водовідштовхувальність (тканини повинні бути оброблені спеціальними відразливими просоченнями);
- стійкість до фарби, окиснювачів, ацетону;
- повітропроникність (здатність тканини пропускати повітря, тобто людина в одязі з такої тканини менше потіє, також така тканина не вбирає запахи);
- безпечність тканини (тканини не повинні завдавати шкоди здоров'ю і відповідати стандартам безпеки);
- зносостійкість (тканини повинні бути стійкі до багаторазового прання при високих температурах, дезінфекції та прасування);
- еластичність і формостійкість (тканина не повинні сильно м'ятися і деформуватися).

Психологами доведено, що колірне виконання одягу впливає на психоемоційний стан як самого майстра, так і клієнта. Кольори здатні викликати певні емоції і формувати відчуття. Важливо пам'ятати, що клієнти салону краси приходять не тільки за певними послугами, а й з метою відволіктися від повсякденних проблем, зняти стрес і розслабитися. Тому і в інтер'єрі салону, і в спецодезії співробітників важлива присутність релаксуючих кольорів, що знижують рівень тривожності. При виборі кольору спецодежды потрібно враховувати загальну колірну гамму салону.

Незважаючи на те, що основна частина халатів і костюмів для фахівців медичних клінік і косметологічних кабінетів залишається як і раніше білою, поряд з ними популярністю користуються «змішані» варіанти: поєднання білого кольору з зеленим, бірюзовим, синім, блакитним, бордовим. Менш затребувана у косметологів, але має місце бути спецодежда м'яких відтінків: бежевого, світло-блакитного, попелястого і ніжнорозового кольору. Для майстрів манікюру також виготовляються також халати і костюми природних кольорів: кремового, коричневого, золотистого, малинового, блакитного, бузкового та зеленого.

Багато дизайнерів із зацікавленістю працюють над удосконаленням спецодежды різних видів: одягу медичних працівників, корпоративного одягу, спеціального одягу працівників сфери послуг і т.д. Правильний спецодяг - зручний, функціональний і в той же час стильний, розроблений з урахуванням модних тенденцій. Такий одяг працівник буде носити із задоволенням. У салонному бізнесі працюють переважно жінки, які хочуть мати гарний вигляд у будь-якій ситуації, в тому числі і на робочому місці, тому сучасні виробники спецодежды розробляють його для майстрів салону з урахуванням не тільки комфорту і практичності, а й естетичності, оригінальності.

Для виявлення особливостей при проектуванні спецодежды для працівників салону краси був обраний метод індивідуального анкетування з наступним порівнянням та обробкою анкет респондентів (в якості яких виступали майстри манікюру та педикюру салонів краси). Для визначення найбільш важливих особливостей (кольору спецодежды; видів оздоблення; кишень; застіжки; довжини рукава; конструкції коміру; способу обробки низу брюк та рукавів) під час проектування спецодежды для працівників салонів краси респондентам пропонувалось в анкеті обрати відповіді найбільш доцільні на їх думку.

В результаті аналізу анкет з відповідями респондентів було з'ясовано, що спецодяг повинен бути чорного кольору (рис. 2) із малюнком або принтом (рис. 3), кишнями у бокових швах (рис. 4), з центральною застіркою на кнопки (рис. 5), мати довгий рукав (рис. 6), з коміром сорочкового типу (рис. 7) та обробкою низу виробу у підгин (рис. 8).



Рис. 2. Діаграма визначення кольору

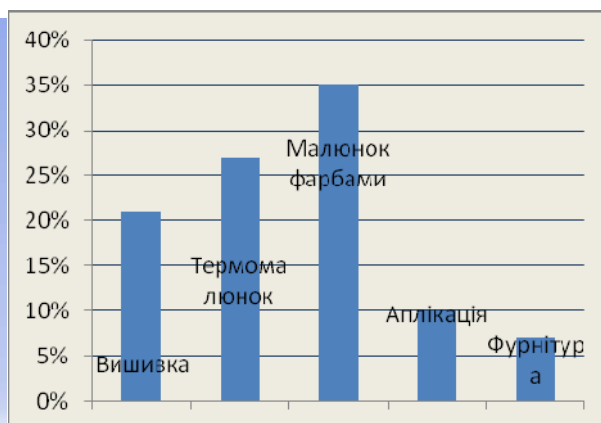


Рис. 3. Діаграма визначення оздоблення

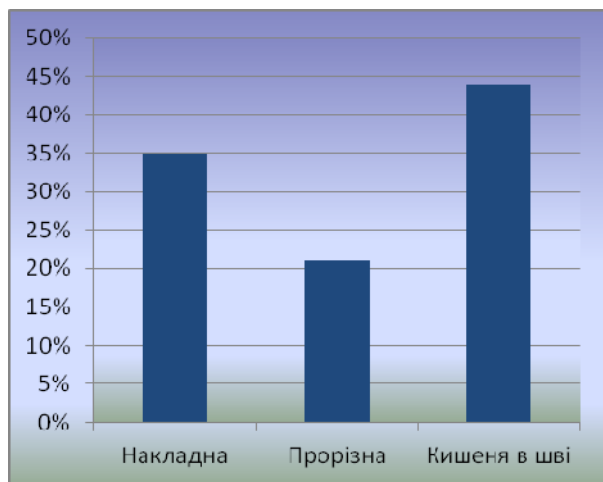


Рис. 4. Діаграма виду кишені для спецодягу

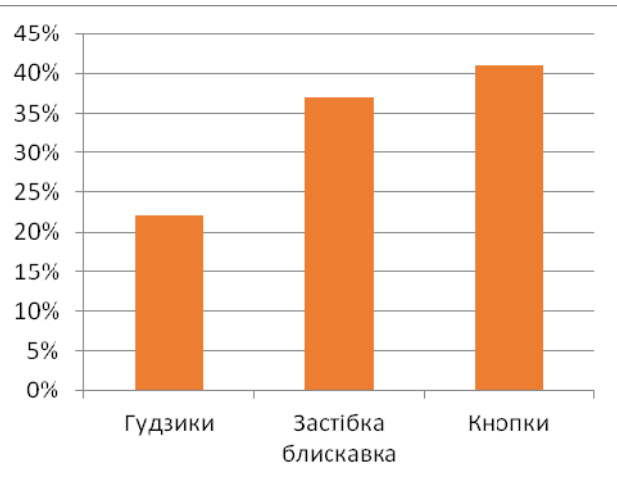


Рис. 5. Діаграма виду застіжки для спецодягу

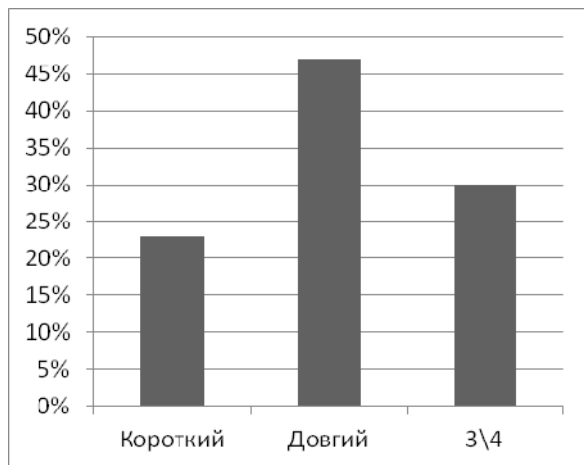


Рис. 6. Діаграма довжини рукава

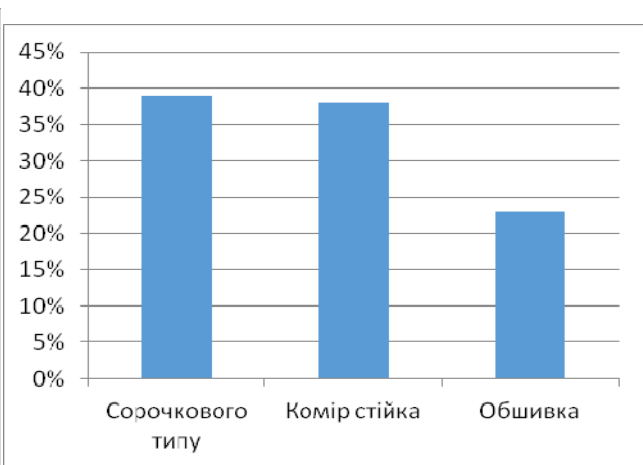


Рис. 7. Діаграма визначення коміра для спецодягу

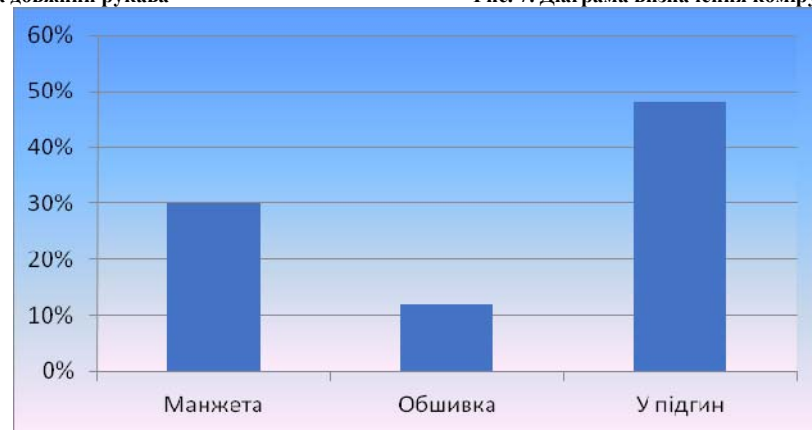
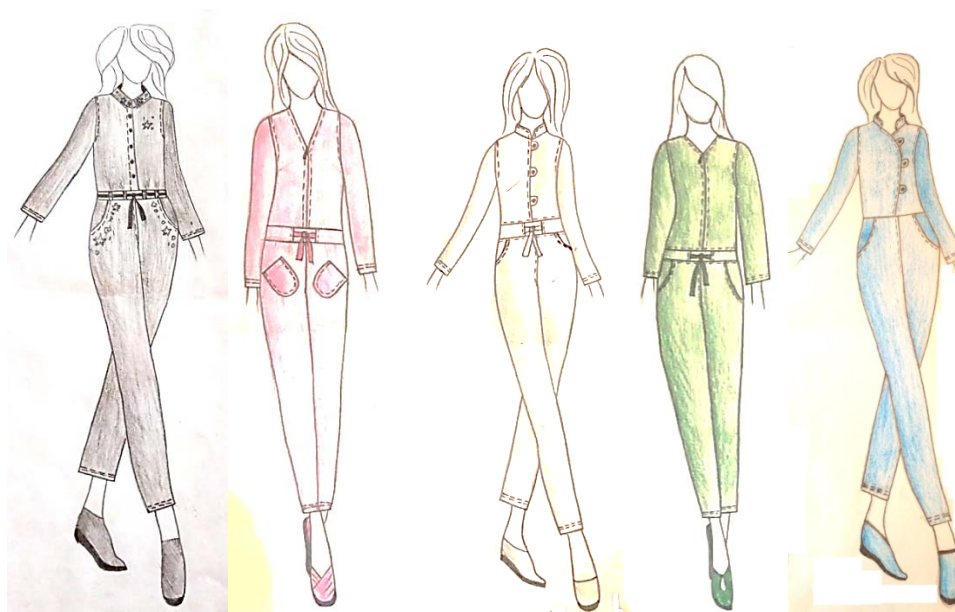


Рис. 8. Діаграма обробки низу брюк та рукавів спецодягу працівників салону краси

В результаті проведеного дослідження, враховуючи бажання респондентів встановлено, що найбільш доцільним одягом для використання під час роботи майстрів манікюру буде комбінезон із бавовняної тканини. На підставі чого розроблено колекцію моделей для спецодягу (рис. 9)

Крім того, встановлено найбільш важливі показники якості спецодягу для працівників салону краси, до яких віднесено показники ергономічності, функціональності, естетичності, конструктивно-технологічності та економічності мають визначний вплив при виборі споживачем виду матеріалу комбінезону. Психологічний показник комфортності являється також одним із основних критеріїв вибору спецодягу. Дані показники були розглянуті експертами, в якості яких виступали викладачі кафедри технології та дизайну Української інженерно-педагогічної академії та викладачів Харківського професійного ліцею швейного виробництва та побуту УІПА. Так, були визначені найбільш важливі показники, які необхідно враховувати під час проектування одягу (показник ергономічності (9.93%) та показник психологічної комфортності спецодягу (9.87%)). В процесі оцінювання конструкторами та технологами даних моделей на предмет виготовлення їх на виробництві були враховані такі показники як: конструктивність, технологічність, економічність. В результаті, на думку, фахівців швейної галузі для виготовлення у виробничих умовах було обрано модель 1, оскільки вона найбільше всього відповідає як

вимогам респондентів, так і показникам якості, що були обрані експертами. Крім того, модель 1 є найбільш доцільною для виготовлення у виробничих умовах, оскільки її техніко-економічні показники найбільш кращі у порівнянні з іншими моделями.



Модель 1

Модель 2

Модель 3

Модель 4

Модель 5

Висновки. Отже, в ході дослідження було розглянуто складові костюму для спецодягу для працівників салонів краси, визначено найбільш важливі вимоги, перелік основних знань і вмінь майстрів манікюру, а також розглянуті види матеріалів, їх властивості та колір, що найбільш доцільно використовувати для виготовлення спецодягу. Крім того, в ході дослідження під час анкетування і експертної оцінки визначено особливості та показники якості, які важливо враховувати під час проектування спецодягу для працівників салонів краси.

Подальшого дослідження потребує розгляд особливостей проектування одягу для перукарів, косметологів та ін. працівників салонів краси.

Література

1. Промышленное проектирование специальной одежды / Кокеткин П.П., Чубарова З.С., Афанасьева Р.Ф. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 184 с.
2. Амирова Е.К. Изготовление специальной и спортивной одежды : учебник для кадров массовых профессий / Амирова Е.К., Сакулина О.В. – М. : Легпромбытизлат, 1985. – 256 с.
3. Інтернет ресурс [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.chercherlafemme.ua/budem-znakomy-modnye-lyudi/>
4. Дипломное проектирование : справочное пособие для выполнения подраздела «Выбор материала». – Харьков : Украинская инженерно-педагогическая академия, 2003. – 66 с.
5. Elkotex. Требования к ткани для медицинской одежды [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.elkotex.ru/ru/stati/124-trebovaniya-k-tkani-dlya-meditsinskoj-odezhdy.html>.

References

1. Promyshlennoe proektirovanie special'noj odezhdy / Koketkin P.P., Chubarova Z.S., Afanas'eva R.F. – M. : Legkaja i pishhevaja promyshlennost', 1982. – 184 s.
2. Amirova E.K. Izgotovlenie special'noj i sportivnoj odezhdy : uchebnik dlja kadrov massovyh professij / Amirova E.K., Sakulina O.V. – M. : Legprombytizlat, 1985. – 256 s.
3. Internet resurs [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <http://www.chercherlafemme.ua/budem-znakomy-modnye-lyudi/>
4. Diplomnoe proektirovanie : spravocnoe posobie dlja vypolnenija podrazdela «Vybor materiala». – Har'kov : Ukrainskaja inzhenerno-pedagogicheskaja akademija, 2003. – 66 s.
5. Elkotex. Trebovaniya k tkani dlja medicinskoj odezhdy [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <http://www.elkotex.ru/ru/stati/124-trebovaniya-k-tkani-dlya-meditsinskoj-odezhdy.html>.

Рецензія/Peer review : 4.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 18.12.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Рябчиков М.Л.

О.С. ВАСИЛЬЄВА, І.О. ГУЙВАН, І.В. ВАСИЛЬЄВА, О.Л. ЯВОРСЬКИЙ

Київський національний університет технологій та дизайну

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ ФОРМЕНОГО ОДЯГУ ДЛЯ ШКОЛЯРІВ НА ОСНОВІ ПРИНЦИПІВ ТРАНСФОРМАЦІЇ

В роботі представлено результати аналізу існуючих зразків шкільної форми та сучасних підходів до дизайн-проектування, визначено типові елементи трансформації дитячого одягу та їх основні функції. Проектування шкільного одягу, що трансформується, вимагає забезпечення багатьох важливих функцій життєдіяльності дитини, так як він створений для динамічного способу життя та різноманітних ситуацій використання, які характеризуються частотою зміною подій. Визначено та класифіковано основні елементи і принципи конструктивної реалізації функцій трансформації дитячого шкільного одягу і гардеробу, що забезпечують створення якісних зразків сучасного одягу для школярів зі збільшеним терміном експлуатації виробів, з підвищеними показниками естетичності, функціональності та ергономічності при одночасному зменшенні витрат під час проектування та експлуатації виробів. Запропоновані класифікації надають можливість для створення інформаційної бази елементів трансформації для подальшого використання, створюючи передумови для її розширення та оновлення, але цього не достатньо. Потрібні дослідження, що визначають основні параметричні дані елементів та їх пропорцій в цілому як конструктивні, так і композиційні особливості для проектування дитячого одягу та шкільної форми для дітей молодшої шкільної вікової групи.

Ключові слова: принципи трансформації, шкільна форма, дитячий шкільний формений одяг, одяг для дітей молодшої шкільної вікової групи, пропорції.

O.S. VASYLIEVA, I.O. GUIVAN, I.V. VASYLIEVA, O.L. YAVORSKYI

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

IMPROVING THE PROCESS OF DESIGNING CLOTHING FOR SCHOOLS ON THE BASIS OF PRINCIPLES OF TRANSFORMATION

The proposed basic elements and principles of constructive implementation of the functions of transformation of children's school clothes and wardrobes provide the creation of high-quality samples of modern clothes for schoolchildren with increased lifetime of products, with increased aesthetic, functional and ergonomic characteristics while reducing costs in the design and operation of products. The design of transformed school clothing requires the provision of many important functions of the child's life, since it is created for a dynamic lifestyle and various situations of use characterized by frequent changes in events. Transformation in children's clothing is considered as an opportunity to transform, change the shape and properties of the product. main elements and principles of the constructive realization of the functions of transformation of children's school clothes and wardrobes are defined and classified. They provide creation of qualitative samples of modern clothes for schoolchildren with extended lifetime of products, with increased indicators of aesthetics, functionality and ergonomics, while simultaneously reducing costs in the design and operation of products. The proposed classifications provide an opportunity to create an information base for transformation elements for future use, creating preconditions for its expansion and upgrade, but this is not enough. The proposed classifications provide the opportunity to create the information base of transformation elements for future use, creating the preconditions for its expansion and updating. Research is needed that determines the basic parametric data of the elements and their proportions in general, both constructive and composite features for the design of children's clothing and school uniforms for children of the junior school age group.

Key words: principles of transformation, school uniform, children's school uniforms, clothes for children of the junior school age group, proportion.

Вступ

Шкільна форма – це звичний та доречний повсякденний одяг для школяра сьогодні. Питання дизайн-проектування дитячого одягу та шкільного форменого одягу досліджували багато вчених. Розвиток прийомів трансформації при проектуванні дитячого одягу досліджувались Гончаровою С.А. [1], внесок у теорію і практику проектування дитячого одягу та шкільної форми зробили такі вчені, як Ніколаєва Т.В. [2], Омельченко Г.В. [3], Пашкевич К.Л. [4], Проданчук І.В. [5] та багато інших. Однак, існуючі на сьогодні результати досліджень не достатньо розкривають дану тему та потребують постійного оновлення у зв'язку зі зміною умов життя, вподобань та вимог споживачів.

На сьогодні вимоги споживача до дитячого одягу, а особливо до шкільного форменого одягу, підвищуються. Це стосується як естетичних, так і ергономічних вимог до даного виду виробів. Також слід пам'ятати, що сенс шкільної форми, як і будь-якого *форменого одягу* (ФО), в єдності і обов'язковості, завдяки чому вона стає уніфікованим одягом для всіх дітей шкільного віку. Враховуючи той факт, що на сьогодні в Україні шкільна форма не є обов'язковою для загальноосвітніх шкіл, все одно більшість споживачів (батьки) надають перевагу даному виду одягу [3–6], особливо для учнів молодших класів. З цього можна зробити висновок про актуальність шкільного форменого одягу на ринку України.

Попередні дослідження показали, що на ряду з вимогами споживачів до комфортності та естетичності шкільної форми, також існує ряд не вирішених питань, пов'язаних з методами дизайн-проектування, які базуються на основних сучасних вимогах до даних виробів, а саме: ергономікою (проблемою швидкого зростання дітей зазначеного віку), естетикою (пропорційні співвідношення та оригінальні рішення) та економічними факторами (можливістю користуватися всім ансамблем або окремими елементами костюму якомога більший період часу).

У дітей молодшої шкільної вікової групи спостерігається інтенсивне зростання кінцівок, через що батькам як дівчаток, так і хлопчиків часто доводиться підганяти довжину виробу або купувати новий одяг. Методи трансформації в дизайні дитячого повсякденного та форменого одягу дозволяють вирішувати ці питання. Принцип трансформації має фундаментальне значення в формоутворенні сучасного предметного світу, в тому числі і одягу, і дає практично невичерпні можливості в напрямі пошуків творчих рішень багатфункціональних форм.

Експериментальна частина

Багатфункціональний та той, що має потенціал до трансформування гардероб – це об'єднаний набір предметів одягу, який мають єдину композиційну цілісність та рухому структуру і форму, що дозволяє їм доповнювати, замінювати один одного або перетворюватися в іншу річ, істотно змінюючи при цьому свої властивості. Для розробки дизайнерських проектних рішень форменого одягу для дітей за принципами трансформації потрібно визначити проектні параметри шкільної форми та зміни у пропорціях фігур дітей. Аналіз результатів антропометричних досліджень дівчаток та хлопчиків молодшої шкільної вікової групи [6, 8, 9] показав, що у період від 6,5 до 11,5 років проходять наступні вікові зміни пропорцій будови тіла: істотно збільшуються зріст, довжина ніг та рук, обхват грудей та ширина спини тощо. Вимірювання Вгол (висота голови) ставиться в пропорції до зросту як 1:6. Тому при проектуванні ФО для дітей молодшої шкільної групи необхідно враховувати зміну саме тих розмірних ознак, що змінюються найбільше. Швейні вироби повинні бути адаптовані до цих змін. Для цього необхідно проектувати такий ФО, в якому дитина не відчувала б дискомфорт, тиск, перешкод в русі, пам'ятаючи, що у дітей продовжується формування м'язів та кровоносної системи тощо. Для ефективного використання принципів трансформації при проектуванні моделей і конструкцій, а також при комплектуванні раціонального гардероба дитячого одягу необхідно систематизувати конструктивні рішення трансформованих елементів конструкцій (види дитячого одягу, додаткові предмети та елементи одягу), типи та види структурних зв'язків в одязі та гардеробі дитини-школяра.

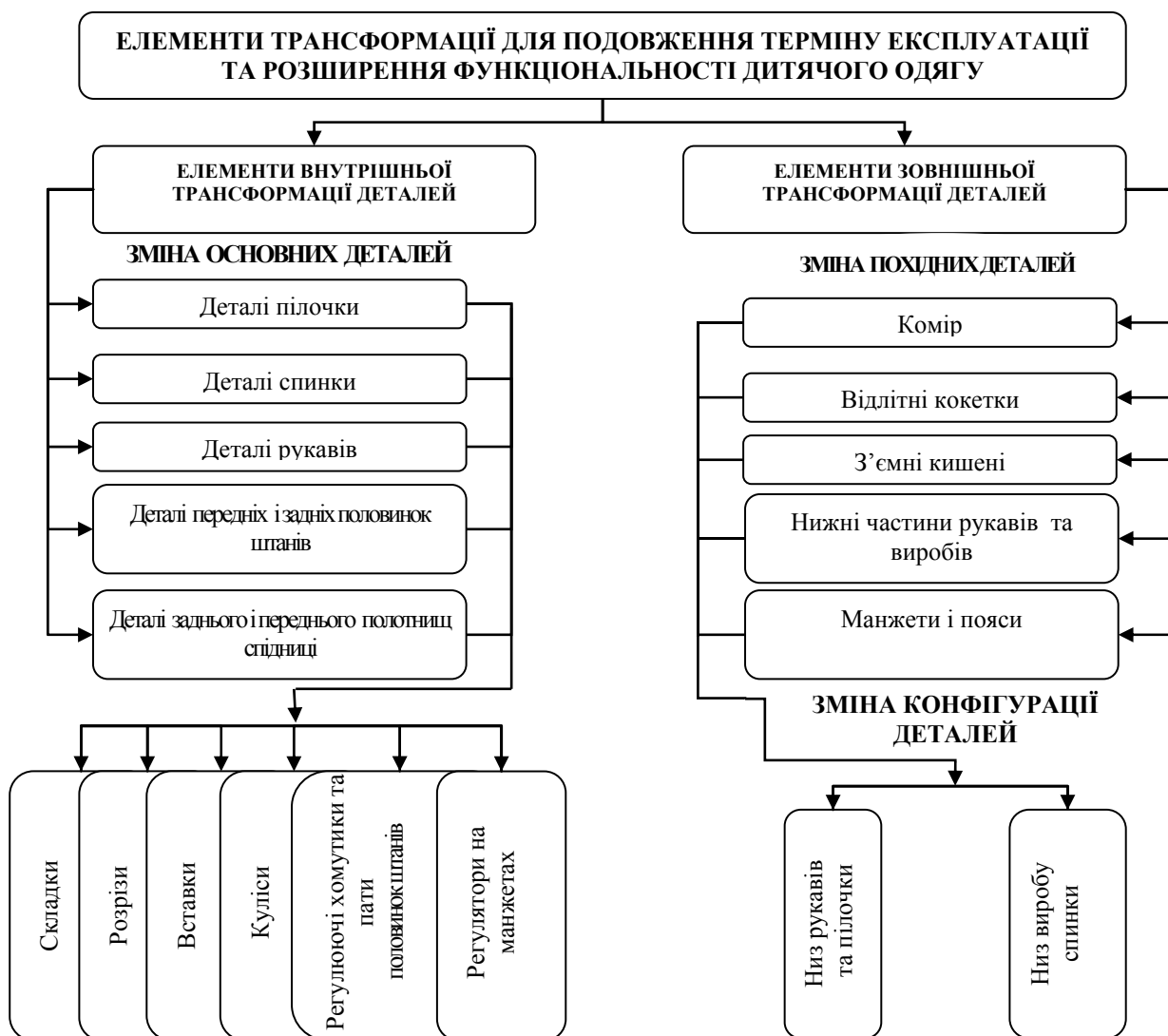


Рис. 1. Класифікація елементів трансформації

Відповідність габаритних параметрів виробу тілу дитини реалізується завдяки різноманітним

конструктивно-технологічним рішенням [4–7]. Метою проектування одягу, що трансформується, є забезпечення багатьох важливих функцій життєдіяльності дитини, так як він створений для динамічного способу життя та різноманітних ситуацій використання, які характеризуються частою зміною подій [5]. Трансформація в дитячому одязі розглядається як можливість перетворення та змінення форми та властивостей виробу.

Це дозволяє повністю видозмінювати модель одягу, надавати їй нових властивостей, змінювати її призначення та функції, подовжувати термін експлуатації. За допомогою знімних деталей та елементів трансформації можна не лише змінювати форму виробу, а й його зовнішній вигляд та призначення. Знімними можуть бути рукави, накладні кишені, коміри, капюшони, дрібні оздоблювальні деталі, а також повноцінні частини виробу. Може змінюватися і стильовий напрямок виробу чи комплекту. На основі виконаного аналізу було систематизовано різноманітні елементи внутрішньої і зовнішньої трансформації конструкції дитячого шкільного одягу (рис. 1). За рахунок деталей, що можуть розсуватися та суміщатись одна з одною можна змінювати силует виробу (напівприлеглий в розширений, прямий в звужений тощо). При цьому може змінюватися силует не лише основи плечового виробу, а й рукавів і штанів. За рахунок різноманітних вставок, які стають помітними після розсування деталей, а також використання двосторонніх деталей, виконаних із різних видів тканини, можна змінювати також кольорове рішення виробу. Навіть без деталей із вище перерахованими функціями виріб все одно може трансформуватися. За допомогою куліси може змінюватися форма, об'єм та довжина виробу і його деталей (за рахунок стягування і розтягування низу виробу, низу рукавів, горловини, бічних швів, швів рельєфів тощо).

Трансформація одягу може здійснюватися також за рахунок оздоблення та фурнітури. Оздоблення дозволяє змінювати зовнішній вигляд і призначення одягу, тому різні його види можуть використовуватись як початкові компоненти для трансформації одягу [5, 6].

Трансформація просторової структури забезпечується методом агрегування, який передбачає зборку виробів з готових вузлів. Метод уніфікації передбачає наявність стандартизованих деталей. Агрегування і уніфікація деталей застосовується сьогодні на швейних підприємствах при проектуванні одягу масового виробництва [2, 6–8]. Для ефективного використання при проектуванні моделей і конструкцій, а також при комплектуванні раціонального гардеробу дитячого шкільного одягу необхідно систематизувати рішення елементів конструкцій, що трансформуються, а саме: види дитячого шкільного одягу, їх елементи, додаткові предмети, типи і види структурних взаємозв'язків елементів трансформації конструкцій одягу у гардеробі дитини-школяра тощо.

Одяг-трансформер – це одна річ в декількох оригінальних варіантах, що економить час, дозволяючи змінювати стиль протягом всього дня та виглядати доречно у будь-якій ситуації за будь-яких обставин. Такий одяг дозволяє збільшити терміни використання за рахунок адаптації до зміни розмірних ознак дитини. Такий одяг є просто незамінним для сучасних школярів, так як один виріб може використовуватись довго або для різних цілей, трансформуючись змінюючи як форму, так і свої розмірні параметри залежно від кінцевої мети дизайнера.

Трансформація визначається наступними засобами:

- перетворення однієї форми в іншу (може бути пласкою чи об'ємною, простою або складною);
- трансформація деталей всередині однієї форми, тобто зміна величини форми (складання, розгортання, віднімання, простьобування).

Трансформація одягу може здійснюватися за рахунок різних конструктивно-технологічних рішень і допоміжних елементів, таких як роз'ємно-з'єднані між собою деталі, куліси, пати тощо, а також таких елементів, як гудзики, кнопки, тасьма «блискавка», текстильна тасьма тощо. Було розроблено схему зв'язків деталей та елементів одягу шкільного гардеробу, які можуть підлягати трансформації (рис. 2).

Одяг, що може трансформуватися, має ряд переваг перед звичайним одягом:

- створює можливість поєднання багатофункціонального одягу всередині кожного комплекту (штани – шорти, жакет – жилет тощо);
- дозволяє формування нового складу комплекту із багатофункціональних виробів, що трансформуються і входять до складу різних комплектів;
- дозволяє використання будь-якого виробу із комплекту як самостійного виробу;
- дозволяє формування складу комплекту із виробів, що трансформуються.

На основі базових принципів трансформації систематизовано елементи (деталі, вузли) ФО за функціональними ознаками та засобами з'єднання. Потреба у створенні систематизованої інформаційної бази щодо різновидів елементів спеціального одягу на основі принципів трансформації за різними ознаками є очевидною. Тому доцільно на основі аналізу сучасних джерел і асортименту ФО для дітей МШВ виявити і класифікувати елементи трансформації одягу за функціональною ознакою: забезпечення зміни або формування силуетної форми виробу/деталі; регулювання ступеню прилягання до тіла; забезпечення зміни чи регулювання довжини виробу/деталі; забезпечення зміни чи регулювання ширини виробу/деталі; адаптація виробу доморфологічних ознак споживачів; забезпечення зміни чи регулювання об'ємно-просторової форми виробу/деталі; забезпечення зміни зовнішнього вигляду виробу; забезпечення зміни експлуатаційних властивостей виробу; покращення придатності до ремонту виробу; зміна конфігурації виробу/деталей; фіксація/кріплення виробу на необхідній ділянці чи в певному положенні; з'єднання

деталей/виробів/частин виробів; виконання конструктивно-декоративної чи оздоблювальної функції.



Рис. 2. Схема типів та видів структурних зв'язків деталей і елементів форменого одягу для дітей, що підлягають трансформації

Основною задачею процесу проектування ФО для дітей МШГ є розробка конструкторсько-композиційних та технологічних рішень в кожній конкретній проектній ситуації. Вирішення цього завдання повинно бути комплексним, з урахуванням умов використання, даних щодо антропометричних характеристик, інформації про сучасні підходи до проектування, фізико-механічних властивостей текстильних матеріалів тощо.

Висновки

Визначено та класифіковано основні елементи і принципи конструктивної реалізації функцій трансформації дитячого шкільного одягу і гардеробу забезпечують створення якісних зразків сучасного одягу для школярів зі збільшеним терміном експлуатації виробів, з підвищеними показниками естетичності, функціональності та ергономічності при одночасному зменшенні витрат під час проектування та експлуатації виробів. Запропоновані класифікації надають можливість для створення інформаційної бази елементів трансформації для подальшого використання, створюючи передумови для її розширення та оновлення, але цього не достатньо. Потрібні дослідження, що визначають основні параметричні данні елементів та їх пропорцій в цілому як конструктивні, так і композиційні особливості для проектування дитячого одягу та шкільної форми для дітей молодшої шкільної вікової групи.

Література

1. Гончарова С.А. Развитие приемов морфологической трансформации при проектировании одежды для детей : дис. ... кандидата технических наук : 05.19.04 / Гончарова Светлана Анатольевна. – Шахты, 2001. – 193 с. : ил.
2. Ніколаєва Т.І. Розробка моделей дитячого одягу на основі принципів біоніки і трансформації / Т.І. Ніколаєва, К.Л. Процик, Л.В. Назарчук // Вісник КНУТД. – 2011. – № 2. – С. 178–184.
3. Омельченко Г. В. Аналіз розвитку методів дизайн-проекування / Г. В. Омельченко, М. В. Колосніченко, С. В. Донченко // Теорія та практика дизайну. – 2015. – С. 197–203.
4. Пашкевич К. Л. Теоретичні основи дизайну одягу на засадах тектонічного підходу : дис. на соиск. науч. степени д. техн. наук : 05.01.03 «Технічна естетика» / К. Л. Пашкевич. – Київ, 2017. – 310 с.
5. Йолкіна А. Є. Вплив кольорової гами форменого одягу на психофізіологічний розвиток дитини / А. Є. Йолкіна, І. В. Проданчук // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2014. – № 4 (78). – С. 156–161.
6. Васильєва І.В. Удосконалення дизайн-проекування шкільної форми для дівчат на основі принципів трансформації / І.В. Васильєва, О.В. Дорошенко, О.С. Васильєва // Технічна естетика і дизайн : міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2018. – № 14. – С. 20–24
7. Васильєва О.С. Розробка класифікації видів і принципів реалізації функції трансформації дитячого шкільного одягу і гардеробу / О.С. Васильєва, О.В. Колосніченко, І.В. Васильєва, Н.В. Остапенко //

Теорія і практика дизайну : збірник наукових праць / Технічна естетика – К. : "Дія", 2017. – Вип. 13. – С. 27–41.

8. Васильєва І.В. Розробка підходу до створення нових форм дитячого зимового одягу методами дизайн-проекування / І.В. Васильєва // Теорія і практика дизайну : збірник наукових праць / Технічна естетика – К. : "Дія", 2015. – Вип. 8. – С. 26–33.

9. Про запровадження форменого одягу для учнів середніх закладів освіти: (Безпека життєдіяльності, санітарно-гігієнічний режим) [Електронний ресурс] : постанова Кабінету Міністрів України від 22 серпня 1996 р. № 1004 / Міністерство освіти і науки України. – Режим доступу : http://www2.znz.edu.ua.net/r.php?r=28&sort_order=0&page_num=8

References

1. Goncharova S.A. Razvitie priemov morfologicheskoy transformatsii pri projektirovanii odezhdy dlya detej : dis. ... kandidata tekhnicheskikh nauk : 05.19.04 / Goncharova Svetlana Anatol'evna. – SHahty, 2001. – 193 s. : il.
2. Nikolaieva T.I. Rozrobka modelei dytiachoho odiahu na osnovi pryntsyviv bioniky i transformatsii / T.I. Nikolaieva, K.L. Protsyk, L.V. Nazarchuk // Visnyk KNUTD. – 2011. – № 2. – С. 178–184.
3. Omelchenko H. V. Analiz rozvytku metodiv dyzain-proektuvannia / H. V. Omelchenko, M. V. Kolosnichenko, S. V. Donchenko // Teoriia ta praktyka dyzainu. – 2015. – S. 197–203.
4. Pashkevych K. L. Teoretychni osnovy dyzainu odiahu na zasadakh tektonichnoho pidkholu : dys. na soysk. nauch. stepeny d. tekhn. nauk : 05.01.03 «Tekhnichna estetyka» / K. L. Pashkevych. – Kyiv, 2017. – 310 s.
5. Iolkina A. Ye. Vplyv kolorovoi hamy formenoho odiahu na psykhofiziologichnyi rozvytok dytyny / A. Ye. Yolkina, I. V. Prodanchuk // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. – 2014. – № 4 (78). – С. 156–161.
6. Vasyliieva I.V. Udoshkonalennia dyzain-proektuvannia shkilnoi formy dlia divchat na osnovi pryntsyviv transformatsii / I.V. Vasyliieva, O.V. Doroshenko, O.S. Vasyliieva // Tekhnichna estetyka i dyzain : mizhvidomchy naukovy-tekhnichnyi zbirnyk. – 2018. – № 14. – S. 20–24
7. Vasyliieva O.S. Rozrobka klasyfikatsii vydiv i pryntsyviv realizatsii funktsii transformatsii dytiachoho shkilnoho odiahu i harderobu / O.S. Vasyliieva, O.V. Kolosnichenko, I.V. Vasyliieva, N.V. Ostapenko // Teoriia i praktyka dyzainu : zbirnyk naukovykh prats / Tekhnichna estetyka – К. : "Diia", 2017. – Vyp. 13. – S. 27–41.
8. Vasyliieva I.V. Rozrobka pidkholu do stvorennia novykh form dytiachoho zymovoho odiahu metodamy dyzain-proektuvannia / I.V. Vasyliieva // Teoriia i praktyka dyzainu : zbirnyk naukovykh prats / Tekhnichna estetyka – К. : "Diia", 2015. – Vyp. 8. – S. 26–33.
9. Pro zaprovadzhennia formenoho odiahu dlia uchniv srednikh zakladiv osvity: (Bezpeka zhyttiedialnosti, sanitarno-higienichnyi rezhym) [Elektronnyi resurs] : postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 22 serpnia 1996 r. № 1004 / Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy. – Rezhym dostupu : http://www2.znz.edu.ua.net/r.php?r=28&sort_order=0&page_num=8

Рецензія/Peer review : 11.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 18.12.2018 р.
Рецензент: к.т.н., доц. Овчарук В.Є.

І.А. МАРТИРОСЯН

Одеська національна академія харчових технологій

О.В. ПАХОЛЮК

Луцький національний технічний університет

В.І. ЛУБЕНЕЦЬ

Національний університет «Львівська політехніка»

ВПЛИВ БІОЦИДНОГО ОБРОБЛЕННЯ ЦЕЛЮЛОЗОВІСНИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЗМІНУ ЇХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

У даній роботі нами проведено дослідження можливості застосування для завершального оброблення нових біоцидних препаратів одягових целюлозовісних текстильних матеріалів та оцінку змін деяких механічних та фізичних властивостей. У результаті аналізу отриманих експериментальних даних встановлено, що нові біоцидні препарати ЕТС, АТС, МТС не тільки захищають тканини від небажаних мікробіологічних руйнувань, але й не призводять до погіршення фізико-механічних та гігієнічних властивостей досліджуваних тканин.

Ключові слова: біоциди, оброблення, текстильні матеріали, біостійкість, целюлозовісні, гігієнічні, механічні властивості, екологічна безпека.

IRINA ASHOTIVNA MARTYROSIAN

Odessa National Academy of Food Technologies

OLENA VASILIVNA PAKHOLIUK

Lutsk National Technical University

VIRA ILKIVNA LUBENETS

National University "Lviv Polytechnic"

THE INFLUENCE OF BIOCIDAL TREATMENT ON CELLULOSE TEXTILES TO REPLACE ITS PROPERTIES

Under conditions of fierce competition in the textile market in Ukraine, special attention is paid to the problem of increasing of the durability of textile and knitting fabrics, treated with biocidal preparations with cellulosic fibers, against the negative effects of fiber-destroying and pathogenic microorganisms. In this work the possibility of application for the final treatment of new biocidal preparations of clothing pulp containing textile materials and assessment of changes in some mechanical and physical properties of the negative effects of fiber-destroying and pathogenic microorganisms were investigated. The influence of new biocidal preparations on the change of rupture characteristics, linear sizes after wet treatments and resistance to abrasion of investigated fabrics was studied. It will allow to solve one of the main problems of final processing that involves the providing of the necessary bioproofness of cellulosic textile materials, while ensuring their environmental safety. Objects of research in solving these problems were the similar in structure cotton and cotton polyester fabrics. According to this, we selected new biocidal products that are successfully used for antimicrobial protection in other industries, namely: ethylthiosulfanilate (ETC) - ethyl biocide, allylthiosulfanilate (ATC) - allyl biocide, methylthiosulfanilate (MTS) - methyl biocide. These antifungal biocidal preparations with multi-vector pharmaceutical dynamic manifestations for the protection of industrial products and the treatment of dermatomycosis, in particular synthetic analogues of natural phytoncides, are synthesized at the Department of Technology of Biologically Active Compounds, Pharmacy and Biotechnology at the National University "Lviv Polytechnic" by Professor Lubenets V.I. As a result of the analysis of the obtained experimental data it was found, that new biocidal preparations of the ETS, ATS and MTS not only protect the tissues from undesirable microbiological destruction, but also do not lead to deterioration of the physical mechanical and hygienic properties of the tissues were.

Key words: biocides, processing, textile materials, biodegradability, cellulose-based, hygienic, mechanical properties, ecological safety.

Вступ

В умовах жорсткої конкуренції на ринку текстильної продукції в Україні, особлива увага приділяється проблемі підвищення зносостійкості текстильних та трикотажних полотен, оброблених біоцидними препаратами, із вмістом целюлозовісних волокон, від негативної дії волокно-руйнуючих і патогенних мікроорганізмів.

Як відомо, роботи, присвячені фізико-хімічним основам розробки та вдосконалення способів біоцидного оброблення одягових текстильних матеріалів, як правило, мають суто технологічний характер. При цьому про ефективність оброблення, зазвичай, судять за досить обмеженою кількістю показників, хоча багато оброблених препаратів характеризуються багатофункціональними властивостями [1, 2]. З іншого боку, всебічна оцінка властивостей таких матеріалів, залежить від багатьох чинників: виду біоцидного препарату та субстрату, виду та способу обробки, конкретних умов їх подальшої експлуатації та ін. При розробці технології біоцидної обробки текстильних одягових матеріалів необхідно оцінювати не тільки їх якість, але й економічну й екологічну доцільність процесу оброблення.

Надання текстильним матеріалам одягового призначення під час завершального оброблення біоцидних (антимікробних та протигрибкових) властивостей зазвичай може характеризуватися частковим погіршенням інших властивостей (фізичних, механічних, естетичних). Тому рішення про доцільність застосування для оброблення одягових текстильних матеріалів біоцидних препаратів, може прийматись лише у комплексі з врахуванням як властивостей самого препарату, так і рецептурно-технологічних режимів оброблення, і що особливо важливо, екологічної та економічної доцільності їх впровадження.

Як відомо, для надання виробам із целюлозних волокон антимікробних та протигрибкових властивостей, до недавнього часу широко використовувалися біоциди хімічного походження, а саме солі

металів, четвертинних амонієвих солей, антибіотики, похідні фенолу, кремнійорганічні сполуки, цинковмісні та хлорвмісні сполуки, розчини ефірів тощо [3, 4]. Однак, як показав світовий досвід, суттєвим недоліком цих препаратів є виділення важких металів, токсичних речовин, пестицидів як на стадії заключного оброблення текстильних матеріалів, так і в умовах їх експлуатації та зберігання. Тому при розробленні нових біоцидних препаратів та технології їх нанесення, необхідно оцінювати не тільки якість текстильного матеріалу, що випускається, але й економічну та екологічну доцільність процесу оброблення.

Сьогодні в текстильному виробництві здійснюється активна пошукова робота нових обробних біоцидних препаратів на основі синтетичних аналогів природних, органічних сполук, виділених із рослинної сировини. Це дозволить вирішити одну з основних проблем заключного оброблення – надання необхідної біостійкості целюлозовмісним текстильним матеріалам, забезпечуючи при цьому їх екологічну безпечність [5]. Тому пошук шляхів підвищення біостійкості та зносостійкості целюлозовмісних текстильних матеріалів при найбільш ефективному використанні наявних у країні сировинних ресурсів є одним із основних завдань, які постають сьогодні перед текстильною промисловістю.

Експериментальна частина

У даній роботі нами проведено дослідження можливості застосування для завершального оброблення нових біоцидних препаратів одягових целюлозовмісних текстильних матеріалів та оцінка змін деяких механічних та фізичних властивостей від негативної дії волокно-руйнуючих і патогенних мікроорганізмів цих полотен у результаті оброблення новими препаратами.

З метою апробації нових видів біоцидних препаратів, доцільно вивчити їх вплив на зміну тих властивостей одягових текстильних матеріалів, які визначають зносостійкість і формостійкість виробів із цих полотен.

У даній роботі, для досягнення поставленої мети нами було вивчено:

- вплив нових біоцидних препаратів на зміну розривальних характеристик, лінійних розмірів після мокрих оброблень та стійкості до стирання досліджуваних тканин;
- вплив біоцидного оброблення на зміну повітропроникності, гігроскопічності, капілярності та водотривкості целюлозовмісних текстильних матеріалів.

Об'єктами дослідження при вирішенні поставлених завдань були обрані близькі за будовою бавовняна та бавовняно-поліефірна тканини. Характеристика заправних даних цих тканин наведена в табл. 1. Тканини виготовлені у виробничих умовах підприємства ТОВ «ТД Укртекс» (Україна).

Таблиця 1

Характеристика досліджуваних тканин

Номер зразка	Волокнистий склад, %	Поверхнева густина, г/м ²	Щільність P , число ниток на 10 см		Лінійна густина ниток, T , текс		Вид фарбування
			основа	уток	основа	уток	
1	бавовняна, 100	245	307	292	49	38	гладко-фарбована
2	бавовняно-поліефірна 50/50	245	292	220	42	25	гладко-фарбована
3	бавовняно-поліефірна 35/65	220	278	227	40	23	гладко-фарбована
4	бавовняно-поліефірна 20/80	220	247	198	31	27	гладко-фарбована

Для захисту целюлозовмісних текстильних матеріалів і виробів одягового призначення від негативної дії волокно-руйнуючих і патогенних мікроорганізмів нами були обрані нові біоцидні препарати, які успішно застосовуються для антимікробного захисту в інших галузях промисловості, а саме:

- етилтіосульфат (ЕТС) – етиловий біоцид;
- алілтіосульфат (АТС) – аліловий біоцид;
- метилтіосульфат (МТС) – метиловий біоцид.

Ці протигрибкові біоцидні препарати з багатовекторними фармакодинамічними проявами для захисту промислових товарів і лікування дерматомікозів, зокрема синтетичні аналоги природних фітонцидів, синтезовані на кафедрі технології біологічно активних сполук, фармації та біотехнології Національного університету “Львівська політехніка” д.х.н. професором Лубенець В.І.

Дослідження фізико-механічних показників оброблених текстильних матеріалів проводили за стандартними методиками. Результати досліджень наведені в табл. 2, 3.

Таблиця 2

Вплив біоцидного оброблення досліджуваних матеріалів на зміну їх механічних властивостей

№ з/п	Зразки	Зміна лінійних розмірів після мокрих оброблень, %		Розривальне навантаження, Н		Число циклів стирання до площини, кількість обертів до утворення дірки, цикли
		за основою	за утком	за основою	за утком	
Вимоги ДСТУ 21790:2008		не більше (-3,5)	не більше (±2,0)	не менше 569	не менше 343	не менше 1700
1	Бавовняна тканина без обробки (100%)	+2,3	-1,2	754	429	6014
2	Оброблена ЕТС	+1,9	-1,2	767	432	6021
3	Те ж, МТС	+2,0	-1,2	763	430	6015
4	Те ж, АТС	+2,0	-1,2	763	429	6013
5	Бавовняно-поліефірна (50/50) без обробки	-2,0	-0,9	906	501	11890
6	Оброблена ЕТС	- 1,9	-0,9	908	499	11890
7	Те ж, МТС	-2,0	-1,0	908	500	11888
8	Те ж, АТС	-2,0	-1,0	905	501	11890
9	Бавовняно-поліефірна (35/65) без обробки	-1,8	-0,9	915	485	8416
10	Оброблена ЕТС	-1,8	-0,9	918	485	8421
11	Те ж, МТС	-1,9	-0,9	919	484	8419
12	Те ж, АТС	-2,0	-0,9	918	487	8418
13	Бавовняно-поліефірна (20/80) без обробки	-0,7	-0,4	630	336	4017
14	Оброблена ЕТС	-0,7	-0,4	630	337	4022
15	Те ж, МТС	-0,7	-0,4	631	335	4020
16	Те ж, АТС	-0,7	- 0,5	630	338	4020

Дуже небажаними є зміни форми та розмірів текстильних виробів у початковому періоді експлуатації, коли потенційні можливості їх основних споживних властивостей залишаються практично невикористаними. Основною причиною зміни форми та розмірів є підвищена здатність багатьох видів волокон до усадковості та витягування у процесі мокрих обробок (прання, замочування, прасування, дії опадів). Результати досліджень показують, що оброблення новими біоцидними препаратами практично не впливає на зміну лінійних розмірів досліджуваних текстильних матеріалів, що забезпечує заплановану формостійкість готових виробів.

Дослідження міцності оброблених досліджуваних одягових тканин після біоцидного оброблення показало незначне підвищення розривального навантаження за основою і за утком. Це можна пояснити тим, що при обробленні досліджуваними біоцидними препаратами в результаті модифікації відбувається підвищення взаємної рухомості макромолекул целюлози, тому підвищується можливість перерозподілу навантаження всередині волокна і розривне зусилля припадає на більшу кількість структурних елементів. Винятком є четвертий зразок – бавовняно-поліефірна тканина, з вмістом волокон 20/80, в якій розривальне навантаження за утком, знаходиться на межі стандартного значення. Такий низький показник розривального навантаження за утком, пояснюється волокнистим складом текстильного матеріалу, який має більш рихлу структуру і менший ступінь скручування.

Аналіз даних табл. 2, засвідчив, що в результаті оброблення досліджуваних полотен новими видами біоцидних препаратів не відбувається погіршення стійкості досліджуваних текстильних матеріалів до стирання по площині, а отже не спостерігається погіршення і їх механічних властивостей. Ця закономірність зберігається на чотирьох варіантах досліджуваних полотен.

З метою вивчення впливу біоцидного оброблення одягових целюлозовмісних текстильних матеріалів на зміну їх гігієнічних властивостей нами було визначено вплив даного оброблення на зміну повітропроникності, гігроскопічності, капілярності та водо тривкості, які оцінювалися за стандартною методикою. Отримані результати досліджень наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Вплив біоцидного оброблення досліджуваних матеріалів на зміну їх гігієнічних властивостей

№ з/п	Зразки	Гігроскопічність, %	Водотривкість, %	Капілярність, см	Коефіцієнт повітропроникності, $\text{дм}^3/\text{м}^2 \text{ с}$, не менше
Вимоги НТД		Не менше 10%	Жодна з елементарних проб після випробувань не повинна протікати та промокати	==	20,0
1	Бавовняна тканина без обробки (100%)	8,5	Жодна з елементарних проб після випробувань не протікла та не промкла	9	136,0
2	ЕТС	8,5	Те ж саме	13,0	126,0
3	МТС	8,4	Те ж саме	12,0	125,0
4	АТС	8,4	Те ж саме	10,0	125,0
1	Бавовняно-поліефірна (50/50) без обробки	7,0	Жодна з елементарних проб після випробувань не протікла та не промкла	19,2	26,0
2	ЕТС	7,2	Те ж саме	19,4	26,0
3	МТС	7,0	Те ж саме	19,8	25,0
4	АТС	7,0	Те ж саме	19,5	25,0
1	Бавовняно-поліефірна (35/65) без обробки	6,8	Жодна з елементарних проб після випробувань не протікла та не промкла	12,2	23,0
2	ЕТС	6,8	Те ж саме	12,1	23,0
3	МТС	6,7	Те ж саме	12,2	23,0
4	АТС	6,8	Те ж саме	12,2	23,0
1	Бавовняно-поліефірна (20/80) без обробки	6,1	Жодна з елементарних проб після випробувань не протікла та не промкла	7,2	21,0
2	ЕТС	6,2	Те ж саме	7,3	21,0
3	МТС	6,15	Те ж саме	7,2	20,0
4	АТС	6,1	Те ж саме	7,2	21,0

З даних табл. 3 видно, що біоцидне оброблення досліджуваних текстильних матеріалів новими препаратами, на зміну показників повітропроникності та водотривкості суттєво не впливає. Різниця у порівнянні з зразками до оброблення незначна, - коефіцієнт повітропроникності целюлозовмісних текстильних матеріалів, оброблених запропонованими біоцидними препаратами, відповідає нормативним вимогам для даної групи тканин.

Також аналіз гігієнічних властивостей досліджуваних тканин, показав підвищення капілярності чисто бавовняної тканини, від 9% до 12%, в середньому, після оброблення біоцидними препаратами. Капілярність залежить від густини розташування волокон і пряжі у полотні і ступеня змочування рідиною поверхні текстильного матеріалу, а при механічних впливах та пранні, відбувається покращення змочуваності матеріалу, а відповідно і збільшення капілярності. Також, необхідно відмітити, що досліджувані тканини володіють дещо нижчою гігроскопічністю, ніж передбачено нормативними документами, і в процесі оброблення, вона залишається стабільною. На нашу думку, це обумовлено особливостями волокнистого складу досліджуваних текстильних матеріалів та технологією їх фарбування та оздоблення.

Висновки

Таким чином, надання целюлозовмісним текстильним матеріалам під час завершального оброблення біоцидних властивостей препаратами ЕТС, АТС та МТС не призводить до погіршення фізико-механічних та гігієнічних властивостей досліджуваних тканин.

При цьому, за допомогою використання нових видів біоцидних препаратів для антимікробного та протигрибкового оброблення бавовняних та бавовняно-поліефірних одягових текстильних матеріалів можна вирішити низку завдань, а саме:

- підвищити рівень якості названих одягових текстильних матеріалів за рахунок одночасного підвищення їх біостійкості, екологічності, гігієнічності та збереженні їх цінних механічних властивостей;
- виключити з процесу оздоблення целюлозовмісних текстильних матеріалів токсичні хімічні препарати, традиційне використання яких негативно впливає не тільки на технологічний процес обробки,

але і на рівень екологічної безпеки готової продукції;

- забезпечити вітчизняним целюлозовмісним текстильним матеріалам необхідний рівень якості у поєднанні з потрібною екологічною безпечністю відповідно до вимог міжнародних стандартів.

Література

1. Глубіш П.А. Хімічна технологія текстильних матеріалів. Завершальне оброблення : навчальний посібник для вузів / П.А. Глубіш. – К. : Арістей, 2005. – 300 с.
2. Пахолюк О.В. Особливості використання лляних волокон у виготовленні медичного текстилю / О.В. Пахолюк, О.І. Передрій // Вісник ХНУ. – 2017. – № 1. – С. 56–60.
3. Пахолюк О.В. Дослідження ефективності біоцидних речовин для оброблення одягових текстильних матеріалів спеціального призначення / О.В. Пахолюк, В.І. Лубенець, І.А. Мартиросян // Товарознавчий вісник. – Луцьк, 2018. – С. 100–108.
4. Мартиросян І.А. Застосування нових біоцидних препаратів в обробленні одягових текстильних матеріалів / І.А. Мартиросян, О.В. Пахолюк // Якість та безпечність товарів // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів, Луцьк, 23 березня 2018 року / за наук. ред. д.т.н., проф. Л.І. Байдакової / ЛНТУ. – Луцьк : ІВВ Луцький НТУ, 2018. – С. 126–127.
5. Галик І.С. Екологічна безпека та біостійкість текстильних матеріалів : монографія / І.С. Галик, Б.Д. Семак, О.Б. Концевич. – Львів : Видавництво Львівської комерційної академії, 2006. – 232 с.

References

1. Hlubish P.A. Khimichna tekhnolohiia tekstylnykh materialiv. Zavershalne obroblennia : navchalnyi posibnyk dlia vuziv / P.A. Hlubish. – K. : Aristei, 2005. – 300 s.
2. Pakholiuk O.V. Osoblyvosti vykorystannia llianykh volokon u vyhotovlenni medychnoho tekstyliu / O.V. Pakholiuk, O.I. Peredrii // Visnyk KhNU. – 2017. – № 1. – S. 56–60.
3. Pakholiuk O.V. Doslidzhennia efektyvnosti biotsydneykh rechovyn dlia obroblennia odiahovykh tekstylnykh materialiv spetsialnoho pryznachennia / O.V. Pakholiuk, V.I. Lubenets, I.A. Martyrosian // Tovarnoznavchyi visnyk. – Lutsk, 2018. – S. 100–108.
4. Martyrosian I.A. Zastosuvannia novykh biotsydneykh preparativ v obroblenni odiahovykh tekstylnykh materialiv / I.A. Martyrosian, O.V. Pakholiuk // Yakist ta bezpechnist tovariv // Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv, Lutsk, 23 bereznia 2018 roku / za nauk. red. d.t.n., prof. L.I. Baidakovoï / LNTU. – Lutsk : IVV Lutskyi NTU, 2018. – S. 126–127.
5. Halyk I.S. Ekolohichna bezpeka ta biostiikist testylnykh materialiv : monohrafiia / I.S. Halyk, B.D. Semak, O.B. Kontsevykh. – Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi komertsiiinoi akademii, 2006. – 232 s.

Рецензія/Peer review : 21.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.
Рецензент: д.т.н., доц. Бочарова О.В.

К.Ю. ПАНКРАТОВА, О.С. ВАСИЛЬЄВА

Київський національний університет технологій та дизайну

ОСОБЛИВОСТІ СПРИЙНЯТТЯ КОЛЬОРУ СПОЖИВАЧЕМ У ДИЗАЙНІ УПАКОВКИ ХАРЧОВИХ ТОВАРІВ

В роботі представлені результати дослідження особливостей сприйняття кольору людиною. Встановлено основні принципи підбору кольорних поєднань у дизайні упаковки харчових продуктів. Проведено дослідження асоціативного сприйняття кольорів в дизайні упаковки споживачем.

Ключові слова: колір, упаковка, харчовий товар, споживач.

KATARYNA YURIIVNA PANKRATOVA, ELENA SERGEEVNA VASILYEVNA

Kyiv National University of Technologies and Design

FEATURES OF COLOR PERCEPTION BY THE CONSUMER IN THE PACKAGING DESIGN OF FOOD PRODUCTS

The purpose of the article is to study the features of consumer perception of color in the design of food packaging. Determination of the most attractive colors in the packaging of food products to the buyer and their compliance with various criteria. The article considered color from the point of view of a certain unit, which in a certain way affects a person and this connection with the design of food packaging. On the examples of specific products were considered the criteria by which the selection of colors for packaging, based on the image of the consumer. Interviews were conducted with a specific group of people to follow their perception of color combinations in the context of packaging for food products and found the most attractive colors for buyers. The study identified which colors are the most attractive among consumers and provides certain categories by which color is selected in the package. The issue of color in packaging design is further studied in conjunction with materials science and form formation and is an important issue in the modern design of packaging industry.

Keywords: color, packaging, food product, consumer.

Постановка проблеми

Колір – важливий інструмент у дизайні упаковки, що використовується для привертання уваги споживача та передання йому певної інформації про товар. Тому важливим етапом розробки упаковки є вивчення властивостей кольору та особливостей його сприйняття людиною.

Аналіз останніх джерел

Проблематика вивчення кольору та його особливостей у різноманітних галузях науки була розглянута в наукових публікаціях різного напрямку. Психологія сприйняття кольору в дизайні була розглянута в публікаціях Струмінської Т.В., Сабліной А.В. Роль кольору в маркетингу вивчалась у статтях Богуславець К.Д., Чеботарьової І.Б. Тематику кольору в мистецтві та дизайні у своїх статтях проаналізували Сотнік Л.І., Лубенський В.І., Брюханова Р.В., Лежнев О.О., Панаєва Н.М.

Цілі та завдання даної статті

Метою статті є дослідження особливостей сприйняття споживачем кольору в дизайні упаковки харчових товарів. Визначення найбільш привабливих кольорів в упаковці харчових товарів для покупця та їх відповідність цінновій категорії, віку споживача, статі споживача та виду продукції.

Виклад основного матеріалу

Колір та форма – це головні ознаки предмета, які характеризують його та надають певну унікальність. Серед цих двох характеристик, колір менш важливий, ніж фізична форма, але саме він є однією з найважливіших якісних характеристик предмету [1, с.13]. Колір є невід'ємною складовою оточення людини, але кожен з них впливає на індивіда по-різному. Асоціативне сприйняття кожного кольору закладене в психологію людини ще у первісному суспільстві та базується на асоціаціях, пов'язаних з навколишнім середовищем. Таке сприйняття не пов'язане з особистими уподобаннями індивіда, його статтю та віком, а є складовою інстинктів. Питання сприйняття кольору людиною у своїх працях вивчав Карл Густав Юнг, де він дослідив концепцію колективної підсвідомої психічної системи мислення індивідів. Ця концепція стверджує спадкове запозичення інстинктів, не пов'язаних з раціональністю розуму. Метод колективного підсвідомого базується на стародавніх доісторичних переживаннях людини. Опинившись біля початку людського мислення, простежується досвід асоціативного сприймання та опрацювання інформації, в тому числі пов'язане з кольором. Це є ланкою багатовікової історії, яке спростовує стереотип про «суб'єктивний смак» окремого індивіда [2, с.79].

Отже, фізичні реакції кольору обумовлюється біологічною пристроєм організму людини. Конкретний колір володіє інформацією, яка на підсвідомому рівні сприймається мозком, викликаючи певні емоції та асоціації [3, с. 15].

Говорячи про маркетинг, можна сказати, що колір є невід'ємною складовою кожного продукту та упаковки, яка виділяє товар серед інших, пригортає увагу покупців, надає певний образ продукції та несе інформацію про сам виріб (тип, ціннову політику, склад тощо). Саме упаковка привертає увагу споживача, є невід'ємною частиною товару та забезпечує його продаж [4, с. 50].

На основі вищезазначеного, було проведено дослідження використання кольору в дизайні упаковки відомих брендів харчової продукції, за якими було сформовано головні критерії, як використовують колір

компанії у дизайні упаковки своєї продукції. Завдання дослідження – визначити: 1) зв'язок кольору в дизайні упаковки та вартості товару; 2) зв'язок кольору з видом продукції; 3) зв'язок кольору та віку споживача; 4) зв'язок кольору та гендерної приналежності покупця.

Для вирішення першого питання було досліджено провідні бренди кондитерської продукції, такі як Perfetti («Chupa Chups»), Perfetti van Melle («Fruitela» та «Mentos»), Nestle («KitKat», «Nesquick», «Nescafe») тощо та бренди вищої цінової категорії, такі як «Tivoli», «Bandinelli», «Zentis». Оцінка вартості товару була проведена за допомогою кольору, що є пріоритетним в дизайні упаковки. Зазвичай на ринку присутні три цінові категорії: вища, середня і нижча. Порівнявши колірні переваги в дизайні упаковки обраних фірм можна зазначити, що у дизайні упаковки середньої цінової категорії переважає яскраві, насичені кольори, які привертають увагу покупця з далекої відстані. Вища цінова категорія дає перевагу складним ненасиченим кольорам, які доповнюються золотом або сріблом, підкреслюючи ексклюзивність товару.

Для визначення зв'язку кольору у дизайні упаковки з видом товарів було розглянуто упаковку мінеральних напоїв таких компаній, як Morshinska, Borjomi, Bon-Aqua та інші. Можна стверджувати, що в більшості випадків напої мають прозору упаковку з додаванням кольору, який підкреслює сам продукт, тобто воду та його специфіку (свіжість смаку, прохолода): синій, зелений, фіолетовий. З цього слідує, що кожний напрям продукції має свою специфіку у підборі кольору в упаковці, яка базується на самому продукті.

Під час дослідження зв'язку кольору та віку були розглянуті бренди продукції для дітей різного віку, такі як Kinder, ChupaChups, Nesquik. Та ін. Упаковка даних товарів має насичені контрастні кольорові поєднання, а упаковка продукції для дорослих споживачів, наприклад Nescafé, Coffee mate має більш темні або ненасичені відтінки.

Зв'язок кольору в дизайні упаковки та гендерної приналежності потенційного покупця можна прослідкувати в упаковці деякої алкогольної продукції. Були проаналізовані вироби рожевих вин для жіночої аудиторії, такі як Le Pozzelle, Te Amo, Carlo Rossi. Упаковка цих товарів має рожеві відтінки в поєднанні з золотими вставками, пастельні світлі відтінки, що ототожнюють легкість, витонченість та жіночність. Також були взяті товари з коньячної продукції розраховані на чоловічу аудиторію, такі як Bolgard, Henessy, Kvint. Упаковка цих напоїв містить темні глибокі відтінки чорного, червоного, помаранчевого кольорів, переважно з додаванням золотих елементів. З цього слідує, що кожний товар має свій сегмент цільової аудиторії та адаптується під нього [5, с.39].

Аналізуючи вище зазначені дані можна визначити, що колір суттєво впливає на сприйняття товару споживачем. Було проведено аналіз підбору кольору за видами харчової продукції (напої, кондитерські вироби, молочна продукція, овочі, фрукти, алкогольна продукція тощо). Для вирішення цього завдання було проведено 3 анкетних опитування 50 людей в Києві різної статі, віком від 16 до 52 років. Перше дослідження було направлене на виявлення кольорів, які найбільше асоціюються з їжею. Опитування показало, що теплі кольори (червоний, помаранчевий, жовтий, салатовий) підвищують апетит, а холодні і темні кольори (синій, фіолетовий, чорний, сірий) меншою мірою асоціюються з їжею і не викликають апетит (рис. 1).

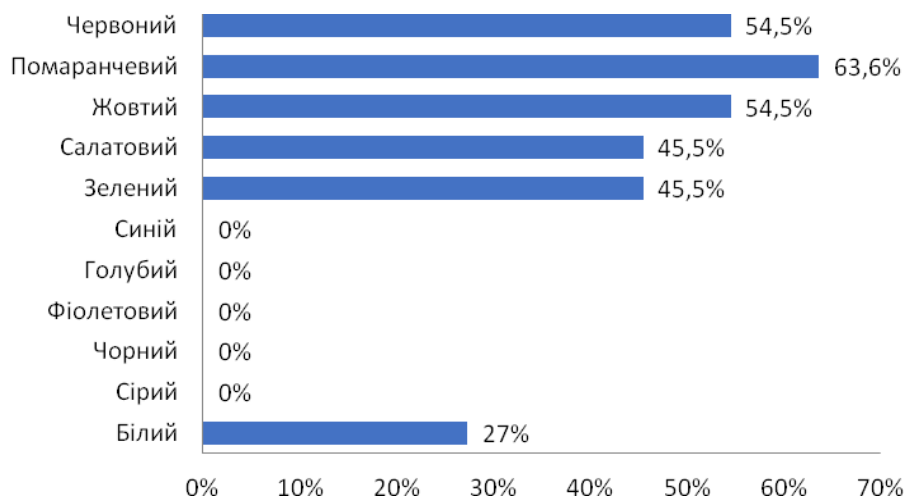


Рис. 1. Процент асоціації кольору з харчовими товарами

Друге опитування було направлене на асоціативне сприйняття кольору з точки зору харчової продукції, який з'ясував, які продукти або групи товарів асоціюються з тим чи іншим кольором (рис. 2–10). Результати показали, що червоний, помаранчевий, жовтий та зелений кольори викликають найбільшу різноманітність асоціацій.

Аналізуючи результати другого опитування, можна визначити, що червоний, помаранчевий і жовтий більше за всіх асоціюються з їжею, а саме з ягодами, фруктами, цитрусами та цукерками. Інтуїтивно ці кольори надають солодкий та кислуватий смаки. Вони є позитивними і найбільш вдалим для упаковки продукту, що відповідає перерахованим вище асоціаціям, наприклад для упаковки кондитерських виробів, соку, товару з ягодами чи цитрусами, товарів дитячого харчування (яскраві насичені кольори



Рис. 2. Асоціації з червоним кольором в контексті дизайну упаковки харчової продукції



Рис. 3. Асоціації з помаранчевим кольором в контексті дизайну упаковки харчової продукції



Рис. 4. Асоціації з жовтим кольором в контексті дизайну упаковки харчової продукції



Рис. 5. Асоціації з зеленим та салатовим кольорами в контексті дизайну упаковки харчової продукції



Рис. 6. Асоціації з синім та голубим кольорами в контексті дизайну упаковки харчової продукції



Рис. 7. Асоціації з фіолетовим кольором в контексті дизайну упаковки харчової продукції

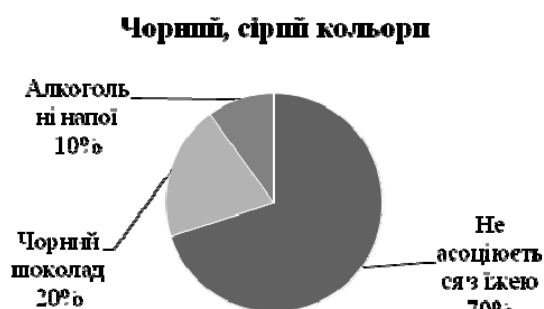


Рис. 8. Асоціації з чорним та сірим кольорами в контексті дизайну упаковки харчової продукції

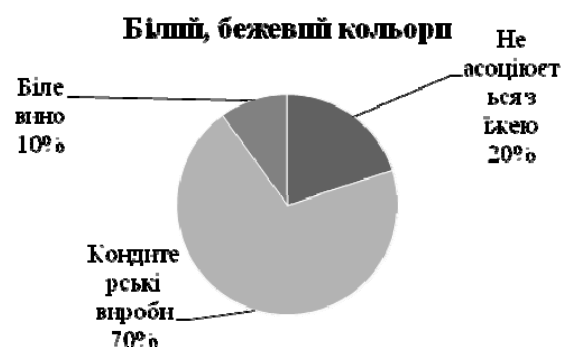


Рис. 9. Асоціації з білим та бежевим кольорами в контексті дизайну упаковки харчової продукції

помаранчевого, жовтого та салатового). Зелений колір, згідно з опитуванням, викликає асоціацію натурального продукту, що належить до правильного харчування. Даний колір є нейтральним за фізіологічною дією, так як вважається природним кольором, який не викликає апетит, але надає довіру до продукції. Продукція із зеленою упаковкою буде представляти собою товар з натуральним складом, товар

здорового харчування і продукцію рослинного походження. Синій і блакитний кольори превалюють над упаковкою для рідкої продукції: молочної, води, але не асоціюються з харчовою продукцією. Ці кольори холодні, тому не сприяють підвищенню апетиту, але вони містять у собі інформацію щодо молочної продукції та води, тобто прохолоди та свіжості. Фіолетовий колір співвідноситься з упаковкою для продуктів, які безпосередньо володіють таким відтінком, а в інших випадках фіолетовий не асоціюється з харчовою продукцією. Чорний колір в більшості випадків ототожнює продукцію класичних алкогольних напоїв і класичного чорного шоколаду. Цей колір в упаковці може надавати продукції ексклюзивності та елегантності, особливо в поєднанні з золотим і срібним кольорами, виділяючи таку продукцію з-поміж товару широкого вжитку. Білий і бежевий кольори асоціюються з кондитерським кремом і кондитерськими виробами, білим шоколадом та певної алкогольної продукції – товари, що несуть в собі легкість, витонченість смаку та стилю.

У третьому опитуванні довільно обирались найбільш привабливі кольори в упаковці харчових товарів усіх видів та напрямів (рис. 10). З цього слідує, що навіть у довільному, несвідомому виборі кольорів, які асоціюються з харчовою продукцією, найбільший процент припадає на кольори теплої групи кольорів: червоний, помаранчевий, жовтий, салатний – кольори, які асоціюються з природою. Також серед привабливих кольорів є більш заспокійливі та нейтральні – білий та синій, які несуть свіжість та гармонію.

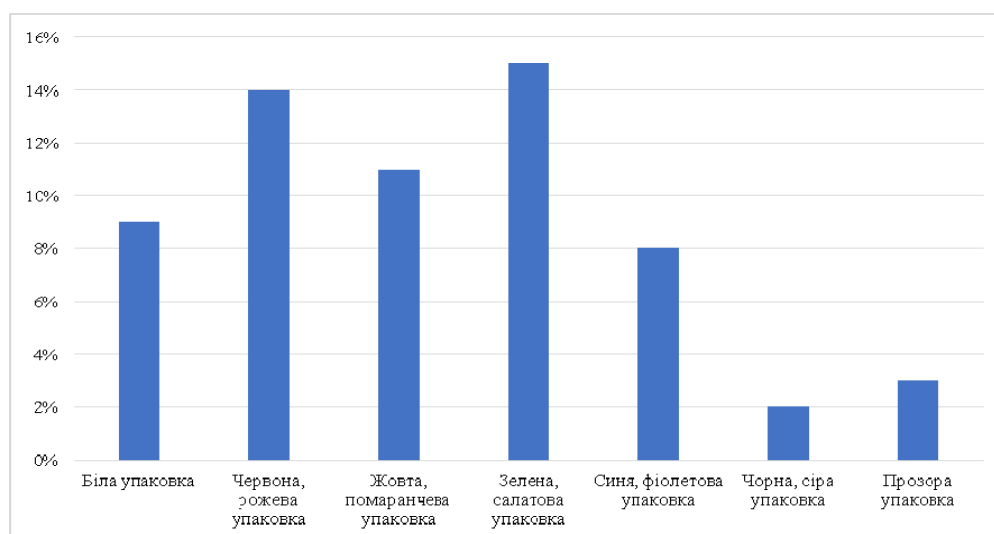


Рис. 10. Вподобання кольору в дизайні упаковки харчового товару

Висновки

Узагальнюючи вище зазначені дані, стає зрозумілим той факт, що колір в упаковці не може бути довільно обраним, а має ґрунтуватися на статистиці асоціативного мислення людини про колір. Приймаючи це, слід визначити, що в ході розробки упаковки для харчових товарів, дизайнер має враховувати уподобання конкретної групи потенційних покупців та визначити для кого саме ця продукція розрахована. В ході дослідження виявлено які кольори є найбільш привабливими серед споживачів та наведені певні категорії, за якими обирається колір в упаковці. Питання кольору в дизайні упаковки має подальше вивчення у комплексі з матеріалознавством та формоутворенням і є важливим питанням у дизайні сучасної упаковки.

Література

1. Ивэнс Р.М. Введение в теорию цвета / Р.М. Ивэнс. – Москва : Мир, 1964. – 456 с.
2. Юнг К.Г. Очерки по психологии бессознательного / К.Г. Юнг. – М. : КогитоЦентр, 2010. – 347 с.
3. Саттон Т. Полное руководство по созданию цветовых комбинаций / Т. Саттон, Б. Вилен. – М. : Астрель, 2014. – 216 с.
4. Хайн Т. Тотальная упаковка / Т. Хайн. – М. : Студия Артемия Лебедева, 2017. – 416 с.
5. Петренко Г. Целевой маркетинг. Сегментация и позиционирование / Г. Петренко. – К. : Издательство Алексея Капусты, 2011. – 200 с.

References

1. Ivens R.M. Vvedenie v teoriyu tsveta / R.M. Ivens. – Moskva : Mir, 1964. – 456 s.
2. Yung K.G. Ocherki po psikhologii bessoznatelnogo / K.G. Yung. – M. : KogitoTSentr, 2010. – 347 s.
3. Satton T. Polnoe rukovodstvo po sozdaniyu tsvetovyykh kombinatsiy / T. Satton, B. Vilen. – M. : Astrel, 2014. – 216 s.
4. Hayn T. Totalnaya upakovka / T. Hayn. – M. : Studiia Artemiya Lebedeva, 2017. – 416 s.
5. Petrenko G. TSelevoy marketing. Segmentatsiya i pozitsionirovanie / G. Petrenko. – K. : Izdatelstvo Aleksey Kapustyi, 2011. – 200 s.

Рецензія/Peer review : 25.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.

Рецензент: канд. мистецтвознавства, доц. Павельчук І.А.

О.А. ПАРАСКА, Т.С. РАК

Хмельницький національний університет

Н. РАДЕК

Технологічний університет, м. Кельце

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ ВИРОБІВ ПІСЛЯ ОБРОБКИ КОМПОЗИЦІЯМИ НА ОСНОВІ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН

В роботі наведено результати комплексного дослідження експлуатаційних властивостей текстильних виробів після обробки композиціями екологічно безпечних речовин. Наведено характеристики основних експлуатаційних властивостей текстильних виробів: розривальне навантаження, розривальне подовження, жорсткість, незминаяльність. Показано, що застосування композицій на основі екологічно безпечних речовин дозволяє покращити експлуатаційні властивості виробів, надає еластичність, блиск та гладкість поверхні текстильних виробів.

Ключові слова: властивості тканин, поверхня текстильних матеріалів, поверхнево-активні речовини, опорядження, екологічна безпека.

O. PARASKA, T. RAK

Khmelnytskyi National University, Ukraine

N. RADEK

Kielce University of Technology, Poland

INVESTIGATION OF OPERATING PROPERTIES OF TEXTILES AFTER PROCESSING BY COMPOSITIONS BASED ON ENVIRONMENTALLY SAFE AGENTS

The results of complex research of influence of compositions based on environmentally safe agents on processing of textiles are described in this paper. The characteristics of the operating properties of textiles: strength, elongation, stiffness, shrinkage, crease-resistance are determined. According to the study it was shown that use of compositions on the basis of environmentally safe agents are improve the operational properties of textiles, provides the elasticity of the luster and smoothness of the surface of textiles. Study has shown that is reasonable to use the concentration of compositions to 2,5 g/l without reducing the quality of treatment that will reduce the cost of textile processing and increase the cost saving. The results of the study of disruptive load and disruptive elongation confirmed the possibility of using of compositions based on environmentally safe substances for the effective processing of products without detrimental effect on the structure of textile materials. Studies of changes in linear sizes after composition processing showed that shrinkage of tissues is within acceptable limits, cotton fabric has largest shrinkage, polyester fabrics have no shrinkage. The use of composition based on environmentally safe substances at a concentration of $C_{com} = 2.5 \text{ g / l}$ is technologically expedient and economically beneficial for providing textiles softness and elasticity of the surface of materials, promotes the care of products in the processes of washing, wet cleaning, is effective in conditioning and softening of the tissues.

Keywords: properties of fabric, surface of textiles, surfactants, detergents, finishing, ecological safety.

Вступ

Сучасний асортимент текстильних виробів дуже різноманітний та багаточисельний. В асортименті текстильних виробів відбуваються постійні зміни. Щорічно асортимент текстильних виробів поновлюється на 20%. Тканини, які вийшли з моди та не користуються попитом споживачів, знімають з виробництва; замість них виробляють тканини нових структур. Поновлення асортименту здійснюється завдяки широкому використанню хімічних волокон та ниток, пряжі та ниток нових структур, екологічно безпечних технологій та препаратів, нових видів опорядження тканин, поліпшення рівня їх художньо-колеристичного оформлення [1, 2]. Поряд з постійним поновленням асортименту існує ряд тканин окремих видів, які випускаються протягом багатьох років практично без суттєвих змін структури та оформлення. Це так звані класичні тканини: бавовняні (ситці, бязі, сатини; вовняні (драпи, сукна, габардини); шовкові (крепдешини та крепшифони); лляні (рогожки, бортівки, полотна та інші). Виробництво тканин постійно зростає [3].

Волокнистий склад тканини слід враховувати під час моделювання, конструювання, крою та пошиття всіх текстильних виробів. Від волокнистого складу тканин залежать їх зовнішній вигляд, пружність, еластичність, розтяжність, формостійкість, вибір волого-теплової обробки. Як відомо [4], природні та хімічні волокна мають неоднакові властивості, через що використовуються для виробництва тканин і текстильних виробів різного призначення, з оптимальним поєднанням позитивних властивостей різноманітних волокон. Наприклад, для пальтових тканин здебільшого застосовують волокна вовни, які забезпечують високі теплозахисні та формостійкі властивості виробу. Для літніх платтяних тканин використовують бавовняні, віскозні волокна, які мають високу гігроскопічність, теплопровідність, стійкість до прання. Плащові, технічні тканини отримують здебільшого з синтетичної сировини (капрон, поліефір), яка забезпечує виробам пружність, міцність, стійкість до зношування.

Постановка завдання дослідження

В процесі експлуатації текстильних виробів відбувається процес зношування одягу, зокрема розтягування, стискання, згинання, скручування. Під дією зовнішніх сил велике значення для збереження

вигляду, форми одягу, збільшення терміну використання, має здатність тканини протистояти різним механічним впливам, тобто її механічні властивості [5].

Міцність – одна з найважливіших властивостей, що впливає на якість тканини та призначення виробів. Відповідно до нормативних документів ДСТУ ISO 13938-1:2007, ДСТУ ISO 13938-2:2007 характеризується розривальним навантаженням та розривальним подовженням. Розривальне навантаження є основним показником, який характеризує якість будови тканини і залежить від лінійної густини пряжі й ниток, якості волокнистого складу тканини. Найменші межі міцності при розриванні мають тканини жорсткі, мало щільні, з невеликим подовженням; у цьому випадку розривальне навантаження припадає виключно на першу нитку. Подібні навантаження витримують нитки тканини під час експлуатації одягу – по краю кишень або петель. Подовження тканини залежить від властивостей волокон, будови пряжі та ниток, характеру обробки тканини. Що більше подовження волокон, то більше подовження тканини. Зі збільшенням скрученості пряжі, щільності тканини подовження зростає. Наприклад, тканини полотняного переплетення мають більше подовження, ніж тканини саржевих переплетень; тканини саржевих переплетень переважно мають більше подовження, ніж тканини сатинових переплетень. Враховуючи те, що нитки утку більш зігнуті, ніж нитки основи, подовження тканини по утку завжди більше, винятком є тканини вовняні, в яких основа за однакової зігнутості утку має більшу скрученість. Технологічні процеси заключної обробки текстильних матеріалів загалом зменшують подовження тканини по основі і збільшують по утку. Визначення характеристик розривального подовження дають змогу оцінювати пружно-еластичні властивості тканин, готових виробів, їх формостійкість, незмиральність, здатність до зсідання тощо.

Жорсткість – це здатність тканини чинити опір деформаціям згину. Жорсткі тканини не драпіруються, а вироби з них погано лежать на фігурі людини, обмежують її рухи. Підвищена жорсткість ускладнює розкroювання, оскільки нагріваються ножі, під час шивання підвищується температура голки, що зменшує міцність швейних ниток, виникають труднощі в проведенні волого-теплової обробки тканин.

На жорсткість тканин впливають такі фактори [3, 4]: природна жорсткість волокон (наприклад, жорсткість волокон льону пояснюється змістом пектинів в волокні; жорсткість синтетичних волокон – круглою формою їх поперечного перерізу); структура пряжі та ниток – жорсткість зростає при збільшенні товщини та ступеня кручення пряжі (нитки); вид переплетення – при скороченні довжини перекриттів в переплетенні жорсткість тканини зростає; товщина та щільність тканини – при їх збільшенні жорсткість зростає; вид опорядження – апретування, валяння збільшують жорсткість, ворсування, відварювання, хімічні обробки – зменшують.

Жмакання – властивість матеріалу чинити опір згинанню, зминанню та здатність відновлювати первинний стан після зняття зусилля, що викликало його згинання, або зминання. Жмакання полотен істотно залежить від волоконного складу і будови. Жмакання текстильних матеріалів відповідно ДСТУ 4143-2002/ГОСТ 31101-2003, оцінюють за допомогою показників незмиральності і змиральності. Для оцінки незмиральності необхідно враховувати не тільки пружно-еластичні властивості відновлення після зминання, але і різні навантаження, які діють на матеріал в процесі експлуатації [5]. Під змиральністю розуміють здатність виробу утворювати при перегибах складки і зморшки внаслідок виникнення пластичних деформацій згинання. Найбільша змиральність характерна для тканин, особливо для тих, які складаються з волокон з мінімальними значеннями величин еластичного відновлення, зокрема з целюлозних волокон (віскозних, бавовняних), а найменша змиральність характерна для трикотажних полотен. Зі збільшенням кручення ниток підвищується їх пружність і зменшується змиральність тканин.

Таким чином, проведення комплексної оцінки зміни експлуатаційних властивостей текстильних виробів після обробки композиціями на основі екологічно безпечних речовин є актуальним та має практичне значення для виробників та споживачів одягу [2, 6].

Об'єкти та методи дослідження

Дослідження експлуатаційних властивостей текстильних виробів проводилися на зразках тканин з бавовняного, поліефірного волокна та їх сумішей, які представлені на ринку України і відповідно до стандартів якості ISO 105 ISO 5077 EN 340:2004 PN-P-84525, ISO 14184-1. Характеристика тканин наведена в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристика досліджуваних тканин

Найменування тканини	Ширина, см	Переплетення	Поверхнева густина, г/м ²
Тканина з бавовни	150	полотняне	180
Тканина, яка містить 80% бавовни та 20% поліефіру	150	полотняне	220
Тканина, яка містить 65% бавовни та 35% поліефіру	150	полотняне	220
Тканина з поліефіру	150	полотняне	220

В дослідженнях тканина використовувалася в підготовленому вигляді – відварена і вибілена.

Обробку зразків текстильних матеріалів проводили у композиції на основі екологічно безпечних

речовин (кокоамід ДЕА, N,N-біс(4-хлорфеніл)-3,12-диіміно-2,4,11,13-тетраазатетрадекандімідамід) при концентрації розчинів 2,5 г/л, 5 г/л [7].

Визначення лінійних розмірів текстильних матеріалів після обробки розчинами композицій здійснювали за ДСТУ ГОСТ 3816:2009 (ISO 811-81). Дані про зміну механічних властивостей бавовняних, поліефірних тканин та їх сумішей після обробки в композиціях визначали за методиками ДСТУ ISO 13938-1:2007, ДСТУ ISO 13938-2:2007. Жмакання зразків тканини визначали методом орієнтованого жмакання відповідно до ДСТУ 4143-2002/ГОСТ31101-2003.

За допомогою цифрового USB мікроскопу Magnifier UltraZoom 1000X спостерігали рельєфне зображення поверхні бавовняних, поліефірних та сумішевих тканин без обробки композиціями, обробленими композиціями, після обробки в розчинах композиції.

Результати досліджень та їх обговорення

Зміну лінійних розмірів текстильних матеріалів після обробки визначали за ДСТУ ГОСТ 3816:2009 (ISO 811-81) Матеріали текстильні. Метод визначення зміни лінійних розмірів після прання та сушіння. Результати дослідження наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Зміна лінійних розмірів досліджуваних зразків

Тканина	Лінійна усадка У, %	
	по основі	по утоку
Тканина з бавовни	2,5	4,5
Тканина, яка містить 65% бавовни та 35% поліефіру	0,5	1,5
Тканина, яка містить 80% бавовни та 20% поліефіру	1	1
Тканина з поліефіру	0	0

Дослідження показали, усадка тканин знаходиться в допустимих межах відповідно до ДСТУ ГОСТ 3816:2009 (ISO 811-81). Зміну лінійних розмірів бавовняних, поліефірних та сумішевих тканин представлено на рис. 1.

З рис. 1 видно, що найбільшу усадку має бавовняна тканина: У дорівнює 2,5% та У дорівнює 4,5% по основі та утоку відповідно. Для тканин з вмістом поліефірних волокон усадка матеріалу становить від 0,5% до 1,5%.

Дані про зміну механічних властивостей бавовняних, поліефірних тканин та їх сумішей після обробки в композиціях представлені в таблиці 3.

Таблиця 3

Механічні властивості бавовняних, поліефірних і сумішевих тканин після обробки в композиціях

Обробка	Тканина з бавовни		Тканина, яка містить 80% бавовни та 20% поліефіру		Тканина, яка містить 65% бавовни та 35% поліефіру		Тканина з поліефіру	
	Основа	Уток	Основа	Уток	Основа	Уток	Основа	Уток
Розривальне навантаження, Р _р , Н								
Вихідний зразок	655	245	870	630	1235	1140	1800	1700
Вода	400	305	790	520	1150	1000	1755	1600
С _{ком} =2,5 г/л	610	360	850	600	1200	1120	1880	1680
С _{ком} =5 г/л	600	360	860	600	1200	1100	1860	1680
Розривальне подовження ε, %								
Вихідний зразок	14	28,5	25,2	41,1	33,3	46,5	45	47,5
Вода	16	27,5	23,1	39,6	30,7	44,2	43	43,5
С _{ком} =2,5 г/л	14	21,5	24,8	40,5	33,1	45,8	43,5	48
С _{ком} =5 г/л	14	22	24,9	41	33,1	46	44	48

Результати дослідження розривального навантаження та розривального подовження, свідчать що використання композицій на основі екологічно безпечних речовин, не має руйнівного впливу на структуру текстильних матеріалів.

Визначення жорсткості EI, мкН·см² зразків текстильних матеріалів з бавовни, поліефіру та їх сумішей наведено у таблиці 4.

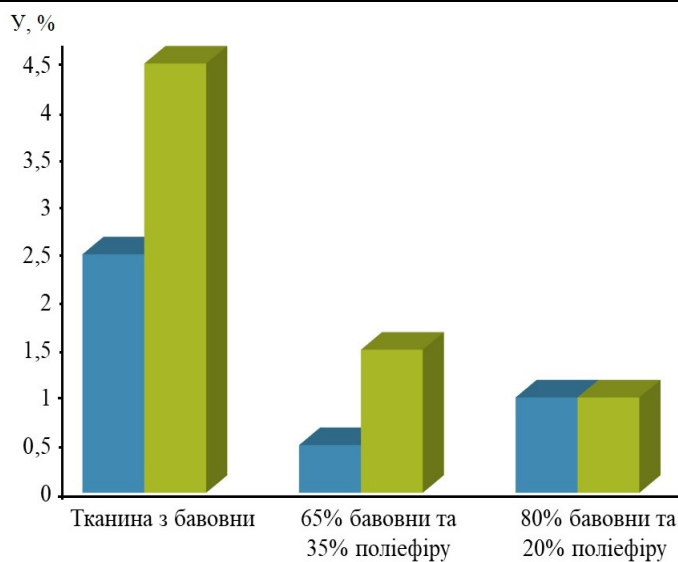


Рис. 1. Усадка бавовняних та сумішевих тканин: ■ – по основі; ■ – по утку

Таблиця 4

Жорсткість досліджуваних зразків тканини обробленою розчинами композиції (EI, мкН·см²)

Зразок	Жорсткість EI, мкН·см ²				
	необроблений зразок	C _{ком} =2,5 г/л		C _{ком} =5 г/л	
		основа	уток	основа	уток
Бавовняна тканина	951,88	836,75	611,00	850,36	601,10
Тканина, яка містить 80% бавовни та 20% полієфіру	1064,85	926,60	717,26	966,40	827,16
Тканина, яка містить 65% бавовни та 35% полієфіру	1052,23	998,93	771,38	1000,35	881,83
Полієфірна тканина	1371,64	1088,90	1088,90	1043,79	1044,98

Показники жмакання досліджуваних зразків тканин обробленої розчинами композицій C_{ком} = 2,5 г/л, C_{ком} = 5 г/л характеризували коефіцієнтом незмиальності K_н, %. Результати досліджень наведено в таблиці 5.

Таблиця 5

Коефіцієнти незмиальності досліджуваних зразків тканини обробленою розчинами композиції

Зразок	коефіцієнт незмиальності K _н , %				
	необроблений зразок	C _{ком} =2,5 г/л		C _{ком} =5 г/л	
		основа	уток	основа	уток
Бавовняна тканина	32,2	31,1	30,0	33,3	30,0
Тканина, яка містить 80% бавовни та 20% полієфіру	50,0	44,4	41,6	44,4	44,6
Тканина, яка містить 65% бавовни та 35% полієфіру	70,5	66,6	65,8	69,4	69,0
Полієфірна тканина	67,7	63,8	64,8	66,6	66,1

За даними таблиці 5, використання композиції, яка містить екологічно безпечні речовини, надає м'якість та еластичність поверхні матеріалів, тому композиція є ефективною під час кондиціонування та пом'якшення тканин, сприяє догляду за виробами.

За допомогою цифрового USB мікроскопу Magnifier UltraZoom 1000X спостерігали рельєфне зображення (рис. 2–5) поверхні бавовняних, полієфірних та сумішевих тканин без обробки композиціями (а), обробленими композиціями, C_{ком}=2,5 г/л (б), після обробки в розчинах композиції, C_{ком}=2,5 г/л (в).

Аналіз цифрових зображень поверхні текстильних матеріалів показує, що поверхня зразків тканин оброблених композиціями (C_{ком}=2,5 г/л) набуває гладкості, м'якості грифу, блиску і щільності поверхні. Подібні закономірності спостерігаються в ході обробки зразків тканини композицією C_{ком}=5 г/л.

Експериментальне дослідження зміни експлуатаційних властивостей текстильних виробів свідчить про те, що значення усадки, розривального навантаження, розривального подовження, жорсткості, жмакання, оброблених тканин, композицією на основі екологічно-безпечних речовин при C_{ком} = 2,5 г/л, практично не поступається значенням після обробки C_{ком} = 5 г/л, тому застосування композиції при концентрації C_{ком} = 2,5 г/л є технологічно доцільним та економічно вигідним.

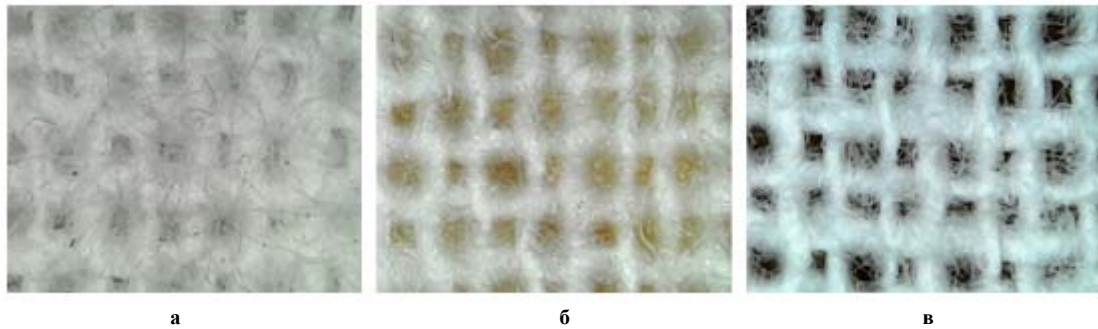


Рис. 2. Рельєфне зображення поверхні бавовняної тканини

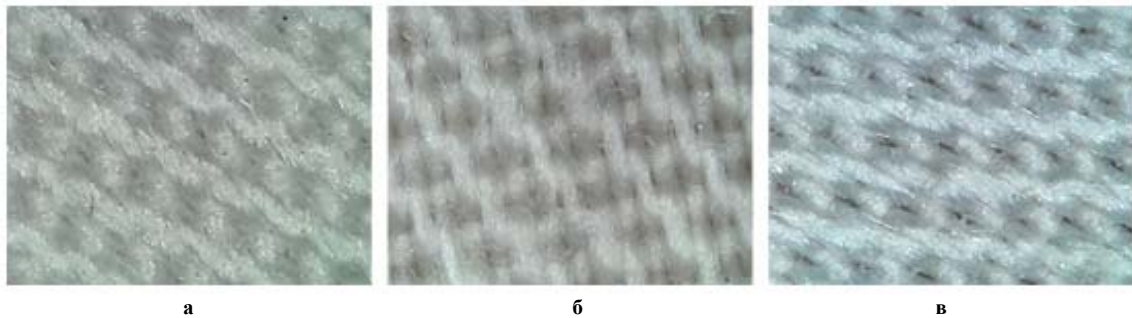


Рис. 3. Рельєфне зображення поверхні тканини, яка містить 80% бавовни та 20% полієфіру



Рис. 4. Рельєфне зображення поверхні тканини, яка містить 65% бавовни та 35% полієфіру



Рис. 5. Рельєфне зображення поверхні полієфірної тканини

Висновки

Проведено комплексне дослідження впливу обробки композиціями на основі екологічно безпечних речовин (кокоамід ДЕА, N,N-біс(4-хлорфеніл)-3,12-диіміно-2,4,11,13-тетраазатетрадекандіімідамід) на експлуатаційні властивості текстильних матеріалів з бавовни, полієфіру та їх сумішей.

Результати дослідження розривального навантаження та розривального подовження підтвердили можливість використання композицій на основі екологічно безпечних речовин для ефективної обробки виробів, без руйнівного впливу на структуру текстильних матеріалів.

Дослідження зміни лінійних розмірів після обробки композиціями показали, що усадка тканин знаходиться в допустимих межах, найбільшу усадку має бавовняна тканина, тканини з полієфіру не усаджуються.

Застосування композиції на основі екологічно безпечних речовин при концентрації $C_{\text{ком}} = 2,5$ г/л є технологічно доцільне та економічно вигідне для надання текстильним виробам м'якості та еластичності поверхні матеріалів, сприяє догляду за виробами в процесах прання, вологого чищення, є ефективним при кондиціонуванні та пом'якшенні тканин.

Література

1. Чайковська А. Є. Матеріалознавство в дизайні одягу : [навч. посібник] / А. Є. Чайковська, Т. М. Ткачова. – Київ : Науковий світ, 2004. – 191 с.
2. Ecological innovation : monograph / edited by Olga Paraska, Norbert Radek, Mirosław Bonek. – Poland, 2015. – 311 p. – ISBN 978-83-62150-15-1.
3. Кучер З. С. Матеріалознавство швейного виробництва : [навчально-метод. посібник] / З. С. Кучер, С. Л. Кучер. – Кривий Ріг : Видавничий дім, 2009. – 320 с.
4. Лазур К. Р. Швейне матеріалознавство : підручник / Лазур К. Р. – Львів : Світ, 2003. – 240 с.
5. Параска О. А. Роль якості хімічної чистки в зберіганні споживчих властивостей текстильних виробів / О. А. Параска, С. А. Карван, Г. Т. Бубенщикова // Легка промисловість. – 2004. – № 2. – С. 56–57.
6. Paraska O. Use of ecologically friendly surface active substances in the finishing of textiles innovations in clothing design, materials, technology and measurement methods : monograph / Olga Paraska, Tetyana Rak, Dmytro Chervonyuk ; ed. by Iwona Frydrych, Grazina Bartkowiak & Maria Pavlowa. – Łódź, 2015. – P. 218–225.
7. Параска О.А. Дослідження протимікробної дії композицій екологічно-безпечних поверхнево-активних речовин / О.А. Параска, Т.С. Рак, Д.В. Ротар // Освіта і наука : міжнародний журнал. – Мукачівсько-Ченстохова : РВВ МДУ; Академія ім. Я. Длугоша, 2018. – Вип. 2(25). – С. 71–82.

References

1. Chaikowska A. Material Science in Design of Clothing : textbook / A. Chaikowska, T. Tkacheva. – Kyiv : Scientific World, 2004. – 191 p. [in Ukrainian].
2. Ecological Innovation : monograph / edited by Olga Paraska, Norbert Radek, Mirosław Bonek. – Poland, 2015. – 311 p. – ISBN 978-83-62150-15-1.
3. Kucher Z. Material Science of Sewing Production : educational and methodical textbook / Z. Kucher, S. Kucher. – Kryvyi Rih : Publishing House, 2009. – 320 p. [in Ukrainian].
4. Lazur K. Sewing Material Science : textbook. – Lviv : World, 2003. – 240 p. [in Ukrainian].
5. Paraska O. A. The Role of the Quality of Dry Cleaning for the Saving of Consumer Properties of Textiles / O. Paraska, S. Karvan, G. Bubenshchikova // Light Industry. – 2004. – № 2 – P. 56–57. [in Ukrainian].
6. Paraska O. Use of Ecologically Friendly Surface Active Substances in the Finishing of Textiles Innovations in Clothing Design, Materials, Technology and Measurement Methods : monograph / Olga Paraska, Tetyana Rak, Dmytro Chervonyuk ; ed. by Iwona Frydrych, Grazina Bartkowiak & Maria Pavlowa. – Łódź, 2015. – P. 218–225.
7. Paraska O. Study of the Antimicrobial Activities of Composition Based on Environmentally Safe Surface Active Substances / O. Paraska, T. Rak, D. Rotar // International scientific journal "Education and Science". – 2018. – № 2(25). – P. 71–82. [in Ukrainian].

Рецензія/Peer review : 5.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.

Рецензент: д.т.н. Карван С.В.

ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ВІД ІОНІВ ХРОМУ ПРИРОДНИМИ СОРБЕНТАМИ. ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ

Робота присвячена розробці технології очищення стічних вод шкіряно-хутрового виробництва від іонів хрому шляхом адсорбції бентонітом Черкаського родовища в статичних умовах. Перспективність та ефективність бентонітових глин для очищення стічних вод підтверджена їх перевагами перед іншими сорбентами, а саме вони виграють в доступності, собівартості та можливості регенерації і багаторазовому використанні. Проведені дослідження підтвердили доцільність використання бентонітових глин для очищення хромовмісних стічних вод. Процеси адсорбції адаптовані до відомих технологічних схем очищення стічних та поверхневих вод, що забруднені іонами важких металів; досліджені технологічні аспекти очищення стічних вод шляхом адсорбції на природних дисперсних сорбентах. Як найбільш оптимальний метод відділення відпрацьованого сорбенту обрано його осадження під дією сили тяжіння. Дозування флокулянта дозволяє прискорити процес і збільшити ступінь осадження. Визначено основні параметри процесу осадження використаного сорбенту. Представлені основні варіанти регенерації відпрацьованих сорбентів. Розроблено технологічні схеми очищення стічних вод від іонів важких металів з подальшою регенерацією та осадженням відпрацьованих сорбентів. Одержав подальший розвиток метод послідовної адсорбції, згідно з яким на першій стадії відбувається поглинання хрому (одинарна сорбція чи хроматографічне розділення), а на другій – послідовно адсорбція аніонів.

Ключові слова: природні дисперсні сорбенти, стічні води, іони важких металів, осадження, регенерація.

H.V. SAKALOVA

Vinnytsia State Pedagogical University named after Mykhailo Kotsiubynsky

CLEANING STEEL WATER FROM CHROME IONS WITH NATURAL SORBENTS. TECHNOLOGICAL ASPECTS

This work is dedicated to development of scientific technologies of sewage water clarification of production of leather and fur enterprises from chrome ions by the way of adsorption by bentonite from Cherkasy field in static conditions. Perspective and efficiency of application of bentonite clays for clarification of sewage water are confirmed by their advantages before other sorbents, that is: they win in accessibility, cost, and possibility of regeneration and multiple usages. The researches proved expediency of usage the bentonite clays for clarification of sewage water from chrome (III) ion. The adsorption processes were adapted to known technological schemes of sewage and polluted surface water purification that was heavy metal ions. There were measured the technological aspects of water purification by using adsorption on natural dispersed sorbents. As the most optimal method for separating the spent sorbent, its precipitation under the action of gravity was chosen. Dosing flocculants allows you to speed up the process and increase the degree of sedimentation. The main parameters of the deposition process used sorbent. The main options for regeneration of spent sorbents are presented. The technological schemes of drain water purification from heavy metal ions contamination were developed; as well as the following sedimentation and regeneration of sorbents. The method of sequential adsorption has been further developed, according to which absorption of chrome (single sorption or chromatographic separation) occurs at the first stage, and consecutive adsorption of anions occurs at the second stage.

Key words: natures dispersed sorbents, sewage, ions of heavy metals, sedimentation, regeneration.

Вступ

Важкі метали утворюють групу найнебезпечніших забруднювачів навколишнього середовища. У поверхневі природні водойми (моря, озера, річки, водосховища) з промисловими стічними водами надходить значна кількість іонів важких металів, які стають істотною перешкодою в життєдіяльності мікробіонтів. Стічні води шкіряної промисловості містять велику кількість розчинних і нерозчинних сполук, мають неприємний запах, темний колір, піняться і є токсичними. Ступінь забруднення і кількість стічних вод, які утворюються в процесі переробки шкіряної і хутрової сировини, залежать від видів шкіри та хутра, які виробляють, технології виробництва і, перш за все, підготовчих процесів і дублення. Вміст іонів хрому(III) у стоках шкіряних виробництв може досягати 3000 та більше мг/дм³ [1]. Враховуючи токсичність даного металу, стоки, що містять його сполуки, підлягають обов'язковій очистці перед їх викидом у природні водойми.

Сполуки три- та шестивалентного хрому виявляють протилежну фізіологічну дію. Якщо мікрокількості сполук Cr(III) відіграють важливу роль у метаболізмі ссавців, то сполуки Cr(VI) виявляють токсичну дію на біологічні системи та канцерогенну – на людей. Порівняно зі сполуками Cr(III) сполуки хрому(VI) є розчинними в широкому інтервалі рН, мають більшу мобільність, а тому є більш небезпечними для живих організмів. Крім того, шкідливий вплив шестивалентного хрому посилюється внаслідок того, що негативно заряджені йони HCrO_4^- , CrO_4^{2-} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ обмежено зазнають сорбування глинами, що сприяє підвищенню їхньої мобільності та посиленню небезпечної дії [2]. У річкових незабруднених і слабо забруднених водах вміст хрому коливається від декількох десятків часток мікрограма у літрі до декількох мікрограмів в літрі, у забруднених водоймах вона досягає декількох десятків і сотень мікрограмів в літрі. Середня концентрація в морських водах – 0,05 мкг/дм³, в підземних водах – зазвичай у межах $n \cdot 10 - n \cdot 10^2$

мкг/дм³ [3]. Вміст хрому у водоймах господарсько-питного використання не повинен перевищувати ГДК для Cr (VI) 0,05 г/м³.

Стічні води шкіряно-хутрових підприємств представляють складні багатокomпонентні системи, однак традиційні методи їх очищення не можуть забезпечити достатню повноту видалення домішок шкідливих речовин та одночасне концентрування речовин для їх повторного використання. Отже, вилучення сполук хрому являє собою складне, але водночас важливе науково-технічне та екологічне завдання [4].

Одним із найбільш перспективних методів вилучення радіоактивних, токсичних і цінних домішок із водних розчинів є сорбційне розділення. Особливі переваги йонообмінні методи мають у тих випадках, коли вихідна концентрація небажаних домішок відносно мала, а ступінь їх вилучення повинен бути високим.

Аналіз останніх публікацій [5–8] свідчить про доцільність застосування адсорбційних методів для очищення стічних вод від забруднювачів з використанням природних дисперсних мінералів як адсорбентів. Очищення водних розчинів за допомогою дисперсних сорбентів відповідає багатьом вимогам екологічно чистого та енергоощадного виробництва. Потужні геологічні запаси, дешеве видобування породи, проста підготовка до транспортування та використання, можливість використання відпрацьованих сорбентів у інших технологіях – основні переваги використання природних мінералів.

Метою роботи є дослідження ефективності адсорбційного методу очищення стічних вод шкіряно-хутрового виробництва від іонів хрому(III) з використанням природного бентоніту Черкаського родовища.

Експериментальна частина

Опис методики проведення досліджень. Обраний метод адсорбції іонів Cr³⁺ шляхом дозування сорбенту у розчин і періодичного перемішування забезпечує максимальну площу контакту між фазами, що дозволяє в повній мірі використати поглинальну ємність сорбенту. Недоліком цього методу є необхідність очищення обробленої води від відпрацьованого сорбенту. Найбільш доцільним в даному випадку є розділення сорбенту і води під дією сили тяжіння.

Для встановлення діапазону режимних параметрів, за якими необхідно проводити детальне дослідження процесів адсорбції, була виконана серія попередніх експериментів, що дало можливість зробити такі висновки:

- 1) коливання температури від +10 до +30°C не виявляє помітного впливу на ступінь адсорбції іонів хрому бентонітом;
- 2) максимальне поглинання іонів хрому відбувається впродовж 30 хвилин, а практично повне – через 6–8 годин;
- 3) раціональною кількістю дозування є 5–8 г бентоніту на 1 дм³ забрудненої води (за умови, що вихідна концентрація політанта не перевищує 1000 мг/дм³).
- 4) в умовах постійного перемішування (при кількості обертів мішалки 70–80 за хвилину) максимальне поглинання іонів хрому становить 87,2%.

Природні сорбенти мають розвинену пористу структуру, що проявляється у значній розбіжності у густині різних частинок. В зв'язку з цим процес осадження сорбенту у воді під дією сили тяжіння досить тривалий [8]. Нами запропоновано підвищити інтенсивність осадження відпрацьованого сорбенту шляхом укрупнення частинок внаслідок їх агломеризації в результаті введення в систему флокулянта. Добре зарекомендував себе поліакриламід (ПАА) – полімерний коагулянт, хімічно інертний до бентоніту із досить високими флокуляційними властивостями. Для проведення флокуляції адсорбенту рекомендовано використовувати 2% робочі розчини коагулянтів. Для приготування цих розчинів 15-відсотковий розчин полімеру дозували в об'ємі 13,3 см³ і доводили у мірній колбі до мітки 100 см³ дистильованою водою.

В ході експерименту також визначали вплив флокулянту, а саме поліакриламід (ПАА) на ступінь адсорбції. Для дослідження впливу флокулянту на ступінь адсорбції у модельні розчини, що містили іони Cr³⁺ та адсорбент, дозували ПАА в різні часові проміжки проведення процесу. Дослідження проводили для модельних розчинів з досліджуванним іоном важкого металу для різних початкових концентрацій. Для того, щоб флокуляція відбувалась швидко і в усьому об'ємі розчину, систему інтенсивно перемішували за визначеним режимом у електромагнітних змішувачах. Розчин ПАА відповідно дозували на початку процесу (1), через 5(2) і 10 (3) годин. Отримані результати свідчать, що введення в систему розчину ПАА сприяло сповільненню процесу сорбції. Це могло бути викликано агломеризацією глинистих частинок в процесі флокуляції, внаслідок чого зменшувалась поверхня масообміну та їх поглинальна здатність. Також не виключений процес десорбції політантів внаслідок катіонного обміну, однак основною причиною сповільнення варто вважати колоїдним захистом глинистих частинок. Тому доцільно дозувати розчин ПАА наприкінці процесу.

Оцінити кінетику осадження процесу найбільш точно можна лише за допомогою експериментальних досліджень. Дослідження кінетики осадження проводили таким чином: після останнього перемішування дослідних зразків в систему додавали розчин ПАА; впродовж певного часового проміжку визначали мутність розчину – пробу відбирали у верхній частині розчину. Досліди проводили на фотоелектроколориметрі з зеленим світлофільтром ($\lambda=530$ нм). Для отримання стандартних розчинів, на основі яких будували калібрувальну криву, визначену кількість сорбенту змішували з водою і розчином ПАА до отримання однорідної суспензії. Оскільки доза ПАА в розчині незначна (2-5мл 2%-го розчину), його концентрацією нехтували. Питомий показник поглинання визначали експериментальним методом і

отримали відповідні значення (таблиця 1):

Таблиця 1

Значення питомого показника поглинання E		
	Без забруднювача	З наявним іоном Cr^{3+}
Бентоніт	0,0193	0,0219
Бентоніт +ПАА	0,0208	0,0223

Результати експериментальних досліджень кінетики осадження сорбентів у водному середовищі, яке очищалося в умовах різного їх початкового вмісту представлені у вигляді графічних залежностей концентрації сорбенту у воді від часу процесу (рис. 1).

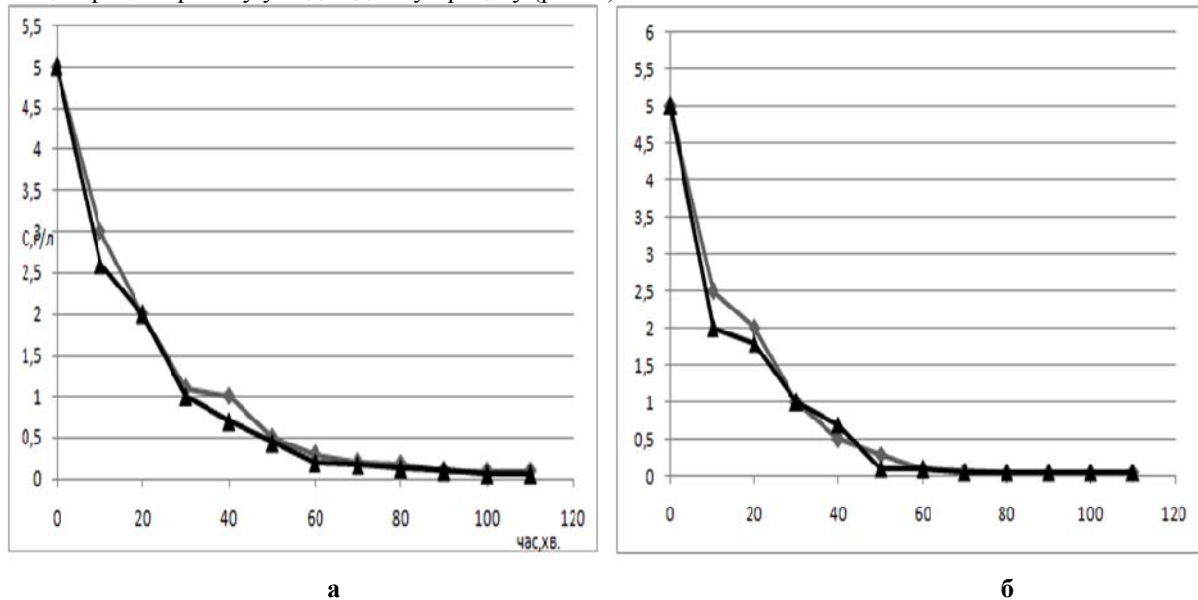


Рис. 1. Кінетика осадження бентоніту, г/л, а) без дозування ПАА; б) з дозуванням ПАА.
(Наявні іони в розчині: -▲- Cr^{3+} ; -◆-без іонів важких металів)

Результати досліджень свідчать, що у початковий момент часу проходить найбільш інтенсивне осадження частинок крупних фракцій (40 хвилин). Цей період відповідає стрімкому зниженню концентрації сорбенту у воді. Далі інтенсивність очищення значно знижується і визначається швидкістю осадження частинок найдрібнішої фракції. Порівняння приведених вище графічних залежностей дає можливість стверджувати, що дозування розчину ПАА дозволяє знизити час осадження на 20 хвилин та збільшити ступінь осадження в середньому на 30%. В межах кожного графіка спостерігається краще осадження адсорбенту, насиченого іоном хрому в порівнянні з системою глина-вода, що найбільш імовірно пов'язано зі збільшенням розмірів насичених глинистих частинок.

Для реалізації практичних задач очищення води від завислих речовин важливим є визначення швидкості осадження частинок сорбенту. Тому нами для досліджуваних систем розраховані такі показники, як середня та фіктивна швидкості, а також відносна кількість осаду, що утворюється. Експериментальні дані свідчать, що лімітуючою стадією процесу очищення є осідання найдрібніших фракцій, тому оцінку швидкості осадження частинок адсорбенту проводили саме для цього періоду. За значення початого масового вмісту сорбенту у воді приймали його значення для моменту переходу процесу постійної низької інтенсивності осадження. Для бентоніту цей період наступив за 25÷30 хвилин. Починаючи із вказаного часу процес осадження характеризується лінійною залежністю. Результати розрахунків приведені у таблиці 2. Отримані величини можна використовувати для розрахунку та вибору очисного обладнання. Узагальнюючи отримані результати можна стверджувати, що дозування ПАА збільшує середню та відсоткову швидкість осадження. Це в свою чергу дозволяє рекомендувати флокуляційне осадження для інтенсифікації інтегрованої технології очищення стоків від важких металів адсорбцією природними дисперсними сорбентами в цілому.

Таблиця 2

Результати розрахунків фіктивної швидкості осадження сорбентів у воді

Сорбент	P	u_{cp} , см/с	$u_{ф}$, см/с
Бентоніт	2	0,0014	0,0027
Бентоніт +ПАА	1	0,0043	0,0053

На нашу думку, користуючись теоретичними розробками та даними експериментів, доцільніше використовувати технологічну схему очищення, що передбачає додаткове очищення води після реагентного осадження та видалення осаду. У випадку концентрації іонів важких металів у воді до 0,3÷0,5 г/л, адсорбційне очищення проводять без додаткового реагентного осадження (цикл 1–6). Спрощена схему

можна використовувати для очищення стічних вод після додублювання і протравного фарбування [9].

Запропоновано технологічну схему очищення стічної води на базі природного сорбенту – бентоніту за повним циклом (1–10). Така принципова схема очищення стічних вод після дублення шкіряного виробництва приводиться на рис. 2.

Стічні води через колектор (1), де відбувається вирівнювання складу СВ з різних технологічних операцій подаються у відстійник (6). У реактор (7) для хімічного осадження подають стічну воду з відстійника (6), розчин кальцій гідроксиду (8), а через годину інтенсивного перемішування – синтетичний флокулянт (9). Суміш відстоюють до повного відділення осаду. Стоки після реагентного очищення (7) відділяють від осаду за допомогою вакуум-фільтра (10), та направляють в реактор з мішалкою (2), одночасно проводять контрольне вимірювання концентрацій забрудненої води після осадження. В реактор з мішалкою (2) попередньо завантажено бентоніт у кількості 5 г/дм³ води. Реактор (2) представляє циліндричну ємність, можливо, зі з'ємною кришкою із встановленим на ній пристроєм для перемішування. Привід мішалки здійснюється від вертикального електродвигуна з редуктором (3). Апарат виконано із кислотостійкої сталі марки 08X18H10T, він має емалезахисне покриття. По закінченню перемішування в апарат дозують розчин ПАА в кількості 0,2% від маси бентоніту для прискорення осадження забруднювачів (4). Після повного осадження (до 1 год) продуктів обміну суспензію розділяють. Очищену воду можна повторно використовувати у виробничому циклі. Вологий відпрацьований сорбент подається у сушарку барабанного типу (5), де зневоднюється і розмелюється до фракції менше 0,5 мм, після чого направляється в ємність для зберігання (11). Температуру сушіння можна прийняти рівною 120°C.

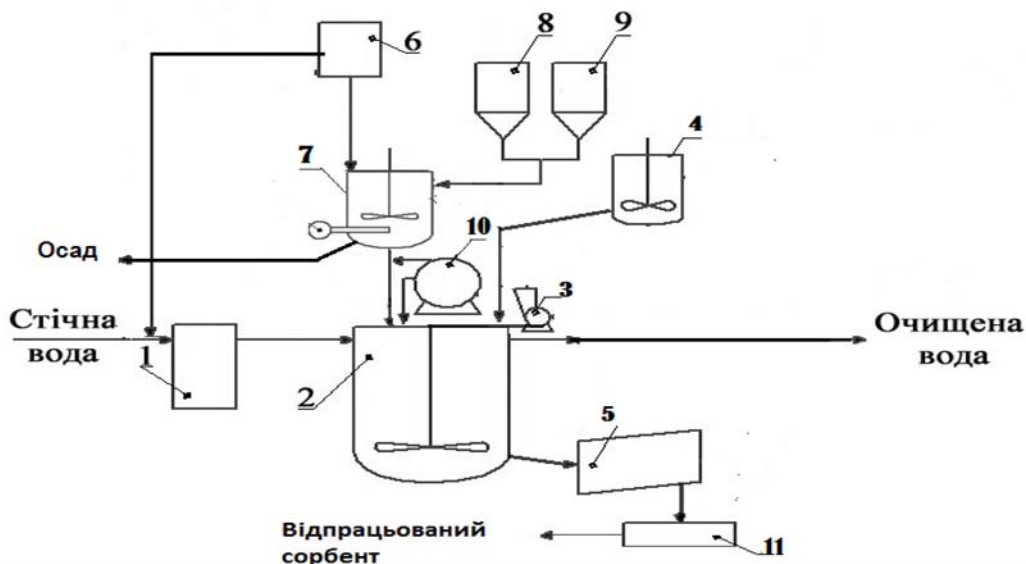


Рис. 2. Принципова технологічна схема очищення гальванічних стоків від іонів важких металів із застосуванням природного дисперсного сорбенту

Відпрацьований бентоніт, може бути регенерований методом десорбції. У колону подається розчин солі або кислоти, який витіснить хром з бентоніту, згідно з реакцією:



Вартість природних дисперсних сорбентів невелика, недоцільно планувати регенерацію відпрацьованих сорбентів, оскільки вартість регенерування буде на порядок вищою від вартості нового сорбенту. Одним із перспективних напрямків використання відпрацьованого целіту є застосування його у послідовній сорбції (рис. 3) [10]. Адсорбція Cr^{3+} є першою стадією послідовного процесу сорбції. Таким чином даний метод не лише забезпечує очищення стічних вод від іонів хрому на виробництвах, але й дає змогу модифікувати бентонітову структуру.

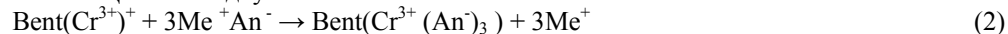


Рис. 3. Схема послідовної адсорбції

Вдало підібраний модифікатор дозволить послідовно провести другу стадію сорбції, що забезпечує

утилізацію сорбенту після першої стадії сорбції. Очевидно, що відпрацьований сорбент можливо використати для очищення стічних вод, що мають кислу реакцію, а таких рідин близько 10 % від загального обсягу стічних вод виробництва. Наприклад, адсорбційне очищення можливо провести для відпрацьованих пікельних розчинів, у випадку, коли на них не проводять подальше дублення, як це можливо в технологічних схемах виробництва хутра [11].

Встановлено, що поглинання сульфатів, ацетатів і форміатів відбувається за механізмом хемосорбції після співосадження вивільнених за рахунок іонного обміну катіону відповідної солі на обмінні катіони, що містить бентоніт. Це може відбуватись за схемою:



При цьому необхідно врахувати наступні особливості складу та способів очищення стічних вод шкіряно-хутрового виробництва:

- відпрацьовані пікельні розчини містять значну кількість завислих речовин, що сприяють «злипання» глинистих частинок та значно зменшують ефективність очищення, тому перед адсорбцією потрібно провести попереднє механічне очищення відпрацьованої рідини.

- за умови повторного використання адсорбенту, на стадії осадження розчин ППА з метою прискорення осадження дозувати не рекомендовано, оскільки зменшується поверхня масообміну та поглинальна здатність сорбенту.

- нами також розглянута можливість повторного використання сорбенту для очищення відмочувально-зольних і знезольовальних рідин від завислих білкових речовин. Відпрацьований сорбент з поліакриламідом сприяє агломерації завислих речовин і їх швидшому осіданню [11].

Висновки.

В роботі досліджено й науково обґрунтовано спроможність бентонітової глини як природного сорбенту поглинати іони хрому(III) з метою очищення стічної води та покращення її фізико-хімічних та органолептичних показників за рахунок високих адсорбційних, іонообмінних і фільтраційних властивостей, а також їх розповсюдженості на території України та відносно невисокої вартості.

Експериментально доведено, що максимальне поглинання іонів хрому відбувається впродовж 30 хвилин, а практично повне – через 6–8 години. Визначено ступінь очищення стічної води при різних концентраціях забруднювачів та кількостях дозованого сорбенту. Рациональною дозою є 5–8 г бентоніту на 1 дм³ забрудненої води (за умови, що вихідна концентрація поллютанту не перевищує 1000 мг/дм³).

Дозування розчину поліакриламідів наприкінці процесу дозволяє знизити час осадження відпрацьованого сорбенту на 20 хвилин та збільшити ступінь осадження в середньому на 30%. Для визначення швидкості осадження частинок сорбенту розраховано такі показники, як середня і фіктивна швидкості, а також відносна кількість осаду, що утворюється. За умови повторного використання сорбенту, дозування ППА не рекомендується.

Розроблена технологія очищення стічних вод від іонів хрому, яка передбачає очищення стічних вод з концентрацією Cr^{3+} 2–2,5 г/л та з концентрацією до 0,5 г/л адсорбцією бентонітом. Рекомендовано повторне використання відпрацьованого висушеного сорбенту для очищення стічних вод, що мають кислу реакцію, або для прискорення осадження завислих білкових речовин.

Література

1. Шалбуев Д. В. Практикум по оценке качества сточных вод на кожевенно-меховых предприятиях / Шалбуев Д. В. – Улан-Удэ : Изд-во ВСГТУ, 2006. – 77 с.
2. Розвиток і відтворення ресурсного потенціалу суб'єктів еколого-економічних, туристичних та екоінформаційних систем: монографія / колектив авторів ; за наук. ред. М.С. Мальованого. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. – С. 85–89.
3. Sabadash V. Concurrent sorption of copper and chromium cations by natural zeolite. / V. Sabadash, J. Gumniysky, O. Mylanyk, L. Romaniuk // Environmental problems. – 2017. – Volume2, number1. – P. 159–162.
4. Большанина С. Б. Очищення стічних вод гальванічних виробництв сорбційними методами / С. Б. Большанина, Г.М. Гурець, Д.С. Балабуха, Д.В. Міляєва // Екологічна безпека. – 2014. – № 1. – С. 114–118.
5. Petrushka I.M. Cesium sorption intensification by complex natural sorbents from liquid radioactive media / I.M. Petrushka, J.J. Jatczyshyn, K.I. Petrushka // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2014. –V. 5. 10(71). – P. 47.
6. Петрус Р. Технології очищення стоків із застосуванням природних дисперсних сорбентів / Р. Петрус, М. Мальований, Й. Варчол, З. Одноріг, І. Петрушка, Г. Леськів // Хімічна промисловість України. – 2003 – № 2 (55). – С. 20–22.
7. Гумницький Я.М. Сорбція іонів хрому із водних розчинів природним кліноптилолітом / Я.М. Гумницький, О.В. Сидорчук // Вісн. Нац. ун-ту Львівська політехніка: Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2013. – № 761. – С. 303–305.
8. Sakalova G. Investigation of the Method of Chemical Desorption For Extraction of Nickel Ions (Ni) from Bentonite Clays / Galyna Sakalova, Tamara Vasylynych, Nataliya Koval, Viktoriia Kashchei // Environmental problems. – 2017. – Vol. 2, No. 4. – P. 187–190.

9. Абрамов С.И. Сточные воды кожевенного производства / Абрамов С.И. – М. : Стройиздат, 1982. – 245 с.
10. Сидорчук О.В. Технологічна схема очищення стічних вод від фосфатів модифікованими цеолітами типу Z-Cu²⁺ / О.В. Сидорчук // Вісн. Нац. ун-ту Львівська політехніка: Хімія, технологія речовин та їх застосування. – Львів, 2014. – № 787. – С. 297–300.
11. Касьян Е.Є. Розрахунки у шкіряно-хутровому виробництві : навчальний посібник / Е.Є. Касьян. – К. : КНУТД, 2002. – 308 с.

References

1. Shalbuev D. V. Praktikum po otsenke kachestva stochnykh vod na kozhevenno-mekhovyykh predpriyatiyakh / Shalbuev D. V. – Ulan-Ude : Yzd-vo VSHTU, 2006. – 77 s.
2. Rozvytok i vidtvorennia resursnoho potentsialu subiektiv ekolocho-ekonomichnykh, turystychnykh ta ekoinformatsiynykh system: monohrafiia / kolektyv avtoriv ; za nauk. red. M.S. Malovanoho. – Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 2015. – S. 85–89.
3. Sabadash V. Concurrent sorption of copper and chromium cations by natural zeolite. / V. Sabadash, J. Gumnitsky, O. Mylanyk, L. Romaniuk // Environmental problems. – 2017. – Volume2, number1. – P. 159–162.
4. Bolshanina S. B. Ochyshchennia stichnykh vod halvanichnykh vyrobnytstv sorbtsiinykh metodamy / S. B. Bolshanina, H.M. Hurets, D.S. Balabukha, D.V. Miliiaeva // Ekolohichna bezpeka. – 2014. – № 1. – S. 114–118.
5. Petrushka I.M. Cesium sorption intensification by complex natural sorbents from liquid radioactive media / I.M. Petrushka, J.J. Jatczyshyn, K.I. Petrushka // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2014. –V. 5. 10(71). – R. 47.
6. Petrus R. Tekhnolohii ochyshchennia stokiv iz zastosuvanniam pryrodnykh dyspersnykh sorbentiv / R. Petrus, M. Malovanyi, Y. Varchol, Z. Odnorih, I. Petrushka, H. Leskiv // Khimichna promyslovist Ukrainy. – 2003 – № 2 (55). – S. 20–22.
7. Humnytskyi Ya.M. Sorbtsiia ioniv khromu iz vodnykh rozchyniv pryrodam klynoptylolitom / Ya.M. Humnytskyi, O.V. Sydorshuk // Visn. Nats. un-tu Lvivska politekhnika: Khimii, tekhnolohii rechovin ta yikh zastosuvannia. – 2013. – № 761. – S. 303–305.
8. Sakalova G. Investigation of the Method of Chemical Desorption For Extraction of Nickel Ions (Ni) from Bentonite Clays / Galyna Sakalova, Tamara Vasylynych, Nataliya Koval, Viktoriia Kashchei // Environmental problems. – 2017. – Vol. 2, No. 4. – R. 187–190.
9. Abramov S.Y. Stochnye vody kozhevennoho proyzvodstva / Abramov S.Y. – M. : Stroiyzdat, 1982. – 245 s.
10. Sydorshuk O.V. Tekhnolohichna skhema ochyshchennia stichnykh vod vid fosfativ modyfikovanykh tseolitamy typu Z-Cu²⁺ / O.V. Sydorshuk // Visn. Nats. un-tu Lvivska politekhnika: Khimii, tekhnolohii rechovin ta yikh zastosuvannia. – Lviv, 2014. – № 787. – S. 297–300.
11. Kasian E.Ie. Rozrakhunky u shkiriano-khutrovomu vyrobnytstvi : navchalnyi posibnyk / E.Ie. Kasian. – K. : KNUTD, 2002. – 308 s.

Рецензія/Peer review : 24.11.2018 р.

Надрукована/Printed :18.12.2018 р.
Рецензент: к.т.н., доц. Василінич Т.М.

Ю.О. БУДАШ, Є.В. КУЧЕРЕНКО, В.П. ПЛАВАН, В.О. СОЗДАНА

Київський національний університет технологій та дизайну

ВПЛИВ ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ПЕРЕРОБКИ ПРИРОДНИХ ВОЛОКОН НА ЇХ РОЗМІРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В роботі визначався вплив кількості циклів прочісування на поперечні розміри та характер розподілу за цим показником природних волокон, що можуть бути використані у якості додаткового компоненту під час виготовлення нетканих композиційних матеріалів з синтетичних волокнистих відходів. Показано, що збільшення числа циклів прочісування волокон льону та коноплі до 5 призводить до суттєвого зменшення їх поперечних розмірів волокон та стандартного відхилення розподілу. Методом кореляційного аналізу встановлено, що швидкість зміни середніх поперечних розмірів волокон коноплі в процесі багаторазового прочісування ~ в 2,5 разу більша ніж для волокон льону.

Ключові слова: волокнисті відходи, неткані матеріали, природні волокна, чесання, аналіз зображень.

YU. O. BUDASH, Y. V. KUCHERENKO, V. P. PLAVAN, V. O. SOZDANA

Kyiv National University of Technology and Design

INFLUENCE OF MECHANICAL PROCESSING OF NATURAL FIBERS ON THEIR DIMENSIONAL CHARACTERISTICS

The effect of the number of carding cycles on the transverse dimensions and the nature of the distribution of natural fibers that can be used as an additional component in the production of nonwoven composite materials from synthetic fibrous waste was determined. For research were used industrial designs of natural non-wood fibers of flax and hemp. For the processing of fibers used carding machine. After each combing cycle, fiber samples were taken from the receiving drum for further research. During the work, the structure of the fiber samples was studied by optical polarization microscopy. The results of microscopic studies were recorded by photographing samples with a special digital ocular nozzle. To determine the transverse dimensions of the fibers, the method of analyzing the obtained digital images in the ImageJ software package was used, followed by statistical processing and graphical analysis of the obtained data in the Statistica package. Correlation analysis of the obtained data was carried out in the CurveExpert program using the Levenberg-Marquardt algorithm (LM) to calculate nonlinear regression models. The obtained research results can be used to predict the properties of nonwoven composite materials based on synthetic fibrous waste containing a modifying component in the form of various types of natural fibers.

Keywords: fibrous waste, nonwoven materials, natural fibers, carding, image analysis.

Вступ

Розвиток сучасного виробництва волокнистих нетканних матеріалів характеризується декількома тенденціями [1–3]. Серед них можна відзначити, по-перше, широке використання природних волокон (в тому числі недеревного походження) для створення функціоналізованих волокнистих матеріалів. По-друге, використання оригінальних новітніх технологій утворення та скріплення шару волокнистого матеріалу (спанбонд, спанлейс, ейрлейд, струто та ін.). Незважаючи на це, класичний (механічний) спосіб отримання нетканних матеріалів з використанням чесальних машин як і раніше широко вживаний у промисловості. Загальний принцип цієї технології полягає в послідовному пропусканні вихідного волокнистого матеріалу через пари валків, обладнаних голкоподібною гарнітурою, в ході якого відбувається розподіл волокон по ширині робочої зони, їх змішування та певна паралелізація в напрямку розчісування [4, 5].

Використання природних волокон при виготовленні нетканних матеріалів додає складності в процес контролю їх розмірних характеристик. Це пов'язано з тим, що природні волокна мають виражену мультифібрилярну структуру з середнім поперечним розміром окремих фібрил в нанометровому діапазоні [6]. При цьому, макрофібрили, в процесі механічної взаємодії з голковою гарнітурою чесальної машини та перетворення в нетканний матеріал здатні руйнуватися в поздовжньому напрямку зі зменшенням їх розмірів. В результаті, підвищення площі контакту з іншими волокнистими компонентами впливає на такі властивості нетканого матеріалу, як сорбційна здатність, пористість, паро- та повітропроникність. Можна припустити, що характер і ступінь таких змін будуть суттєво залежати як від природи й початкових розмірних характеристик природних волокон, так і від технологічних параметрів процесу механічної переробки (тип чесальної машини, характеристика гарнітури, кількість, розводка, швидкість обертання окремих чесальних циліндрів, число циклів прочісування).

Отримані результати досліджень можуть бути використані для прогнозування фізико-механічних властивостей нетканних композиційних матеріалів на основі синтетичних волокнистих відходів [7, 8], що вміщують як модифікуючий компонент різні типи природних волокон.

Постановка завдання

Мета роботи – аналіз впливу кількості циклів прочісування на поперечні розміри та характер розподілу за цим показником природних волокон (льон, коноплі), які можуть бути використані у якості додаткового компоненту під час виготовлення нетканних композиційних матеріалів з синтетичних волокнистих відходів.

Об'єкт та методи дослідження

Для досліджень були використані промислові зразки природних недеревних волокон льону та коноплі. Вихідні характеристики волокон, відповідали загальноприйнятим стандартам [9; 10].

Для переробки волокон використовували чесальну машину марки ЧБВ, обладнану трьома парами робочих та знімальних валків. Міжвалкові зазори чесальної машини для всіх зразків були незмінні та складали $0,3 \pm 0,4$ мм. Після кожного циклу прочісування, відбирали зразки волокон з приймального барабана для подальших досліджень.

Структуру зразків волокон вивчали методом оптичної поляризаційної мікроскопії (мікроскоп «Біолам С-11»). Результати мікроскопічних досліджень фіксували методом фотографування зразків спеціальною цифровою окулярною насадкою. Для визначення поперечних розмірів волокон використовували метод аналізу отриманих цифрових зображень в програмному пакеті ImageJ [11] з наступною статистичною обробкою та графічним аналізом отриманих даних в пакеті Statistica [12]. Кореляційний аналіз отриманих даних виконували в програмі «CurveExpert» з використанням алгоритму Левенберга-Марквардта (LM) [13] для розрахунку нелінійних регресійних моделей.

Результати дослідження

На рис. 1 наведені мікрофотографії в поляризованому світлі початкової структури волокон льону (рис. 1а) та її зміни при послідовних циклах механічної переробки на чесальній машині (рис. 1 б-ф). Візуальний аналіз свідчить, що в процесі прочісування відбувається поздовжнє руйнування окремих волокон зі зменшенням їх поперечних розмірів. Під час зростання кількості циклів операції цей процес стає більш вираженим.

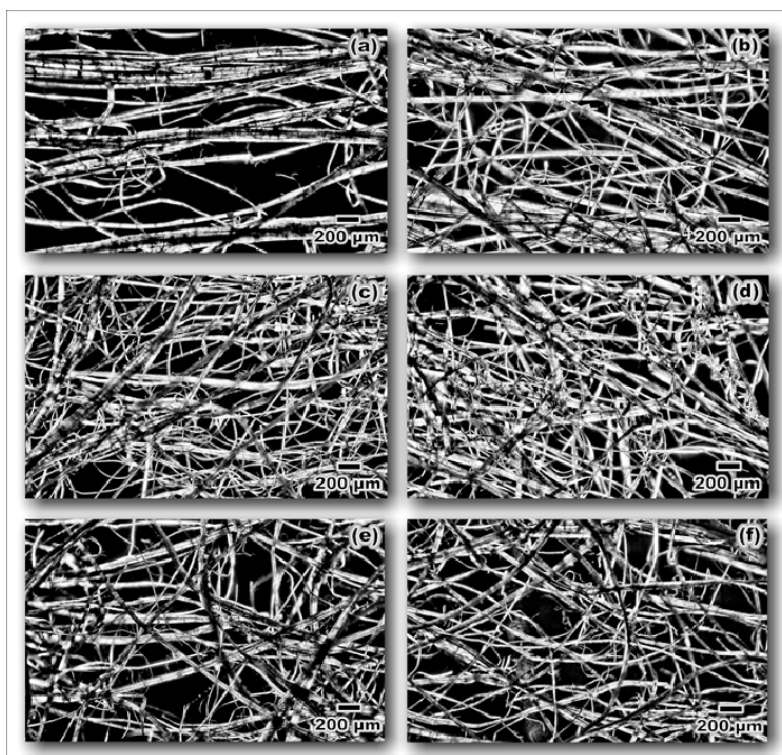


Рис. 1. Мікрофотографії в поляризованому світлі структури волокон льону при різній кількості циклів прочісування: а) вихідний зразок; б) 1; в) 2; д) 3; е) 4; ф) 5

Методом аналізу зображень було визначено кількісну зміну поперечних розмірів волокон льону в процесі багаторазового прочісування. Гістограма розподілу за поперечним розміром волокон льону при різній кількості циклів переробки наведена на рис. 2. Отримані результати свідчать, що до прочісування найбільша частка волокон (19%) має поперечні розміри від 30 до 40 мкм. При цьому їх основна частина (~51%) відноситься до інтервалу $20 \div 50$ мкм. Частка волокон з найменшими розмірами (< 20 мкм) становить близько 7%, в той же час частка волокон з найбільшими розмірами (> 100 мкм) у 2 рази вища і становить ~14%.

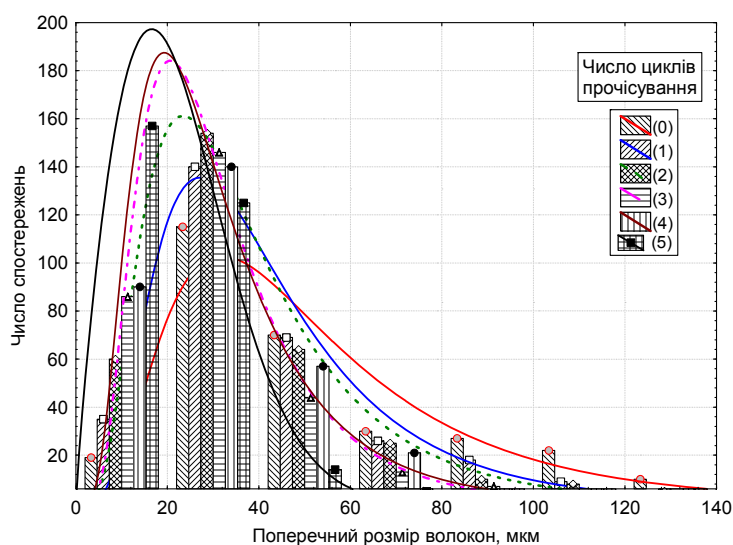


Рис. 2. Гістограми розподілу за поперечним розміром волокон льону при різній кількості циклів прочісування

Вже після 1-го циклу прочісування найбільша частка волокон (26%) відноситься до меншого діапазону розмірів (20÷30 мкм). Основна частина волокон також відноситься до інтервалу 20÷50 мкм, але її частка збільшується до 62%. Частка волокон з найменшими розмірами (< 20 мкм) зростає до 11%, в той же час частка волокон з найбільшими розмірами (> 100 мкм) приблизно у 2 рази зменшується і становить ~6%.

Збільшення циклів механічної переробки волокон льону до 5 обумовлює зсув інтервалу поперечних розмірів найбільшої (~42%) частки волокон у зразку в бік менших значень (10÷20 мкм). При цьому більше половини волокон (~52%) мають поперечні розміри < 20 мкм. Частка волокон з найменшими розмірами (< 10 мкм) становить ~10%, в той же час частка волокон з найбільшими розмірами (> 50 мкм) доволі незначна і становить ~3%.

Мікрофотографії зміни структури волокон коноплі при послідовних циклах механічної переробки на чесальній машині наведені на рис. 2. Добре видно, що як і для льону, ця операція призводить до поступового зменшення поперечних розмірів волокон за рахунок їх поздовжнього розщеплення.

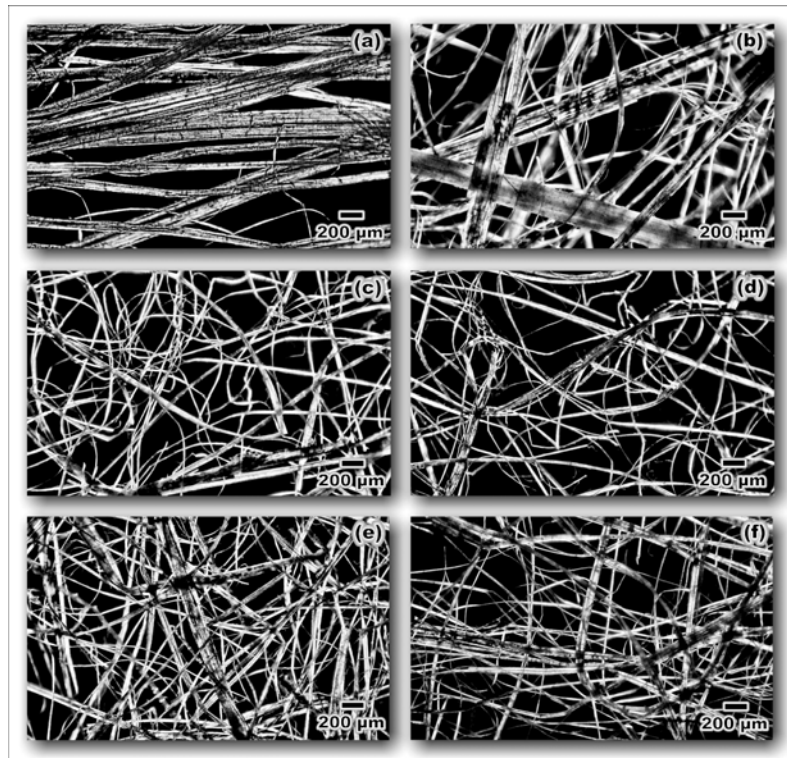


Рис. 3. Мікрофотографії в поляризованому світлі структури волокон коноплі при різній кількості циклів прочісування: а) вихідний зразок; б) 1; в) 2; г) 3; д) 4; е) 5

Гістограми розподілу за поперечним розміром волокон коноплі при різній кількості циклів переробки наведена на рис. 3. Результати аналізу свідчать, що для початкового зразку, найбільша частка волокон (19%) має поперечні розміри від 20 до 40 мкм. При цьому близько половини волокон (~49%) відноситься до інтервалу 20÷80 мкм. Частка волокон з найменшими розмірами (< 20 мкм) доволі незначна і становить близько 2%. В той же час частка волокон з найбільшими розмірами (> 100 мкм) суттєва і становить ~42%.

Реалізація 1-го циклу прочісування волокон коноплі призводить до звуження діапазону (до 20÷30 мкм), що відповідає найбільшій (26%) частці волокон у зразку. При цьому основна маса волокон (~60%) відноситься до інтервалу 10÷40 мкм. В порівнянні з початковим зразком, різко (у 10 разів) збільшується частка волокон з найменшими (<20 мкм) розмірами (до 20%). В той же час частка волокон з найбільшими розмірами (>100 мкм) також суттєво (~ у 8 разів) зменшується (до ~5%).

Як можна бачити з гістограм, подальше збільшення циклів прочісування до 5-и, призводить до загального зсуву розподілу поперечних розмірів волокон коноплі в бік менших значень та звуження їх діапазону. Найбільша частка волокон (~37%) відноситься до інтервалу 10÷15 мкм (найменшому серед усіх досліджених зразків). При цьому більше половини волокон (~52%) відповідає інтервалу 5÷15 мкм. Частка волокон з найменшими розмірами (< 5 мкм) становить ~4%. В зразку практично відсутні (~1%) волокна з поперечними розмірами > 30 мкм.

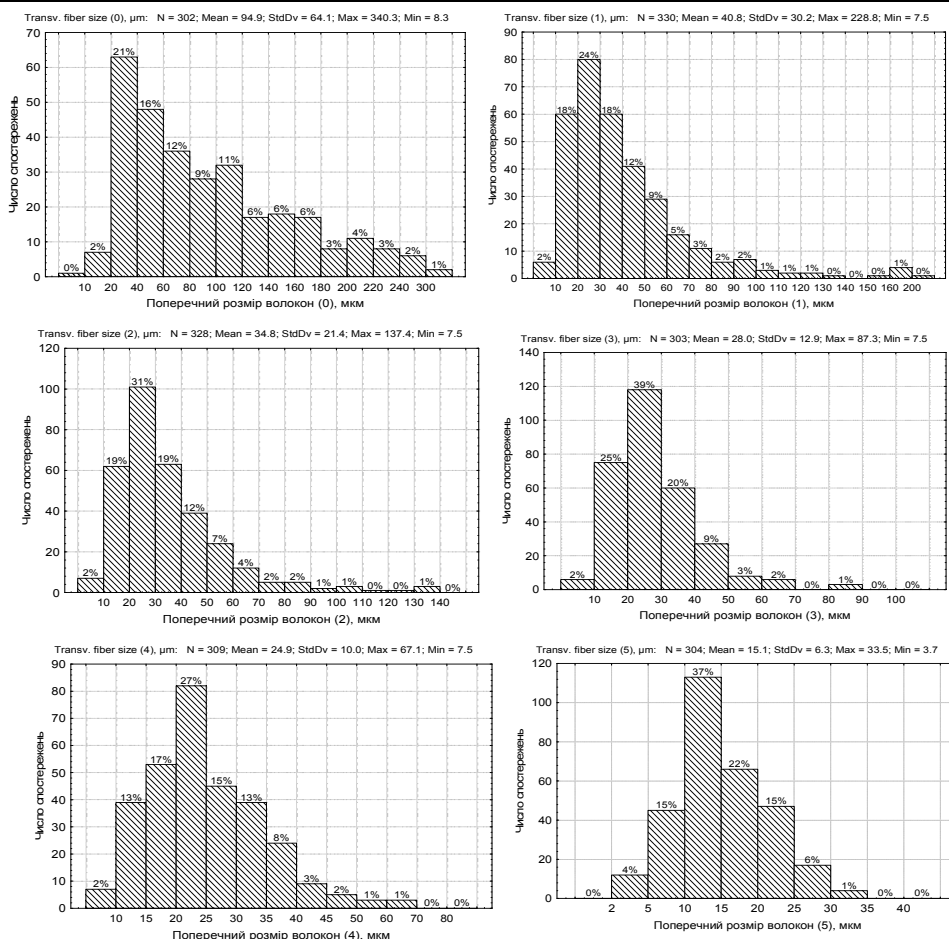


Рис. 4. Гістограми розподілу за поперечним розміром волокон коноплі при різній кількості циклів прочісування: а) вихідний зразок; б) 1; в) 2; г) 3; д) 4; е) 5

Статистичні показники результатів морфометричного аналізу поперечних розмірів волокон льону та коноплі при різній кількості циклів прочісування наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Показник	Поперечний розмір волокон (мкм) при кількості циклів прочісування:											
	Льон						Коноплі					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
Число об'єктів	304	305	330	302	314	302	302	330	328	303	309	304
Середнє	56,1	44,2	39,6	32,7	31,9	22,1	94,9	40,8	34,8	28,0	24,9	15,1
Інт. -95%	52,0	40,8	36,6	30,1	29,8	20,7	87,6	37,5	32,5	26,5	23,8	14,4
Інт. +95%	60,2	47,6	42,6	35,2	34,1	23,6	102,1	44,1	37,1	29,5	26,0	15,8
Медіана	44,9	35,4	31,8	26,4	26,9	19,0	78,3	33,3	29,8	26,1	23,6	14,9
Мінімум	7,5	6,7	5,3	5,5	5,3	3,7	8,3	7,5	7,5	7,5	7,5	3,7
Максимум	230,5	218,0	210,3	198,7	137,0	105,9	340,3	228,8	137,4	87,3	67,1	33,5
Станд. відхилення	36,6	29,8	27,8	22,7	19,2	12,9	64,1	30,2	21,4	12,9	10,0	6,3
Станд. похибка	2,1	1,7	1,5	1,3	1,1	0,7	3,7	1,7	1,2	0,7	0,6	0,4

Статистичні показники даних морфометричного аналізу поперечних розмірів волокон льону та коноплі при різній кількості циклів прочісування

Отримані результати свідчать, що для волокон льону, збільшення кількості циклів прочісування до 5 призводить до зменшення їх середньостатистичних розмірів у 4,2 разу (з 56,2 до 22,1 мкм) при цьому стандартне відхилення зменшується ~ у 5 разів (з 56,6 до 12,9). Також відбувається звуження загального інтервалу розмірів волокон (Max/Min) з 230,5/7,5 до 137,5/3,3 мкм.

Для волокон коноплі збільшення кількості циклів прочісування до 5 призводить до зменшення їх

середньостатистичних розмірів у 6,3 разу (з 94,9 до 15,1 мкм). На порядок зменшується стандартне відхилення розподілу (~ у 10,2 разу). Як і в попередньому випадку, відбувається звуження загального інтервалу розмірів волокон (Max/Min) з 340,3/8,3 до 33,5/3,7 мкм.

Результати кореляційного аналізу взаємозв'язку між середнім арифметичним значенням поперечних розмірів волокон льону та коноплі та числом циклів прочісування представлено на рис. 5.

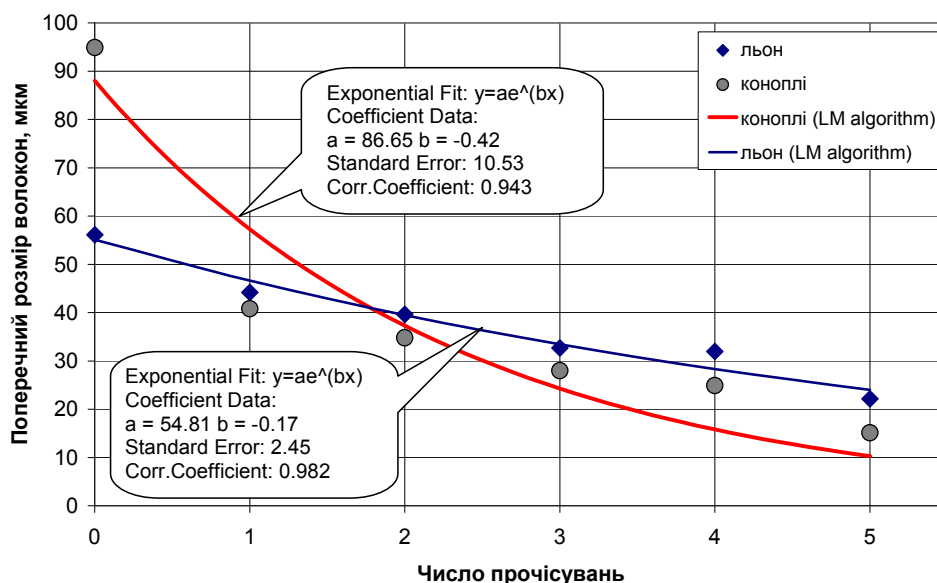


Рис. 5. Кореляційний взаємозв'язок між середнім арифметичним значенням поперечних розмірів волокон льону й коноплі та числом циклів прочісування

Можна бачити, що залежності між цими показниками носять нелінійний характер та можуть бути апроксимовані експоненціальним рівнянням виду $Y = a \cdot \exp(-bx)$ з відповідними емпіричними коефіцієнтами (наведені на рис. 5). Інтерпретуючи показник b в цьому рівнянні як константу швидкості процесу, можна стверджувати, що при збільшенні кількості прочісувань, швидкість зміни поперечних розмірів волокон коноплі ($b=0,42$) ~ в 2,5 разу більше ніж для волокон льону ($b=0,17$).

Зазвичай, початкові розмірні характеристики волокон є одним із технологічних факторів при виборі сировини для отримання нетканих матеріалів з певними властивостями. Особливістю целюлозних волокон, що пов'язана з їх фібрилярною структурною організацією, є здатність змінювати свої поздовжні та поперечні розміри в процесі переробки. Результати досліджень демонструють різну інтенсивність процесу зменшення поперечних розмірів волокон льону та коноплі при збільшенні числа циклів їх механічної переробки, що потребує врахування цього фактору при одержанні нетканих матеріалів з прогнозованими властивостями.

Висновки

1. Встановлені закономірності зміни середніх поперечних розмірів природних волокон (льон, конопля) та характеру їх розподілу залежно від числа циклів механічної переробки.
2. Показано, що збільшення числа циклів прочісування волокон льону та коноплі до 5-и призводить до зменшення поперечних розмірів волокон (у 4,2 та 6,3 разу) та стандартного відхилення розподілу (у 5 та 10,2 разу) відповідно.
3. Методом кореляційного аналізу показано, що швидкість зміни середніх поперечних розмірів волокон коноплі в процесі багаторазового прочісування ~ в 2,5 разу більша ніж для волокон льону.

Література

1. Bott R. Nonwovens for home and personal care / R. Bott. – Igarss, 2014. – P. 1–5.
2. Chapman R. A. Applications of nonwovens in technical textiles: Woodhead Publishing Series in Textiles / ed. by R. A. Chapman. – Woodhead Publishing Limited, 2010. – 226 p.
3. Резанова Н.М. Інноваційні технології хімічних волокон : навч. посіб. / Н.М. Резанова, Ю.О. Будащ, В.П. Плавач. – Київ : КНУТД, 2017. – 239 с.
4. Russell S. J. Handbook of nonwovens / S. J. Russell. – CRC Press, 2007. – 530 p.
5. Patel B.M. Nonwoven technology / B.M. Patel, D. Bhrambhatt // Textile Technology. – 2008. – P. 1–54.
6. Kozłowski R. Handbook of natural fibers: types, properties and factors affecting breeding and cultivation / R. Kozłowski / Textile Institute (Manchester, England). – Woodhead Pub, 2012. – 620 p.
7. Отримання полімерних композитів з теплозахисними властивостями на основі відходів волокнистих матеріалів. В кн: Перспективні полімерні матеріали та технології : монографія / [Кучеренко

Є.В., Будащ Ю.О., Плаван В.П., Супрун Н.П.] ; укладачі : Плаван В.П., Барсуков В.З., Резанова Н.М., Баула О.П. ; за заг. ред. В.П. Плавана. – Київ : КНУТД, 2015. – С. 208–211.

8. Кучеренко Є. В. Одержання та властивості нетканних матеріалів із волокнистих відходів / Є. В. Кучеренко, Ю. О. Будащ, В. П. Плаван, О. І. Литвинова // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Технічні науки. – 2016. – № 4 (100). – С. 99–106.

9. Льон тіпаний. Технічні умови. ДСТУ 4015:2001. – [Чинний від 2002-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2002. – 145, 17 с. – (Національний стандарт України).

10. Коноплі. Терміни та визначення понять. ДСТУ 4820:2007. – [Чинний від 2009-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2009. – 167, 38 с. – (Національний стандарт України).

11. Perez J. Image processing with ImageJ / Perez J., Pascau J. – Packt Publishing Ltd, 2013. – 140 p.

12. Hill T. Statistics: methods and applications: a comprehensive reference for science, industry, and data mining / Hill T., Lewicki P. – StatSoft Inc., 2006. – 832 p.

13. Moré J. J. The levenberg-marquardt algorithm: implementation and theory / J. J. Moré // Numerical Analysis. – Springer, Berlin, Heidelberg, 1978. – P. 105–116.

References

1. Bott R. Nonwovens for home and personal care / R. Bott. □ Igarss, 2014. □ R. 1–5.
2. Chapman R. A. Applications of nonwovens in technical textiles: Woodhead Publishing Series in Textiles / ed. by R. A. Chapman. – Woodhead Publishing Limited, 2010. – 226 p.
3. Rezanova N.M. Innovatsiini tekhnolohii khimichnykh volokon : navch. posib. / N.M. Rezanova, Yu.O. Budash, V.P. Plavan. – Kyiv : KNUITD, 2017. – 239 s.
4. Russell S. J. Handbook of nonwovens / S. J. Russell. □ CRC Press, 2007. □ 530 p.
5. Patel B.M. Nonwoven technology / B.M. Patel, D. Bhrambhatt // Textile Technology. □ 2008. □ P. 1–54.
6. Kozłowski R. Handbook of natural fibers: types, properties and factors affecting breeding and cultivation / R. Kozłowski / Textile Institute (Manchester, England). – Woodhead Pub, 2012. □ 620 p.
7. Otrymannia polimernykh kompozytiv z teplozakhysnykh vlastyvostiamy na osnovi vidkhodiv voloknystykh materialiv. V kn: Perspektyvni polimerni materialy ta tekhnolohii : monohrafiia / [Kucherenko Ye.V., Budash Yu.O., Plavan V.P., Suprun N.P.] ; ukladachi : Plavan V.P., Barsukov V.Z., Rezanova N.M., Baula O.P. ; za zah. red. V.P. Plavan. – Kyiv : KNUITD, 2015. – S. 208–211.
8. Kucherenko Ye. V. Oderzhannia ta vlastyvosti netkanykh materialiv iz voloknystykh vidkhodiv / Ye. V. Kucherenko, Yu. O. Budash, V. P. Plavan, O. I. Lytvynova // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. Tekhnichni nauky. □ 2016. □ № 4 (100). □ S. 99–106.
9. Lon tipanyi. Tekhnichni umovy. DSTU 4015-2001. □ □Chynnyi vid 2002-01-01□. □ K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2002. □ 145, 17 s. □ (Natsionalnyi standart Ukrainy).
10. Konopli. Terminy ta vyznachennia poniat. DSTU 4820:2007. □ □Chynnyi vid 2009-01-01□. □ K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2009. □ 167, 38 s. □ (Natsionalnyi standart Ukrainy).
11. Perez J. Image processing with ImageJ / Perez J., Pascau J. – Packt Publishing Ltd, 2013. – 140 p.
12. Hill T. Statistics: methods and applications: a comprehensive reference for science, industry, and data mining / Hill T., Lewicki P. – StatSoft Inc., 2006. – 832 p.
13. Moré J. J. The levenberg-marquardt algorithm: implementation and theory / J. J. Moré // Numerical Analysis. – Springer, Berlin, Heidelberg, 1978. – R. 105–116.

Рецензія/Peer review : 20.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 18.12.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Слізков А.М.

DOI 10.31891/2307-5732-2018-267-6(2)-121-125
УДК 621.382

О.В. ОСАДЧУК, О.О. СЕЛЕЦЬКА, Л.В. КРИЛИК
Вінницький національний технічний університет

МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ ОПТИЧНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ

Розроблено мікроелектронний оптичний перетворювач концентрації газу на основі напівпровідникової структури з від'ємним опором з фоточутливим елементом фоторезистором. Розроблено математичну модель перетворювача концентрації газу, на основі якої отримано аналітичні залежності для функції перетворення та рівняння чутливості. Експериментальні дослідження підтвердили адекватність розробленої моделі перетворювача та показали, що в діапазоні вимірювання концентрації метану від 250 до 5000 ppm чутливість дорівнює 64–10 Гц/ppm.

Ключові слова: перетворювач концентрації газу, абсорбційна спектроскопія, функція перетворення, рівняння чутливості

A.V. OSADCHUK, O.O. SELETSKA, L.V. KRYLIK
Vinnytsia National Technical University

MICROELECTRONIC OPTICAL TRANSDUCER OF GAS CONCENTRATION

This paper presents a microelectronic optical transducer of gas concentration with frequency output signal. The developed microelectronic optical transducer of gas concentration uses the semiconductor structure based on bipolar and field-effect transistors and photo resistor as a photo sensible element and can be applied in absorption spectroscopy method for measuring of methane concentration. The proposed optical transducer allows to increase the sensitivity of measurement of gas concentration. The aim of the studying is to determine the transfer function and equation of sensitivity for description the operation of the microelectronic transducer. The formula for impedance of the transistor structure has been determined by solving equations Kirchhoff, composed using equivalent circuit of the optical transducer of gas concentration. Characteristics, which describe dependencies of reactive and active component of the impedance converter oscillator on gas concentration, have been obtained by computer simulation using the Matlab numerical computing environment. The mathematical model of the microelectronic optical transducer of gas concentration composed of bipolar and field-effect transistors and photo resistor has been developed. It describes the dependence of impedance of the transistors structure on gas concentration. The model considers the impact of illumination, which passes through cuvette with gas, on the elements of nonlinear equivalent circuits of transducer based on transistor's structure with negative resistance. The analytical dependencies of transfer function and the equation of sensitivity are received using this model. Sensitivity of the microelectronic transducer of gas concentration changes from 64 Hz/ppm to 10 Hz/ppm with increase in the gas concentration from 250 ppm to 5000 ppm. Simulation results were proved by the experimental data. Accuracy of developed mathematical model is $\pm 5\%$.

Keywords: transducer of gas concentration, absorption spectroscopy, the transfer function, the equation of sensitivity

Вступ

Перетворювачі концентрації газів отримали широке застосування в системах контролю концентрації шкідливих газів у промисловому виробництві, побуті, екологічного моніторингу навколишнього середовища. Серед найпоширеніших методів визначення концентрації газів особливе місце займають оптичні методи, серед яких найбільш перспективним є метод адсорбційної спектроскопії, що володіє низьким порогом чутливості ($< 1 \text{ мкг/м}^3$) та високою селективністю [1]. Метод адсорбційної спектроскопії оснований на явищі селективного поглинання газами випромінювання і лежить в основі функціонування багатьох приладів. Селективне поглинання пояснюється тим, що частота випромінювання є резонансною для молекул заданого газу. При поглинанні світла атоми та молекули речовин переходять у новий збуджений стан. В даний час існує велика кількість газоаналізаторів для широкого спектра газів. Так, в роботах [2, 3] наведені параметри газоаналізаторів, робота яких заснована на селективному поглинанні газами вуглеводневої групи випромінювання інфрачервоного діапазону з довжиною хвилі $2\div 5 \text{ мкм}$. Недоліком аналізаторів [2, 3] є невисока чутливість при виявленні горючих газів. Цей недолік викликаний в основному малими розмірами контрольованого обсягу (малою відстанню випромінювач-приймач). Ще одним недоліком є складність оптичних систем проходження робочого і опорного променів, а також наявність двох приймачів при реєстрації цих променів, шумові характеристики яких можуть бути близькі, але ніколи не збігаються. Останній недолік важливий при реєстрації мікроконцентрацій токсичних газів. Вирішити ці завдання можна, зокрема, за рахунок використання в схемі засобу вимірювання оптичного частотного перетворювача, який дозволяє перетворювати інтенсивність випромінювання, що поглинається приймачем у вихідний сигнал відповідної частоти. Таке перетворення забезпечує високу завадостійкість (отже, і точність) вимірювання концентрації газів. Крім того, оптичні перетворювачі з частотним вихідним сигналом мають високу чутливість до вимірюваних параметрів, малу масу і габарити, конструктивну і технологічну сумісність з інформаційними технологіями для сприймання, обробки, і зберігання інформації [4]. Це, в свою чергу, доводить їх перевагу над існуючими оптичними сенсорами [5].

Для вивчення властивостей оптичного перетворювача концентрації газу необхідно розробити математичну модель, за допомогою якої отримують залежності, активної та реактивної складових повного

опору структури, чутливості, залежності частоти генерації від концентрації газу, виконати експериментальні дослідження, які б підтвердили справедливості теоретичних положень.

Метою роботи є визначення функції перетворення та рівняння чутливості перетворювачів на основі еквівалентної схеми шляхом розв'язування складених рівнянь Кірхгофа.

Теоретичні та експериментальні дослідження

Метод абсорбційної спектроскопії оснований на властивостях газу поглинати промені в суворо визначених для кожного газу ділянках спектру завдяки наявності коливально-обертальних смуг поглинання [6]. Величина інтенсивності ослабленого випромінювання I , що пройшло через вимірювальну кювету з газом, який аналізується, може бути визначена за законом Бугера-Ламберта-Бера

$$I = I_0 \exp(-k \cdot C \cdot l),$$

де I_0 – величина потоку випромінювання на вході у вимірювальну кювету, k – коефіцієнт поглинання газу, що аналізується і залежить від ступеня узгодження спектрів поглинання газу, спектральної характеристики джерела інфрачервоного випромінювання і спектральної чутливості приймача інфрачервоного випромінювання; C – концентрація газу, що аналізується; l – довжина вимірювальної кювети.

Можливий спосіб визначення концентрації газу з використанням пристрою, зображеного на рис. 1. Зміна інтенсивності світлового потоку, що випромінюється світлодіодом інфрачервоного спектру та реєструється фоторезистором R_f , на який нанесено інтерференційний фільтр для виділення контрольної смуги з довжиною хвилі, яка відповідає довжині максимально інтенсивної смуги поглинання контрольованого газу.

Автогенераторний перетворювач утворюється ємнісною складовою повного диференційного опору на електродах колектор біполярного транзистора $VT1$ та затвор польового транзистора $VT2$ та індуктивністю L . Обмежувальний конденсатор C запобігає проходженню змінного струму через джерело напруги $U_{ж}$. Діод VD забезпечує живлення біполярного транзистора $VT1$ та польового транзистора $VT2$. Від'ємний опір, який виникає на електродах колектор біполярного транзистора $VT1$ та затвор польового транзистора $VT2$ призводить до виникнення електричних коливань в контурі. При зміні інтенсивності випромінювання, що пройшло через кювету, змінюється опір фоторезистора і, відповідно, змінюється ємнісна складова повного опору на електродах – колектор біполярного транзистора та затвор польового транзистора, що викликає ефективну зміну частоти генерації коливального контуру. Для визначення повного опору автогенератора складено еквівалентну схему за змінним струмом (рис. 2).

Рис. 1. Електрична схема мікроелектронного оптичного перетворювача концентрації газу

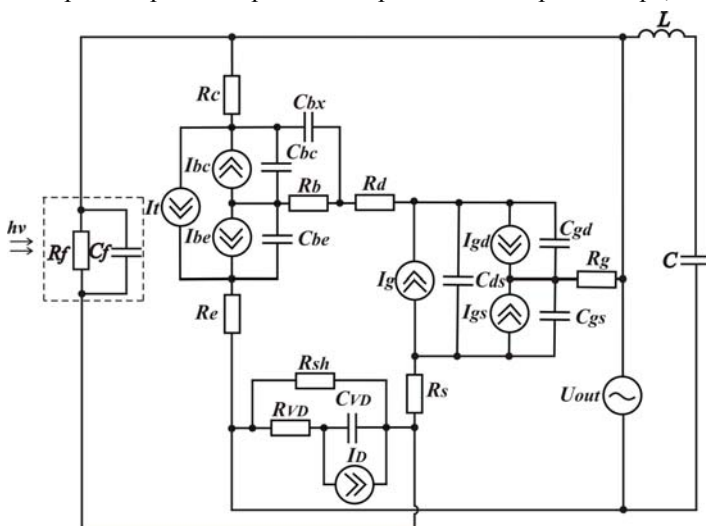


Рис. 2. Еквівалентна схема мікроелектронного оптичного перетворювача концентрації газу за змінним струмом

колектора транзистора $VT1$; R_{gd} – об'ємний опір затвору польового транзистора $VT2$; R_s – об'ємний опір витоку польового транзистора $VT2$; R_d – об'ємний опір стоку польового транзистора $VT2$; C_{gs} – ємність затвор-витік польового транзистора $VT2$; R_{VD} та C_{VD} – відповідно опір та ємність р-п переходу діоду VD ;

R_{sh} – шунтувальний опір діоду VD ; C_{gd} – ємність затвор-стік польового транзистора $VT2$; C_{ds} – ємність стік-витік польового транзистора $VT2$; C – ємність конденсатора C ; L – індуктивність зовнішньої індуктивності L . Струми I_{be} , I_{bc} , I_t , що входять до складу еквівалентної схеми біполярного транзистора $VT1$, I_g , I_{gd} , I_{gs} , що входять до складу еквівалентної схеми польового транзистора $VT2$ та I_D , що входить до складу еквівалентної схеми діода, описані в роботі [7].

Перетворена еквівалентна схема, що використовувалась для розрахунків, показана на рис. 3.

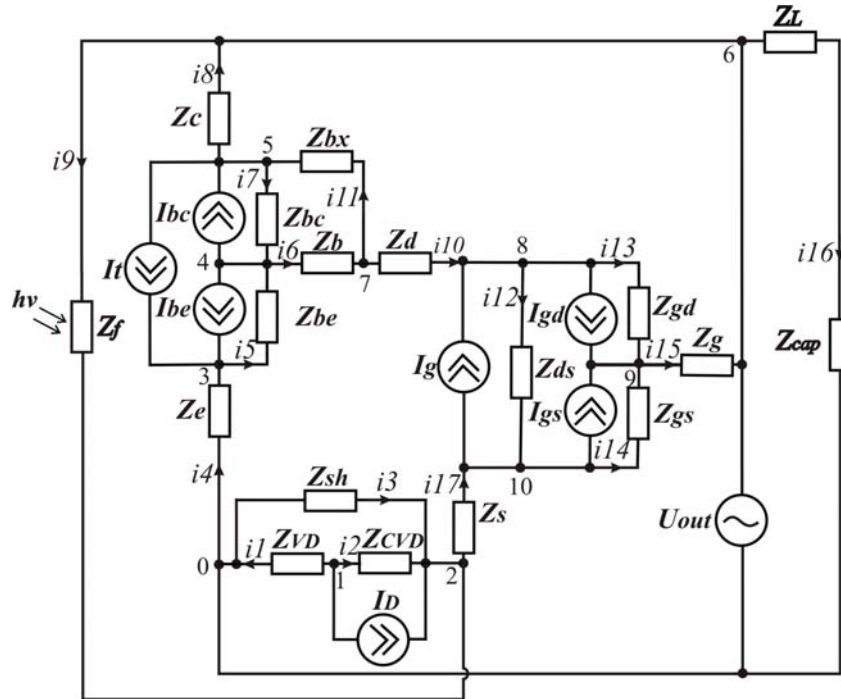


Рис. 3. Перетворена еквівалентна схема оптичного перетворювача концентрації газу за змінним струмом

Для еквівалентної схеми на рис. 3 складено систему рівнянь Кірхгофа за змінним струмом:

$$\begin{cases} -\varphi_1(Y_1 + Y_2) + \varphi_2 Y_2 = I_D; \\ \varphi_1 Y_2 - \varphi_2(Y_2 + Y_3 + Y_9 + Y_{17}) + \varphi_{10} Y_{17} + \varphi_{16} Y_9 = -I_D; \\ -\varphi_3(Y_4 + Y_5) + \varphi_4 Y_5 = -(I_t + I_{be}); \\ \varphi_3 Y_5 - \varphi_4(Y_5 + Y_6 + Y_7) + \varphi_5 Y_7 + \varphi_7 Y_6 = I_{bc} + I_{be}; \\ \varphi_4 Y_7 - \varphi_5(Y_7 + Y_8 + Y_{11}) + \varphi_7 Y_{11} = I_t + I_{be} - U_{out} Y_8; \\ \varphi_2 Y_9 + \varphi_5 Y_8 + \varphi_9 Y_{15} = U_{out}(Y_8 + Y_9 + Y_{15} + Y_{16}); \\ \varphi_4 Y_6 + \varphi_5 Y_{11} - \varphi_7(Y_{10} + Y_{11} + Y_{16}) + \varphi_8 Y_{10} = 0; \\ \varphi_7 Y_{10} - \varphi_8(Y_{10} + Y_{12} + Y_{13}) + \varphi_9 Y_{13} + \varphi_{10} Y_{12} = I_{gd} - I_g; \\ \varphi_8 Y_{13} - \varphi_9(Y_{13} + Y_{14} + Y_{15}) + \varphi_{10} Y_{14} = -(I_{gd} + I_{gs}) - U_{out} Y_{15}; \\ \varphi_2 Y_{17} + \varphi_8 Y_{12} + \varphi_9 Y_{14} - \varphi_{10}(Y_{12} + Y_{14} + Y_{17}) = I_{gd} + I_g. \end{cases} \quad (1)$$

Провідності гілок еквівалентної схеми (рис. 3) визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} Y_1 &= 1/Z_{VD}; \quad Y_2 = 1/Z_{CVD}; \quad Y_3 = 1/Z_{sh}; \quad Y_4 = 1/Z_e; \quad Y_5 = 1/Z_{be}; \quad Y_6 = 1/Z_b; \quad Y_7 = 1/Z_{bc}; \quad Y_8 = 1/Z_c; \\ Y_9 &= 1/Z_f; \quad Y_{10} = 1/Z_d; \quad Y_{11} = 1/Z_{bx}; \quad Y_{12} = 1/Z_{ds}; \quad Y_{13} = 1/Z_{gd}; \quad Y_{14} = 1/Z_{gs}; \quad Y_{15} = 1/Z_g; \\ Y_{17} &= 1/Z_s; \quad Y_{16} = 1/(Z_L + Z_{cap}). \end{aligned}$$

Опори еквівалентної схеми (рис. 3) визначаються наступним чином:

$$\begin{aligned} Z_{VD} &= R_{VD}; \quad Z_{CVD} = -j/(\omega \cdot C_{CVD}); \quad Z_{sh} = R_{sh}; \quad Z_e = R_e; \quad Z_c = R_c; \quad Z_b = R_b; \quad Z_{bc} = -j/(\omega \cdot C_{bc}); \\ Z_{be} &= -j/(\omega \cdot C_{be}); \quad Z_{bx} = -j/(\omega \cdot C_{bx}); \quad Z_f = R_f / (1 + \omega^2 \cdot R_f^2 \cdot C_f^2) - j\omega R_f^2 C_f / (1 + \omega^2 R_f^2 C_f^2); \\ Z_d &= R_d; \quad Z_{gd} = -j/(\omega \cdot C_{gd}); \quad Z_g = R_g; \quad Z_s = R_s; \quad Z_{gs} = -j/(\omega \cdot C_{gs}); \quad Z_L = j\omega L; \\ Z_{cap} &= -j/(\omega \cdot C); \quad Z_{ds} = -j/(\omega \cdot C_{ds}). \end{aligned}$$

Для визначення функції перетворення необхідно на основі розв'язку системи рівнянь Кірхгофа (1) знайти залежність частоти генерації від концентрації газу [8]. Функція перетворення в цьому випадку буде мати вигляд:

$$F = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{A + \sqrt{A^2 + 4LC_{bx}(C_f R_f(C))^2}}{2LC_{bx}(C_f R_f(C))^2}}, \quad (2)$$

де $A = (C_f R_f(C))^2 + R_f^2(C)C_f - C_{bx} - LC_{bx}$.

Графічні залежності частоти генерації від концентрації газу (метану) для різних значень напруги живлення, розраховані за формулою (2) в порівнянні з експериментальним їх визначенням показані на рис. 4. З графіка видно, що із зменшенням концентрації газу спостерігається зменшення частоти генерації. Розбіжність теоретичної та експериментальної складової не перевищує $\pm 5\%$.

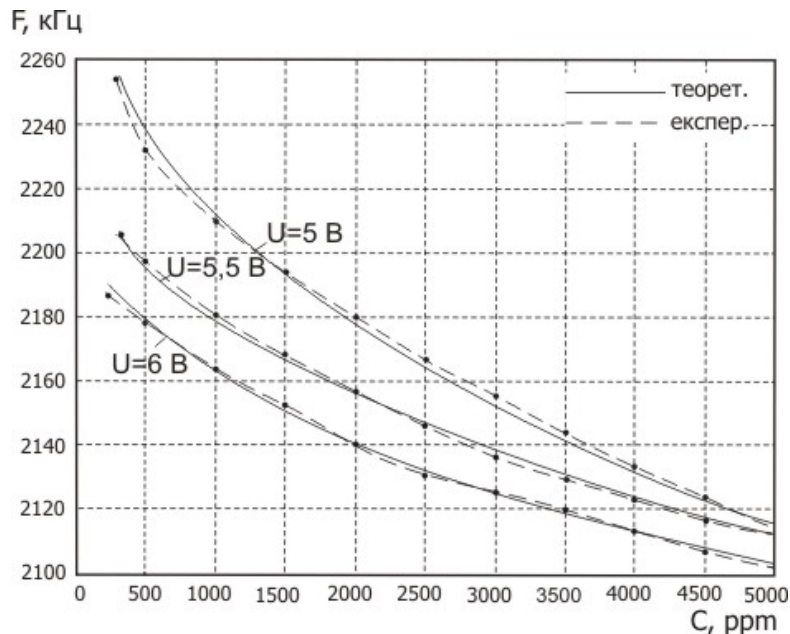


Рис. 4. Теоретичні та експериментальні залежності частоти генерації від зміни концентрації газу для різних значень $U_{ж}$

Чутливість перетворювача визначається на основі формули (2) та описується рівнянням:

$$S = \frac{1}{8} \left(\frac{2C_f^2 R_f(C) \frac{\partial R_f(C)}{\partial C} + 2B_1 \frac{\partial R_f(C)}{\partial C} + \frac{1}{2} \frac{4B_3 C_f^2 R_f(C) \frac{\partial R_f(C)}{\partial C} + 2B_1 \frac{\partial R_f(C)}{\partial C}}{\sqrt{B_2}} + 8LB_1 \frac{(B_3 + \sqrt{B_2}) \frac{\partial R_f(C)}{\partial C}}{LC_{bx} R_f^3(C) C_f^3} \right) \pi \sqrt{\frac{B_3 + \sqrt{B_2}}{LC_{bx} R_f^2(C) C_f^2}},$$

де $B_1 = B_3^2 + 4LC_{bx} C_f^2 R_f^2(C)$; $B_2 = R_f(C) C_f C_{bx}$; $B_3 = (C_f R_f(C))^2 + R_f^2(C) C_f C_{bx} - LC_{bx}$.

На рис. 5 показана залежність чутливості частотного перетворювача від зміни концентрації газу.

З рис. 5 видно, що чутливість розробленого частотного перетворювача концентрації газу $64 \div 10$ Гц/ррм. Максимальну чутливість частотний перетворювач має в режимі в робочій точці автогенератора, коли напруга живлення дорівнює 5 В.

Висновки

Розроблена математична модель оптичного частотного перетворювача концентрації газу на основі автогенератора утвореного біполярним та польовим транзисторами з фоторезистором в якості фоточутливого елементу. На основі математичної моделі отримано аналітичні вирази для функції перетворення та рівняння чутливості. Теоретичні та експериментальні залежності показали, що чутливість розробленого оптичного перетворювача концентрації газу складає $64 \div 10$ Гц/ррм.

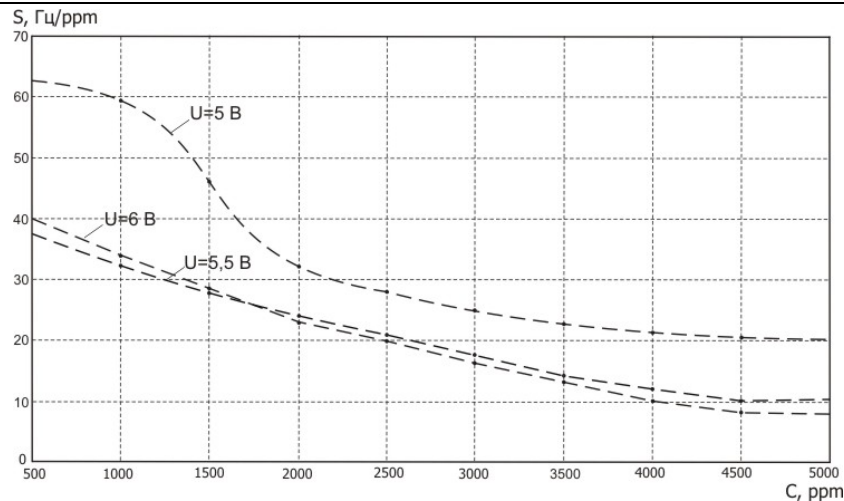


Рис. 5. Залежність чутливості частотного перетворювача від зміни концентрації газу

Література

1. Осадчук В. С. Методи вимірювання концентрації газів / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Д. П. Дудник // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – № 6. – С. 55–58.
2. Завадовский А. Г. Малогабаритный лазерный локатор утечек метана / А. Г. Завадовский, И. И. Плюснин, С. Н. Сысоев // Датчики и системы (Челябинский ОУНБ). – 2007. – № 4.
3. Y. Shimose, T. Okamoto, A. Maruyama, M. Aizawa, H. Nagai, Remote sensing of methane gas by differential absorption measurement using a wavelength tunable DFB LD, IEEE Photonics Technology Letters. 1991. Volume: 3 Issue: 1. pp.86–87.
4. V. S. Osadchuk, A.V. Osadchuk, “Radiomeasuring Microelectronic Transducers of Physical Quantities”, IEEE, Proceedings of the International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), 21–23 May 2015.
5. Kwang-Jow Gan, Kuan-Yu Chun, Wen-Kuan Yeh. Design of Dynamic Frequency Divider using Negative Differential Resistance Circuit. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication. 2015. Volume: 3 Issue: 8. pp.5224–5228.
6. Алексеев В. А. Опыт создания переносных многокомпонентных газоанализаторов с использованием оптического абсорбционного метода / В.А. Алексеев, В.А. Яценко // Радиотехника. – 2006. – Вып 146. – С. 192–197.
7. Осадчук В. С. Оптичний мікроелектронний перетворювач з фототранзистором для контролю плазмохімічних процесів / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Ю. С. Кравченко, О. О. Селецька // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 5. – С. 226–231.
8. Осадчук А.В. Фоточувствительные преобразователи на основе структур с отрицательным сопротивлением : монография / А.В. Осадчук. – Винница : Континент, 1998. – 130 с.

References

1. Osadchuk V. S. Metody vymiryuvannia kontsentratsii haziv / V. S. Osadchuk, O. V. Osadchuk, D. P. Dudnyk // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2011. – № 6. – S. 55–58.
2. Zavadovskiy A. G. Malogabaritnyy lazernyy lokator utechk metana / A. G. Zavadovskiy, I. I. Plyusnin, S. N. Syisoev // Datchiki i sistemyi (CHelyabinskiy OUNB). – 2007. – № 4.
3. Y. Shimose, T. Okamoto, A. Maruyama, M. Aizawa, H. Nagai, Remote sensing of methane gas by differential absorption measurement using a wavelength tunable DFB LD, IEEE Photonics Technology Letters. 1991. Volume: 3 Issue: 1. pp.86–87.
4. V. S. Osadchuk, A.V. Osadchuk, “Radiomeasuring Microelectronic Transducers of Physical Quantities”, IEEE, Proceedings of the International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), 21–23 May 2015.
5. Kwang-Jow Gan, Kuan-Yu Chun, Wen-Kuan Yeh. Design of Dynamic Frequency Divider using Negative Differential Resistance Circuit. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication. 2015. Volume: 3 Issue: 8. pp.5224–5228.
6. Alekseev V. A. Opyit sozdaniya perenosnyih mnogokomponentnih gazoanalizatorov s ispolzovaniem opticheskogo absorbtionnogo metoda / V.A. Alekseev, V.A. YAtsenko // Radiotekhnika. – 2006. – Vyip 146. – S. 192–197.
7. Osadchuk V. S. Optychnyi mikroelektronnyi peretvoriuvach z fototranzystorom dlia kontroliu plazmokhimichnykh protsesiv / V. S. Osadchuk, O. V. Osadchuk, Yu. S. Kravchenko, O. O. Seletska // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2009. – № 5. – S. 226–231.
8. Osadchuk A.V. Fotochuvstvitelnye preobrazovateli na osnove struktur s otritsatelnyim soprotivleniem : monografiya / A.V. Osadchuk. – Vinnitsa : Kontinent, 1998. – 130 s.

Рецензія/Peer review : 9.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Петрук В.Г.

О.І. ТОРЧИНСЬКИЙ, О.А. ПАСІЧНИК, Т.К. СКРИПНИК
Хмельницький національний університет

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ АКТУАЛЬНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕНДЕНЦІЙ ВИМОГ ДО ФАХІВЦІВ ІТ-ГАЛУЗІ

Запропонована інформаційна технологія формування компетентностей та прогнозування тенденцій вимог до фахівців ІТ-галузі забезпечує можливість отримання найбільш необхідних та актуальних навичок і знань, потрібних для розробника певного профілю.

Ключові слова: інформаційна технологія, професійні компетентності, вимоги до фахівців, прогнозування тенденцій.

O.I. TORCHYNSKYI, O.A. PASICHNYK, T.K. SKRYPNYK
Khmelnytsky National University

INFORMATION TECHNOLOGY FORMING COMPETENCIES AND PROGNOSIS OF TRENDS REQUIREMENTS TO IT PROFESSIONALS

Topicality. Today, information technology has begun to actively influence the everyday activities of any organization and have become an integral part of the information infrastructure of this organization. Information technologies allow to explore and interconnect the components of the organization's activities with each other. They develop at an extremely fast pace and capture all wider spheres of activity so that any competitive function in the future can not be formed without a detailed analysis of the possibilities of using information technology. It follows that one of the key factors for successful employment in the field of information technology is the possession of certain knowledge and skills. Depending on the scope of the application and the specifics of the activity, the candidate must possess certain tools that are necessary for the fulfilment of future tasks in direct practical activity. The problem of this kind of activity always will be relevant in all spheres of function. It is especially significant for such a dynamic industry as information technology. After all, choosing to study the programming language or mastering the database management system a person must take into account whether they will be in demand and relevant in the near future, the same situation with the choice of frameworks, technology implementation, software applications, etc. The main aim of this work is to develop information technology for the development of competencies and forecasting requirements to IT industry, which will enable to receive up-to-date data on the list of demanded technologies and their future prospects. The object of the research is the processes of forming relevant competencies and forecasting trends in requirements for specialists in the industry. The subject of the study is the models, methods, approaches and means for building information technology for the formation of relevant competencies and forecasting trends in requirements in IT industry. As a result of the research carried out, the information technology of personnel recruitment was improved by realizing the possibility of forming relevant competencies and forecasting the trends of requirements for IT industry professionals, which can be used both by recruitment agencies and employers, as well as by the departments of professional development of enterprises, organizations and institutions of all forms of ownership. The practical value of the results. A software application that implements information technology for the formation of relevant competencies and the forecasting of trends in requirements for specialists in the industry.

Keywords: information technology, professional competence, requirements for specialists, forecasting of tendencies.

Вступ

Актуальність. Сьогодні інформаційні технології почали активно впливати на повсякденну діяльність будь-якої організації і стали невід'ємною частиною інформаційної інфраструктури цієї організації. Інформаційні технології дозволяють досліджувати та взаємопов'язувати складові ділянки діяльності організації між собою. Вони розвиваються надзвичайно швидкими темпами і захоплюють все ширші сфери діяльності таким чином, що будь-яка конкурентоспроможна діяльність у майбутньому не може бути сформована без детального аналізу можливостей застосування інформаційних технологій. Звідси і випливає, що одним із ключових факторів успішного працевлаштування у сфері інформаційних технологій є володіння певними знаннями та навичками.

Залежно від сфери застосування та специфіки діяльності, кандидату потрібно володіти певним інструментарієм, що є необхідним для виконання майбутніх задач у безпосередній практичній діяльності. Проблема такого роду була, є та буде актуальною завжди в усіх сферах діяльності. Особливо значною вона є для такої динамічної галузі, як інформаційні технології. Адже обираючи для вивчення мову програмування чи опановуючи систему керування базами даних, потрібно враховувати чи будуть вони затребувана та актуальними найближчим часом, така сама ситуація з вибором фреймворків, технологій реалізації програмних застосувань тощо.

На просторах інтернету є різні підходи до вирішення поставленої проблеми: поради від інженерів з власного досвіду, статті, написані власниками найбільших ІТ-компаній України, але подібні підходи страждають значним суб'єктивізмом та істотними часовими обмеженнями, оскільки інформація, яка була надрукована учора, сьогодні вже може бути не актуальною.

Мета і завдання. Метою роботи є розробка інформаційної технології з формування компетентностей та прогнозування вимог до фахівців ІТ-галузі, що дасть змогу отримувати актуальні дані про перелік затребуваних технологій та їх майбутні перспективи.

Об'єкт дослідження. Процеси формування актуальних компетентностей та прогнозування тенденцій вимог до фахівців ІТ-галузі.

Предмет дослідження. Моделі, методи, підходи та засоби для побудови інформаційної технології формування актуальних компетентностей та прогнозування тенденцій вимог до фахівців ІТ-галузі.

Методи дослідження. Застосовані для вирішення поставлених завдань: для реалізації інформаційної системи для роботи з базами вакансій та стоп-слів – методи формування оптимальної структури бази даних та параметричного пошуку; для формування компетентностей – методи критеріального зв'язування та статистичної обробки даних; для прогнозування тенденцій вимог до фахівців – методи регресійного аналізу та ряди Фур'є; для реалізації інформаційної технології – методи проектування інформаційних систем та об'єктно-орієнтований підхід.

Результати роботи. В результаті проведеного наукового дослідження було вдосконалено інформаційну технологію підбору персоналу шляхом реалізації можливості формування актуальних компетентностей та прогнозування тенденцій вимог до фахівців ІТ-галузі, що може використовуватися як рекрутинговими агентствами, так й кандидатами на працевлаштування, а також відділами підвищення кваліфікації підприємств, організацій та установ всіх форм власності.

Практичне значення отриманих результатів. Створено програмне застосування, що реалізує інформаційну технологію формування актуальних компетентностей та прогнозування тенденцій вимог до фахівців ІТ-галузі.

Основна частина

Прогнозуванням називається процес передбачення майбутнього стану предмета чи явища на основі аналізу його минулого і сучасного, систематично оцінювана інформація про якісні й кількісні характеристики розвитку обраного предмета чи явища в перспективі [1].

Широке застосування інформаційних технологій та прискорені темпи їх розвитку викликають необхідність в підготовці висококваліфікованих кадрів, здатних ефективно використовувати нові мови програмування та суміжні з ними технології. Для успішної їх підготовки необхідно знати актуальні на сьогоднішній день та перспективні в майбутньому технології, що використовуються в розробці програмного забезпечення.

Роль прогнозування останнім часом незмірно зросла. Це пов'язано з тим, що в умовах постійного зростання обсягу інформації, збільшення числа факторів, що впливають на суспільний розвиток, необхідно суворе обґрунтування найбільш прогресивних і економічних тенденцій розвитку інформаційних технологій в цілому і його окремих галузей. Прогнозування дозволяє встановити найбільш ймовірні тенденції і напрямки такого розвитку, визначити можливі альтернативи рішення.

Зважаючи на існуючі програмні додатки та медіа-ресурси, була запропонована інформаційна технологія з формування компетентностей та прогнозування вимог до фахівців ІТ-галузі.

Основним статистичним методом побудови математичних моделей об'єктів або явищ за експериментальними даними є регресійний аналіз. Ці моделі зв'язують кількісні змінні – результуючу і пояснюючі, в різних областях використовуються різні назви цих змінних: вихід, цільова, вихідна або результуюча ознака, відгук, результативна, ендогенна або залежна змінна; факторні, прогнозні, екзогенні змінні, фактори, фактор-аргументи тощо.

Основним завданням регресійного аналізу являється отримання оцінок параметрів регресії, які були б оптимальними в певному сенсі. Отримані оцінки, які представляються у вигляді компонентів вектору та дозволяють вирішувати задачу оцінки (відновлення) регресії та її прогнозу.

Визначувана в ході аналізу функція регресії лише формально встановлює відповідність між змінними цих двох груп, хоча вони в дійсності можуть і не бути в причинно-наслідкових стосунках. Тому встановлювані в ході регресійного аналізу зв'язки можуть іноді помилково тлумачитися як причинно-наслідкові. Таким чином, можуть виникнути так звані нонсенс регресії (помилкові, абсурдні), які не мають практичного сенсу. З цієї причини перед застосуванням статистичного апарату на основі професійно-логічного аналізу проблеми необхідно вирішити: яку зі змінних розглядати як результуючу, а які з реєстрованих величин – як пояснювальні.

В загальній схемі регресійного аналізу результуюча змінна Y пов'язана з деякими пояснювальними змінними $x_1, \dots, x_k$, які зручно представляти у вигляді компонент-вектору $\mathbf{x} = [x_1, \dots, x_k]^T$, (T – транспонування). Зв'язок являється стохастичним: значення у змінної Y , отримані в різних експериментах при фіксованих значеннях вектору $\mathbf{x}$, випадковим чином флюктує навколо деякого невідомого рівня $\eta(\mathbf{x})$:

$$Y = Y(\mathbf{x}) = \eta(\mathbf{x}) + \varepsilon, \quad (1)$$

де друга складова визначає випадкове відхилення результуючої змінної від величини $\eta(\mathbf{x})$. Випадкові відхилення ε можуть слугувати проявом впливу не врахованих у векторі $\mathbf{x}$ (і може бути, випадкових) факторів, випадковими похибками вимірів результуючої змінної та іншими причинами, які більш детально будуть обмірковуватися нижче. Середнє значення відхилень приймається рівним нулю, тому математичне сподівання результуючої змінної співпадає зі значенням функції $\eta(\mathbf{x})$.

$$M\{Y(\mathbf{x})\} = \eta(\mathbf{x}). \quad (2)$$

Це рівняння називається регресією (рівнянням регресії), а функція $\eta(\mathbf{x})$ – функцією регресії.

Існує велике число типів регресійних моделей, визначених видом функції регресії $\eta(x)$, які, як правило, залежать не тільки від пояснюючих змінних, але і від деяких параметрів $\beta_1, \dots, \beta_k$, які також зручно представляти у вигляді векторів $\beta = [\beta_1, \dots, \beta_k]^T$:

$$\eta(x) = \eta(x, \beta). \quad (3)$$

Для таких функцій регресії задача їх визначення зводиться до задачі оцінки вектору параметрів β за експериментальними даними. Залежно від того, як ці параметри входять у функцію регресії, моделі діляться на лінійні і нелінійні (за параметрами).

Основні результати в даний час отримані стосовно лінійних регресійних моделей, які в загальному вигляді можна записати таким чином:

$$Y(x) = \eta(x, \beta) + \varepsilon = \sum_{i=1}^n \beta_i f_i(x) + \varepsilon, \quad (4)$$

де $f_i(x) = f(x_i, \dots, x_k)$ – деякі відомі функції пояснювальних змінних, що не включають в себе невідомі коефіцієнти β_i . Функції $f_i(x)$ називають регресорами.

Цю модель зручно представити у векторній формі:

$$Y = Y(x) = \mathbf{f}^T \beta + \varepsilon, \quad (5)$$

де $\mathbf{f}^T = [f_1(x), \dots, f_m(x)]^T$ – вектор регресорів.

Одним із найпоширеніших методів визначення параметрів емпіричних формул є метод найменших квадратів, який дає найкращі за точністю результати.

Узагальненим рядом Фур'є функції $f(x)$ за ортогональною системою функцій $\{\varphi_n(x)\}$ називається ряд

$$c_0 \varphi_0(x) + c_1 \varphi_1(x) + c_2 \varphi_2(x) + \dots + c_n \varphi_n(x) + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} c_n \varphi_n(x), \quad (6)$$

коефіцієнти якого називаються узагальненими коефіцієнтами Фур'є функції $f(x)$ за ортогональною системою функцій $\{\varphi_n(x)\}$.

Найбільш уживаною серед інших є система тригонометричних функцій. Ряд Фур'є за цією системою на відрізку $[-\pi, \pi]$ прийнято записувати у вигляді

$$\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos nx + b_n \sin nx. \quad (7)$$

Коефіцієнти цього ряду обчислюються за формулами

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx, \quad a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nxdx \quad (n = 1, 2, \dots), \quad b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin nxdx \quad (n = 1, 2, \dots) \quad (8)$$

які називають формулами Ейлера-Фур'є [3].

Вхідними даними для застосування інформаційної технології є мови програмування, які цікавлять кінцевого користувача додатку.

Основу реалізації можна поділити на чотири модулі: parser, cleaner, incrementor та builder (рис. 1).

Першим модуль відповідає за збирання даних. Вхідними даними для даного модуля є введення мови програмування, на основі якої буде відбуватись пошук суміжних технологій. Збирання даних відбувається з таких сайтів, як «www.work.ua» та «www.rabota.ua».

Другий модуль виконує роль очисника, який аналізує кожну зібрану вакансію, та відділяє непотрібні слова від потенційних технологій, що також зменшує розмір майбутнього тексту для аналізу. Так як нові технології з'являються дуже активно, було обрано підхід з відкиданням слів, які не є предметно-орієнтованими, а не звичайне підрахування з уже існуючих технологій.

Третій модуль займається обробкою кожної зібраної вакансії, після стадії очистки в модулі cleaner. На даному етапі ми маємо лише мову програмування, за якою виконувався пошук, та список усіх суміжних з нею технологій. Кожна технологія має певну кількість відносно загальної кількості вакансій, на основні цієї кількості можна зробити припущення щодо її значущості поряд з даною мовою програмування.

Четвертий являє собою будівник – це модуль, який виконує функцію агрегатора, відображає мову програмування, за якою проводився пошук, та перелік суміжних з нею технологій з пороговим значенням входження 5 %.

У якості сховища даних було використано NoSql базу даних MongoDB. Mongodb являє собою документ-орієнтовану систему керування базами даних, яка не потребує опису схеми таблиць.

Переваги MongoDB: динамічна схема (як згадувалося вище, ця СКБД дозволяє гнучко працювати зі схемою даних без необхідності змінювати самі дані); масштабованість (MongoDB горизонтально масштабована, що дозволяє легко зменшити навантаження на сервер при великих обсягах даних); швидкість

(висока продуктивність при виконанні простих запитів); гнучкість (можна без шкоди для існуючих даних, їх структури і продуктивності СКБД додавати поля або колонки) [4].

Її UML представлення має вигляд, зображений на рис. 2.

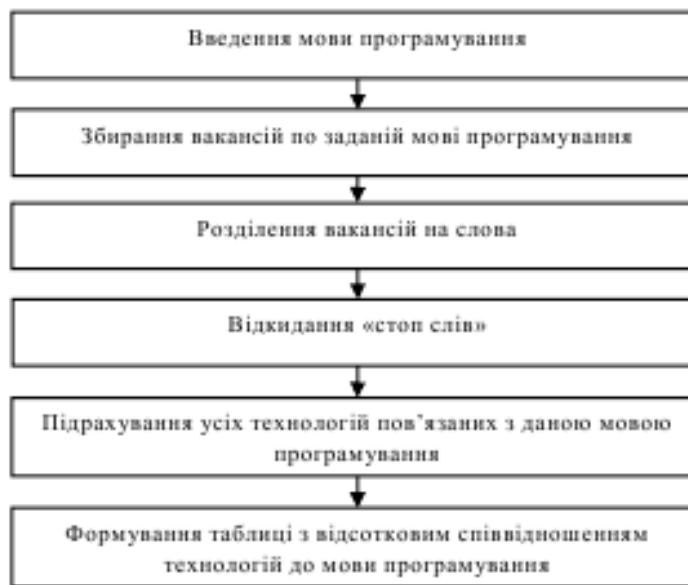


Рис. 1. Схема роботи інформаційної технології формування компетентностей та прогнозування тенденцій вимог до фахівців ІТ-галузі

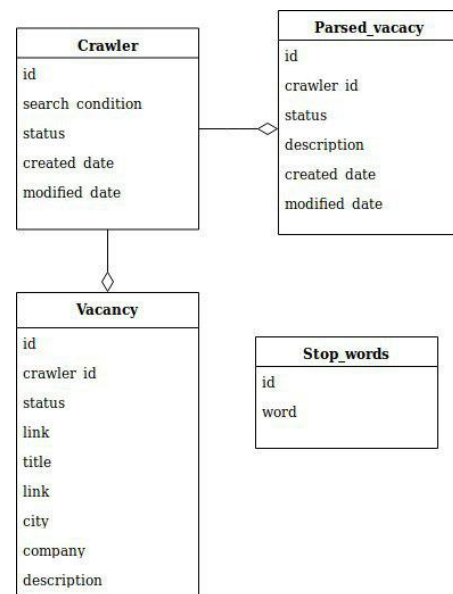


Рис. 2. Представлення схеми бази даних

Висновки

В результаті проведеного наукового дослідження було вдосконалено інформаційну технологію підбору персоналу шляхом реалізації можливості формування актуальних компетентностей та прогнозування тенденцій вимог до фахівців ІТ-галузі, що може використовуватися як рекрутинговими агентствами, так й кандидатами на працевлаштування, а також відділами підвищення кваліфікації підприємств, організацій та установ всіх форм власності.

Література

1. Технічна енциклопедія TechTrend – Open-source learning platform [Електронний ресурс]. – Режим доступу : techtrend.com.ua/index.php?newsid=26003804
2. MVC для веб: проше некуда [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://habr.com/post/181772>
3. Герасимук В.С. Вища математика / Герасимук В.С., Кравцов В.І. – К. : КНУТД, 2010. – 345 с.
4. Особливості застосування нових інформаційних технологій в управлінні персоналом [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://oldconf.neasmo.org.ua/node/720>

References

1. Tekhnichna entsyklopediia TechTrend – Open-source learning platform [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : techtrend.com.ua/index.php?newsid=26003804
2. MVC dlia veb: proshche nekuda [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://habr.com/post/181772>
3. Herasymuk V.S. Vyshcha matematyka / Herasymuk V.S., Kravtsov V.I. – K. : KNUTD, 2010. – 345 s.
4. Osoblyvosti zastosuvannia novykh informatsiinykh tekhnolohii v upravlinni personalom [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://oldconf.neasmo.org.ua/node/720>

Рецензія/Peer review : 13.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сорокати Р.В.

О.В. БАРМАК, О.Д. КАЛИТА, Т.О. ГАЩУК, Т.К. СКРИПНИК
Хмельницький національний університет

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЇВ ДІЛЯНОК ОБЛИЧЧЯ, ЩО ВІДТВОРЮЮТЬ ЕМОЦІЙНУ МІМІКУ

В роботі наведено результати дослідження поведінки ділянок обличчя при проявах емоцій, виділені основні зони обличчя та якісні і кількісні характеристики змін для конкретних ділянок обличчя.

Ключові слова: ділянки обличчя, мімічні прояви емоцій, міміка, аналіз, інформаційна технологія.

O.V. BARMAK, O.D. KALYTA, T.O. GASHCHUK, T.K. SKRYPNYK
Khmelnytskyi National University

INFORMATION TECHNOLOGIES FOR DEFINING CRITERIA OF MIMIC EXPRESSION OF EMOTIONS

The article is devoted to the problem of identifying the main criteria for expressing the face of emotional manifestations for the possibility of recognizing without the use of specialized equipment (for cameras with low resolution or long distances). Informational technology is proposed to determine the areas of the face that reproduce the emotional look of the face. Its essence lies in the use of a specialized video camera Intel Real Sense, whose image automatically identifies points of personality. The input data input from the proposed IT is a set of photos of people with the main emotional states reproduced on them, and the special points allocated on the Intel Real Sense camcorder. Step 1 is to normalize the faces of images to compare them in one base. This is done by centering the face area and normalizing the distance between the eyes. In step 2, based on the analysis of point features moving in the set of input images, information points are allocated (those points whose movement in the emotional expression of the person is the most significant). At the final stage, the areas of the face (with different bias threshold) are determined, the changes of which form a visual perception of emotions. For each selected region a set of possible states for it is formed. As a conclusion, the behavior of point-specific features of a person under the manifestation of certain emotions on it is explored experimentally and high-quality indicators for these emotions are highlighted. According to the results of the study, you can create a software product that will be based on qualitative criteria for assessing the main areas of the face to determine the mimic expression of emotions.

Key words: facial areas, mimic manifestations of emotion, facial expressions, analysis, information technology.

Постановка проблеми

У статті розглянуто проблему виділення основних критеріїв мімічних проявів емоцій на обличчі для можливості реалізації розпізнавання без використання спеціалізованого обладнання (для відео-камер з низькою роздільною здатністю або на великій відстані).

Аналіз останніх джерел

Із розвитком комп'ютерних технологій останнім часом науковців усе більше цікавить можливість машинного розпізнавання емоцій людей для різноманітних цілей, виходить усе більше праць, що розглядають цю проблематику. Майже усі праці спрямовані на виділення певних ознак, що допомагають визначити емоцію людини а також на розробку спеціального програмного продукту. Більшість із них знаходять особливості на обличчі за допомогою примітивів Хаара та виділяють такі ділянки обличчя, як брови і рот [1, 2]. Також можна виділити роботу, де особливості позначені спеціальними маркерами на обличчі актора [3]. Але майже немає робіт, які вказують, як саме вони прийшли до якісних критеріїв оцінки емоційних проявів.

Метою роботи є визначення критеріїв якісних змін у певних ділянках обличчя для визначення емоцій.

Виклад основного матеріалу

Для визначення ділянок обличчя, що відтворюють емоційну міміку запропонована інформаційна технологія (ІТ) (рис. 1). Її суть полягає у використанні спеціалізованої відеокамери Intel Real Sense [4], зображення з якої містять автоматично виявлені точки-особливості обличчя.

Вхідними даними, що поступають на вхід запропонованої ІТ, є множина зображень обличч людей, з відтвореними на них основними емоційними станами та виділеними за допомогою відеокамери Intel Real Sense точками-особливостями (рис. 2).



Рис. 1. Схема інформаційної технології



Рис. 2. Точки-особливості обличчя, що виділяє камера Intel Real Sense

Крок 1 ІТ полягає у нормуванні зображень облич з метою їх порівняння у одному базисі. Для цього виконуються центрування області обличчя та нормування за відстанню між очима.

На кроці 2, на підставі аналізу переміщення точок-особливостей у множині вхідних зображень виділяються інформативні точки (тобто точки, переміщення яких при емоційній міміці найсуттєвіше).

На завершальному етапі (крок 3) визначаються (з різним порогом переміщень) ділянки обличчя, зміни яких і формують візуальне сприйняття емоції. Для кожної виділеної ділянки формується множина можливих станів для неї.

Для тестування запропонованої ІТ було створене відповідне програмне забезпечення. За його допомогою була наповнена база даних зображень та проведено дослідження.

На рис. 3–6 для досліджуваної емоції наведені графіки переміщення точок.

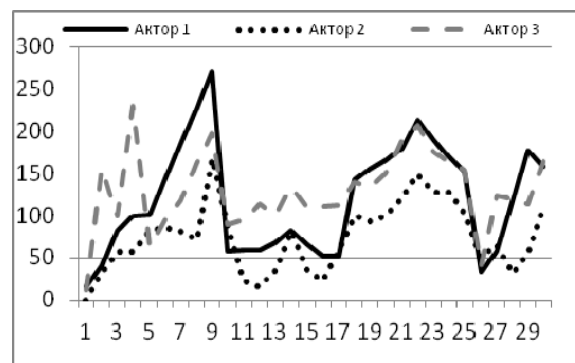
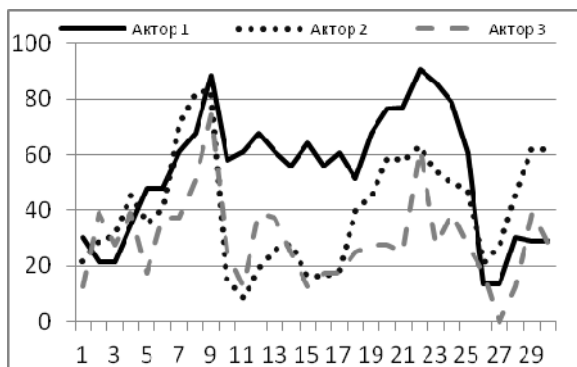


Рис. 3. Графіки зміщення точок для емоцій: гнів та горе

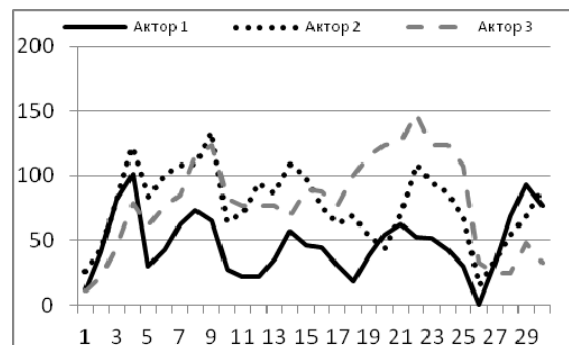
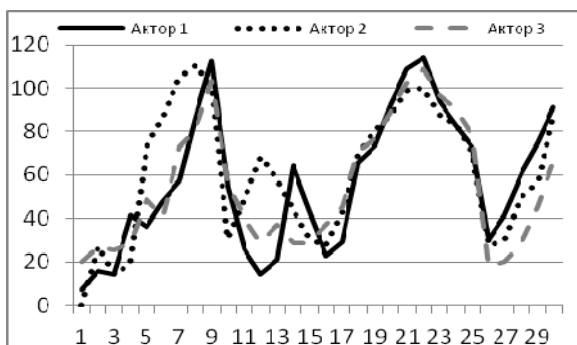


Рис. 4. Графіки зміщення точок для емоцій: задоволення та зневага

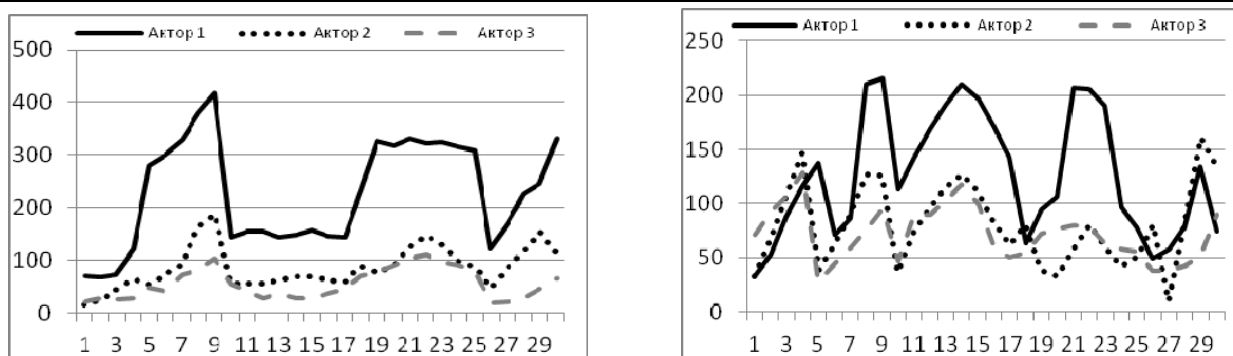


Рис. 5. Графіки зміщення точок для емоцій: інтерес та надія

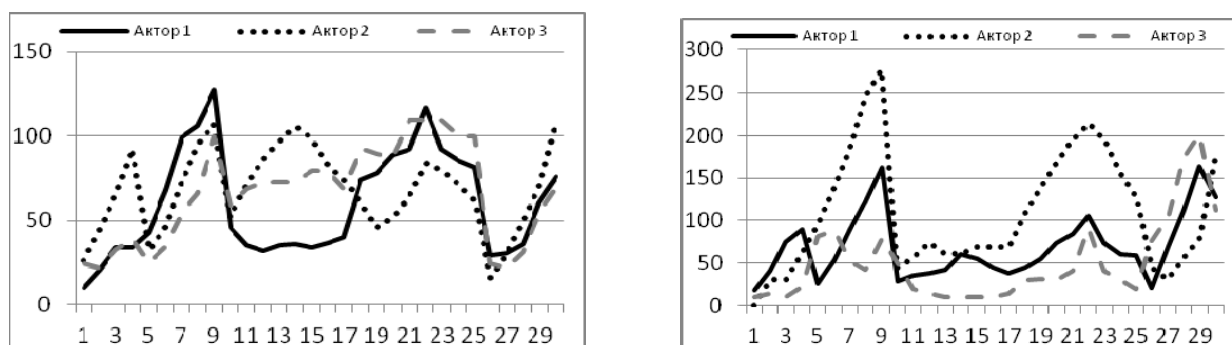


Рис. 6. Графіки зміщення точок для емоцій: радість та страх

Виходячи із цих графіків, можна зробити висновок, що найбільше переміщення в ході прояву різних емоцій було для точок, що належать до наступних ділянок обличчя (за умови, що без втрати загальності, розглядалась лише одна половина обличчя): верх правої повіки, низ правої повіки, ліва сторона правої повіки, права сторона правої брови, ліва сторона правої брови, центр правої брови, права сторона носа, права сторона губ, центр верхньої губи, права сторона нижньої губи. Очевидно, що найбільше зміщення притаманне таким областям людського обличчя як брови, губи та очі і саме сукупність якісних змін даних ознак дає можливість визначити проявлену емоцію на обличчі людини за короткий час та з малою похибкою. Причому під час прояву різних емоцій одна і та ж сама точка обличчя може зміщуватись по-різному: сильно або ледь помітно. Тому для якісного детектування емоцій критерії зміни положень точки обличчя завжди потрібно розглядати у комплексі.

Як можна побачити з рис. 3–6, одні точки при прояві відповідних емоцій зміщуються більше, тому немає необхідності відслідковувати зміщення їх усіх, достатньо виокремити лише ті з них, що зміщуються найбільше, тобто є найінформативнішими. Найбільші зміщення притаманні точкам областей брів, губ та очей, тож це найвагоміші області людського обличчя при детектуванні емоції. Тим паче що ці області можливо із легкістю детектувати засобами звичайних камер із невисокою роздільною здатністю або на великій відстані, оскільки ці області особливо виділяються на людському обличчі.

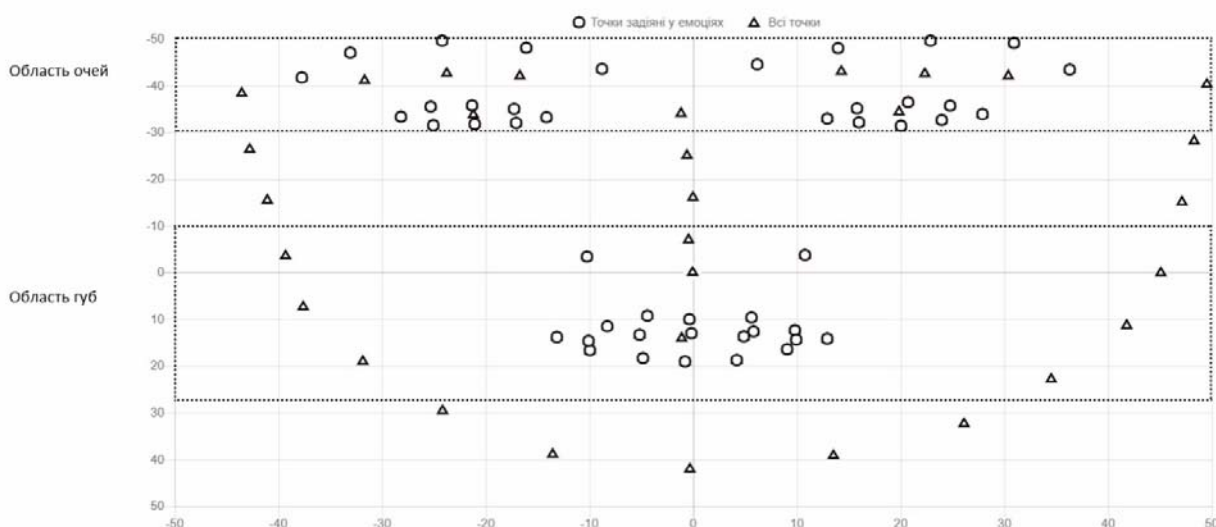


Рис. 7. Точки-особливості обличчя, що відповідають за міміку емоцій

В результаті дослідження та обробки зібраних даних були виділені основні ділянки обличчя, зміни мимики яких прямо впливають на відображення емоційних станів. Це ділянки обличчя з бровами, очима та ротом (рис. 8).

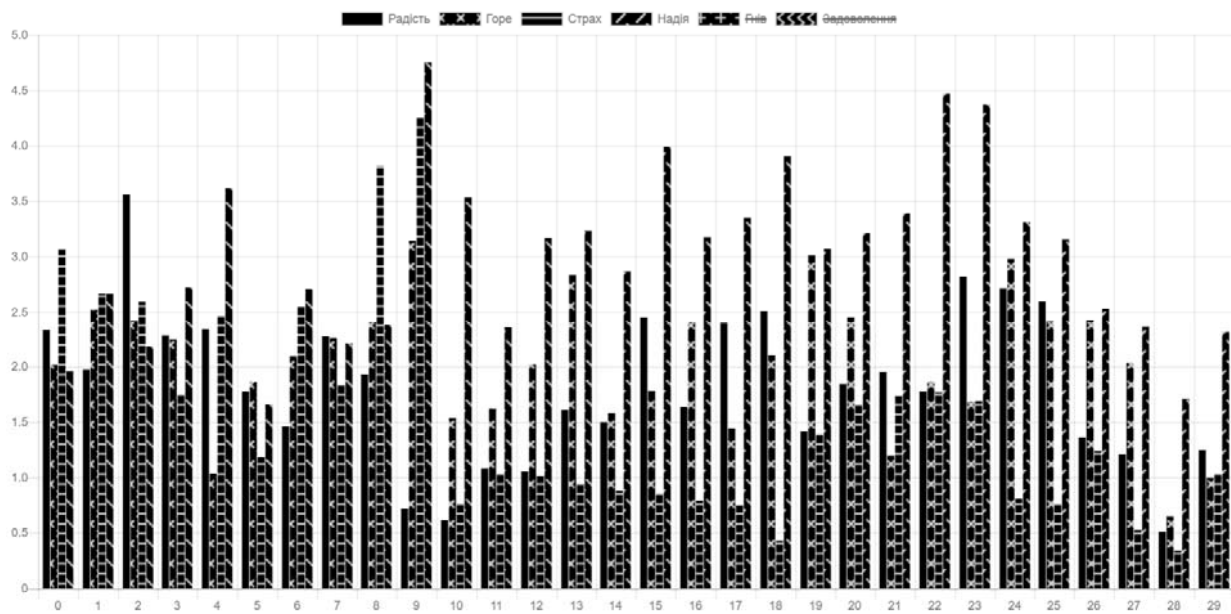


Рис. 8. Діаграма кількісної характеристики відхилень різних точок при прояві емоційного стану

Заключним етапом дослідження стало виділення множин якісних характеристик зміщень точок або груп точок, які наведені у таблицях 1 та 2.

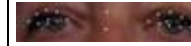
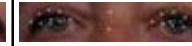
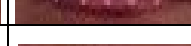
Таблиця 1

Якісні характеристики ділянок обличчя

Емоція	Брови	Очі	Губи
Гнів	опущені	без змін	стиснутий
Горе	без змін	опущені верхні повіки	опущені кутики
Задоволення	без змін	злегка опущені верхні повіки	без змін
Зневага	без змін	без змін	піднятий один кутик губ
Інтерес	злегка підняті	злегка підняті верхні повіки	без змін
Надія	злегка підняті	злегка підняті верхні повіки	без змін
Страх	сильно підняті	підняті верхні повіки	підняті кутики губ
Радість	без змін	підняті зовнішні кутики очей	Злегка підняті кутики губ

Таблиця 2

Множина значень якісних характеристик для кожної ділянки обличчя

		Якісні характеристики ділянок обличчя				
Ділянка обличчя		Без змін	Злегка опущені	Опущені	Злегка підняті	Підняті
Брови	Вся брова		×			
Очі	Верхні повіки					
	Зовнішні кутики очей		×	×	×	
Губи	Кутик губ		×			
	Нижня частина верхньої губи					
	Верхня частина нижньої губи					

Висновки

Експериментальним шляхом досліджена поведінка точок-особливостей обличчя при прояві на ньому певних емоцій та виділені якісні показники для цих емоцій. За результатами дослідження можна створити програмний продукт, що буде опиратися на якісні критерії оцінки основних ділянок обличчя для визначення мімічного прояву емоцій.

Література

1. Ахметшин Р. И. Распознавание эмоций человека на изображениях / Р. И. Ахметшин, А. П. Кирпичников, М. П. Шлеймович // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 11. – С. 160–163.
2. Ян Си. Автоматическое распознавание эмоций пользователя для организации интеллектуального интерфейса / Ян Си, А. Н. Алфимцев // Молодежный научно-технический вестник – Сентябрь 2013. – № 09.
3. Кривонос Ю. Г. Информационная технология анализа мимических проявлений эмоциональных состояний человека [Электронный ресурс] / Ю. Г. Кривонос, Ю. В. Крак, А. В. Бармак, А. С. Тернов, В. А. Кузнецов // Кибернетика и системный анализ. – 2015. – Т. 51, № 1. – С. 30–39. – Режим доступа : http://nbuv.gov.ua/UJRN/KSA_2015_51_1_6.
4. Технология Intel® RealSense™ Представляйте. Запечатлевайте. Творите. Взаимодействуйте [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.intel.ru/content/www/ru/ru/architecture-and-technology/realsense-overview.html?_ga=2.248218503.1447368332.1495706723-2073589028.1492066613

References

1. Ahmetshin R. I. Raspoznavanie emotsiy cheloveka na izobrajeniyah / R. I. Ahmetshin, A. P. Kirpichnikov, M. P. Shleymovich // Vestnik tehnologicheskogo universiteta. – 2015. – T. 18, № 11. – S. 160–163.
2. YAn Si. Avtomaticheskoe raspoznavanie emotsiy polzovatelya dlya organizatsii intellektualnogo interfeysa / YAn Si, A. N. Alfimtsev // Molodejnyiy nauchno-tehnicheskij vestnik – Sentyabr 2013. – № 09.
3. Krivonos YU. G. Informatsionnaya tehnologiya analiza mimicheskikh proyavleniy emotsionalnykh sostoyaniy cheloveka [Elektronniy resurs] / YU. G. Krivonos, YU. V. Krak, A. V. Barmak, A. S. Ternov, V. A. Kuznetsov // Kibernetika i sistemniy analiz. – 2015. – T. 51, № 1. – S. 30–39. – Rejim dostupu : http://nbuv.gov.ua/UJRN/KSA_2015_51_1_6.
4. Tehnologiya Intel® RealSense™ Predstavlyayte. Zapechatlevayte. Tvorige. Vzaimodeystvuyte [Elektronniy resurs]. – Rejim dostupu : http://www.intel.ru/content/www/ru/ru/architecture-and-technology/realsense-overview.html?_ga=2.248218503.1447368332.1495706723-2073589028.1492066613

Рецензія/Peer review : 27.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Сорокати Р.В.

КРИТЕРІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Розглянуто основні етапи впровадження моделей в системах підтримки прийняття рішень, вибір критеріїв в оптимізаційних моделях СППР. Проаналізовано важливість формулювання критерію оптимізації для побудови математичної моделі, визначено задачі оптимізації з одним критерієм і багатокритеріальні для розвитку інформаційних систем. Описані особливості розв'язання функціональних задач управління та методи добування даних в СППР.

Ключові слова: системи підтримки прийняття рішень, критерій оптимізації, статистичний аналіз, нейромережеві моделі.

G.I. MIKHALEVSKA, V.TS. MIKHALEVSKIY

Khmelnyskiy National University

CRITERIA OF OPTIMIZATION AND BUILDING OF MATHEMATICAL MODEL FOR DECISION SUPPORT SYSTEMS

The article considers the main stages of implementation of models in decision support systems. Selection of criteria in optimization models of DSS. The importance of formulating an optimization criterion for constructing mathematical models, optimization problems with one criterion and multicriteria for the development of information systems, has been analyzed. Features of solving functional tasks of management and data extraction methods in DSS are described. Mathematical models are used to obtain scientifically substantiated managerial decisions of the decision support system. Among them, the most popular in use are the following types of models: optimization, statistical analysis, predictive, neural network. The formulation of the optimization criterion is very important for constructing mathematical models. There are tasks of optimization with one criterion and multicriteria tasks. Most optimization tasks are solved with one criterion. If there are several criteria, it is necessary to apply a methodology accordingly, which will allow to optimize the task in fact with one criterion. There are a number of linear, integer, and nonlinear programming methods that allow you to solve a wide range of tasks. Neural network models allow you to build systems with artificial intelligence that can be learned. The game theory apparatus allows you to simulate conflict situations, competition in the market, find the best solution for solving such problems. Decision support systems are used by a variety of organizations and enterprises to support a wide range of decision making, for decision makers and for different parts of the decision-making process. Therefore, the benefits of these systems can be estimated by quantitative and qualitative indicators. Decision support systems allow you to get the best decisions, to improve the process of making the best decisions. The effectiveness of management is measured by such economic indicators as profitability of the enterprise, cost of production, volumes of output. DSS affect on economic indicators indirectly, therefore, the quantitative measurement of the effectiveness of implementing decision support systems is complicated.

Keywords: decision support systems, optimization criterion, statistical analysis, neural network models.

Постановка проблеми. Інформаційні системи, які розвиваються вже більше ніж півстоліття, спочатку будувалися як автоматизовані системи управління підприємством і мали відповідати запитам менеджерів. Такі системи продукували велику кількість необхідних і корисних для менеджерів документів. Розвиток автоматизованих систем управління в подальшому привів до того, що з'явилися системи підтримки прийняття рішень. Ці системи відрізняються можливостями, які дозволяють користувачам отримувати інформацію або знання з інформаційної системи, яка була запрограмована і налаштована користувачем так, щоб врахувати досвід користувача і його підприємства, а також можливості математичних моделей та сховищ даних, які поліпшують якість прийняття рішень. Подальший розвиток інформаційних систем призводить до побудови обчислювальних середовищ, які включають в себе електронну комерцію, нові можливості аналітики, можливості колективної співпраці, проектування, розробку нової продукції.

Формулювання цілей статті (Постановка завдання). Дослідити особливості та основні характеристики математичних моделей, що використовуються у системах підтримки прийняття рішень. Описати основні вимоги до підходів застосувань математичного апарату.

Виклад основного матеріалу. Знання і управління знаннями є невід'ємною частиною системи управління та систем підтримки прийняття рішень. Існує п'ять методів обробки інформації першого рівня і чотири методи обробки інформації другого рівня [1–3]. Система підтримки прийняття рішень, яка реалізує або сприяє сполученню цих дев'яти класів обробки знань, може реально покращити продуктивність управлінських рішень. Розробники систем підтримки прийняття рішень мають враховувати наступні фактори:

- наукомісткий характер процесу прийняття рішень;
- процес прийняття рішень орієнтується на знання;
- застосування атрибутів знань;
- застосування багаторівневих і багатосторонніх схем прийняття рішень;
- застосування дворівневої системи обробки знань, яка приймає активну участь в розробці управлінських рішень;
- застосування в системах підтримки прийняття рішень методів управління знаннями в сучасній науці та практиці підвищується.

Основні ідеї архітектури систем підтримки прийняття рішень були розроблені у 70-80-х роках двадцятого сторіччя. У подальшому ці ідеї були конкретизовані і розроблені у декількох напрямках. Створені інформаційної системи можна класифікувати наступним чином [1, 2]: 1) текстові СППР; 2) гіпертекстові СППР; 3) орієнтовані на використання баз даних та сховищ даних СППР; 4) табличні СППР; 5) орієнтовані на моделі СППР; 6) СППР, які використовують штучний інтелект; 7) гібридні СППР; 8) Групові СППР.

Моделі в СППР. Для отримання науково обґрунтованих управлінських рішень системи підтримки прийняття рішень використовують математичні моделі. Серед них найбільш популярними у використанні є такі типи моделей: оптимізаційні, статистичного аналізу, прогнозні, нейромережеві.

Впровадження моделей в системах підтримки прийняття рішень містить наступні етапи:

- Формалізація вихідної проблеми.
- Побудова математичної моделі.
- Розв'язання моделі.
- Перевірка адекватності моделі.
- Впровадження результатів розв'язку.

Формалізація проблеми представляє собою осмислення і формулювання в чіткій письмовій формі суті економічної чи організаційної проблеми. На цьому етапі мають бути визначені критерії, за якими буде виконуватися моделювання, а також на цьому етапі має бути визначено економічний зміст критеріїв і обмежень задачі оптимізації, або мета статистичного аналізу, критерії прогнозування та навчання моделей нейронних мереж. Після того, як економічний зміст задачі чітко сформульовано, переходять до етапу переведення задачі на математичну мову, тобто побудову математичної моделі.

Вибір критеріїв в оптимізаційних моделях СППР. Дуже важливим для побудови математичної моделі є формулювання критерію оптимізації. Існують задачі оптимізації з одним критерієм і багатокритеріальні задачі. Більшість задач оптимізації вирішується з одним критерієм. Якщо критеріїв декілька, необхідно застосувати відповідно методіку, яка дозволить оптимізувати задачу фактично за одним критерієм.

Серед найбільш уживаних математичних моделей для оптимізації економічних процесів є моделі лінійного програмування.

Економіко-математичні моделі лінійного програмування. Задачами лінійного програмування називають задачі оптимізації, що мають такі особливості:

- критерій оптимізації є лінійною функцією від невідомих задачі $x_1, x_2, \dots, x_n$;
- обмеження, що накладаються на можливі розв'язки мають тип лінійних рівностей або нерівностей;
- змінні приймають невід'ємні значення.

Математична постановка задачі лінійного програмування в загальному випадку сформулюється таким чином:

Нехай x_j – невідомі задачі, a_{ij} – коефіцієнти при невідомих, b_i – обмеження, Z – критерій оптимізації, c_j – коефіцієнти при невідомих у математичному формулюванні критерію оптимізації.

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m \end{cases} \quad (1)$$

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \rightarrow \begin{matrix} \text{max} \\ \text{min} \end{matrix}$$

$$x_{ij} \geq 0$$

Необхідно визначити такі невід'ємні значення змінних $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, що задовольняють умовам (I), при яких лінійна функція Z перетвориться в оптимум (мінімум або максимум у залежності від економічного змісту задачі).

Для розв'язання задач лінійного програмування при довільному числі змінних x_j застосовуються обчислювальні методи, найбільш універсальним серед яких є симплексний метод.

Цілочислові задачі лінійного програмування. Оптимізаційна задача, змінні якої за фізичним змістом можуть приймати лише цілочислові значення, називається задачею цілочислового програмування. Обмежимося розглядом випадку, коли цільова функція й система обмежень задачі є лінійними. При цьому математична модель задачі має вигляд:

$$F = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max; \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i, \quad i = \overline{1, m}; \quad (2)$$

$$x_j \geq 0, j = \overline{1, n}; \quad (3)$$

$$x_j - \text{цілочислові} \quad j = \overline{1, n}; \quad (4)$$

Розв'язок задачі (1)–(4) може виявитися як цілочисловим, так і ні. Тому у загальному випадку для визначення цілочислового розв'язку задачі (1)–(4) потрібне застосування спеціальних методів. Одним із найбільше поширених методів розв'язку задачі (1)–(4) є метод Гоморі або метод Гілок і меж.

Задачі дробово-лінійного програмування. Для певного класу практичних задач цільова функція може являти собою відношення двох лінійних функцій. Обмеження при цьому є лінійними. Це задача дробово-лінійного програмування, що має вигляд:

$$F = \frac{\sum_{j=1}^n c_j x_j}{\sum_{j=1}^n d_j x_j} \rightarrow \max; \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i, i = \overline{1, m}; \quad (6)$$

$$x_j \geq 0, j = \overline{1, n}. \quad (7)$$

Тут c_j, d_j, a_{ij}, b_i – задані константи. Крім того, зазначимо, що $\sum_{j=1}^n d_j x_j \neq 0$.

В загальному випадку задача дробово-лінійного програмування (5)–(7) може бути зведена до задачі лінійного програмування. Для цього введемо нові змінні:

$$y_0 = \left(\sum_{j=1}^n d_j x_j \right)^{-1}; \quad (8)$$

$$y_j = y_0 x_j, j = \overline{1, n}. \quad (9)$$

Використовуючи введені позначення (8), (9), початкову задачу (5)–(7) зводимо до наступної задачі:

$$F' = \sum_{j=1}^n c_j y_j \rightarrow \max; \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} y_j - b_i y_0 = 0, i = \overline{1, m}; \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^n d_j y_j = 1; \quad (12)$$

$$y_j \geq 0, j = \overline{0, n}. \quad (13)$$

Задача (10)–(13) розв'язується симплексним методом.

Нелінійне моделювання. Загальна постановка задач нелінійного програмування. В загальному випадку задача нелінійного програмування сформулюється так:

$$\begin{aligned} &\text{визначити екстремальне значення функції } f(x_1, x_2, \dots, x_n), \\ &f(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \text{extr} \end{aligned} \quad (14)$$

за умови, що змінні $x_1, x_2, \dots, x_n$ задовольняють обмеженням

$$\begin{cases} q_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_i, & i = \overline{1, k} \\ q_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq b_j, & j = \overline{k+1, m} \end{cases} \quad (15)$$

$$q_s(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_s, \quad s = \overline{m+1, n}$$

f, q – функції n змінних, b_s – задані числа. ($s = i, j, l$).

Значення змінних x_i ($i = \overline{1, n}$), що задовольняють (15), називаються припустимими розв'язками, а припустимий розв'язок $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$, який приводить до екстремуму функцію f , називається оптимальним розв'язком задачі (14), (15). Якщо хоча б одна з функцій є нелінійною, то задача (14), (15) представляє собою задачу нелінійного програмування (НП). Універсальних методів розв'язання задач НП не існує. В залежності від вигляду функції (14) і обмежень (15) застосовується той або інший метод розв'язання.

Якщо система обмежень на змінні $x_1, x_2, \dots, x_n$ містить тільки рівняння, то це окремий випадок

задачі НП:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \text{extr}, \quad (16)$$

$$q_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_i, \quad i = \overline{1, m} \quad (17)$$

Задача (16), (17) на умовний екстремум може бути розв'язана методом множників Лагранжа.

Моделі, які застосовують математичний апарат теорії ігор. Гра — це дійсний або формальний конфлікт, у якому є принаймні два учасники (гравці), кожний з яких прагне досягнення власних цілей. Однозначний опис вибору, який здійснює гравець у кожній з можливих ситуацій, називається стратегією гравця. Стратегія гравця буде оптимальною, якщо при багатократному повторенні гри вона забезпечує гравцю максимальний середній виграш (мінімальний середній програш). Практична реалізація розв'язку на комп'ютері виконується із застосуванням відповідного програмного забезпечення.

Моделі які використовують нейронні мережі. Штучні нейромережі є електронними моделями нейронної структури мозку, які здатні навчатись, використовувати накопичений досвід. Багато проблем, які поки що непідвладні розв'язуванню сучасними комп'ютерами, можуть бути ефективно вирішені блоками нейромереж. В СППР застосовуються методи короткострокового, середньострокового і довгострокового прогнозування. Найбільш поширеними методами є методи короткострокового і середньострокового прогнозування. Практика показує, що чим більший проміжок часу, на який ми прогнозуємо, тим більша похибка прогнозу. Методологічно, задачі довгострокового прогнозу мають найбільшу похибку, тому і використовуються рідше.

Для прогнозування часових рядів, у яких спостерігається тренд, є доцільним використовувати прогнозування із використанням регресійних моделей. Для стаціонарних процесів доцільно застосовувати метод статистичної екстраполяції або ковзного середнього чи експоненційного згладжування. Для приведення нестационарних процесів до стаціонарного вигляду існує ряд ефективних методів.

Ефективне прогнозування передбачає наявність у користувача СППР фахового володіння математичним апаратом методів прогнозу та досвіду застосування моделей.

Методи обробки даних в системах підтримки прийняття рішень. Онлайн аналітична обробка інформації (Online Analytical Processing – OLAP) дозволяє отримувати дані із баз та сховищ даних, обробляти їх за математичними алгоритмами і представляти результати у вигляді аналітичних звітів [3, 4].

Існують три основних методи онлайн обробки інформації, які регулярно використовуються аналітиками, до них відносять: 1) метод розбивки на сегменти; 2) метод обертання; 3) метод консолідації та деталізації. Метод розбивки на сегменти визначається як стратегія розбивки на елементи, візуалізацію і осмислення даних, що отримані з баз даних. Користувач системи підтримки прийняття рішень розбиває великий масив даних на сегменти, які потім розбиваються на невеликі частки. Процес повторюється до тих пір, поки ми отримаємо рівень деталізації, необхідний для аналізу. Консолідація та деталізація — операції, що визначають перехід від детального представлення даних до агрегованого (вгору) і навпаки — від агрегованого до детального (вниз). До даних, як були оброблені за методами розбивки на сегменти, обертання, консолідації та деталізації, аналітики в подальшому застосовують розглянуті вище математичні моделі для виявлення прихованих залежностей або оптимізації управлінських рішень.

Дейтамайнінг (Data mining) – видобування даних в СППР. Це процес виявлення у великих масивах даних – раніше невідомих, нетривіальних, практично корисних і доступних для інтерпретації знань, необхідних для прийняття рішень у різних галузях людської діяльності.

Інструментальні засоби добування даних використовують різноманітні методи, включаючи доказову аргументацію, візуалізацію даних, методи нечіткої логіки й аналізу, нейромережі та інші.

Доказову аргументацію (міркування за прецедентами) застосовують для пошуку записів, подібних до якогось певного запису чи низки записів. Ці інструментальні засоби дають змогу користувачеві конкретизувати ознаки подібності підібраних записів. За допомогою візуалізації даних можна легко і швидко оглядати графічні відображення інформації в різних аспектах (ракурсах).

Відомі п'ять загальних типів інформації, що можуть бути одержані засобами дейтамайнінгу: 1) *класифікація*: дозволяє робити висновок щодо визначення характеристик конкретної групи (наприклад, споживачі, які були втрачені через дії конкурентів); 2) *кластеризація*: ототожнює групи елементів, які мають показники близькі до параметру, за яким їх об'єднують у групу (кластеризація відрізняється від класифікації, бо не вимагається наперед визначена характеристика); 3) *асоціація*: ідентифікує зв'язки або відношення між подіями, які відбувались у минулому (наприклад, вподобання клієнтів магазину, які відвідували його протягом року); 4) *впорядковування*: подібно асоціації, крім того, установлюється зв'язок в часовому вимірі (наприклад, повторний візит до супермаркету або фінансове планування виготовлення продукту); 5) *прогнозування*: оцінює майбутні значення параметрів і показників економічних процесів, які обчислюються з використанням визначених тенденцій, трендів в передісторії цих процесів із використанням математичних методів.

Методи добування даних в СППР. Методи добування даних, класифікація і технології їх використання показано на рис. 1. На першому рівні дерева рішень визначаються, чи будуть видобуті дані збережені в системі або будуть відфільтровані для подальшої обробки.

Збережені дані знаходяться в системі, далі аналізуються із застосуванням статистичних і математичних методів. Аналіз виконується за допомогою зіставлення даних зі збірцем (шаблоном).

Відповідно до того, співпадають чи не співпадають дані з шаблоном, приймають рішення щодо класифікації даних та їх використання. Широко застосовується статистичний метод кластерного аналізу.

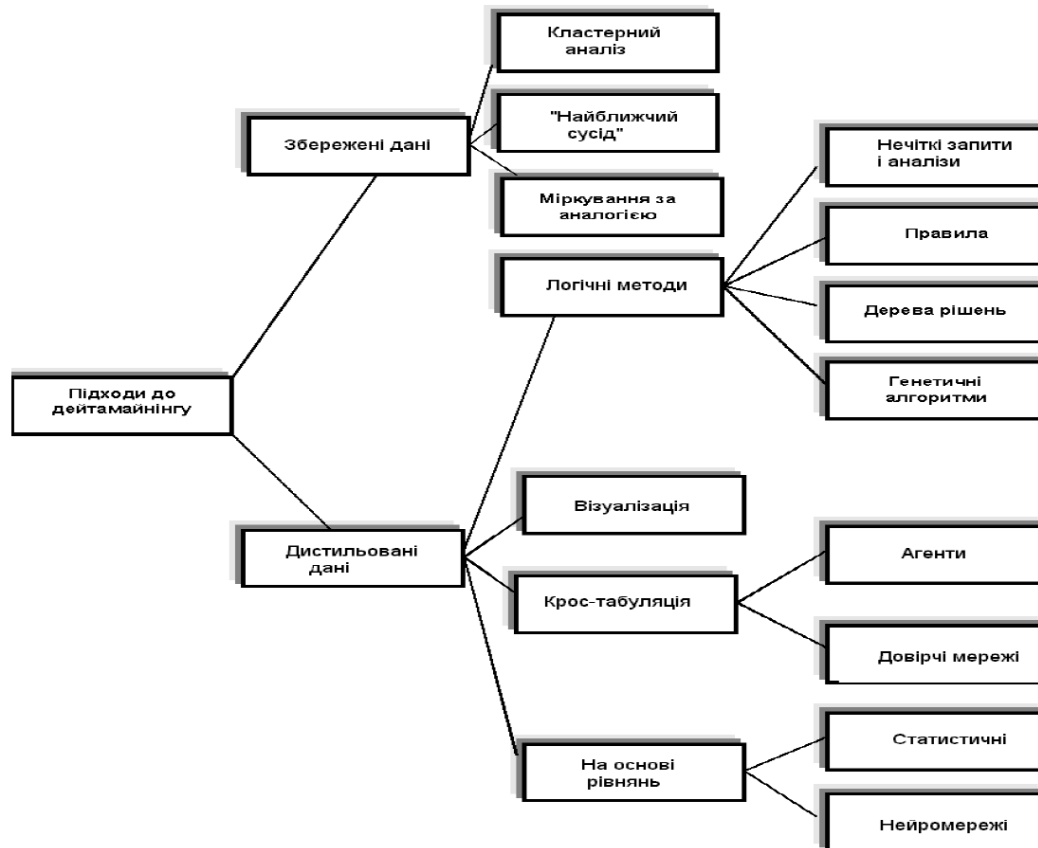


Рис. 1. Методи дейтамайнінгу

Ефект від застосування цих методів залежить від правильності вибору типових даних, з якими зіставляються інші дані.

Дистилляція даних передбачає вибір взірця або шаблону з набору даних і його використання для фільтрації даних із застосуванням чотирьох наступних методів: *логічні методи, візуалізація, крос-табуляції, методи на основі рівнянь*.

Ефективність запровадження систем підтримки прийняття рішень. Системи підтримки прийняття рішень дозволяють отримати кращі рішення, поліпшити процес прийняття оптимальних рішень. Ефективність управління вимірюється такими економічними показниками як прибутковість підприємства, собівартість продукції, обсяги виробництва продукції. Системи ППР впливають на економічні показники опосередковано, тому кількісний вимір ефективності запровадження систем підтримки прийняття рішень ускладнюється, а інколи неможливий.

Системи підтримки прийняття рішень мають наступні переваги: 1) покращують обробку та пошук знань; 2) дозволяють ефективно розв'язувати складні проблеми; 3) скорочують час прийняття рішень; 4) скорочують витрати на розробку оптимального рішення; 5) збільшують можливості по виявленню нових знань та інформації про процес, яким керують; 6) покращують обґрунтованість прийнятих рішень; 7) підвищують надійність прийнятих рішень; 8) поліпшують комунікацію та координацію між працівниками в процесі прийняття рішень; 9) розширюють можливості і надають конкурентні переваги підприємству, яке застосовує систему підтримки прийняття рішень.

Висновки. В системах підтримки прийняття рішень застосовується велика кількість економіко-математичних моделей. Важливим етапом в розробці моделей є правильний вибір критеріїв оптимізації. Існує ряд методів лінійного, цілочислового, нелінійного програмування, які дозволяють розв'язати широкий спектр задач. Нейромережеві моделі дозволяють побудувати системи зі штучним інтелектом, які можуть навчатися. Апарат теорії ігор дозволяє змодельовати конфліктні ситуації, конкуренцію на ринку, знайти оптимальне рішення для розв'язання таких проблем. Системи підтримки прийняття рішень використовуються в різноманітних організаціях і підприємствах, для підтримки широкого діапазону рішень, для менеджерів, що приймають рішення і для різних частин процесу прийняття рішень. Тому вигоди від цих систем можуть бути оцінені кількісними і якісними показниками.

Системи підтримки прийняття рішень дозволяють отримати кращі рішення, поліпшити процес прийняття оптимальних рішень. Ефективність управління вимірюється такими економічними показниками як прибутковість підприємства, собівартість випускової продукції, обсяги випускової продукції. Системи підтримки прийняття рішень впливають на економічні показники опосередковано, тому кількісний вимір

ефективності запровадження систем підтримки прийняття рішень ускладнюється.

Література

1. Демиденко М.А. Системи підтримки прийняття рішень : навч. посібн. / Демиденко М.А. – Дніпропетровськ : НГУ, 2016. – 104 с.
2. Демиденко М.А. Управління проектами інформатизації : навч. посібн. / Демиденко М.А. – Дніпропетровськ : НГУ, 2014. – 118 с.
3. Ситник В.Ф. Основи інформаційних систем : навч. посіб. / Ситник В.Ф. – Вид. 2-е, перероб. і доп. – К. : КНЕУ, 2001. – 420 с.
4. Спирли Э. Корпоративные хранилища данных. Планирование, разработка, реализация. Том. 1 / Спирли Э. ; пер. с англ. – М.: Вильямс, 2001. – 400 с.

References

1. Demidenko M.A. Support Systems of Making Decisions / Teaching. manual - Dnipropetrovsk: NMU, 2016. - 104 p.
2. Demidenko M.A. Information projects management / Teaching. manual - Dnipropetrovsk: NMU, 2014. - 118 p.
3. Sitnik V.F. and others. Fundamentals of Information Systems: Teaching. manual - Kind. 2nd, processing. and add - K.: KNEU, 2001. - 420 p.
4. Spirli E. Corporate data warehouses. Planning, development, implementation. Volume. 1 / transl. from English - M.: Williams, 2001. - 400 p.

Рецензія/Peer review : 15.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сорокати́й Р.В.

Д.І. БІЛИЙ, Т.К. СКРИПНИК
Хмельницький національний університет

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ CAD/CAE ДОДАТКІВ

У роботі було проведено дослідження розробки програмних продуктів для CAD/CAE систем. На основі існуючого архітектурного шаблону Model-View-Operator (MVO) було розроблено новий архітектурний шаблон Model-Creator-ViewOperator (MCVO), що дозволяє, не змінюючи архітектуру системи, масштабувати її, вносити зміни та доповнення до елементів системи.

Ключові слова: система автоматизованого проектування, архітектурний шаблон, MVO, MCVO.

D.I. BILYI, T.K. SKRYPNYK
Khmelnytskyi National University

AUTOMATED DESIGN SYSTEM FOR CAD/CAE APPLICATIONS

Computer Aided Design systems have become an integral part of the machine-building enterprise. Therefore, the creation and upgrading of existing CAD/CAE systems is an actual task that requires constant attention of software developers. The process of improving computer aided design systems constantly continues, so during the construction phase, it is particularly important to select the CAD/CAE architecture of the system, which would allow it to scale, to make changes and additions to the elements of the system without changing the architecture. The architectural patterns are used as one of the most popular approach in creating software. The most well-known architectural pattern is MVC (model-view-controller), which is used when writing server applications. When it comes to create CAD/CAE system the most common pattern is MVO (model-view-operator). The 3D graphical system HOOPS (HOOPS/3dGS) was built based on the MVO architectural pattern based on that it becomes possible to analyze the main components of the pattern and its features. HOOPS/MVO has a model-view-operator architecture that encapsulates various data structures and concepts of HOOPS/3dGS. HOOPS/MVO makes the key capabilities of HOOPS/3dGS more accessible, offering a range of common application-level logic, facilitating efficient development and rapid prototyping of full-featured, high-performance CAD/CAM/CAE applications. The Model-View-Operator (MVO) architecture decouples graphical information from its presentation and manipulation. The model represents the data while the view corresponds to the presentation of this information. An operator can be a set of actions involving querying, creation, editing and manipulation of data. The architecture is implementing via the following three main classes: HBaseModel (model), HBaseView (view) and HBaseOperator (operator). In MVO, the HBaseModel class encapsulates the models found in the Include Library. When application logic needs to build a scene, it would first create a new instance under a Driver segment, which corresponds to an instance of the driver. The MVO class HBaseView stores an information for a given driver instance and managing data such as lights, overlay drawing, selection sets, and camera positioning. The HBaseOperator class and its derived classes designed for rotate the camera, select objects or delete various items after the 3D scene is displayed. When building an application using the MVO pattern, a single instance of the HDB class must be created and initialized during application's initialization phase. MVO supports multiple models as well as multiple views. In the HDB class, 3D graphics information is stored. To load information into the database, you can use HBaseModel. This class includes support for loading a variety of file formats. Once the information is in the database, you can continue to use HBaseModel to manage your 3D objects. When you are ready to save your object information, HBaseModel also includes support for exporting to a variety of formats. The HBaseView class manages the presentation of your models. Although an HBaseModel object can have multiple HBaseView instances, every HBaseView is associated with exactly one HBaseModel instance. In the database, HBaseView encapsulates an instance of a driver segment. The driver instance defines a connection with help of OpenGL or DX9. When HBaseView is initialized, it creates a default segment structure under the driver instance segment, which is used to manage interaction with HBaseModel. The HBaseOperator is the abstract base class that defines the interface for handling user input and operating on the model or view. The methods defined in this class provide the basis for mapping user input to interaction logic. In this context, an object derives from HBaseOperator and then implements methods to handle events such as mouse movements or key presses.

Keywords: computer-aided design, architectural pattern, MVO, MCVO.

Вступ

Актуальність. Системи автоматизованого проектування стали невід'ємною складовою частиною машинобудівного підприємства. Тому створення нових та вдосконалення існуючих CAD/CAE систем є актуальною задачею, яка потребує постійної уваги розробників програмного забезпечення. Процес вдосконалення систем автоматизованого проектування продовжується постійно, тому на етапі побудови особливо важливим є етап вибору архітектури CAD/CAE системи, який би дозволяв не змінюючи архітектуру системи масштабувати її, вносити зміни та доповнення до елементів системи.

Одним із підходів, який використовується під час створення програмного забезпечення є використання архітектурних шаблонів. Найбільш відомим архітектурним шаблоном є MVC (model-view-controller), який використовується в ході написання серверних додатків [1]. Для створення CAD/CAE систем існує архітектурний шаблон MVO (model-view-operator) [2].

На основі архітектурного шаблону MVO побудовано 3D-графічну систему HOOPS (HOOPS/3dGS) [3], на основі якої можна проаналізувати основні складові шаблону та його особливості. HOOPS/3dGS має структуру model-view-operator, яка інкапсулює різні структури та концепції даних HOOPS/3dGS. HOOPS/MVO робить ключові можливості HOOPS/3dGS більш доступними, пропонує широкий діапазон загальних логічних рівнів застосування сприяючи ефективній розробці та швидкому створенню прототипів повнофункціональних, високопродуктивних додатків CAD/CAM/CAE систем [4].

Архітектура Model-View-Operator (MVO) відокремлює графічну інформацію від її презентації та маніпулювання. Модель являє собою дані, тоді як представлення даних відповідає представленню цієї інформації. Оператор – це сукупність дій, що включають запит, створення, редагування та обробку даних. Архітектура реалізована за допомогою трьох основних класів: HBaseModel (модель), HBaseView (вид) та

HBaseOperator (оператор) (рис. 1) [2].

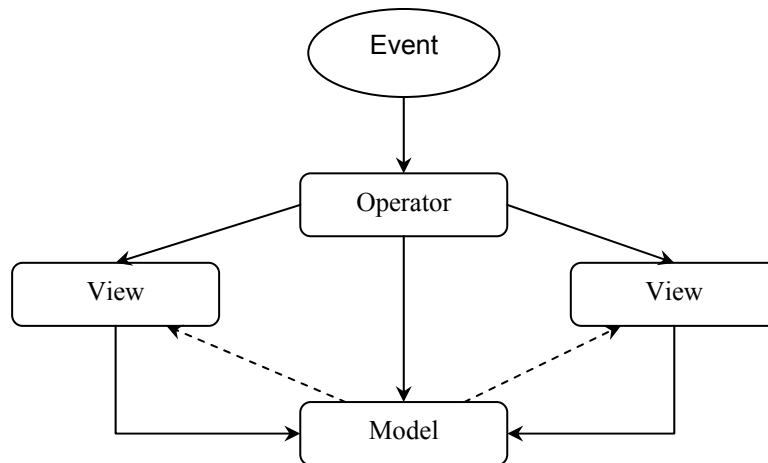


Рис. 1. Взаємозв'язок між окремими об'єктами в архітектурі Model-View-Operator

У MVO клас HBaseModel інкапсулює моделі, що знаходяться в Include Library. Під час побудови сцени спочатку створюється новий екземпляр у сегменті драйверів, який відповідає екземпляру драйвера. Клас MVO HBaseView зберігає інформацію для певного примірника драйверів та дає можливість керувати такими даними, як світло, накладення малюнка, набори виділення та розташування камери. Клас HBaseOperator та його похідні класи призначені для зміни положення камери, виділення об'єктів, або видалення різних елементів після відображення 3D-сцени.

У відповідності до шаблону MVO під час створення додатка один етап класу HDB повинен бути створений та ініціалізований під час фази ініціалізації програми [2]. MVO підтримує кілька моделей, а також декілька виглядів. У класі HDB зберігається інформація про 3D-графіку. Щоб завантажити інформацію в базу даних, можна використати HBaseModel. Цей клас включає підтримку для завантаження різноманітних форматів файлів. Після того, як інформація знаходиться в базі даних, можна продовжувати користуватися HBaseModel, для керування 3D-об'єктами. При необхідності зберегти інформацію про об'єкт, HBaseModel включає підтримку експорту в різні формати.

Клас HBaseView керує презентацією моделей. Хоча об'єкт HBaseModel може мати кілька примірників HBaseView, кожен HBaseView асоціюється з рівномірним екземпляром HBaseModel. У базі даних HBaseView інкапсулює екземпляр сегмента драйвера. Екземпляр драйвера визначає з'єднання з OpenGL або DX9. При ініціалізації HBaseView створюється структура сегменту за умовчанням в сегменті екземпляра драйвера, який використовується для керування взаємодією з HBaseModel.

HBaseOperator є абстрактним базовим класом, який визначає інтерфейс для обробки вводу користувача та роботи на моделі або вигляді (view). Методи, визначені в цьому класі, служать основою для відображення вхідних даних користувача до логіки взаємодії. У цьому контексті об'єкт походить від HBaseOperator, а потім реалізує методи для обробки подій, таких наприклад, як рух миші або натискання клавіш.

Мета і постановка завдання

Мета роботи полягає у вдосконаленні архітектурного шаблону проектування для розробки систем автоматизованого проектування. Вдосконалення архітектурного шаблону проектування для розробки додатків до систем автоматизованого проектування необхідно для прискорення розробки спеціалізованих програмних продуктів та знаходження рішення, яке дозволяло б не змінюючи архітектуру системи вносити зміни та доповнення до елементів системи. Для досягнення поставленої мети визначені наступні завдання:

- 1) дослідити сучасні архітектурні шаблони;
- 2) розробити новий архітектурний шаблон;
- 3) розробити структуру програмного продукту на основі розробленого архітектурного шаблону;
- 4) виконати алгоритмічну та програмну реалізацію додатку для системи автоматизованого проектування для підтвердження його життєздатності.

Основна частина

Зважаючи на такі недоліки шаблону MVO, як: відсутність частини для обробки даних та побудови 3D моделі, можливість взаємодії оператора напряму з моделлю, було запропоновано змінити його структуру, а саме: об'єднати представлення та оператор в одне ціле та додати ще один шар для обробки введених даних та створення нового об'єкту (рис. 2).

В результаті було розроблено новий шаблон, який складається з наступних компонентів: представлення-оператор (ViewOperator), створювач (Creator) та модель (Model).

Представлення-Оператор (ViewOperator) вміщує в собі функції як представлення, так і оператора із шаблону MVO. Даний елемент відповідає за створення та відображення як вікон або полів для введення даних про модель, так і за відображення самої моделі, а також реалізує функцію взаємодії користувача з

моделлю, тобто обробляє введені користувачем дані та передає їх у модель для подальших дій з ними.

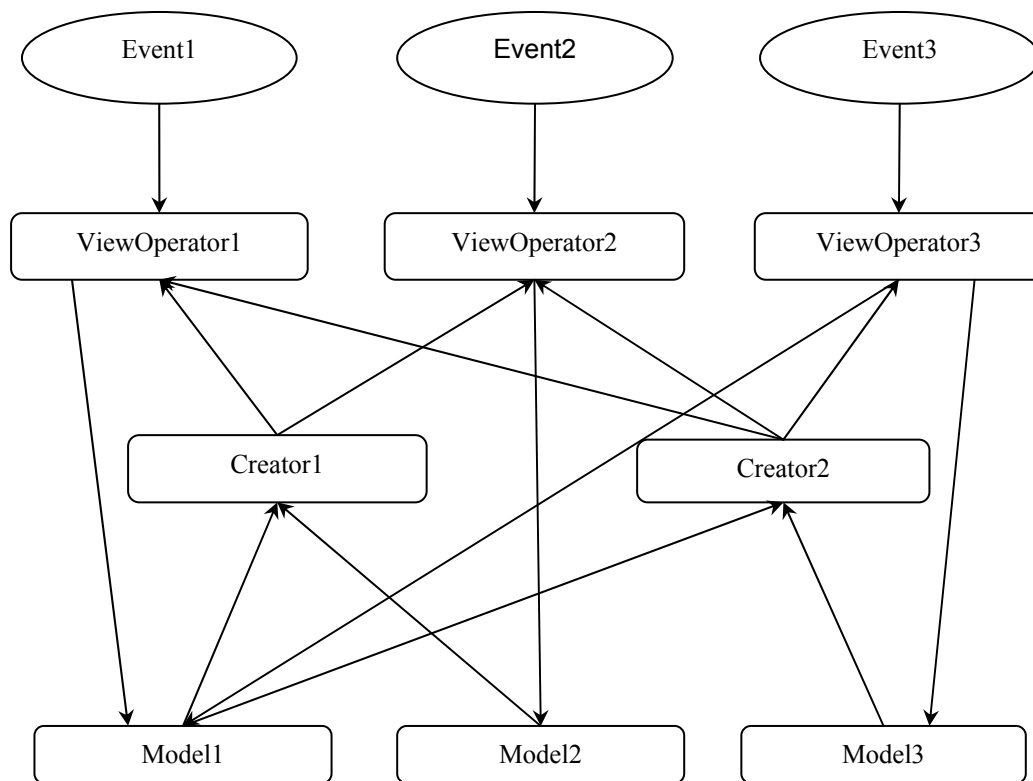


Рис. 2. Графічне зображення архітектурного шаблону MCVO

Створювач (Creator) реалізує функції зчитування даних з моделі та побудови 3D об'єкта на основі отриманих даних.

Функція моделі залишилась незмінною, тобто збереження у собі інформації про об'єкт, надання можливості збереження інформації у базі даних з можливістю їх експорту в подальшому.

Принцип роботи архітектурного шаблону MCVO можна описати наступним чином. При появі певної події (Event) ініціалізується створення представлення-оператора (ViewOperator). Подією може виступати як натиск на певну кнопку, так і введення певних даних чи зміна параметрів в текстовому полі. Далі в роботу вступає представлення-оператор, який відображає певний вигляд чи вікно програми, в якому є можливість введення параметрів для побудови 3D моделі. Потім введені користувачем дані опрацьовуються, приводяться до потрібного вигляду, щоб модель змогла їх отримати без помилок. Модель може зберігати отримані дані як в пам'яті, так і в базі даних.

На наступному етапі створювач (Creator) отримує дані від моделі та виконує операції по побудові 3D моделі. Після побудови створювач передає представлення на представлення-оператор для відображення створеної моделі. Створювач має можливість взаємодіяти з декількома представленнями-операторами, що дає змогу відображати зміни на кількох представленнях. Але так, як в операційній системі або CAD/CAM системі існує лише один графічний потік для відображення вікон та моделей, неможливо одночасно відобразити зміни з декількох представлень-операторів.

Перевагами створеного шаблону є:

- збільшення швидкості роботи завдяки тому, що представлення та оператор становлять одне ціле та відсутній проміжок передачі даних між цими шарами;
- можливість обробки даних та створення 3D моделі завдяки новому шару створювача (Creator);
- можливість взаємодії створювача з декількома представленнями-операторами, що дозволяє відображати зміни на кількох представленнях;
- можливість моделі взаємодіяти з декількома створювачами, завдяки чому дані, що зберігаються у моделі можуть опрацьовуватися в декількох місцях.

На основі вдосконаленого архітектурного шаблону було розроблено програмний продукт, роботу якого можна подати у вигляді спрощеної блок-схеми, зображеної на рис. 3.

Після запуску користувач має обрати тип частини валу: циліндричний, конічний чи багатокутник. Якщо користувач обере тип частини валу циліндричний чи багатокутник, то йому потрібно буде вказати діаметр та довжину частини валу, а якщо обере конічний тип, то потрібно буде вказати діаметр на початку і в кінці частини валу та її довжину. Якщо якісь дані будуть некоректними, то поле із цим значенням підсвітитися червоним.

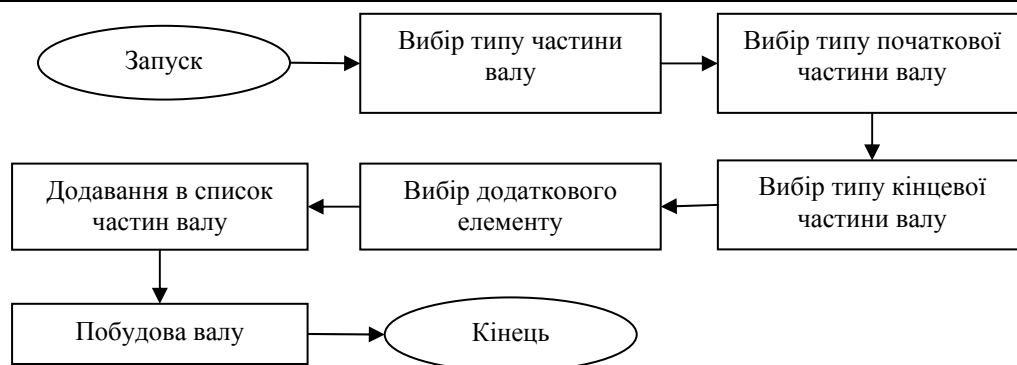


Рис. 3. Спрощена блок-схема програмного продукту

Для того, щоб запустити систему автоматизованого проектування валів необхідно запустити Autodesk Inventor, перейти на вкладку «Інструменти» та натиснути кнопку «Shaft».

Після того, як користувач вибрав тип частини валу, йому надається можливість вибрати тип початкової та кінцевої частини валу. Якщо користувач обере округлення, то йому потрібно буде ввести радіус округлення, якщо ж користувач обере фаску, то перед ним знову постане вибір, який тип фаски обрати: з однією відстанню, з відстанню та кутом, з двома відстаннями.

Далі користувач має можливість додати на частину валу додатковий елемент: шпонковий паз (рис. 4), канавку, наскрізний отвір чи різьбу.

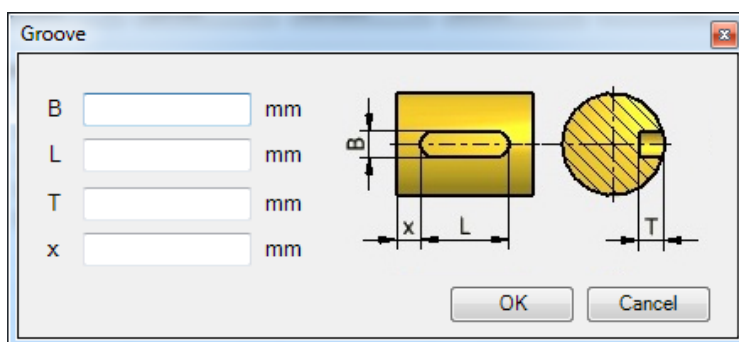


Рис. 4. Вікно для введення параметрів для шпонкового пазу

Потім користувач може додати в список створену частину валу (рис. 5).

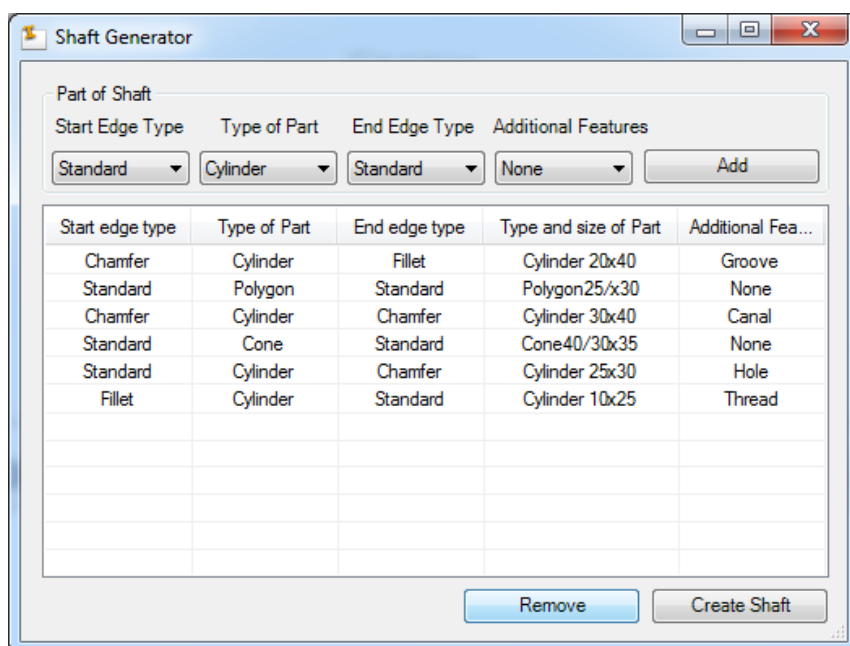


Рис. 5. Головне вікно програми, у якому зображено список частин валу

Після додавання всіх частин валу користувач має можливість видалити певну частину зі списку та побудувати вал (рис. 6).

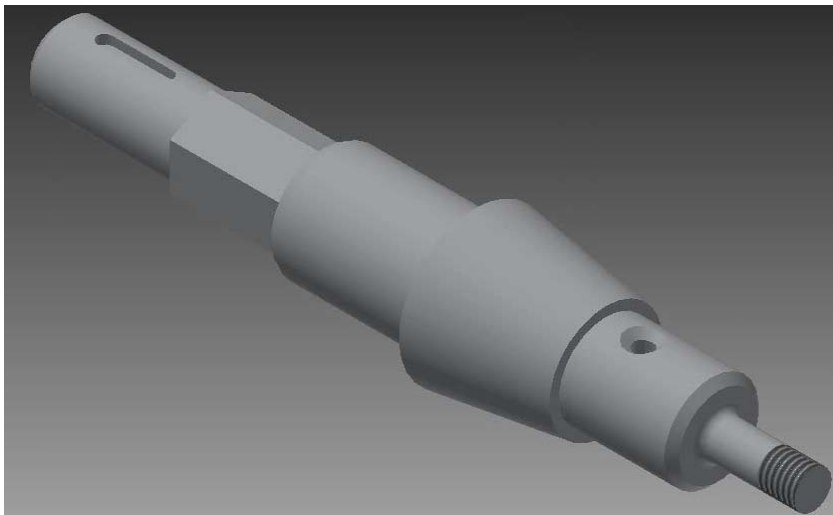


Рис. 6. Вал, створений за допомогою системи автоматизованого проектування валів

Як видно із рис. 6, розроблена програма дає можливість створювати вал, що містить частини різних типів та додаткові елементи на них.

Висновки

Досліджено архітектурний шаблон MVO для створення програмних додатків для систем автоматизованого проектування. На основі шаблону MVO розроблено новий архітектурний шаблон Model-Creator-ViewOperator. В результаті було створено програмний продукт для системи автоматизованого проектування CAD/CAE додатків. Застосування технології дає можливість масштабувати систему, не змінюючи її архітектуру, вносити зміни та доповнення до елементів системи.

Література

1. MVC для веб: проше некуда [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://habr.com/post/181772/>
2. HOOPS/MVO Technical Overview [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://docs.techsoft3d.com/visualize/3df/latest/build/tech_overview/mvo_technical_overview.html
3. Hoops Visualize Technical Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://techsoft3d.jp/developers/technical-documentation/hoops-visualize/>
4. 10 Ways to Unlock the Power of HOOPS Visualize [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.prototechsolutions.com/hoops-visualize-application-development/>

References

1. MVC dlya web: proshche necuda [Electronic resource]. – Access mode : <https://habr.com/post/181772/>. [in Russian]
2. HOOPS/MVO Technical Overview [Electronic resource]. – Access mode : https://docs.techsoft3d.com/visualize/3df/latest/build/tech_overview/mvo_technical_overview.html
3. Hoops Visualize Technical Documentation [Electronic resource]. – Access mode : <http://techsoft3d.jp/developers/technical-documentation/hoops-visualize/>
4. 10 Ways to Unlock the Power of HOOPS Visualize [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.prototechsolutions.com/hoops-visualize-application-development/>

Рецензія/Peer review : 3.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сорокати́й Р.В.

Я.Е. ПШЕДЗЯЛ, Т.К. СКРИПНИК

Хмельницький національний університет

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ОРГАНІЗАЦІЇ НА ПРИКЛАДІ КІНОТЕАТРУ

У роботі було проведено дослідження підходів до розробки інформаційних систем, проаналізовані бізнес-процеси, що діють в організації та шляхи їх автоматизації. Описані результати розробки нової інформаційної системи, що забезпечує ефективне функціонування бізнес-процесів кінотеатру. Розроблено інноваційну інформаційну технологію, яка дозволяє забезпечити найбільш ефективну автоматизацію специфічних бізнес-процесів організації-кінотеатру та є базовою складовою реалізації інформаційної системи кінотеатру. Така система поєднує у собі переваги апаратно-програмних платформ ASP .NET MVC та хмарних технологій на базі Amazon Web Services, застосовуючи також сучасні інструменти та архітектурні підходи цих платформ.

Ключові слова: інформаційна система, бізнес-процес, кінотеатр, інформаційна технологія, автоматизація процесів організації, квиток, розподілена архітектура.

Y.E. PSHEZDYAL, T.K. SKRYPNYK

Khmelnitskyi National University

INFORMATION SYSTEM FOR PROVISION OF EFFICIENCY OF ORGANIZATION BUSINESS PROCESSING AT THE EXAMPLE OF THE CINEMA

The aim of the work is to develop the cinema information system, as well as its effective software and hardware platform and architecture that will be able to scale and change in accordance with the new and existing business processes of the organization, will provide stable work even at high technical loads and will remain flexible for the introduction of new functions. The feasibility of introducing information technology in cinemas is justified by the growing need for a high level of service and service for visitors, the need to optimize the business processes of the organization and the implementation of the latest marketing techniques and business approaches. The research of development patterns and designs of information systems was conducted, business processes of the organization and approaches to their automation were analyzed. Here were described the results of the development of a new information system, which ensures the efficient functioning of the business processes of the cinema. Innovative information technology has been developed, which allows to provide the most effective automation of specific business processes of the cinema and is the basic component of realization of the information system. This system combines the benefits of ASP .NET MVC hardware and software platforms and cloud-based Amazon Web Services-based applications and uses the modern tools and architectural approaches of these platforms, such as AWS S3, AWS Cognito. Since the structure of the information system is distributed and not all automated business processes can operate autonomously, the interaction between the server part and the individual microservices is provided by the network through the REST interface. The use of technology makes it possible to provide a high level of service organizations, to support the operation of its business processes in a stable condition even at high loads and provides flexibility in the implementation of new business processes.

Keywords: information system, business process, cinema, information technology, automation of organization processes, ticket, distributed architecture.

Вступ

Актуальність. Доцільність впровадження інформаційних технологій у кінотеатрах обґрунтовується зростаючою потребою у високому рівні сервісу та обслуговування відвідувачів, потребі в оптимізації бізнес-процесів організації та впровадженні новітніх маркетингових прийомів та підприємницьких підходів [1].

Базовою складовою існуючих інформаційних автоматизованих систем будь-якого кінотеатру є набір функцій для обліку продажу квитків працівниками. Ця частина залишається однією з найбільш важливих та технічно складних, незважаючи на трансформацію потреб до таких систем. При цьому стрімка модернізація, виникнення потреби у можливості самостійно придбати квиток на публічній платформі, нові сервіси, а також потреба в аналізі й опрацюванні даних кінотеатру породжують нові завдання проектування, такі як забезпечення можливості масштабування для багатьох джерел інформації (з інтернет-сайту, каси, персональних пристроїв), об'єднання мереж кінотеатрів у розподілені системи, оптимізація підтримки апаратно-програмної інфраструктури.

Потенційно, у найближчому майбутньому поставатимуть нові й нові функціональні вимоги до таких автоматизованих систем. Наприклад, інтелектуальний аналіз «великих даних» кінотеатру може стати невід'ємною частиною бізнес-процесів кінотеатру, пов'язаних з плануванням, дослідженнями, маркетингом [2]. Існують загальні для будь-якої організації бізнес-процеси, що також потребують автоматизації: адміністрування, облік та звітність. У випадку кінотеатру автоматизація формування звітності для кінодистриб'юторів та державних регулюючих органів є особливо важливою, оскільки потребує зберігання та опрацювання величезного обсягу даних.

Об'єкт дослідження. Функціонування бізнес-процесів кінотеатру з застосуванням інформаційних технологій.

Предмет дослідження. Ефективність архітектурних моделей, програмних платформ, засобів та їх поєднання для побудови інформаційної системи та забезпечення ефективності функціонування бізнес-процесів кінотеатру.

Результати роботи. Розроблено нову інформаційну технологію, яка забезпечує найбільш ефективне функціонування бізнес-процесів розглянутої організації.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено унікальну інформаційну технологію та створено інформаційну систему у вигляді онлайн застосунку для працівників та відвідувачів кінотеатру. Застосування технології дає можливість забезпечувати високий рівень сервісу організації, підтримувати функціонування її бізнес-процесів у стабільному стані навіть при високих навантаженнях та забезпечує гнучкість у впровадженні нових бізнес-процесів.

Мета і постановка завдання

Метою роботи є розробка інформаційної системи кінотеатру, а також її ефективної програмно-апаратної платформи та архітектури, що буде здатна масштабуватись та змінюватись відповідно до нових та існуючих бізнес-процесів організації, забезпечуватиме стабільну роботу навіть при високих технічних навантаженнях й залишатиметься гнучкою для впровадження нових функцій. Для досягнення поставленої мети визначені наступні завдання:

- 5) визначити перелік бізнес-процесів організації та згрупувати їх за особливостями технологічних завдань;
- 6) розробити інформаційну технологію як поєднання архітектурних рішень та програмно-апаратної платформи;
- 7) розробити інформаційну систему для організації;
- 8) виконати алгоритмічну та програмну реалізацію інформаційної системи для підтвердження її життєздатності.

Основна частина

Функціональні вимоги до автоматизованої системи кінотеатру можна поділити на кілька груп залежно від прогнозованої ресурсоемності операцій та частоти їх використання:

1. Ресурсоемні, періодичні операції аналізу, архівування даних, звітності;
2. Нересурсоемні, часто використовувані функції роботи з сайтом, його адміністрування;
3. Найбільш часто використовувані операції, пов'язані з транзакціями купівлі квитків та завантаженням, трансляцією інформаційних ресурсів.

Окремо до таких систем ставлять нефункціональні вимоги, як легкість підтримки серверів, програмного коду та програмно-апаратної інфраструктури, швидкість роботи системи, адаптивність до рівню навантажень, економічна доцільність, надійність збереження даних..

Розроблюваний програмний продукт націлений на декілька груп користувачів – працівники кінотеатру: адміністратори, касири, а також відвідувачі.

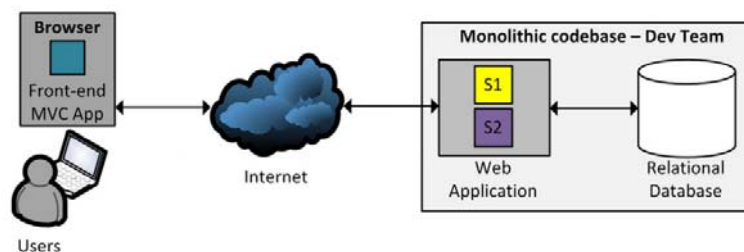


Рис. 1. «Монолітна» архітектура веб-додатку

Обираючи програмну платформу та архітектуру майбутньої інформаційної системи кінотеатру, в першу чергу варто проаналізувати варіант класичної «монолітної» архітектури, що зображена на рис. 1. Вона дозволяє будувати великі програмні додатки, які складаються з безлічі функціональних частин в рамках однієї великої структури. Існує багато прогнаних платформ, що розроблені саме для такої архітектури: наприклад ASP .NET MVC, Symfony, Rails. Усі вони мають перевірені часом інструменти та рішення для подібних задач, інтеграції з сторонніми сервісами, як-от платіжними системами, а також автоматизації складних бізнес-процесів, при цьому залишаючись гнучкими та легкими у підтримці. Перевагами цього підходу є незалежність від будь-яких сторонніх ресурсів, з технічної точки зору – його структурованість, надійність та передбачуваність у роботі. Проте такий підхід часто не здатний забезпечити потрібну ефективність для завдань та процесів, яким характерні непередбачуваність, нетипово високі або навпаки, низькі навантаження або таких, де потоки даних та взаємодії з часом змінюються. Це пов'язано з тим, що монолітна архітектура сильно пов'язана з апаратною частиною. Як правило, її робота забезпечується єдиним централізованим сервером, а в разі потреби розширення та масштабування, несе з собою витрати на модернізацію та підтримку апаратної інфраструктури [3].

На противагу йому можливо застосувати сучасну мікросервісну або “serverless” архітектуру, що базується на «хмарних» технологіях. Такий підхід суттєво відрізняється від попереднього і полягає він у використанні багатьох окремих, дуже маленьких програмних компонент, кожен з яких є окремим веб-додатком [4]. Кожному компоненту даної архітектури відповідає певна роль у функціонуванні програми, а підходу в цілому характерні автономність, слабкі пов'язаність та інтегрованість (рис. 2).

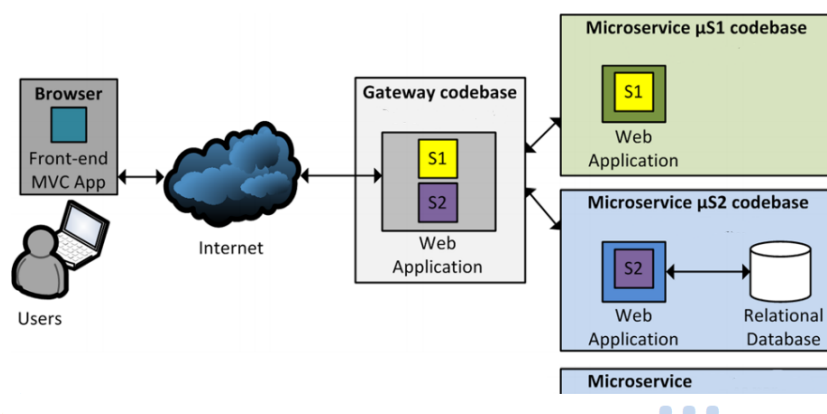


Рис. 2. Мікросервісна архітектура веб-додатку

В якості апаратної інфраструктури таких систем виступають віддалені сервери, доступ до яких забезпечує сама технологія на умовах платного сервісу. Як наслідок, перевагою підходу є гнучкість системи, можливість вдаватися до автоматичного, миттєвого масштабування окремих компонент (рис. 3). Такі додатки не потребують підтримки й адміністрування апаратної частини – серверів, є надзвичайно масштабованими й економічно доцільними через

ще одну особливість: плата відбувається виключно за використані ресурси.

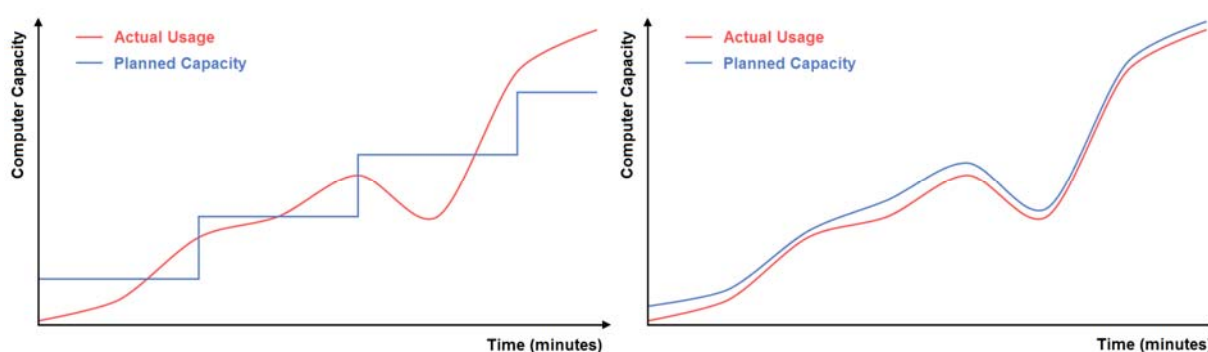


Рис. 3. Планування обчислювальної потужності за використання монолітних платформ (зліва) та застосовуючи Serverless «хмарні» технології (справа)

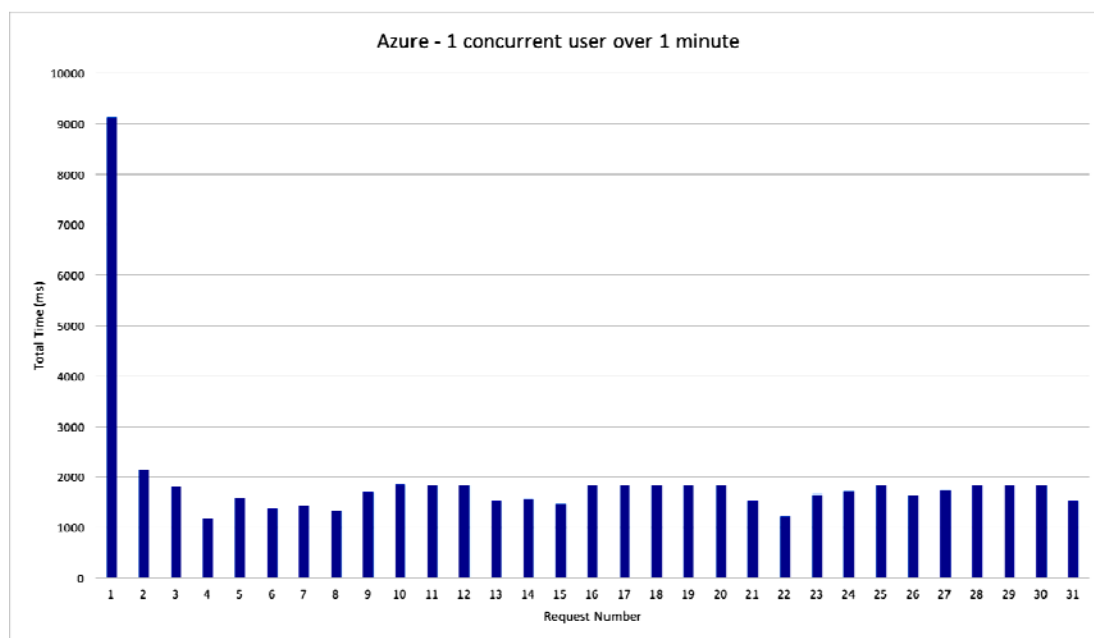


Рис. 4. Ефект «холодного старту» мікросервісу

Застосування такої архітектури накладає деякі обмеження на технологічні рішення, що застосовуватимуться, позбавляє інформаційну систему цілісності, структурованості, ускладнює процес розробки та тестування. Також для «хмарної» архітектури характерний негативний ефект «холодного старту», проілюстрований на рис. 4. Він полягає у тому, що ті частини системи, що використовуються не стабільно часто, можуть потребувати більше часу, ніж зазвичай, для первинної ініціалізації. Інколи це може становити кілька секунд, що створює незручності для користувачів інформаційної системи.

Підсумувавши особливості кожної з платформ та архітектур, з огляду на специфіку бізнес-процесів предметної області кінотеатру, вибір лише одного з розглянутих підходів є недостатнім для

забезпечення найбільш ефективного функціонування бізнес-процесів організації. Функції розробленої інформаційної системи є досить різносторонніми, тому для отримання найкращого архітектурного рішення доцільно створити нову інформаційну технологію, що комбінуватиме обидва розглянутих підходи (рис. 5) й розподілятиме інформаційні потоки у системі між ними для кожного специфічного бізнес-процесу, що можна спостерігати на рис. 6.

Таким чином, пропонується функції інформаційної системи, що забезпечують бізнес-процеси функціонування каси, онлайн продажу квитків автоматизувати, розробивши окремі мікросервіси, виділивши для їх функціонування найбільший пріоритет та вільне масштабування обчислювальних потужностей. Це дозволить системі залишатись швидкою та стабільною незалежно від навантаження, оскільки ці функції інформаційної системи є найбільш часто використовуваними.

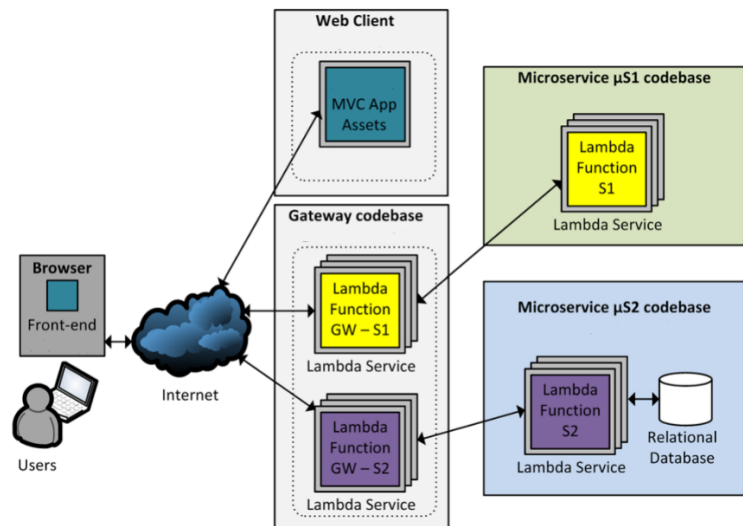


Рис. 5. Комбінована архітектура, що поєднує мікросервіси та «монолітний» MVC додаток в якості серверної частини.

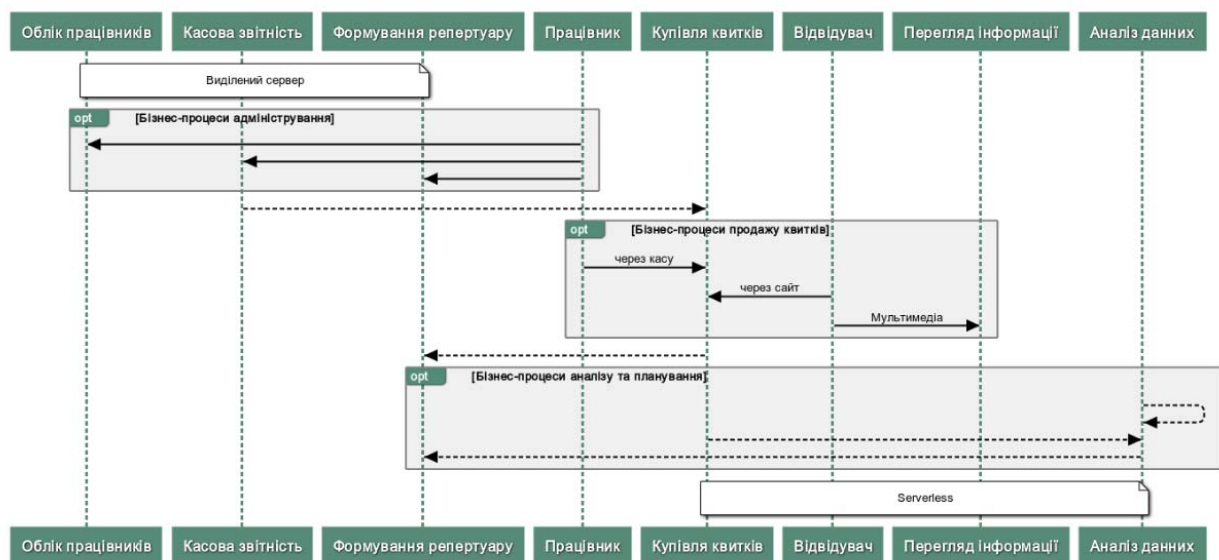


Рис. 6. Розподіл бізнес-процесів між інформаційними підсистемами

Цей підхід доречно застосувати і для організації доступу користувачів до інформаційних ресурсів та мультимедійного контенту, наприклад опису кінофільмів та їх відео трейлерів, що будуть доступні в мережі Інтернет. Саме для таких потреб Serverless платформа надає зручний інструментарій – можливість створити CDN (Content Delivery Network), що розповсюджуватиме мультимедійні файли. Наприклад, платформа Amazon Web Services надає для цього сервіс під назвою AWS S3. Для організації підсистеми користувачів та розмежування доступу також існує готовий інструмент – AWS Cognito. Їх застосування дозволяє заощадити час та спростити розробку інформаційної системи, а також швидше отримати мінімальний життєздатний продукт.

Для автоматизації бізнес-процесів пов'язаних з адмініструванням інформаційної системи та самого кінотеатру організуємо окремий програмний додаток за класичною, монолітною архітектурою. Така підсистема забезпечить надійність, передбачуваність та цілісність процесів та даних у ній, при цьому залишатиметься простою та гнучкою, а оскільки вона використовуватиметься переважно персоналом кінотеатру або кімережі, проблема високих або непередбачуваних навантажень для неї не є актуальною.

Таким чином, структура інформаційної системи стає розподіленою, а оскільки не усі бізнес-процеси, що автоматизуються, можуть функціонувати автономно, існує потреба забезпечення взаємозв'язків між підсистемами. Взаємодія серверної частини та окремих мікросервісів забезпечується мережевою передачею запитів за стандартним інтерфейсом REST. Representational State Transfer – спосіб забезпечення взаємодії між

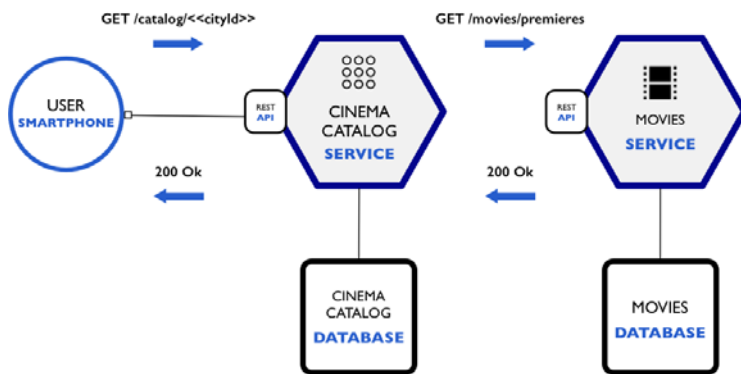


Рис. 7. Схема взаємодії з мікросервісними модулями

розроблюваної інформаційної системи зображена на рис. 7.

Висновки

Отже, щоб забезпечити високу ефективність функціонування бізнес-процесів організації, а саме кінотеатру, за допомогою інформаційних технологій, були проаналізовані існуючі підходи, програмні та архітектурні платформи для розробки інформаційних систем і як результат, була запропонована нова інформаційна технологія, що комбінує «монолітну» клієнт-серверну архітектуру та «хмарну» serverless платформу для автоматизації специфічних бізнес-процесів та вимог, що мають місце у даній предметній області.

Для спрощення та пришвидшення розробки та проектування інформаційної системи були використані сучасні технології та інструменти обраних платформ, такі як: AWS S3 для забезпечення обміну мультимедійною інформацією, AWS Cognito для організації системи обліку користувачів та розмежування доступу по всій системі.

Із застосуванням інформаційної технології була програмно реалізована інформаційна система кінотеатру та перевірена ефективність запропонованих рішень.

Література

1. How innovation and technology are changing the cinema experience for brands / Mindi Chahal [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.marketingweek.com/2016/09/28/how-innovation-and-technology-are-changing-the-cinema-experience-for-brands/>
2. Optimal Inter-Release Time between Sequentially Released Products / Jackie Y. Luan (Tuck School of Business at Dartmouth), K. Sudhir (Yale School of Management)
3. Якимець Р.В. Масштабування навантаження web-додатків / Р.В. Якимець / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».
4. Сидоренко Г.Ю. Використання Serverless підходу для створення веб-додатку моніторингу товарів [Електронний ресурс] / Г.Ю. Сидоренко, М.М. Малько, М.А. Ляшенко. – Режим доступу : http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/37361/1/vestnik_KhPI_2018_21_Sydorenko_Vykorystannia_Serverless.pdf
5. Representational State Transfer (REST) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://hi-news.pp.ua/kompyuteri/4865-rest-api-scho-ce-rest-pereklad-representational-state-transfer.html>
6. Microservices design patterns [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.javacodegeeks.com/2015/04/microservice-design-patterns.html>

References

1. How innovation and technology are changing the cinema experience for brands / Mindi Chahal [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.marketingweek.com/2016/09/28/how-innovation-and-technology-are-changing-the-cinema-experience-for-brands/>
2. Optimal Inter-Release Time between Sequentially Released Products / Jackie Y. Luan (Tuck School of Business at Dartmouth), K. Sudhir (Yale School of Management)
3. Yakymets R.V. Masshtabuvannia navantazhennia web-dodatviv / R.V. Yakymets / Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut».
4. Sydorenko H.Iu. Vykorystannia Serverless pidkhodu dlia stvorennia veb-dodatku monitorynhu tovariv [Elektronnyi resurs] / H.Iu. Sydorenko, M.M. Malko, M.A. Liashenko. – Rezhym dostupu : http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/37361/1/vestnik_KhPI_2018_21_Sydorenko_Vykorystannia_Serverless.pdf
5. Representational State Transfer (REST) [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://hi-news.pp.ua/kompyuteri/4865-rest-api-scho-ce-rest-pereklad-representational-state-transfer.html>
6. Microservices design patterns [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.javacodegeeks.com/2015/04/microservice-design-patterns.html>

Рецензія/Peer review : 18.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Сорокати́й Р.В.

Н.Г. ШИРМОВСЬКА, І.Р. МИХАЙЛЮК, Г.І. ЛЕВИЦЬКА, Т.О. ВАВРИК
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ УПРАВЛІННЯ НИЗОВИХ РІВНІВ РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ НА ЗАСАДАХ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ

У статті викладена систематизація характеристик, яка ґрунтується на теоретичних засадах випадкових процесів, що дозволило визначити перспективність використання математичного апарату ланцюгів Маркова, кореляційно-спектральних характеристик та кластерних моделей для розробки методів діагностування квазістаціонарних об'єктів. Згідно з проведенням аналізом запропоновано алгоритм діагностування станів технологічних об'єктів на основі динамічної логіко-статистичної інформаційної моделі, який може бути ефективно використаний для прогнозування, передбачення та виявлення перед аварійних та аварійних станів технологічних об'єктів управління.

Ключові слова: кореляційна характеристика, спектральна характеристика, кластерна модель, логіко-статистична інформаційна модель.

N.G. SHYRMOVSKA, I.R. MUHAJLUK, G.I. LEVYTSKA, T.A. VAVRYK
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

SYSTEMATIZATION OF TECHNOLOGICAL OBJECTS CHARACTERISTICS OF MANAGEMENT OF LOW LEVELS OF DISTRIBUTED COMPUTER SYSTEMS BASED ON THEORETICAL BACKGROUND OF RANDOM PROCESSES

This article describes the systematization of characteristics, which is based on the theoretical principles of random processes, which allowed to determine the prospect of using the mathematical apparatus of the Markov chains, correlation-spectral characteristics and cluster models for the development of methods for diagnosing quasi-stationary objects. The systematization of the characteristics of technological objects of the management of the lower levels of distributed computer systems on the basis of the theoretical foundations of random processes is carried out. The analysis of classification of random processes is carried out and examples of their realization are given. Important characteristics of random processes describing state changes are formalization of processes of transitions from one state to another based on Markov chains. The theory of Markov processes is the theoretical basis of cluster models of quasi-stationary objects. On the basis of a modified cluster model, a dynamic logical-statistical information model is developed which is oriented on the control of the norm of quasi-stationary processes. It was established that the most effective principles of diagnosing is the construction of statistical, correlational, spectral models, neural networks, logically-statistical information and cluster models. According to the conducted analysis, an algorithm for diagnosing the states of technological objects was proposed based on a dynamic logically-statistical informative model that can be effectively used to forecast, predict and detect of pre-emergency and emergency states of technological management objects.

Key words: correlational characteristic, spectral characteristic, cluster model, logically-statistical information mode.

Вступ

Створення проблемно-орієнтовних та спеціалізованих розподілених комп'ютерних систем для різних об'єктів і галузей промисловості є важливою задачею. Актуальною проблемою для систем даного класу є оперативне діагностування технологічних об'єктів, які характеризуються різними видами нестационарності, багатопараметричністю, екологічною небезпечністю, вибухонебезпечністю та ін. Особливо важливою задачею є прогнозування, передбачення та діагностування перед аварійних та аварійних станів об'єктів управління.

Основними перевагами методів діагностування на основі логіко-статистичних інформаційних моделей є висока оперативність контролю станів об'єкту, значне зниження об'ємів потоків даних на низових рівнях розподілених комп'ютерних систем, відсутність ефекту старіння інформації, охоплення широкого спектру важливих характеристик та параметрів об'єктів управління, в тому числі статистичних, кореляційних, спектральних та інших моделей, які інтегровано описують процеси та характеристики ймовірностей зміни станів об'єктів в реальному часі.

1. Систематизація характеристик технологічних об'єктів управління низових рівнів розподілених комп'ютерних систем на засадах теоретичних основ випадкових процесів

Класифікація випадкових процесів (ВП) наведена на рис. 1 [1, 2].

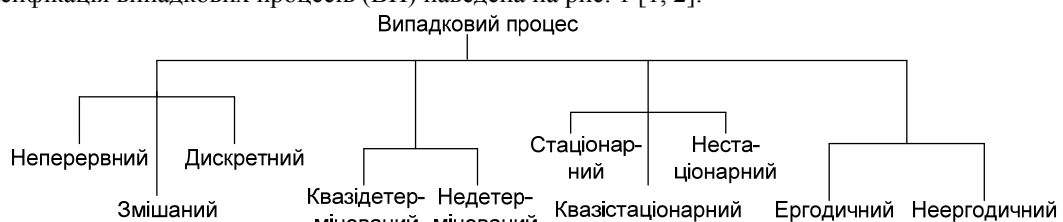
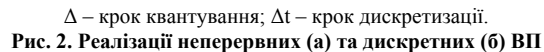


Рис. 1. Класифікація ВП

В комп'ютерній системі на низових рівнях розподілених комп'ютерних систем (РКС) вхідні дані

На рис. 2 наведені приклади реалізації неперервних та дискретних ВП $X(t)$.



Випадкові переходи (рис. 3) в системі S з дискретними станами $s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_n$ із стану в стан можуть відбуватися тільки в визначені моменти часу $t_0, t_1, t_2, \dots$. Сам процес являє собою випадкове блукання системи S за станами, що називається ланцюгом Маркова (рис. 4) [1–4]. Теорія Марківських процесів є теоретичними основами кластерних моделей квазістаціонарних об'єктів. Стан s_i називається джерелом, якщо система S може вийти із цього стану, але перейти в нього знову не може. Стан s_i називається кінцевим, якщо система S може перейти в цей стан, але вийти з нього уже не може.

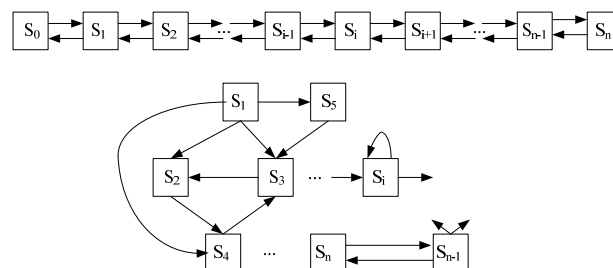


Рис. 3. Приклади графів станів

Рис. 4. Умовне зображення ланцюга Маркова

Herald of Khmelnytskyi national university, Part 2, Issue 6, 2018 (267)

$$\|p_{ij}(k)\| = \begin{bmatrix} p_{11}(k) & p_{12}(k) & \dots & p_{1j}(k) & \dots & p_{1n}(k) \\ p_{21}(k) & p_{22}(k) & \dots & p_{2j}(k) & \dots & p_{2n}(k) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{i1}(k) & p_{i2}(k) & \dots & p_{ij}(k) & \dots & p_{in}(k) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{n1}(k) & p_{n2}(k) & \dots & p_{nj}(k) & \dots & p_{nn}(k) \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Системні характеристики дискретних ВП у вигляді сукупності інформаційних моделей ОУ описуються наступним функціоналом [5, 6]:

$$TS(t) = F(x(t), t, D_x, \sigma_x, M_x, M_j, M_v, R_{xx}, P_{ij}, LCIM, S(\omega), I_x), \quad (2)$$

де t – час;

D – дисперсія;

σ – середньоквадратичне відхилення;

M_x – вибіркове математичне сподівання;

M_j – ковзне математичне сподівання;

M_v – вагове математичне сподівання;

R_{xx} – автокореляційна модель;

$S(\omega)$ – спектральна характеристика;

I_x – ентропія;

$LCIM$ – логіко-статистична інформаційна модель.

Стационарні ВП, які описуються функціоналом (3), характеристики в часі не змінює (рис. 5):

$$TS_j(t) = F_j(x(t), D_x, \sigma_x, M_x, M_j, M_v, R_{xx}, P_{ij}, LCIM, S(\omega), I_x) = const. \quad (3)$$

Квазістационарний ВП (рис. 5) стрибкоподібно в певні моменти часу змінює свої характеристики, якщо хоча б один з параметрів функціонала (4) змінюється стрибкоподібно:

$$\begin{aligned} TS_j(t) = F_j(x(t_1), D_{x1}, \sigma_{x1}, M_{x1}, R_{xx1}, P_{ij}, LCIM, S_1(\omega), I_{x1}; \\ x(t_2), D_{x2}, \sigma_{x2}, M_{x2}, R_{xx2}, P_{ij}, LCIM, S_2(\omega), \\ I_{x2}; x(t_3), D_{x3}, \sigma_{x3}, M_{x3}, R_{xx3}, P_{ij}, LCIM, S_3(\omega), I_{x3}) = \text{var}(S_i) \end{aligned} \quad (4)$$

Нестационарні ВП описуються функціоналом (5), в якому будь-який параметр може змінюватися плавно в часі (рис. 5):

$$TS_j(t) = F_j(D_x, \sigma_x, M_x, M_j, M_v, R_{xx}, P_{ij}, LCIM, S(\omega), I_x) = \text{var}(t). \quad (5)$$

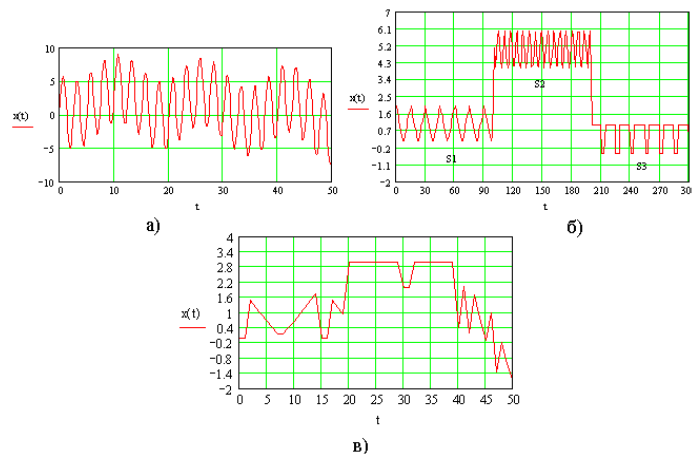


Рис. 5. Приклади реалізацій стаціонарного (а), квазістаціонарного (б), нестаціонарного (в) ВП

Математичним очікуванням випадкової функції $X(t)$ називається не випадкова функція $m_x(t)$, яка при кожному значенні аргументу t рівна математичному очікуванню відповідного перетину випадкової функції [4, 5].

$$m_x(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (6)$$

де $i = 0 \dots n$, X_i – продискретизовані значення функції $X(t)$.

Математичне очікування є інтегральною характеристикою станів ОУ і відображає найбільш ймовірні стани ОУ на інтервалі вибірки.

Дисперсія розраховується на основі вибіркового математичного сподівання квадратів центрованих

значень випадкової величини X [1, 2].

$$D_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - m_x)^2, \quad (7)$$

де $X_i = X_i - m_x$ – центровані значення.

Дисперсія відображає середньостатистичну динаміку станів ОУ на інтервалі вибірки у квадратичному просторі, тобто являється достатньо чутливою оцінкою, яка широко використовується у методі найменших квадратів та розпізнавання образів. Недоліком такої оцінки є її представлення у квадратичному просторі.

Середньоквадратичне відхилення випадкової величини характеризує середньостатистичну динаміку ОУ в лінійному просторі (рис. 6) [1, 5]:

$$\sigma_x = \sqrt{D_x} \quad (8)$$

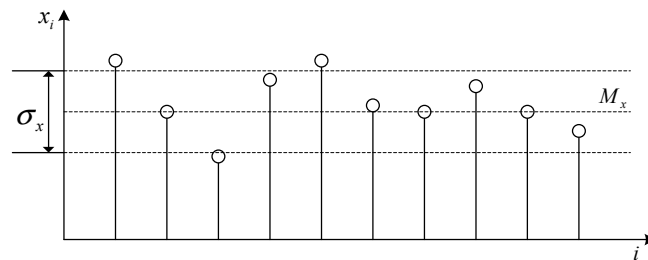


Рис. 6. Середньоквадратичне відхилення

Кореляційна функція

$$R_x = M[X_i * X_{i-j}], \quad (9)$$

де M – математичне сподівання;

X_i, X_{i-j} – відповідно текуче та затримане на j дискретних часових інтервалів ВП;

- – операція типу.

$$X_i \cdot X_{i-j}, \dot{X}_i \cdot \dot{X}_{i-j}, (X_i - X_{i-j})^2, |X_i - X_{i-j}|, \ddot{Z}_{i,j}, \\ \text{sign} \dot{X}_i \cdot \text{sign} \dot{X}_{i-j}, \dot{X}_i \cdot \text{sign} \dot{X}_{i-j}$$

де

$$\ddot{Z}_{i,j} = \begin{cases} X_i, & X_i < X_{i-j} \\ X_{i-j}, & X_i \geq X_{i-j} \end{cases}$$

Нормована кореляційна функція

$$\rho_x = \frac{R_x}{D_x}. \quad (10)$$

Ентропія системи наведена в таблиці 1.

Всі кореляційні моменти і дисперсії зручно розташувати у вигляді прямокутної таблиці (так званої матриці):

$$\begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \dots & K_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{n1} & K_{n2} & \dots & K_{nn} \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Очевидно, що не всі члени кореляційної матриці різні. З визначення кореляційного моменту ясно, що $K_{ij} = K_{ji}$, тобто елементи кореляційної матриці, розташовані симетрично по відношенню до головної діагоналі, рівні. У зв'язку з цим часто заповнюється не вся кореляційна матриця, а лише її половина, вважаючи від головної діагоналі:

$$\begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1n} \\ & K_{22} & \dots & K_{2n} \\ & & \dots & \dots \\ & & & K_{nn} \end{pmatrix}. \quad (12)$$

На головній діагоналі кореляційної матриці стоять дисперсії випадкових величин $(X_1, X_2, \dots, X_n)$.

Таблиця 1

Класифікація аналітичних виразів оцінок мір ентропії	
Функція	Міра ентропії
$H = \log S^n = n \cdot \log S$, де H – ентропія; S – число незалежних рівноймовірних станів джерел інформації (ДІ); n – довжина вибірки.	Р. Хартлі
$H_{\mathcal{E}} \leq T / \Delta t + \log(C / \mathcal{E})$, де Δt – крок дискретизації, що забезпечує точність квантування $\mathcal{E}$; C – діапазон квантування; T – інтервал часу спостереження ДІ.	Н. Колмогорова
$H = -k \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log p_i$, де k – додатний коефіцієнт, що враховує основу логарифма; p_i – ймовірність S_j -го стану дискретного ДІ.	К. Шеннона
$H(u, p) = -k \sum_{i=1}^n [u_i p_i \cdot \log p_i]$, де u_i – коефіцієнт корисності; k – стала величина; $p = p_i$ – ймовірність S_j -го стану.	Дж. Лонго
$H(P, W) = -\sum_{i=1}^n \left[P_i W_i / \sum_{j=1}^n P_j W_j \right] \cdot \log \left[P_i W_i / \sum_{j=1}^n P_j W_j \right]$, де $P_i W_j$ – оціночні коефіцієнти.	Г. Шульца
$H = \lim[(\log N) / n] = -\sum p(j) \cdot \log p(j)$	Б. Олівера
$H(X) = -\sum_{l_1}^L \dots \sum_{l_n}^L p(X) \log p(X)$, де $(l \leq l_i \leq L; i = 1, 2, \dots, n)$.	Д. Мідлтона
$H = k \cdot n \log S_{ave}$, де S_{ave} – середнє значення станів ДІ; ВТ – інформаційна база повідомлень, що формується; N – значення шуму.	В. Таллера
$h_{\Delta} = f'_{cep}(t) / f'_{max}(t) $, де $f'_{cep}(t)$, $f'_{max}(t)$ – відповідно середнє і максимальне значення похідних зміни кількості станів джерела.	В. Боюна
$I_x = n \cdot \hat{E} \left[\frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (D_x^2 - R_{xx}^2(j)) \right]$, де D_x – дисперсія значень x_i $R_{xx}(j)$ – автокореляційна функція; m – число точок функції $R_{xx}(j)$ на інтервалі кореляції.	Я. Николайчука

У випадку, коли випадкові величини $(X_1, X_2, \dots, X_n)$ не корельовані, усі елементи кореляційної матриці, крім діагональних, рівні нулю:

$$\|K_{ij}\| = \begin{bmatrix} D_1 & 0 & \dots & 0 \\ & D_2 & \dots & 0 \\ & & \dots & \dots \\ & & & D_n \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Для побудови кластерних моделей замість кореляційної матриці $\|K_{ij}\|$ використовують нормовану кореляційну матрицю $\|r_{ij}\|$, яка складається не з кореляційних моментів, а з коефіцієнтів кореляції:

$$r_{ij} = \frac{K_{ij}}{\sigma_i \sigma_j}, \quad (14)$$

де

$$\sigma_i = \sqrt{D_i}, \quad \sigma_j = \sqrt{D_j}. \quad (15)$$

Всі діагональні елементи цієї матриці, природно, рівні одиниці. Нормована кореляційна матриця має вигляд:

$$\|r_{ij}\| = \left\| \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ & 1 & \dots & r_{2n} \\ & & \dots & \dots \\ & & & 1 \end{pmatrix} \right\|. \quad (16)$$

Спектральна щільність у базисі Фур'є розраховується за формулою:

$$S_x(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} k_x(\tau) \cos(\omega\tau) d\tau. \quad (17)$$

Нормована спектральна щільність

$$S_x(\omega) = \frac{S_x(\omega)}{D_x}. \quad (18)$$

Викладені теоретичні засади побудови кореляційних матриць станів квазістаціонарних об'єктів характеризуються певними функціональними обмеженнями, оскільки для розрахунку цих матриць використовується, як правило, реалізація станів ОУ на основі телеметричних даних, які описуються одновимірними масивами даних $(X_1, X_2, \dots, X_n)$. Очевидно, що використання додаткових знань про кореляційні, спектральні, ентропійні характеристики технологічних параметрів, які описуються багатоканальними ОУ, можуть бути ефективно використаними для побудови кластерних моделей на основі інших показників або моделей джерел інформації (ДІ).

Наприклад, у випадку, коли поява високочастотних складових вібрацій підшипників та роторних елементів турбін є ознакою відхилення від норми перед аварійної або аварійної ситуації, доцільно для побудови матриці ймовірностей та кластерної моделі використовувати не текучі значення цифрових відліків X_i , які охоплюють всю спектральну область, а їх прирости Δx_i , які відображають тільки високочастотні складові, маючи спектральну характеристику, представлену на рисунку 7.

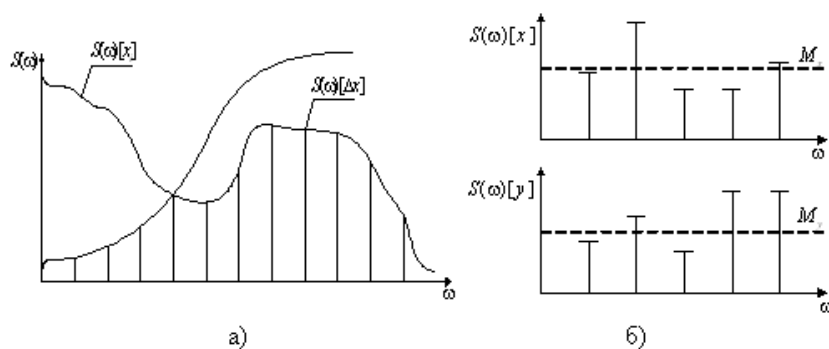


Рис. 7. Спектральна характеристика

Аналогічним способом можна побудувати кластерну модель на основі спектральних характеристик (рис. 7).

Викладена систематизація характеристик об'єктів низових рівнів розподілених комп'ютерних систем, яка ґрунтується на теоретичних засадах випадкових процесів, дозволяє визначати перспективність використання математичного апарату ланцюгів Маркова, кореляційно-спектральних характеристик та кластерних моделей для розробки методів діагностування квазістаціонарних об'єктів. Названі математичні основи відображають інтегровані характеристики квазістаціонарних об'єктів і можуть бути ефективно використані для прогнозування, передбачення та виявлення передаварійних та аварійних станів технологічних об'єктів управління.

2. Алгоритм функціонування динамічної логіко-статистичної інформаційної моделі

Особливістю квазістаціонарних об'єктів управління є багатогранність їх квазістаціонарних станів, які можуть класифікуватися як технологічні, інформаційні та евристичні. Ідентифікація технологічного стану буває неадекватною в зв'язку з тим, що різні технологічні процеси об'єкта управління можуть описуватися однаковими параметрами інформаційної моделі. Тобто, різним технологічним станам можуть відповідати однакові інформаційні стани. Очевидно, що при цьому повинна змінюватися стратегія та інформаційна технологія виявлення передаварійних та аварійних ситуацій на об'єкті управління згідно з модифікацією відповідних класів кластерних моделей. Для цього потрібно розробити динамічну логіко-технологічну інформаційну модель, яка орієнтована на контроль норми квазістаціонарних процесів (рис. 8).

На рис. 8 прийняті наступні позначення: S_x , S_j – штатні стани об'єкта, $S_j^o(t)$ – передаварійний стан об'єкта, $S_j^*(t)$ – аварійний стан об'єкта.

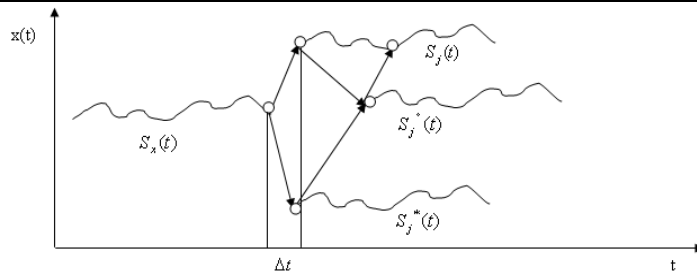


Рис. 8. Динамічна логіко-статистична інформаційна модель квазістаціонарного об'єкта

Нижче описаний алгоритм функціонування динамічної логіко-статистичної інформаційної моделі:

1) ідентифікуємо інформаційні стани об'єкта

$$S_{OU} = (S_i, S_T, S_e), \quad (19)$$

де S_i – інформаційний стан об'єкта;

S_T – технологічний стан об'єкта;

S_e – евристичний стан об'єкта, згідно аналітичних виразів системних параметрів характеристичного функціоналу обчислюємо в кожному j -му стані згідно таблиці 2.

Таблиця 2

Системні параметри квазістаціонарних об'єктів управління

Символ системних параметрів	Аналітичний вираз	Символ системних параметрів	Аналітичний вираз
$M_x(t)$	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$	$R_{xx}(j)$	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n+j} x_i \cdot x_{i+j}$
$M_j(t)$	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n+j} X_{i+j}$	$S_x(\omega)$	$\frac{2}{\pi} \int_0^\infty R_{xx}(t) \cos(\omega t) dt$
M_v	$\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n+j} V_{i-j} \cdot x_{i+j}$	I_x – за Хартлі	$\hat{E}(\log_2 A)n$
		$I_x - 3\sigma_x$	$\hat{E}(\log_2 3\sigma_x)n$
$D_x(t)$	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - M_x)^2$	I_x – за Шеноном	$-P_i \cdot \ln_2 P_i$
$\sigma_x(t)$	$\sqrt{D_x(t)}$	I_x – за кореляційною оцінкою	$\frac{1}{2\pi} \hat{E}(\log_2 \sqrt{1 - \rho_{xx}^2(j)})$
n – об'єм вибірки, $i = 0 \dots n$, $j = 0 \dots n-1$, X_i – продискретизовані значення вибірки, V_{ij} – вагова функція, $\hat{x}_{ij}$ – центровані значення, A – амплітуда, $\hat{E}$ – цілочисельна функція з округленням до більшого цілого, P_i – ймовірність переходу об'єкта управління в конкретний стан, ρ_{xx} – нормована автокореляційна модель.			

Згідно зі станом S_j розраховуємо стаціонарні логіко-статистичні інформаційні моделі (ЛСІМ) наступних типів відповідно до виразів таблиці 3:

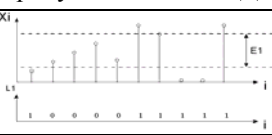
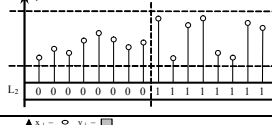
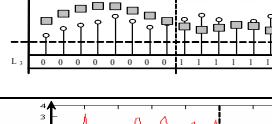
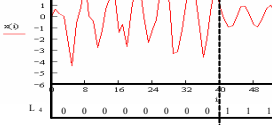
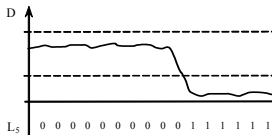
2) розраховуємо функції передбачення на декілька кроків вперед за допомогою екстраполяційних моделей, що базуються на інтерполяційних поліномах Лагранжа і Ньютона. Екстраполяційна модель, що використовує поліноми Лагранжа, має вигляд:

$$F(t) = \sum_{i=0}^n \xi_i \varphi_i(t) = \xi_0 \varphi_0(t) + \xi_1 \varphi_1(t) + \dots + \xi_n \varphi_n(t), \quad (20)$$

де

$$\begin{aligned} \varphi_i(t) &= \frac{(t-t_0)(t-t_1)\dots(t-t_{i-1})(t-t_{i+1})\dots(t-t_n)}{(t_i-t_0)(t_i-t_1)\dots(t_i-t_{i-1})(t_i-t_{i+1})\dots(t_i-t_n)} \equiv \\ &\equiv \prod_{j=0, j \neq i}^n \frac{(t-t_j)}{(t_i-t_j)}, \end{aligned} \quad (21)$$

Типи стаціонарних ЛСІМ

Тип ЛСІМ	Аналітичний вираз	Продукційна модель ДІ
ЛСІМ 1 контроль відхилення за амплітудою	$L_1 = \begin{cases} 0, & X_i \in \varepsilon_1 \\ 1, & X_i \notin \varepsilon_1 \end{cases}$	
ЛСІМ 2 контроль відхилення по динаміці	$L_2 = \begin{cases} 0, & C_{xx}(j) < \varepsilon_2 \\ 1, & C_{xx}(j) \geq \varepsilon_2 \end{cases}$	
ЛСІМ 3 контроль відхилення по фазі	$L_3 = \begin{cases} 0, & \rho_{xy} > 0 \\ 1, & \rho_{xy} \leq 0 \end{cases}$	
ЛСІМ 4 реагує на зміну спектра	$L_4 = \begin{cases} 0, & S(\omega) > 0 \\ 1, & S(\omega) \leq 0 \end{cases}$	
ЛСІМ 5 реагує на зміну глобальної дисперсії	$L_5 = \begin{cases} 0, & D > \varepsilon_5 \\ 1, & D \leq \varepsilon_5 \end{cases}$	

де $i = \overline{0, n}$;

ξ_i – значення $\xi(t)$ в момент часу t_i , $t_i \in T_1$;

$\xi(t)$ – сукупність технологічних параметрів.

Екстраполяційна модель, що використовує поліноми Ньютона, має вигляд:

$$F(t) = c_0 + c_1(t-t_0) + c_2(t-t_0)(t-t_1) + \dots + c_n(t-t_0)(t-t_1) \dots (t-t_{n-1}) \equiv \sum_{i=0}^n c_i \prod_{j=0}^{i-1} (t-t_j), \quad (22)$$

де коефіцієнти c_i обчислюються наступним чином:

$$c_i = \frac{\xi_i - c_0 - \sum_{j=1}^{i-1} c_j \prod_{k=0}^{j-1} (t_i - t_k)}{\prod_{k=0}^{i-1} (t_i - t_k)}, \quad i = \overline{1, n} \quad c_0 = \xi_0; \quad (23)$$

3) розраховуємо динамічні ЛСІМ напрямку та динамічності переходу об'єкта в новий стан

$$L_6 = \begin{cases} 0, & S_x \in S_j, \Delta t > C \\ 1, & S_x \in S_j, \Delta t < C \\ 1, & S_x \in S_j^\circ \vee S_j^*, \Delta t > C \end{cases}, \quad (24)$$

де C – апертура;

4) перевіряємо чи напрямки та інтенсивності відповідають переходу в штатний стан S_j° .

Прогнозуємо час штатного переходу об'єкта з S_j в S_j° , ідентифікуємо стан норми або передаварійний стан;

5) спостерігаємо об'єкт в стані $S_j^\circ(t)$;

6) розраховуємо системні параметри об'єкта в стані S_j , порівнюємо їх з еталонними на основі Хеммінгових віддалей (25) і перевіряємо стан об'єкта (чи аварійний стан);

$$X_j = \sum_{i=1}^n V_{ij} |Y_{ji} - Z_{ij}| \Rightarrow \min \quad (25)$$

7) розроблення алгоритмів та програмного забезпечення діагностування передаварійних та аварійних станів.

Висновки

Викладені теоретичні основи та методології формалізації технологічних, інформаційних станів квазістаціонарних об'єктів з врахуванням ступеня динамічності та адекватності їх переходів з одного стану в інший може бути ефективно використаний для широкого класу об'єктів різних галузей промисловості. Найбільш доцільно використовувати розраховану інформаційну технологію для енергоємних об'єктів, в тому числі нафтогазовій промисловості, наприклад, процесів буріння газоперекачувальних агрегатів, нафтогазопроводів тощо.

Література

1. Горбань І. І. Теорія ймовірностей і математична статистика для наукових працівників та інженерів / Горбань І. І. – Київ, 2003. – С. 244.
2. Вентцель Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – Москва : Высшая школа, 2000. – С. 383.
3. Єріна А. М. Статистичне моделювання та прогнозування : навчальний посібник / Єріна А. М. –К. : КНЕУ, 2001. – С. 170.
4. Лебедько Е. Г. Математические основы передачи информации (Часть 1 и 2) : учебное пособие / Лебедько Е. Г. – СПб : СПбГУИТМО, 2005. – С. 91.
5. Николайчук Я. М. Теорія джерел інформації : [монографія] / Николайчук Я. М. – Тернопіль : ТНЕУ, Економічна думка, 2008. – 396 с.
6. Локазюк В. М. Інтелектуальне діагностування мікропроцесорних пристроїв та систем : [навч. посібник для вузів] / Локазюк В. М., Поморова О. В., Домінов А. О. – Хмельницьк, 2001. – 286 с.
7. Заміховський Л. М. Основи теорії надійності і технічної діагностики систем : навч. посібник / Л. М. Заміховський, В. П. Калявін. – Івано-Франківськ : Полум'я, 2004. – 360 с.
8. Ширмовська Н. Г. Алгоритми моделювання для діагностування об'єктів на основі кластерних моделей / Н. Г. Ширмовська, Г. І. Левицька // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 1 (209). – С. 158–164.
9. Ширмовська Н. Г. Теоретичні основи та методологія формалізації станів квазістаціонарних об'єктів / Н. Г. Ширмовська // Методи та прилади контролю якості. – 2010. – № 24. – С. 116–120.
10. Ширмовська Н. Г. Теоретичні засади та обґрунтування інформаційних характеристик дискретизації формування цифрових повідомлень на основі автокореляційних функцій у базисі Радемахера. / Н. Г. Ширмовська, Т. О. Ваврик, Г. І. Левицька, І. Р. Михайлюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2018. – № 2(259). – С. 176–183.

References

1. Horban I. I. Teoriia ymovirnostei i matematychna statystyka dlia naukovykh pratsivnykiv ta inzheneriv / Horban I. I. – Kyiv, 2003. – S. 244.
2. Ventsel E. S. Teoriya sluchaynykh protsessov i ee inzhenernye prilozheniya / E. S. Ventsel, L. A. Ovcharov. – Moskva : Vysshaya shkola, 2000. – S. 383.
3. Ierina A. M. Statystichne modeliuвання ta prohnozuvannya : navchalnyi posibnyk / Yerina A. M. –K. : KNEU, 2001. – S. 170.
4. Lebedko E. G. Matematicheskie osnovy peredachi informatsii (CHast 1 i 2) : uchebnoe posobie / Lebedko E. G. – SPb : SPbGUITMO, 2005. – S. 91.
5. Nykolaichuk Ya. M. Teoriia dzherel informatsii : [monohrafiia] / Nykolaichuk Ya. M. – Ternopil : TNEU, Ekonomichna dumka, 2008. – 396 s.
6. Lokaziuk V. M. Intelektualne diahnostuvannya mikroprotsesornykh prystroiv ta system : [navch. posibnyk dlia vuziv] / Lokaziuk V. M., Pomorova O. V., Dominov A. O. – Khmelnytsk, 2001. – 286 s.
7. Zamikhovskiy L. M. Osnovy teorii nadiinosti i tekhnichnoi diahnostyky system : navch. posibnyk / L. M. Zamikhovskiy, V. P. Kaliavin. – Ivano-Frankivsk : Polumia, 2004. – 360 s.
8. Shymovska N. H. Alhorytmy modeliuвання dlia diahnostuvannya obiektiv na osnovi klasternykh modelei / N. H. Shymovska, H. I. Levytska // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2014. – № 1 (209). – S. 158–164.
9. Shymovska N. H. Teoretychni osnovy ta metodolohiia formalizatsii staniv kvazistatsionarnykh obiektiv / N. H. Shymovska // Metody ta prylady kontroliu yakosti. – 2010. – № 24. – S. 116–120.
10. Shymovska N. H. Teoretychni zasady ta obgruntuvannya informatsiynykh kharakterystyk dyskretyzatsii formuvannya tsyfrovyykh povidomlen na osnovi avtokoreliatsiynykh funktsii u bazysi Rademakhera. / N. H. Shymovska, T. O. Vavryk, H. I. Levytska, I. R. Mykhailiuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2018. – № 2(259). – S. 176–183.

Рецензія/Peer review : 22.02.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Горбійчук М.І.

В.Ц. МІХАЛЕВСЬКИЙ, Г.І. МІХАЛЕВСЬКА
Хмельницький національний університет

ФУНКЦІЇ ПІДСИСТЕМ КАРТОГРАФІЧНОЇ ПІДТРИМКИ ПРОСТОРОВИХ ВЕБ-СЕРВІСІВ У ПРОМИСЛОВИХ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

У статті розглядаються основні функції підсистем картографічної підтримки і просторових веб-сервісів у промислових геоінформаційних технологіях. На прикладі геоінформаційної системи вивчається надання просторових сервісів для роботи з картографічною інформацією.

Ключові слова: просторові дані, геоінформаційна система, телекомунікаційна мережа, топографічна карта.

V.TS. MIKHALEVSKYI, G.I. MIKHALEVSKA
Khmelnytskyi National University

FUNCTIONS ON THE BASIS OF CARTOGRAPHIC SUPPORT AND SPACECRAFT WEBSITE IN INDUSTRIAL GEO-INFORMATIONAL TECHNOLOGIES

The article deals with the main functions of the subsystems of cartographic support and spatial web services in industrial geoinformation technologies. The example of the geographic information system examines the provision of spatial services for working with cartographic information. A typical geographic information system (GIS) is designed to perform spatial query and analysis functions; maintaining a basic topographic map; mapping of information objects from automated systems that require this, in particular, objects of telecommunication networks, logical and physical links of objects, information messages (emergency and other signals), etc. The technical requirements assume that GIS will implement a set of spatial and non-spatial web services. An inspection of the automation object shows that non-spatial Web services, which are provided by GIS, are part of spatial web services. A set of web services is divided into two groups. The first group includes a set of web services that provide the implementation of the main functions, that are most commonly used in the presentation layer of geoinformation applications. Web services of the first group also serve for the implementation of other web services. The first group includes Web services: Catalog, View, Route, Location Utility, Find a Location. Web services of the second group include services that can be implemented in identifying the need for them to implement the functions of GIS or the functions of other systems. The second group consists of: Spatial query, Coordinate geometry, Converting coordinate systems, Managing profiles. Geoinformation technologies are intended for wide introduction in practice of methods and means of work with spatial-temporal data, submitted in the form of electronic cards system, and object-oriented environments for the processing of heterogeneous information for different categories of users. When solving problems of social and technical regulation in the control systems, a lot of spatial information is used: topography, hydrography, infrastructure, communication, location of objects.

Keywords: spatial data, geoinformation system, telecommunication network, topographic map.

Постановка проблеми. Початок XXI століття характеризується переходом суспільства від постіндустріального до інформаційного етапу свого розвитку, на якому з кожним роком збільшується частка інформаційного продукту у валовому внутрішньому продукті, а отже зростає кількість людей, зайнятих інформаційною діяльністю [1]. В багатьох галузях виникає необхідність використання просторових даних – даних, що включають формальну просторову прив'язку, як наприклад, геодезична мережа. До цієї категорії відносяться як дані дистанційного зондування, так і інформація з карт.

В даний час відповідно до вимог нових інформаційних технологій створюються і функціонують багато систем управління, пов'язаних з необхідністю відображення інформації на електронній карті: 1) геоінформаційні системи; 2) системи федерального і муніципального управління; 3) системи проектування; 4) системи військового призначення і т.д. Ці системи управління регулюють діяльність технічних і соціальних систем, що функціонують в деякому операційному просторі (географічному, економічному і т.п.) з явно вираженою просторовою природою. Основним класом даних геоінформаційних систем (ГІС) є координатні дані, що містять геометричну інформацію і відображають просторовий аспект. Основні типи координатних даних: точка (вузли, вершини), лінія (незамкнута), контур (замкнута лінія), полігон (ареал, район). На практиці для побудови реальних об'єктів використовують більше число даних (наприклад, висячий вузол, псевдовузол, нормальний вузол, покриття, шар та ін.) [2–4]. Розглянуті типи даних мають більше число різноманітних зв'язків, які можна умовно розділити на три групи: 1) взаємозв'язки для побудови складних об'єктів з простих елементів; 2) взаємозв'язки, які обчислюють за координатами об'єктів; 3) взаємозв'язки, що визначаються за допомогою спеціального опису та семантики при введенні даних. Основою візуального представлення даних при використанні ГІС-технологій є графічне середовище, основу якого складають векторні і растрові моделі. У загальному випадку просторові дані є сутностями з просторовою прив'язкою. Просторові дані використовуються в рамках географічних та навігаційних інформаційних систем [3, 4].

Формулювання цілей статті (Постановка завдання). Дослідити основні функції промислових геоінформаційних технологій, зокрема, функції підсистем картографічної підтримки і просторових веб-сервісів геоінформаційної системи та системи автоматизованого лінійного обліку.

Виклад основного матеріалу. Типова геоінформаційна система (ГІС) призначена для надання просторових сервісів для роботи з картографічною інформацією, виконання функцій просторових запитів та

аналізу; ведення базової топографічної карти; відображення на картографічній основі інформаційних об'єктів з автоматизованих систем, які потребують цього, зокрема, об'єктів телекомунікаційних мереж, логічних та фізичних зв'язків об'єктів, інформаційних повідомлень (аварійних та інших сигналів) тощо.

Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.

Рис. 1. Архітектура підсистеми картографічної підтримки обліку лінійних споруд

Для виконання вище вказаних дій ГІС технічних лінійних об'єктів повинні вирішуватися задачі: 1) Ведення Базової топографічної карти (БК). 2) Ведення Карт об'єктів телекомунікаційних мереж. 3) Отримання та використання атрибутних даних із Автоматизованої системи управління технічними службами лінійного обліку (АСТЛО). 4) Забезпечення співробітників підрозділів та служб картографічними матеріалами. 5) Надання керівництву середньої та вищої ланок організації необхідної інформації в картографічному вигляді.

Підсистема картографічної підтримки обліку лінійних об'єктів (споруд) повинна забезпечувати вирішення задач технічних служб. Дана підсистема відокремлена від підсистеми супроводу бази просторових даних через необхідність обмеження безпосереднього доступу персоналу до бази просторових даних. Це, в свою чергу, пов'язано з режимними обмеженнями (захистом інформації). В рамках підсистеми картографічної підтримки обліку лінійних споруд користувачі підсистеми повинні мати доступ не до первинних електронних карт, а до картографічних зображень, що не попадають під дію обмежень по режиму.

Презентаційний рівень підсистеми реалізується по схемі «тонкого» клієнта. На рівні ділової логіки створюється набір програмних компонент, що реалізують ділову логіку підсистеми. Презентаційний рівень взаємодіє з рівнем ділової логіки, який отримує просторові (картографічні) дані від підсистеми просторових веб-сервісів. Доступ до атрибутної бази даних системи АСТЛО здійснюється контролером ділової логіки підсистеми і забезпечується через непросторові веб-сервіси, що мають бути надані системою АСТЛО.

Для створення зображень базової топографічної та різноманітних тематичних карт призначена Підсистема ділового картографування. Користувачами підсистеми ділового картографування можуть бути різні підрозділи. Створювані підсистемою ділового картографування зображення карт не повинні підпадати під режимні обмеження на використання картографічної продукції. Функції підсистеми ділового картографування можуть бути надані зовнішнім системам через підсистему просторових веб-сервісів.

Підсистема просторових веб-сервісів призначена для надання функцій підсистеми ділового картографування та ряду інших функцій зовнішнім підписчикам. Архітектура підсистеми наведена на рис. 2.

Дана підсистема не має презентаційного рівня (не взаємодіє з користувачами та не має інтерфейсу користувача). Рівень ділової логіки включає картографічний веб-сервер, що реалізується на платформі Microsoft .NET з використанням одного з наступних програмних засобів: MapXtreme.NET (компанія MapInfo Corp.) чи ArcIMS (компанія ESRI). На рівні ділової логіки створюється набір програмних компонент, що реалізують ділову логіку просторових веб-сервісів. Реалізуються компоненти просторових веб-служб. Веб-служби можуть реалізовуватись спеціально створеними компонентами, що інкапсулюють виклики програмних інтерфейсів серверів MapXtreme.NET чи ArcImS. Системи ГІС та АСТЛО повинні бути інтегровані таким чином, щоб кінцеві користувачі мали можливість отримувати інформацію як про просторові, так і про непросторові характеристики об'єктів. Інтеграція має виконуватись на рівні ділової логіки шляхом програмної взаємодії вказаних систем. На презентаційному рівні користувач зазвичай повинен знаходитись в межах інтегрованого програмного застосування, незалежно від того, в рамках якої системи реалізовано презентаційний рівень.

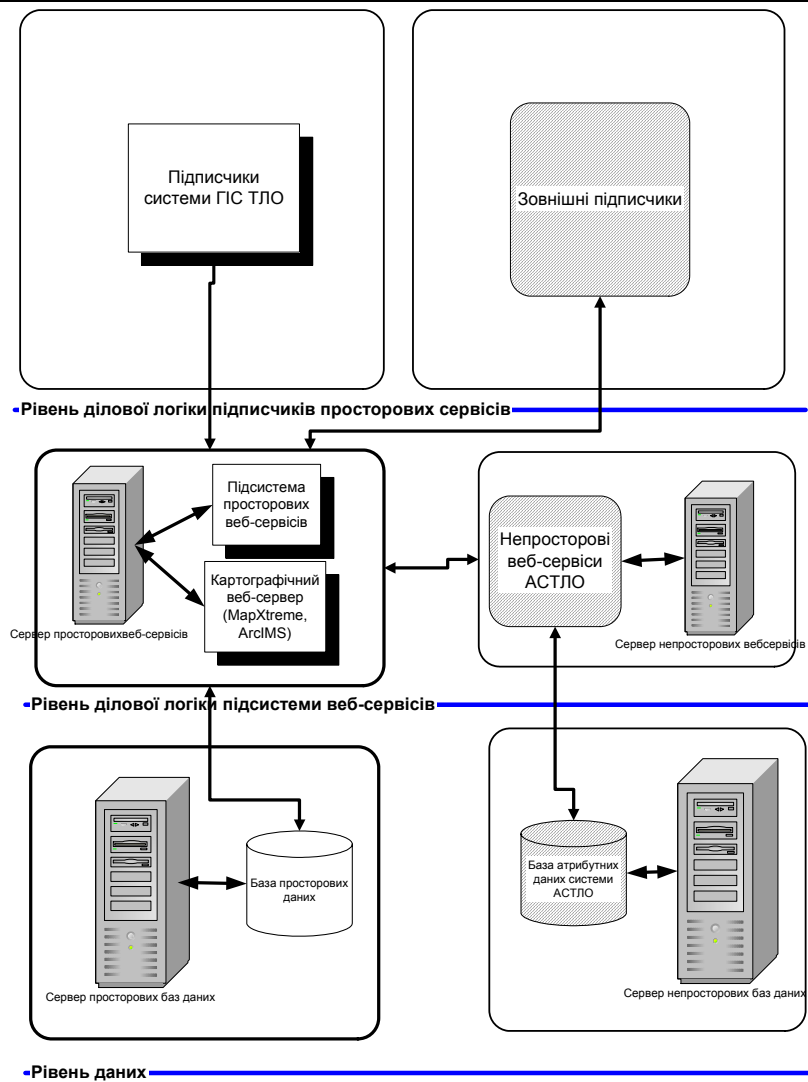


Рис. 2. Архітектура підсистеми просторових веб-сервісів

Підсистема веб-сервісів виступає сервером по відношенню до інших систем, що є підписчиками просторових веб-сервісів [4–6]. Згідно з архітектурою системи, просторові веб-сервіси мають складати окрему підсистему. Підсистема веб-сервісів не має інтерфейсу кінцевого користувача. Підсистема надає сервіси іншим підсистемам ГІС чи іншим системам. Технічними вимогами передбачається, що в ГІС буде реалізовано набір просторових та непросторових веб-сервісів. Непросторові веб-сервіси, що мають забезпечуватись ГІС, є складовими частинами просторових веб-сервісів. Тому непросторові веб-сервіси в рамках системи ГІС окремо не виділяються. Набір веб-сервісів розділено на дві групи. Перша група містить набір веб-сервісів, що забезпечують реалізацію основних функцій, найбільш часто вживаних в презентаційному шарі геоінформаційних застосунків. Веб-сервіси першої групи служать також для реалізації інших веб-сервісів. До першої групи входять веб-сервіси: Каталог, Представлення, Маршрут, Утиліта місцезнаходження, Знайти місцезнаходження. Веб-сервіси другої групи включають сервіси, що можуть бути реалізовані при виявленні потреби в них для реалізації функцій ГІС чи функцій інших систем. До другої групи входять: Просторовий запит, Координатна геометрія, Перетворення координатних систем, Управління профілями.

При обстеженні об'єкта автоматизації проводиться аналіз веб-сервісів з точки зору їх застосовності до класів геооб'єктів предметної галузі та реалізації основних варіантів використання системи. Співставлення просторових веб-сервісів з класами геооб'єктів та варіантами використання системи показує, що слід реалізувати сервіси: 1) Каталог. 2) Представлення. 3) Геокодер/ зворотній Геокодер. 4) Місцезнаходження.

Сервіс «Представлення» має бути реалізованим в розширеному, в порівнянні з стандартом OpenLS, варіанті. Розширення має полягати в наданні можливості побудови тематичних карт Підсистеми ділового картографування. Через веб-сервіси мають подаватись тематичні карти, які будуть використовуватись в презентаційних шарах підсистем – підписчиків просторових веб-сервісів. Тематичні карти, що подаються через презентаційний шар системи ГІС, можуть бути реалізовані як з використанням просторових веб-сервісів, так і безпосередньо через шар ділових компонентів рівня ділової логіки.

Для реалізації веб-сервісів використовується існуюча в підрозділах Замовника інфраструктура, що

включає компоненти, за допомогою яких клієнтські застосування знаходять і викликають потрібні сервіси. Використання інфраструктури має регламентуватись стандартами та вимогами корпоративних регламентів Замовника по реалізації та застосуванню веб-сервісів та платформі інтеграції застосувань.

Деякі вимоги до функціональності окремих просторових веб-сервісів. При описі вимог використовується термін «підписчик», який означає будь-яку підсистему чи інший веб-сервіс, що користується веб-сервісом. Оскільки веб-сервіси самі по собі не мають інтерфейсу користувача, вважається що існує певний презентаційний шар, що забезпечує інтерфейс і передає запити веб-сервісам. Веб-сервіси не повинні залежати від презентаційного шару. Для специфікацій вхідних і вихідних параметрів при реалізації системи мають бути використані абстрактні просторові типи даних (АТД).

Сервіс «**Каталог**» (Directory Service) повинен давати відповідь на питання «що поряд?» Цей сервіс повинен надавати список найближчих місць і послуг. Пошук повинен працювати для конкретного місцезнаходження або території і повертати список найближчих результатів. Підписчик повинен мати змогу вибрати з наперед визначених каталогів, наприклад, розподільчих шаф.

Даний веб-сервіс має бути реалізований для всіх класів тематичних об'єктів.

Сервіс має бути реалізованим у двох варіантах:

1. Підписчику надається каталог об'єктів (список об'єктів) певного класу геооб'єктів.
2. Підписчик вказує місцезнаходження і клас просторових об'єктів. Сервіс повертає список об'єктів, найближчих до вказаного місцезнаходження.

Перелік вхідних параметрів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Вхідні параметри сервісу «Каталог»

Параметр	Наявність в запиті
Тип директорії (клас просторових об'єктів)	Обов'язково
Назва об'єкта Координати точки об'єкта Адреса об'єкта	Обов'язково має бути вказаний принаймні один з параметрів
Просторові обмеження, що включають тип алгоритму пошуку, мінімальну відстань пошуку, максимальну відстань пошуку	Опціонально
Обмеження на результати – максимальна кількість знайдених об'єктів, критерії сортування	Опціонально
Часткова адреса (наприклад, назва вулиці)	Опціонально

Сервіс «**Представлення**» надає карту території. Карта надається у форматі, який визначає підписчик. Мають бути реалізовані два варіанти представлення карти: базовий та розширений. В базовому варіанті карта містить об'єкти шарів топографічної та тематичної інформації.

В розширеному варіанті на карту наносяться результати тематичного картографування або результати, отримані в результаті виконання інших веб-сервісів. Перелік вхідних параметрів наведено в таблиці 2.

Якщо опціональний параметр не задано, використовується значення за замовчуванням.

Сервіс «**Геокодер/Зворотний геокодер**» включає два варіанти: *Геокодер* – за назвою вулиці чи адресою знаходить географічну позицію. При пошуку за назвою має бути вказаним клас просторового об'єкта. *Зворотний геокодер* – за заданою географічною позицією знаходить назву вулиці чи адресу.

На кожен запит для геокодера чи зворотного геокодера може бути повернуто нуль, один чи більше результатів. Сервіс *геокодер* повинен за назвою вулиці повертати перелік точок адрес вулиці. Сервіс *геокодер* повинен за частиною назви вулиці повертати перелік вулиць.

Таблиця 2.

Вхідні параметри сервісу «Представлення»

Параметр	Наявність в запиті
Ідентифікатор (назва) карти	Обов'язково
Перелік шарів	Опціонально
Ширина	Опціонально
Висота	Опціонально
Формат	Опціонально
Тип результату (URL чи запаковані дані зображення)	Опціонально
Обмежуючий прямокутник	Опціонально
Масштаб	Опціонально
Центр карти	Опціонально
Тип та параметри тематики	Тільки для тематичних карт

Сервіс «**Знайти місцезнаходження**» (Find Location Service) повинен шукати всередині визначеної географічної зони дані так званих Точок інтересу (Point-of-Interest – POI), наприклад, розподільчих шаф.

Вхідними параметрами сервісу є географічна зона та клас просторових об'єктів для пошуку. Для задання географічної зони має використовуватись просторовий об'єкт або комбінація просторових об'єктів іншого класу. Географічна зона може бути результатом виклику сервісу «Каталог» або «Геокодер».

Географічна зона може задаватись як площинним об'єктом, так і точковим або лінійним об'єктом. Для точкових та лінійних об'єктів додатково мають задаватись параметри, що визначають окіл об'єкта [4].

Висновки. Таким чином, геоінформаційні технології призначені для широкого впровадження в практику методів і засобів роботи з просторово-часовими даними, що подаються у вигляді системи електронних карт, і предметно-орієнтованих середовищ обробки різномірної інформації для різних категорій користувачів. При вирішенні завдань соціального та технічного регулювання в системах управління використовується маса просторової інформації: топографія, гідрографія, інфраструктура, комунікації, розміщення об'єктів.

Графічне представлення будь-якої ситуації на екрані комп'ютера має на меті відображення різних графічних образів. Сформований на екрані ЕОМ графічний образ складається з двох різних з точки зору середовища зберігання частин - графічної «підкладки» або графічного фону та інших графічних об'єктів. По відношенню до цих інших графічних образів «образ-підкладка» є «майданним», або просторовим двомірним зображенням. Основною проблемою при реалізації геоінформаційних додатків є труднощі формалізованого опису конкретної предметної області та її відображення на електронній карті.

Література

1. Про телекомунікації : закон : прийнято ВРУ 18.12.2017 № 1280-IV.
2. Плєскач В.Л. Інформаційні технології та системи / Плєскач В.Л. – К. : Книга, 2005. – 520 с.
3. Самойленко В. М. Основи геоінформаційних систем. Методологія / Самойленко В. М. – К. : Ніка-Центр, 2003. – 276 с.
4. Светличный А.А. Основы геоинформатики : учебное пособие / А. А. Светличный, С. В. Плотницкий. – Сумы : Университетская книга, 2006. – 294 с.
5. Clifford N. Key Methods in Geography / N. Clifford, S. French, G. Valentine (Eds.). – SAGE, 2010. – 569 p.
6. Gomez B. Research Methods in Geography: A Critical Introduction / B. Gomez, J.P. Jones (Eds.). – Blackwell Publishing, 2010. – 459 p.

References

1. Law of Ukraine "About Telecommunications". Verkhovna Rada of Ukraine; Law of 12/18/2017 № 1280-IV.
2. Pleshkach V.L. Information technology and systems. K.: Book, 2005. 520 p.
3. Samoilenko V.M. Fundamentals of Geographic Information Systems. Methodology / Samoylenko V. M. K.: Nika-Center, 2003. 276 p.
4. Svetlichny A.A. Fundamentals of Geoinformatics: Textbook / A.A. Svetlichny, S.V. Plotnitsky. Sumy: University Book, 2006. 294 p.
5. Clifford N. Key Methods in Geography / N. Clifford, S. French, G. Valentine (Eds.). SAGE, 2010. 569 p.
6. Gomez B. Research Methods in Geography: A Critical Introduction / B. Gomez, J.P. Jones (Eds.). Blackwell Publishing, 2010. 459 p.

Рецензія/Peer review : 18.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Сорокати́й Р.В.

А.С. СВЕРСТЮК, Д.В. ВАКУЛЕНКО, О.М. КУЧВАРА
ДВНЗ «Тернопільський державний медичний університет імені І. Я. Горбачевського»
Ю.В. КРАВЧИК
Хмельницький національний університет

ПІДХІД ДО ЗАСТОСУВАННЯ ВІДКРИТИХ РЕСУРСІВ БІОСИГНАЛІВ PHYSIONET ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМ

Описано методику навчання студентів в Тернопільському державному медичному університеті імені І. Я. Горбачевського (предмет – медична інформатика, тема «Біосигнали»). Пропонується використання відкритого ресурсу біосигналів PhysioNet для проведення розрахунку показників варіабельності серцевого ритму за даними запису електрокардіограми (спектральний аналіз) за допомогою користувацьких функцій Microsoft Excel VBA.

Ключові слова: спектральний аналіз, PhysioNet, варіабельність серцевого ритму, біосигнали, ЕКГ.

A.S. SVERSTUIK, D.V. VAKULENKO, O.M. KUCHVARA
SHEI "I.Ya. Gorbachevskiy Ternopil State Medical University"
YU.V. KRAVCHYK
Khmelnytskyi National University

AN APPROACH TO THE USE OF OPEN SOURCE OF PHYSIONET BIOSIGNALS FOR CALCULATION OF INDICATORS OF SPECTRAL ANALYSIS OF ELECTROCARDIOGRAMS

The methodology of teaching students at the I. Ya. Gorbachevskiy Ternopil state medical university (the subject is medical informatics, the topic is "Biosignals") has been described in the article. It is proposed to use PhysioNet's open resource for analyzing heart rate variability on ECG records (spectral analysis) using the Microsoft Excel VBA user features. The rapid informatization of medicine creates a challenge for educational institutions, which is to maximize the acquaintance of future physicians with the principles of biosignal analysis, namely electrocardiogram (ECG). At present, various devices and methods for monitoring ECG are used for some heart diseases. The proposed information technology allows students to gain experience in the use of open bases of biosignals, calculation of HRV parameters based on ECG data based on the parameters of spectral analysis of biosignals in the diagnostics of the cardiovascular system. The obtained information helps to assess the state of hemodynamic processes, regulation and management of the cardiovascular system, the activity and interaction of various parts of the nervous system, the level of myocardial-hemodynamic homeostasis, the tone and reactivity of the peripheral vessels.

Key words: spectral analysis, PhysioNet, heart rate variability, biosignals, ECG.

Вступ. Серцево-судинні захворювання в Україні становлять серйозну проблему. Вони, посідаючи перше місце у структурі поширеності, зумовлюють більше половини всіх випадків смерті та третину причин інвалідності населення України. Медико-соціальний тягар хвороб системи кровообігу полягає ще і в тому, що вони суттєво впливають на тривалість і якість життя населення, на показники втрат економічного потенціалу країни. Саме тому боротьба з хворобами системи кровообігу на сучасному етапі є першочерговою проблемою сучасної медицини [1].

Перспективним напрямком подолання зазначеної проблеми є вдосконалення існуючих методик інструментальної діагностики стану серцево-судинної системи шляхом розробки нових діагностичних і прогностичних ознак на основі вибору адекватних методів математичного та комп'ютерного аналізу біосигналів [2–5]. Робота серця як біофізичної системи супроводжується генеруванням всередині організму, на поверхні та за його межами електричних, магнітних та механічних (акустичних) полів, що у своїй просторово-часовій структурі відображають функціональний стан серцево-судинної системи людини і дозволяють проводити її діагностику.

Безперервний контроль роботи серця протягом тривалого часу необхідно проводити багатьом пацієнтам, які мають захворювання серцево-судинної системи.

Стрімка інформатизація медицини створює виклик для освітніх медичних установ, що полягає в максимально глибокому знайомстві майбутніх медиків з принципами аналізу біосигналів, а саме електрокардіограм (ЕКГ). В даний час при деяких захворюваннях серця застосовують різні пристрої та методи для моніторингу ЕКГ.

В кардіологічній практиці знаходить все більше застосування комп'ютерний аналіз ЕКГ.

Мета дослідження. Розробити методику на основі відкритої бази даних біосигналів <https://physionet.org> (рис. 1) знайомства студентів зі структурою біосигналу та підходами для його аналізу; з форматами збереження біосигналів. Запропонувати підхід для знайомства студентів медиків з принципами аналізу ЕКГ, проведення розрахунку показників варіабельності серцевого ритму (BCP) в спектральній області. Розроблені підходи застосувати для навчальних та в майбутньому для науково-дослідницьких цілей.

Матеріали та методи дослідження. Пропонується застосовувати базу даних PhysioNet, створену для накопичення біомедичних досліджень для навчання студентів медиків. Інтернет-портал PhysioNet був створений під егідою трьох інститутів США — National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering,

PHYSIOBANK ATM

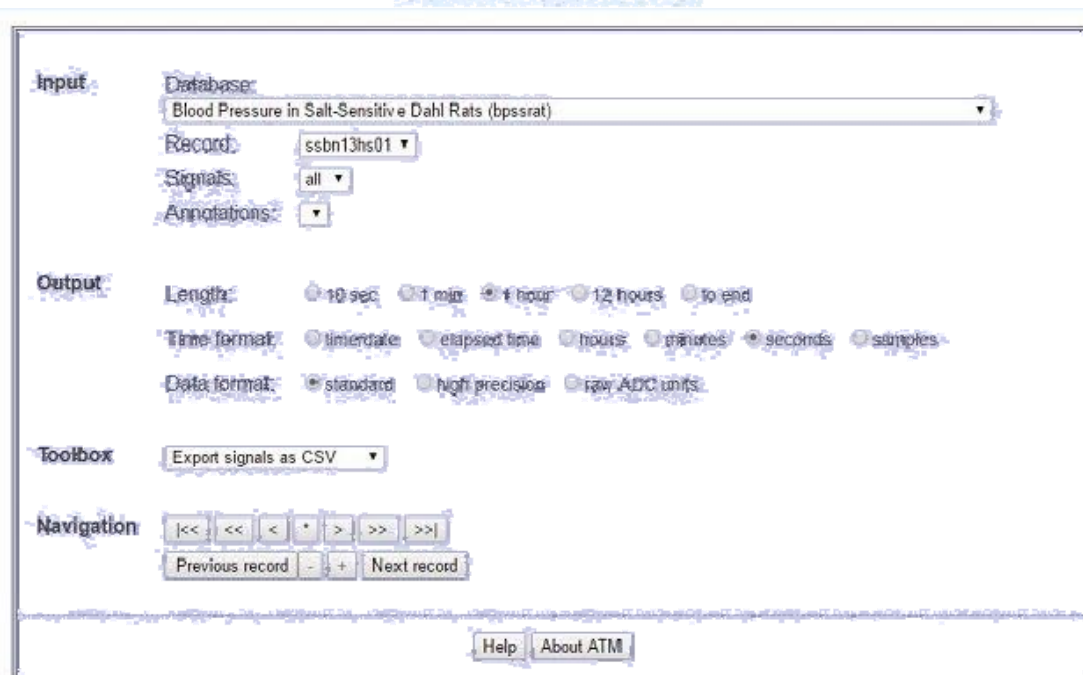


Рис. 1. Інтерфейс Physiobank ATM для вибору груп досліджень та налаштувань для завантаження біосигналів

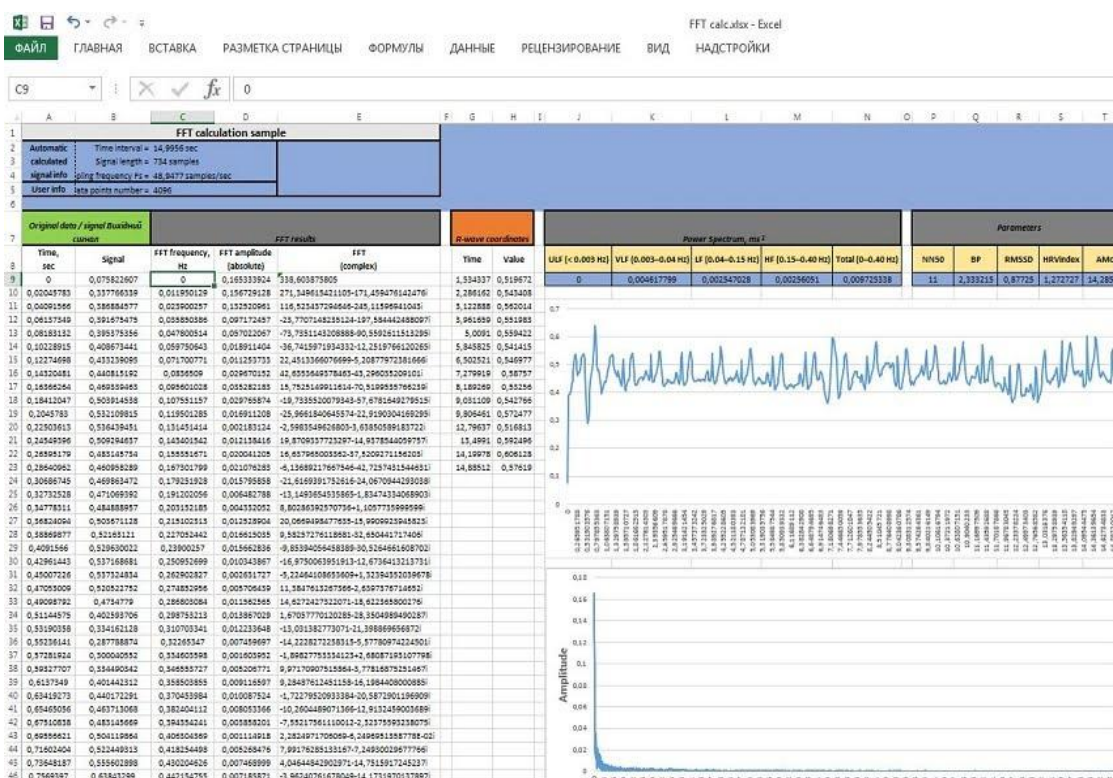


Рис. 2. Вигляд листа Microsoft Excel після проведених розрахунків

Алгоритм проведення спектрального аналізу. У файлі FFT calc.xlsx, потрібно вибрати Sheet (лист) FFT transform. Виділити комірки A9:B9 та вставити (Ctrl+V) скопійовану оцифровану електрокардіограму.

	A	B	C		A	B	C
1	FFT calculator			1	FFT calculator		
2	Automatic calculated signal info	Time interval = 59,9920 sec		2	Automatic calculated signal info	Time interval = 59,9920 sec	
3		Signal length = 7680 samples		3		Signal length = 7680 samples	
4		Sampling frequency F_s = 128,0171 samp		4		Sampling frequency F_s = 128,0171 samp	
5	User info	Sample points number = 4096		5	User info	Sample points number = 4096	
6				6			
7	Original data / signal Вихідний сигнал			7	Original data / signal Вихідний сигнал		
8	Time, sec	Signal	FFT frequency, Hz	8	Time, sec	Signal	FFT frequency, Hz
9	0,00	-0,505	0	9	0	-0,505	0
10	0,01	-0,495	0,031254167	10	0,008	-0,495	0,031254167
11	0,02	-0,545	0,062508334	11	0,016	-0,545	0,062508334
12	0,02	-0,445	0,093762502	12	0,023	-0,445	0,093762502
13	0,03	-0,275	0,125016669	13	0,031	-0,275	0,125016669
14	0,04	-0,145	0,156270836	14	0,039	-0,145	0,156270836
15	0,05	-0,135	0,187525003	15	0,047	-0,135	0,187525003
16	0,06	-0,125	0,218779171	16	0,055	-0,125	0,218779171
17	0,06	-0,135	0,250033338	17	0,063	-0,135	0,250033338
18	0,07	-0,125	0,281287505	18	0,07	-0,125	0,281287505
19	0,08	-0,125	0,312541672	19	0,078	-0,125	0,312541672
20	0,09	-0,115	0,343795839	20	0,086	-0,115	0,343795839
21	0,09	-0,115	0,375050007	21	0,094	-0,115	0,375050007
22	0,10	-0,115	0,406304174	22	0,102	-0,115	0,406304174
23	0,11	-0,095	0,437558341	23	0,109	-0,095	0,437558341
24	0,12	-0,105	0,468812508	24	0,117	-0,105	0,468812508
25	0,13	-0,095	0,500066676	25	0,125	-0,095	0,500066676

Кількість вхідних даних для перетворення Фур'є повинна бути кратною 2^n , згідно з табл. 1.

Таблиця чисел, які кратні 2^n

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2 ⁿ	4	8	16	32	64	128	256	512	1024	2048	4096	8192	16384	32768	65536

В даному прикладі тривалість біосигналу становить 7680 відліків (відлік часу (A9:A7688), значення електрокардіограми (B9:B7688)). Для розрахунку необхідної кількості відліків з таблиці 1 вибираємо найближче менше число за вхідну кількість відліків. В нашому випадку вибираємо з таблиці число 4096, так як $4096 < 7680$. Оскільки значення біосигналу починається з комірки B9, то верхнє значення кількості відліків буде розраховане як $4096 + 8 = 4104$. Отже, вхідний інтервал даного біосигналу з кратністю 2^n буде мати вигляд B9:B4104. Наступним кроком є перехід у вкладку DATA \ Data Analysis \ Fourier Analysis.

У меню Fourier Analysis в якості вхідного інтервалу (Input Range) введіть \$B\$9:\$B\$4104. Для задання вихідного інтервалу (Output Range), необхідно поставити відповідну відмітку та ввести \$E\$9:\$E\$4104. Розрахунок Fourier Analysis може тривати декілька хвилин.

Для заповнення стовця зі значенням частоти Фур'є перетворення FFT frequency, Hz потрібно в комірку C9 (рис. 3) ввести "0", в комірку C10 – формулу $=1*\$C\$4/\$C\5 , в комірку C11 – формулу $=1*\$C\$4/\$C\$5+C10$. Виділити комірки C10:C11, використовуючи маркер автозаповнення, скопіювати формули на інші комірки вниз.

Для заповнення стовця із значенням амплітуди Фур'є перетворення FFT amplitude (absolute) потрібно в комірку D9 ввести формулу $=IMABS(IMPRODUCT(E9;2/\$C\$5))$. Виділити комірки D9:D10, використовуючи маркер автозаповнення, необхідно скопіювати формули в інші комірки вниз.

Для аналізу потужності спектру інтервалограми R-R інтервалів за швидким перетворенням Фур'є необхідно вибрати комірки C9:D9, утримуючи клавіші Ctrl+Shift+↓, виділимо діапазони частоти (FFT frequency, Hz) та амплітуди (FFT amplitude (absolute)).

Для побудови усього спектру швидкого перетворення Фур'є на панелі інструментів необхідно вибрати INSERT \ Chart \ Scatter (X,Y). Отримаємо увесь спектр частот швидкого перетворення Фур'є (рис. 4).

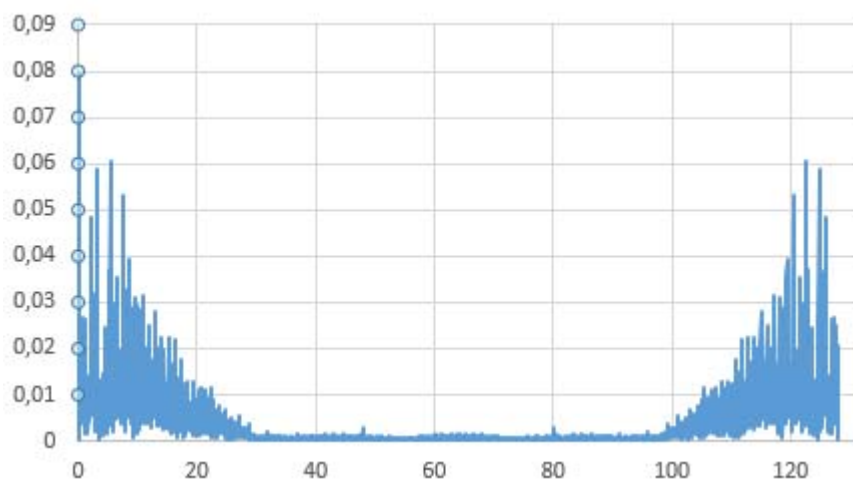


Рис. 4. Спектр частот електрокардіограми, отриманий в результаті швидкого перетворення Фур'є

Для отримання діагностичної інформації про стан вегетативної нервової системи необхідно побудувати спектр частот діапазоном до 0,4 Гц швидкого перетворення Фур'є. Для цього на панелі інструментів необхідно вибрати INSERT \ Chart \ Scatter (X,Y) (рис. 5).

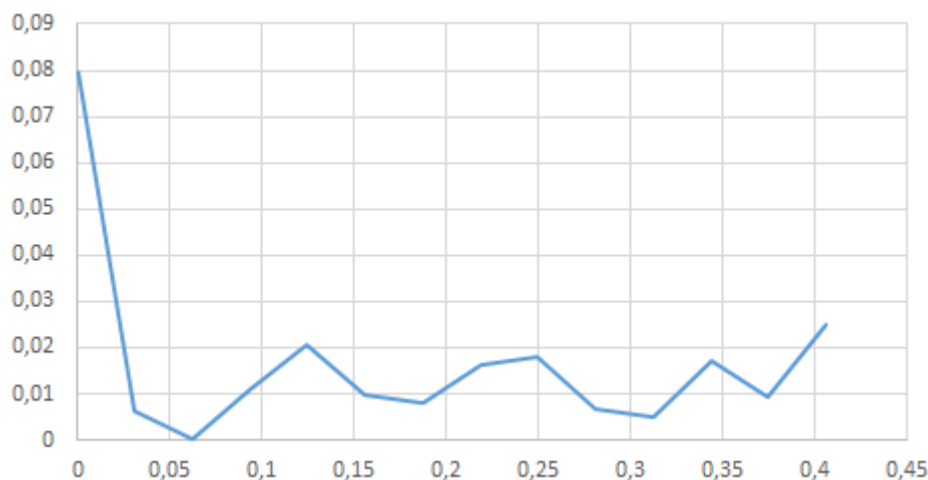


Рис. 5. Спектр частот електрокардіограми, діапазоном до 0,4 Гц, отриманий в результаті швидкого перетворення Фур'є

Для розрахунку потужності спектру електрокардіограми необхідно відкрити Аркуш (Sheet) DataCalc.

Для розрахунку значень та кількості гармонік перетворення Фур'є, які потрапляють в діапазони ультранизких частот (ULF values), дуже низьких частот (VLF values), низьких частот (LF values), високих

частот (HF values), загальна потужність спектру до 0,4 Гц (Total values) необхідно у відповідні комірки ввести формули, згідно з табл. 2.

Таблиця 2

Формули для розрахунку значень та кількості гармонік перетворення Фур'є

Назва стовбця (Адрес комірки)	Формула
ULF values (C3)	=IF('FFT transform'!C10<=0,003;'FFT transform'!D10; 0)*('FFT transform'!C10-'FFT transform'!C9)
VLF values (D3)	=IF(AND('FFT transform'!C10>0,003;'FFT transform'!C10<=0,04); 'FFT transform'!D10; 0)*('FFT transform'!C10-'FFT transform'!C9)
LF values (E3)	=IF(AND('FFT transform'!C10>0,04;'FFT transform'!C10<=0,15); 'FFT transform'!D10; 0)*('FFT transform'!C10-'FFT transform'!C9)
HF values (F3)	=IF(AND('FFT transform'!C10>0,15;'FFT transform'!C10<=0,4); 'FFT transform'!D10; 0)*('FFT transform'!C10-'FFT transform'!C9)
Total values (G3)	=IF('FFT transform'!C10<=0,4;'FFT transform'!D10; 0)*('FFT transform'!C10-'FFT transform'!C9)

На наступному етапі потрібно розрахувати значення відсотків %VL, %LF, %HF від Total values. Розраховані та погруповані по частотам значення потужностей спектру відображають активність різних ланок нервової системи, згідно з табл. 3.

Таблиця 3

Значення потужностей спектру, які відображають активність різних ланок нервової системи

Показники спектрального аналізу					
№ п/п	Назва показника	Діапазон частот, Гц	Діапазон норми	Вплив показника на вегетативну нервову систему (ВНС)	
				менше норми	більше норми
1.	ULF	<=0,003	-	-	-
2.	%ULF	<=0,003	-	-	-
3.	VLF	>0,003 <=0,04	-	симпатична активна	парасимпатична активна
4.	%VL	>0,003 <=0,04	15-30%	-	-
5.	LF	>0,04 <=0,15	1170±416 мс ²	парасимпатична активна	симпатична активна
6.	%LF	>0,04 <=0,15	35-40%	-	-
7.	HF	>0,15 <=0,4	975±203 мс ²	симпатична активна	парасимпатична активна
8.	%HF	>0,15 <=0,4	15-25%	симпатична ланка 8-10%	-
9	k	LF/HF	1,5-2 мс ²	-	-
10	Total	<=0,4	3466±1018 мс ²	симпатична активна	парасимпатична активна

На завершальному етапі студентам пропонується порівняти розраховані показники спектрального аналізу з відповідними табличними значеннями, які відповідають умовній нормі, записується висновок про стан нервової системи.

Висновки. Таким чином, запропонована інформаційна технологія дозволяє студентам отримати досвід застосування відкритих баз біосигналів, розрахунку показників ВСР за даними ЕКГ на основі показників спектрального аналізу біосигналів при діагностиці серцево-судинної системи. Отримана інформація допомагає оцінити стан гемодинамічних процесів, регуляції і управління станом серцево-судинної системи, активність та взаємодію різних ланок нервової системи, рівень функціонування міокардіально-гемодинамічного гомеостазу, тонус та реактивність периферійних судин.

Література

1. Коваленко В. М. Хвороби системи кровообігу в Україні: проблеми і резерви збереження здоров'я населення / В. М. Коваленко, А. П. Дорогой // Серце і судини. – 2003. – № 2. – С. 4–10.
2. Вакуленко Д. В. Інформаційна система морфологічного, часового, частотного та кореляційного аналізу артеріальних осцилограм у фізичній реабілітації: монографія / Д. В. Вакуленко. – Тернопіль: ТДМУ, 2015. – 212 с.
3. Лупенко С. А. Статистичний сумісний аналіз кардіосигналів на основі вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів / С. А. Лупенко, Я. В. Литвиненко, А. С. Сверстюк // Електроніка та системи управління. – 2008. – Т. 18, № 4. – С. 22–29.
4. David A. How slow is the k-means method? / D. Arthur, S. Vassilvitskii // Proceedings of the twenty-second annual symposium on computational geometry (SoCG) (Sedona, Arizona, USA, June 05–07, 2006). – New York, USA: ACM Press, 2006. – P. 144.
5. Rodgers J. L. Thirteen ways to look at the correlation coefficient / J. L. Rodgers, W. A. Nicewander // The American Statistician. – 1988. – No. 42. – С. 59–66.

References

1. Kovalenko V. M. Khvoroby systemy krovoobihu v Ukraini: problemy i rezervy zberezhenia zdorovia naselennia / V. M. Kovalenko, A. P. Dorohoi // Serse i sudyny. – 2003. – № 2. – С. 4–10.
2. Vakulenko D. V. Informatsiina systema morfolohichnoho, chasovoho, chastotnoho ta koreliatsiinoho analizu arterialnykh ostsylloham u fizychnii rehabilitatsii: monohrafiia / D. V. Vakulenko. – Ternopil: TDMU, 2015. – 212 s.
3. Lupenko S. A. Statystychnyi sumisnyi analiz kardiosyhnaliv na osnovi vektora tsyklichnykh rytmychno poviazanykh vypadkovykh protsesiv / S. A. Lupenko, Ya. V. Lytvynenko, A. S. Sverstiuk // Elektronika ta systemy upravlinnia. – 2008. – Т. 18, № 4. – С. 22–29.
4. David A. How slow is the k-means method? / D. Arthur, S. Vassilvitskii // Proceedings of the twenty-second annual symposium on computational geometry (SoCG) (Sedona, Arizona, USA, June 05–07, 2006). – New York, USA: ACM Press, 2006. – R. 144.
5. Rodgers J. L. Thirteen ways to look at the correlation coefficient / J. L. Rodgers, W. A. Nicewander // The American Statistician. – 1988. – No. 42. – S. 59–66.

Рецензія/Peer review : 14.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Лупенко С.А.

А.А. ТАРАНЧУК, В.О. СЛОБОДЯН

Хмельницький національний університет

О.В. ОСАДЧУК

Вінницький національний технічний університет

ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИЙ МЕМС-ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЯК ОСНОВА РЕАЛІЗАЦІЇ МІКРОЕЛЕКТРОННОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА

У роботі показана можливість реалізації акселерометра на основі електростатичного МЕМС-перетворювача, що оснований на чутливості його характеристик до зовнішнього збурення. Проведений аналіз поведінки рухомого електрода акселерометра на основі електростатичного МЕМС-перетворювача під дією зовнішньої періодичної сили. Встановлений взаємозв'язок основних характеристик акселерометра і його конструктивних параметрів. Сформульовані рекомендації щодо раціонального вибору конструктивних параметрів акселерометрів на етапі їх проектування.

Ключові слова: мікроелектромеханічна система, електростатичний перетворювач, акселерометр, зовнішнє збурення, рухомий електрод, змінна ємність, вимірювання прискорення.

A.A. TARANCHUK, V.O. SLOBODIAN

Khmelnytskyi National University

A.V. OSADCHUK

Vinnytsia National Technical University

ELECTROSTATIC MEMS- TRANSDUCER AS A BASIS FOR REALIZATION OF MICROELECTRONIC ACCELEROMETER

The use of new principles and constructive solutions for the construction of transducers of physical quantities is an important trend in modern instrument making. Such transducers of one form of energy into another include devices that form single microstructures of mechanical and electrical elements and components, the so-called micro electromechanical systems (MEMS). At present, the development, production and introduction of inertial sensors, which include accelerometers, have received high rates. Electrostatic MEMS-transducers provide basic possibilities for the implementation on their basis of single-component and multi-component accelerometers with an appropriate number of degrees of freedom and kinematics. The work confirms the high efficiency of the use of electrostatic MEMS - transducers as microelectronic accelerometers, whose work is based on converted electric energy into the electrostatic power interaction of a stationary electrode with a movable (inertial) electrode of a given mass. The paper is devoted to the urgent questions regarding the rational choice of structural parameters of microelectronic accelerometers, realized on the basis of electrostatic MEMS - transducers with controlled voltage capacitors. The work of an accelerometer based on an electrostatic MEMS- transducer is based on the sensitivity of its characteristics to external disturbances. The sensitive element of the accelerometer is an inertial mass in the form of a moving electrode made of polysilicon, the processing technology of which is well studied. The motion of the mass of the inertial electrode is recorded by changing the capacitance between two parallel plates - electrodes MEMS. An analysis of the behavior of a movable electrode accelerometer based on an electrostatic MEMS - transducer under the action of external periodic force was carried out. The correlation of the main characteristics of the accelerometer and its constructive parameters is established. The recommendations for rational choice of constructive parameters of accelerometers at the stage of their design are formulated.

Keywords: micro electromechanical system, electrostatic transducer, accelerometer, external disturbance, a movable electrode, a variable capacitance, measuring the acceleration.

Вступ

Використання нових принципів та конструктивних рішень під час побудови перетворювачів фізичних величин є важливим напрямом сучасного приладобудування. До таких перетворювачів однієї форми енергії в іншу відносяться пристрої, які утворюють єдині мікроструктури з механічних та електричних елементів і компонентів, так звані мікроелектромеханічні системи (МЕМС) [1].

На теперішній час, високі темпи отримали розробка, виробництво та впровадження інерційних сенсорів, до яких відносяться сенсори прискорення або акселерометри [2, 3]. Область застосування сучасних акселерометрів дуже широка: від мобільних телефонів і планшетних комп'ютерів до інтегрованих в транспортні, літакові, супутникові, надводні та підводні навігаційні системи сенсорів, що використовуються для вимірювання прискорень або перевантажень.

Одним із перспективних підходів до побудови мікроелектронних акселерометрів є використання електростатичних МЕМС-перетворювачів (МЕМСП), робота яких заснована на перетворенні електричної енергії в електростатичну силову взаємодію стаціонарного (нерухомого) електрода з рухомим (інерційним) електродом заданої маси. Електростатичні МЕМС-перетворювачі надають принципові можливості щодо реалізації на їх основі однокомпонентних та багатокомпонентних акселерометрів з відповідною кількістю ступенів свободи і кінематикою. При цьому, електричні компоненти МЕМСП використовуються для формування керуючих сигналів та отримання інформації про фізичні величини, що вимірюються [1–10].

Постановки завдання

До сучасних акселерометрів пред'являються підвищені вимоги щодо точності вимірювання, чутливості та мікромініатюризації. Чутливість характеристик електростатичних МЕМС-перетворювачів до зовнішніх механічних збурень надає принципові можливості щодо реалізації на основі МЕМСП мікроелектронних сенсорів прискорення. Основою акселерометра, побудованого на основі

електростатичного МЕМСП, є керований напругою конденсатор (КНК). Чутливий елемент (ЧЕ) акселерометра являє собою інерційну масу у вигляді рухомого електрода, виготовленого з полікремнію, технологія обробки якого добре вивчена [4–7]. Рух маси інерційного електрода реєструється шляхом зміни ємності між двома паралельними пластинами – електродами МЕМС - КНК, один з яких рухомий з заданою масою, закріплений за допомогою пружних підвісів, а інший – стаціонарний, розміщується на елементах основи. При впливі прискорень відбувається відхилення рухомої частини КНК, що призводить до змін його ємності, які несуть інформацію про величину і напрямок прикладеного прискорення [4, 8–10].

Робота присвячена актуальним питанням щодо раціонального вибору конструктивних параметрів мікроелектронних акселерометрів, реалізованих на основі електростатичних МЕМС-перетворювачів з керованими напругою конденсаторами.

Метою роботи є встановлення аналітичних залежностей основних характеристик електростатичних МЕМС-акселерометрів від їх конструктивних параметрів та надання рекомендацій щодо раціонального вибору конструктивних рішень на етапі проектування.

Аналіз поведінки рухомого електрода під дією зовнішньої періодичної сили

Розглянемо окремий випадок роботи електростатичного перетворювача в усталеному режимі при зміщенні електрода $x = x_1$ і напрузі керування $U = U_1$. Будемо вважати, що в даному випадку електростатична сила F_{el} не залежить від коливань електрода, викликаних зовнішньою періодичною силою, і для усталеного режиму є постійною величиною.

Для таких умов рівняння руху рухомого електрода запишеться у вигляді [11]:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = F_{el} + mA_m \cos \omega t, \quad (1)$$

де m – ефективна маса рухомого електрода; b – коефіцієнт механічного опору (в'язкість середовища); k – ефективна жорсткість підвісу; F_{el} – електростатична сила притягування електродів; A_m , ω – амплітуда та частота зовнішнього гармонійного збурення (прискорення).

Електростатична сила притягування електродів визначається так

$$F_{el} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{(d - x_1)^2} \cdot U^2, \quad (2)$$

де d – початковий зазор між рухомих і стаціонарних електродами; x_1 – величина ходу рухомого електрода; S – площа взаємного перекриття електродів; $\varepsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – електрична постійна; ε – відносна діелектрична проникність середовища (для вакууму $\varepsilon = 1$); U – напруга керування.

Для отримання розв'язку розділимо ліву і праву частини рівняння (1) на m та введемо наступні позначення:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2n \frac{dx}{dt} + p^2 x = \frac{F_{el}}{m} + A_m \cos \omega t, \quad (3)$$

де $p = \sqrt{\frac{k}{m}}$ – кутова частота власних коливань акселерометра; $2n = 2\gamma p$ – коефіцієнт загасання коливань, $\gamma = n/p$ – коефіцієнт демпфірування.

Представимо частинний розв'язок рівняння (3) за умови $F_{el} = 0$ ($U = 0$) у вигляді

$$x = M \cos \omega t + N \sin \omega t, \quad (4)$$

де M і N – постійні, які визначаються після підстановки (4) в (3):

$$M = \frac{A_m(p^2 - \omega^2)}{(p^2 - \omega^2)^2 + 2n^2 \omega^2}, \quad N = \frac{A_m 2n \omega}{(p^2 - \omega^2)^2 + 4n^2 \omega^2}. \quad (5)$$

Тоді загальний розв'язок (3) такий

$$x(t) = x_1 + e^{\alpha t} \{C_1 \cos(\beta t) + C_2 \sin(\beta t)\} + \left\{ \frac{A_m [(p^2 - \omega^2) \cos \omega t + 2n \omega \sin \omega t]}{(p^2 - \omega^2)^2 + 4n^2 \omega^2} \right\} + \frac{F_{el}}{mp^2}, \quad (6)$$

де $\alpha = -n$, $\beta = \sqrt{n^2 - p^2}$ – дійсна та уявна частини комплексних коренів $\lambda_{1,2} = \alpha \pm j\beta$ характеристичного рівняння (3).

З урахуванням початкових умов отримаємо:

$$C_1 = x_1, \quad C_2 = \left(\frac{dx_1(t)}{dt} + nx_1 \right) \frac{1}{\sqrt{n^2 - p^2}}. \quad (7)$$

З рівняння (3) визначимо $\frac{dx_1(t)}{dt} = \frac{2U^2 \varepsilon \varepsilon_0 S}{(d - x_1(t))^3} - k$, тоді вираз (7) набуде наступного вигляду:

$$C_2 = \left(\frac{2U^2 \varepsilon \varepsilon_0 S}{(d - x_1(t))^3} - k + nx_1 \right) \frac{1}{\sqrt{n^2 - p^2}}. \quad (8)$$

З урахуванням (7), (8) розв'язок (6) запишеться наступним чином:

$$x(t) = e^{-nt} \left\{ x_1 \cos(t\sqrt{n^2 - p^2}) + \left(\frac{2U^2 \varepsilon \varepsilon_0 S}{(d - x_1)^3} - k + nx_1 \right) \frac{1}{\sqrt{n^2 - p^2}} \sin(t\sqrt{n^2 - p^2}) \right\} + \\ + A_m \left\{ \frac{(p^2 - \omega^2) \cos \omega t + 2n\omega \sin \omega t}{(p^2 - \omega^2)^2 + 4n^2 \omega^2} \right\} + \frac{F_{el.}}{mp^2}. \quad (9)$$

Перша частина рішення (9) з множником e^{-nt} описує демпфировані вільні коливання електрода з періодом $\tau = \frac{2\pi}{\sqrt{n^2 - p^2}}$, а друга частина рішення (9) з множником A_m – демпфировані вимушені коливання з періодом $T = \frac{2\pi}{\omega}$, який співпадає з періодом коливань сили збурення.

Вільні коливання будуть поступово загасати і в усталеному режимі залишаться тільки вимушені коливання. Таким чином, вираз для усталеної поведінки системи може бути представлений в еквівалентній формі [13]

$$x(t) = A \cos(\omega t - \theta) + \frac{F_{el.}}{mp^2}, \quad (10)$$

з фазовим кутом

$$\theta = \arctg\left(\frac{N}{M}\right) = \arctg \frac{2\gamma\omega/p}{(1 - \omega^2/p^2)}, \quad (11)$$

і амплітудою

$$A = \sqrt{M^2 + N^2} = \frac{A_m}{\sqrt{(p^2 - \omega^2)^2 + 4n^2 \omega^2}} = \frac{A_m/p^2}{\sqrt{(1 - \omega^2/p^2)^2 + 4\gamma^2 \omega^2/p^2}}. \quad (12)$$

З урахуванням (11) і (12) запишемо рішення (10) в наступному вигляді

$$x(t) = \frac{mA_m}{k} \beta \cos(\omega t - \theta) + \frac{F_{el.}}{mk}, \quad (13)$$

де β – коефіцієнт підсилення, що залежить від співвідношення ω^2/p^2 та від γ :

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{(1 - \omega^2 / p^2)^2 + 4\gamma^2 \omega^2 / p^2}}. \quad (14)$$

На рис. 1,а,б показані зміни коефіцієнта підсилення β і кута фазового зсуву θ залежно від співвідношення ω/p для різних значеннях коефіцієнта γ . Видно (рис. 1,а) що:

а) при $\omega \ll p$, коефіцієнт підсилення β наближається до 1 та мало залежить від коефіцієнта демпфірування γ ;

б) при $\omega \gg p$, коефіцієнт підсилення β близький до нуля і також практично нечутливий до зміни величини демпфірування γ ;

в) при $\omega \approx p$, коефіцієнт підсилення різко зростає β (носить резонансний характер) і сильно залежить від коефіцієнта демпфірування γ .

Аналогічна залежність спостерігається і з фазовим зсувом θ (рис. 1,б): при $\omega \ll p$ та $\omega \gg p$ ця величина практично не чутлива до зміни величини демпфірування, а при резонансі – завжди дорівнює $\pi/2$, незалежно від значення γ .

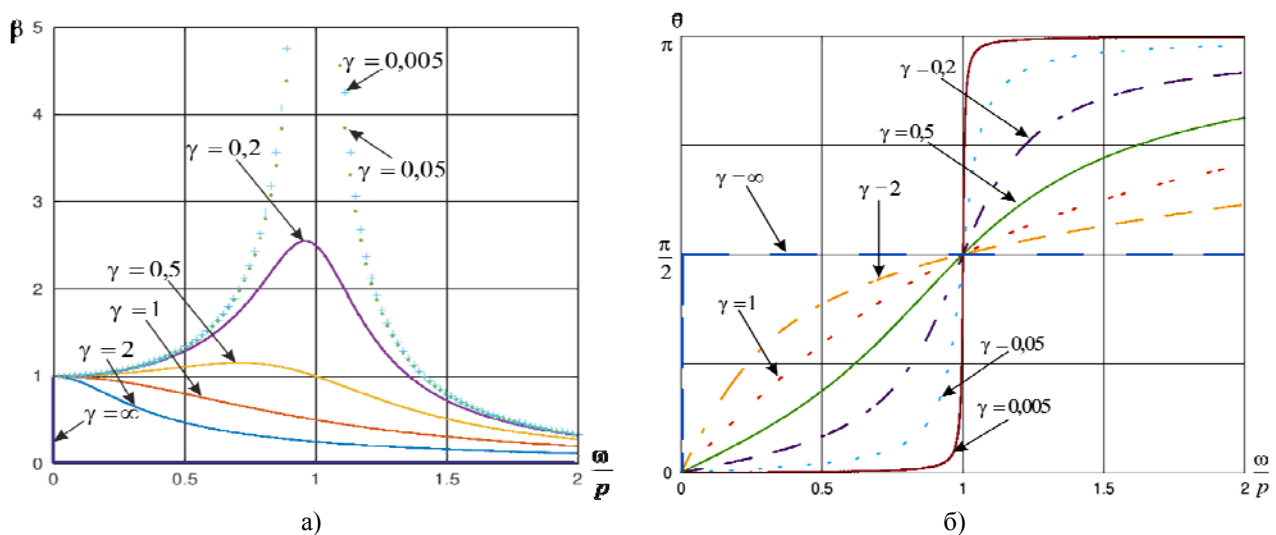


Рис. 1. Залежності коефіцієнта підсилення β (а) та кута фазового зсуву θ (б) залежно від відношення $\frac{\omega}{p}$ за різних значень коефіцієнта γ

Для значень $\frac{\omega}{p} \approx 1$ коефіцієнт підсилення β різко збільшується і його величина в околі резонансної області стає надчутливою до зміни γ (рис. 1,а). Максимальне значення β спостерігається за умови $\frac{\omega}{p} = \sqrt{1 - 2\gamma^2}$. На рис. 2 наведена залежність співвідношення $\frac{\omega}{p}(\gamma) = \sqrt{1 - 2\gamma^2}$, при якому настає резонанс. Як видно з рис. 2, існує значення γ , за якого резонансні явища не спостерігаються.

Залежності $x(t)$ для усталеного режиму за умови $U_1 = 1,65$ В та $x_1 = 0,11$ мкм для різних частот збурюючого коливання для різних значень коефіцієнта γ наведені на рис. 3.

З рис. 3 видно, що вплив на систему періодичної сили з частотою ω близької до власної частоти механічного резонансу p за малих коефіцієнтів $\gamma = 0,009$ і $\gamma = 0,09$ викликає явище самогенерації коливань; в той час, для значення $\gamma = 0,9$ явище резонансу не спостерігається. При цьому, амплітуда коливань, що генеруються, зростає зі зменшенням γ . На частотах, значно більших ніж частота власних коливань (25 кГц), явище резонансу не настає, і, незалежно від величини γ амплітуда коливань рухомого електроду залишається однаковою.

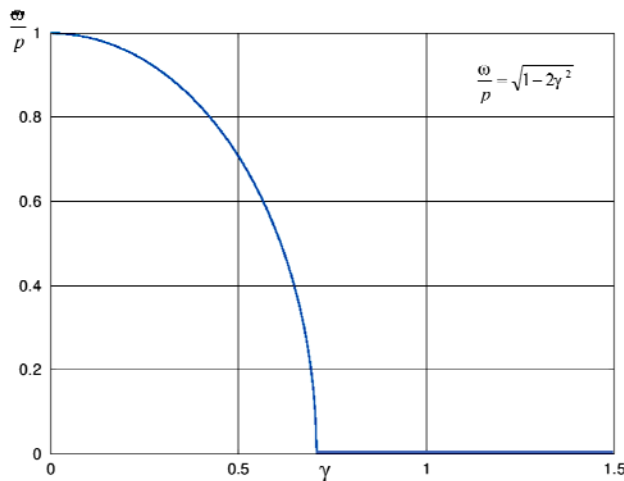


Рис. 2. Залежність відношення $\frac{\omega}{p}(\gamma)$ при якому наступає резонанс

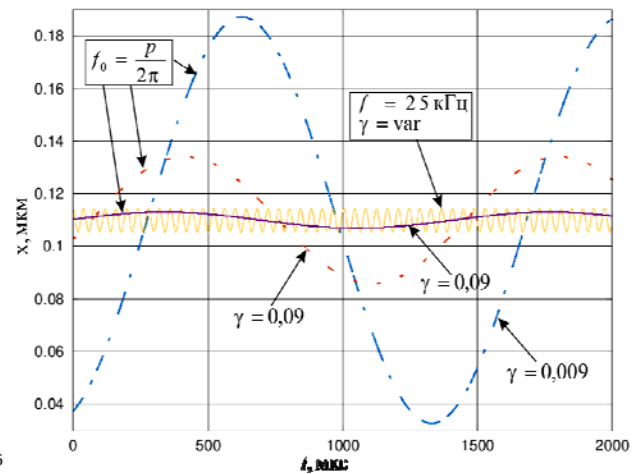


Рис. 3. Залежність $x(t)$ для усталеного режиму за умови $U_1 = 1,65$ В та $x_1 = 0,11$ мкм

Взаємозв'язок конструктивних параметрів та характеристик акселерометрів

Розглянемо роботу ємнісного акселерометра, який описується рівнянням (1) за умови $F_{el} = 0$:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = -ma(t), \quad (15)$$

де $a(t)$ – залежність величини прискорення у часі.

Поклавши $a = const$ запишемо розв'язок рівняння (15) у формі [13]:

$$x(t) = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} + \frac{ma}{k}, \quad (16)$$

де $\lambda_{1,2}$ – корні характеристичного рівняння (15).

Для знаходження констант C_1, C_2 використаємо наступні початкові умови: $x_0 = x(t_0) = x(0) = 0$; $x'(t_0) = x'(0) = 1$. Тоді отримаємо:

$$C_{1,2} = -\frac{m}{2k} \frac{a\sqrt{b^2 - 4km} \pm (ab - 2k)}{\sqrt{b^2 - 4km}}. \quad (17)$$

З рівняння (17) слідує, що повинна виконуватися умова $b > 2\sqrt{km}$.

Оскільки коефіцієнт демпфірування $\gamma = \frac{b}{2\sqrt{km}}$, то виникнення резонансних явищ напряму пов'язане з конструктивними характеристиками b, k, m , змінюючи які, можна керувати резонансом. Залежності $\gamma(m)$, $\gamma(b)$ і $\gamma(k)$ наведені на рис. 4, 5.

Аналіз отриманих залежностей показує, що, величина γ лінійно залежить від механічного опору b , при цьому крутизна характеристики $\gamma(b)$ тим більше, чим менше жорсткість k і маса рухомого електрода m (рис. 4,а). Залежності $\gamma(m)$ і $\gamma(k)$ носять гіперболічний характер. При цьому $\gamma(m)$ (рис. 4,а) збільшується зі збільшенням опору b і зменшенням k (рис. 4,б), а $\gamma(k)$ (рис. 5) збільшується зі зменшенням маси m і збільшенням опору b .

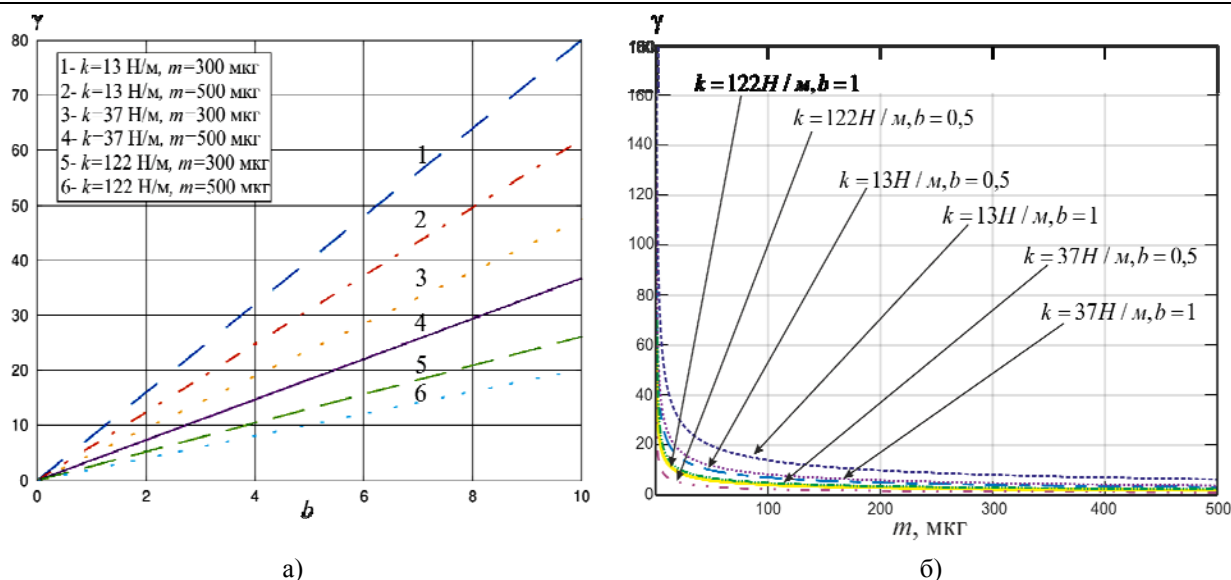


Рис. 4. Графіки залежностей коефіцієнта демпфірування $\gamma(m)$ (а) і $\gamma(b)$ (б)

Основні розрахункові характеристики акселерометра (чутливість S_{stat} , власна частота ω_0) в залежності від конструктивних параметрів електростатичного перетворювача (жорсткості k , маси m , ємнісного зазору d) зведені до таблиці 1. При цьому, природно найменша чутливість S_{stat} отримується при найбільшій жорсткості $k = 122$ Н/м, найбільшому зазорі $d = 2$ мкм і найменшій масі $m = 100$ мкг; найбільша чутливість S_{stat} за найменшої жорсткості $k = 13$ Н/м, найменшому зазорі $d = 0,75$ мкм і найбільшій масі $m = 500$ мкг.

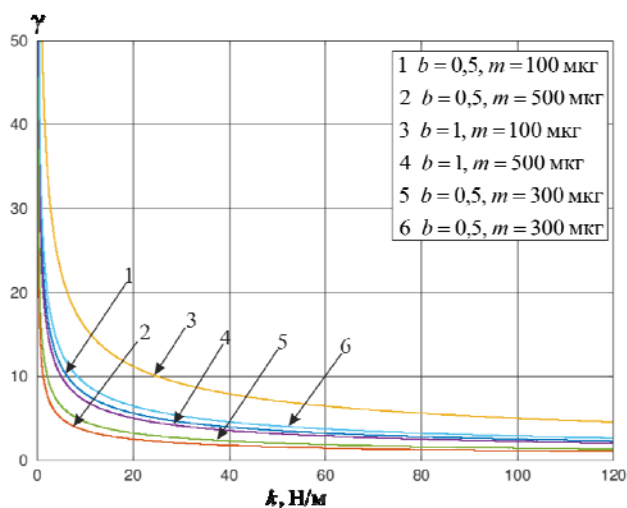


Рис. 5. Графіки залежностей коефіцієнта демпфірування $\gamma(k)$

Таблиця 1

Чутливість акселерометра S_{stat} залежно від конструктивних параметрів електростатичного перетворювача k, m, d

$m, \text{мкг}$		100			300			500		
$k, \text{Н/м}$		13	37	122	13	37	122	13	37	122
$\omega_0 = \sqrt{k/m}, \text{с}^{-1}$		360,56	608,28	1104,54	208,17	351,19	637,70	161,25	272,03	493,96
$d, \text{мкм}$	$C_0, \text{пФ}$	$S_{stat} = \frac{C_0}{d\omega_0^2}, \text{пФ с}^2/\text{м}$								
0,75	0,57	5,85	2,05	0,62	17,54	6,16	1,87	29,23	10,27	3,11
1,0	0,43	3,31	1,16	0,35	9,92	3,49	1,06	16,54	5,81	1,76
1,5	0,29	1,49	0,52	0,16	4,46	1,57	0,48	7,44	2,61	0,79
2,0	0,21	0,81	0,28	0,09	2,42	0,85	0,26	4,04	1,42	0,43

Висновки

В роботі підтверджено високу ефективність використання електростатичних МЕМС-перетворювачів в якості мікроелектронних акселерометрів, робота яких заснована на перетворенні електричної енергії в електростатичну силову взаємодію стаціонарного (нерухомого) електрода з рухомих (інерційним) електродом заданої маси.

Проведений аналіз поведінки рухомого електрода акселерометра на основі електростатичного МЕМС-перетворювача під дією зовнішньої періодичної сили. Встановлений аналітичний зв'язок чутливості та резонансної частоти акселерометрів з їх основними конструктивними параметрами: масою рухомого

електрода, жорсткістю пружного підвісу і механічним опором системи. Надані рекомендації щодо оптимального вибору конструктивних параметрів акселерометрів на етапі їх проектування.

В той же час, недоліками використаних аналітичних методів розв'язку рівнянь руху механічних систем є необхідність прийняття достатньо жорстких обмежень, справедливих тільки для усталених режимів роботи, що не дозволяє в повній мірі досліджувати перехідні процеси та явища нестабільності електростатичної рівноваги.

Література

1. Варадан В. В. МЭМС и их применение / Варадан В., Виной К., Джозе К. – М. : Изд-во Техносфера, 2004. – 528 с. – ISBN 5-94836-030-X.
2. Датчики инерциальной информации : учебное пособие / под ред. А.И. Черноморского. – М. : МАИ-ПРИНТ, 2011. – 356 с. : ил. – ISBN 978-5-7035-2298-1.
3. Hindrichsen C. C. MEMS accelerometer with screen printed piezoelectric thick film / C. C. Hindrichsen, R. Lau-Moeller, T. Bove, E. V. Thomsen // Proc. IEEE Sensors. IEEE. – 2006. – P. 1477–1480.
4. Wagner J. Piezoelectric accelerometers. Theory and application. Radebeul / Wagner J., Burgemeister J. – Germany : Manfred Weber Metra Mess- und Frequenztechnik in Radebeul e.K., 2012. – 47 p.
5. Je Ch. H. Sensing gap reconfigurable capacitive type MEMS accelerometer / Ch. H. Je, M. Lee, S. Jung et al. // Proc. SPIE. – 2008. – 6800. – 68001Z.
6. Renard S. Industrial MEMS on SOI / S. Renard // Journ. Micromech. Microeng. – 2000. – 10, N 2. – P. 245–249.
7. Narasimhan V. Monolithic CMOS-MEMS integration for high-g accelerometers / V. Narasimhan, H. Li, Ch. S. Tan // Proc. SPIE. – 2014. – 9254. – 925410.
8. Колпаков Ф. Ф. Квазистатические характеристики системы двухэлектродных MEMS-конденсаторов / Ф. Ф. Колпаков, Н. Г. Борзяк // Радиотехника. – 2007. – № 148. – С. 245–249.
9. Багинский И.Л. Ёмкостные МЭМС-акселерометры сверхвысоких ускорений / И.Л. Багинский, Э.Г. Косцов // Автометрия. – 2017. – Т. 53, № 3. – С. 107–116.
10. Колпаков Ф. Ф. Динамическое моделирование электростатически управляемого MEMS-конденсатора в диапазоне рабочих температур (293...323) / Ф. Ф. Колпаков, Н. Г. Борзяк // К. Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника, [S.l.]. – May 2008. – V. 51, n. 5. – P. 33–42. – ISSN 2307-6011.
11. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний / Пановко Я.Г. – Л. : Наука, 1989. – 252 с.
12. Daniel J. Effects of squeezed film damping on dynamic finite element analyses of MEMS / Daniel J. Keating, Dr. Lee Ho. – ISMA, 2000.
13. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле : монография / Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У. – 3-е изд. – М., 1984. – 470 с.
14. Babak Vakili Amini. Micro-gravity capacitive silicon-on-insulator accelerometers / Babak Vakili Amini and Farrokh Ayazi // Journal of Micromechanics and Microengineering. – (2005). – 15. – P. 2113–2120.

References

1. Varadan V. V. MEMS i ih primenienie / Varadan V., Vinoy K., Djoze K. – M. : Izd-vo Tehnosfera, 2004. – 528 s. – ISBN 5-94836-030-H.
2. Datchiki inertsiyalnoy informatsii : uchebnoe posobie / pod red. A.I. Chernomorskogo. – M. : MAI-PRINT, 2011. – 356 s. : il. – ISBN 978-5-7035-2298-1.
3. Hindrichsen C. C. MEMS accelerometer with screen printed piezoelectric thick film / C. C. Hindrichsen, R. Lau-Moeller, T. Bove, E. V. Thomsen // Proc. IEEE Sensors. IEEE. – 2006. – P. 1477–1480.
4. Wagner J. Piezoelectric accelerometers. Theory and application. Radebeul / Wagner J., Burgemeister J. – Germany : Manfred Weber Metra Mess- und Frequenztechnik in Radebeul e.K., 2012. – 47 p.
5. Je Ch. H. Sensing gap reconfigurable capacitive type MEMS accelerometer / Ch. H. Je, M. Lee, S. Jung et al. // Proc. SPIE. – 2008. – 6800. – 68001Z.
6. Renard S. Industrial MEMS on SOI / S. Renard // Journ. Micromech. Microeng. – 2000. – 10, N 2. – P. 245–249.
7. Narasimhan V. Monolithic CMOS-MEMS integration for high-g accelerometers / V. Narasimhan, H. Li, Ch. S. Tan // Proc. SPIE. – 2014. – 9254. – 925410.
8. Kolpakov F. F. Kvazistaticheskie harakteristiki sistemyi dvuhelektroodnyih MEMS-kondensatorov / F. F. Kolpakov, N. G. Borzyak // Radiotekhnika. – 2007. – № 148. – S. 245–249.
9. Baginskiy I.L. Ёmkostnyie MEMS-akselerometriyi sverhvyisokih uskoreniy / I.L. Baginskiy, E.G. Kostsov // Avtometriya. – 2017. – T. 53, № 3. – S. 107–116.
10. Kolpakov F. F. Dinamicheskoe modelirovanie elektrostatiicheski upravlyaemogo MEMS-kondensatora v diapazone rabochih temperatur (293...323) / F. F. Kolpakov, N. G. Borzyak // K. Izvestiya vysshih uchebnyih zavedeniy. Radioelektronika, [S.l.]. – May 2008. – V. 51, n. 5. – P. 33–42. – ISSN 2307-6011.
11. Panovko YA.G. Vvedenie v teoriyu mehanicheskikh kolebaniy / Panovko YA.G. – L. : Nauka, 1989. – 252 s.
12. Daniel J. Effects of squeezed film damping on dynamic finite element analyses of MEMS / Daniel J. Keating, Dr. Lee Ho. – ISMA, 2000.
13. Timoshenko S.P. Kolebaniya v inzhenernom dele : monografiya / Timoshenko S.P., YAng D.H., Uiver U. – 3-e izd. – M., 1984. – 470 s.
14. Babak Vakili Amini. Micro-gravity capacitive silicon-on-insulator accelerometers / Babak Vakili Amini and Farrokh Ayazi // Journal of Micromechanics and Microengineering. – (2005). – 15. – R. 2113–2120.

Рецензія/Peer review : 25.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Підченко С.К.

В. І. СТЕЦІЮК, В. В. МІШАН, В. В. КРИЛІВСЬКИЙ

Хмельницький національний університет

СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ

Масове впровадження автоматизації на виробництво, еволюція комп'ютерів та мобільних пристроїв, застосування величезної кількості датчиків, що передають дані в глобальну мережу, а також побутових інтернет-технологій вимагають розробки новітніх засобів управління телекомунікаційними мережами. В даній роботі розглянуто проблемні аспекти системи управління телекомунікаціями. Уточнено структуру мережі управління телекомунікаціями, яка представляє собою спосіб взаємодії розподілених прикладних програм відповідно до моделі взаємозв'язків відкритих систем OSI. Проведено аналіз концепцій побудови та функціонування систем управління телекомунікаційними мережами та сервісами. Для мережевого управління за стандартами TMN розроблена математична модель категорій управління несправностями, визначено коефіцієнт готовності та оптимальне значення періоду опитування пристроїв.

Ключові слова: мережа, система, управління, інформація, телекомунікації, архітектура, ієрархія.

V. I. STETSIUK, V. V. MISHAN, V. V. KRYLIVSKIY

Khmelnitskyi National University

AUTOMATED CONTROL SYSTEMS TELECOMMUNICATIONS NETWORKS

The massive introduction of automation to production, the evolution of computers and mobile devices, the introduction of a huge number of sensors, transmitting data to the global network, as well as everyday Internet technologies, require the development of the latest means of managing telecommunications networks. One of the key areas is the development of information infrastructure, including the creation of information systems that allow you to receive, process, analyse and store data. The most widespread class of distributed information systems is hierarchical systems used in transnational companies, vertically integrated and state-owned companies. Today, the existing technology of building control systems does not allow the construction of an integrated management system entirely based on the telecommunications management system (TMN). Relevant processes implement distributed systems of management of a new type, which represent a system of interconnections in time and space of protocol, computing, algorithmic and switching means and is an essential element of networks, regardless of their architecture and the principle of intellectualization. The complex solution of the above-mentioned tasks represents a complex scientific problem related to the development of scientifically based methods for analysing systems that support the maintenance, maintenance, administration and management of telecommunication networks and their elements. In this paper the problematic aspects of telecommunication management system are solved. The structure of the telecommunication management network is specified, which is a way of interaction of distributed applications in accordance with the model of interconnections of open systems OSI. The analysis of concepts of construction and functioning of telecommunication networks and services management systems is carried out. For TMN's network management, a mathematical model of malfunction management categories has been developed, a readiness factor, a survey time, and an optimal value of the device survey period have been determined.

Keywords: network, system, management, information, telecommunications, architecture, hierarchy.

Вступ

На сучасному етапі розвитку суспільства відбувається прискорення інформатизації різних аспектів його діяльності, зокрема, збільшення темпів створення та розвитку телекомунікаційної інфраструктури. Масове впровадження автоматизації на виробництво, еволюція комп'ютерів та мобільних пристроїв, впровадження величезної кількості датчиків, що передають дані в глобальну мережу, а також побутових інтернет технологій викличе вибуховий ріст обсягу інформації. Одним із ключових напрямків є розвиток інформаційної інфраструктури, в тому числі створення інформаційних систем, що дозволяють отримувати, обробляти, аналізувати і зберігати дані [1–3]. Глобалізація і вдосконалення комунікаційного середовища, як ще один аспект інформатизації, акцентують увагу розробників та користувачів на розподілених систем. Найбільш поширений клас розподілених інформаційних систем – це ієрархічні системи, які використовуються в транснаціональних компаніях, вертикально-інтегрованих і державних компаній. Сьогодні наявні технології побудови систем управління не дають можливості побудови інтегрованої системи управління цілком на базі системи управління телекомунікаціями (TMN). Відповідні процеси реалізують розподілені системи управління нового типу, які представляють собою систему взаємозв'язків у часі та просторі протокольних, обчислювальних, алгоритмічних та комутаційних засобів і є необхідним елементом мереж незалежно від їх архітектури та принципу інтелектуалізації. Комплексне рішення вищезгаданих завдань представляє складну наукову проблему, пов'язану з розробкою науково обґрунтованих методів аналізу систем, що забезпечують підтримку процесів експлуатації, технічного обслуговування, адміністрування та управління телекомунікаційними мережами та їх елементами.

Основна частина

Різноманітність варіантів використання мережевих та інформаційних технологій, наявність багатопрокольних трафіків роблять задачу ефективного функціонування телекомунікаційних мереж досить складною. Ця задача може бути вирішена, лише шляхом створення системи управління мережею, побудованої на розподілених технологіях [4].

TMN – мережа управління телекомунікаціями, яка представляє собою спосіб взаємодії розподілених прикладних програм (рис. 1). Основна проблема полягає в уніфікації правил роботи в таких мережах, які б задовольняли вимогам управління. Суть всіх стандартів ITU-T зводиться до визначення наступних чотирьох засобів [5]:

- структура і принципи входу/вихід в мережу;
- засоби взаємодії між об'єктами управління (протоколи);
- засоби структурного опису наборів даних та операцій (об'єктно-орієнтована, структурна мова опису даних);
- системи підтримки роботи розподілених об'єктів (інформаційна база даних та засобів роботи з нею).

Основна задача управління телекомунікаційною мережею – забезпечення її функціонування з заданим набором та високою якістю наданих послуг при мінімальній витраті ресурсів. Структура системи управління телекомунікаційними мережами відповідно до моделі взаємозв'язків відкритих систем (OSI, рис. 2) будується за ієрархічним принципом і має п'ять рівнів управління.

Архітектура розподіленого управління повинна мати високий ступінь гнучкості, для того щоб не залежати від топології самої телекомунікаційної мережі і архітектури управління. Використовуючи об'єктно-орієнтований підхід, розподілене керування в телекомунікаційних системах можна розглядати в функціональній площині як підмножину абстрактних типових функціональних блоків:

- мережевий елемент NEF (Network Element Function), який є моделлю довільного елемента мережі, що підлягає управлінню;
- операційна система OSF (Operations System Function), що забезпечує виконання функцій обробки, зберігання та пошуку управляючої інформації;
- робоча станція WSF (Work Station Function), через яку організовують людино-машинний інтерфейс між системою управління і людиною-оператором;
- медіатор (проміжний пристрій сполучення) MF (Mediation Function), який обробляє інформацію, що проходить між блоками NEF і OSF і здійснює проміжну обробку та зберігання даних, перетворення протоколів і т. п.

- Q-адаптер QAF (Q-Adapter Function), який призначений для взаємодії з мережевими елементами або операційними системами, що мають непередбачувані в TMN інтерфейси.

На функціональних блоках NEF і OSF будуються ядра архітектури розподіленого управління і відповідно до ієрархії визначаються функціональний блок OSF чотирьох рівнів:

- управління елементами (E-OSF),
- управління мережею (N-OSF),
- управління обслуговуванням (S-OSF),
- адміністративного управління (B-OSF).

Найнижчий рівень являє телекомунікаційну мережу, як сукупність окремих мережових елементів зі своїми автономними системами управління у вигляді комутаційних станцій, систем передачі, мультимплексорів, комплектів тестового обладнання і т. д. Інформація про стан цих мережових елементів надходить на рівень управління мережевими елементами, а звідти вниз, до мережних елементів, йдуть керуючі впливи. Ступінь автоматизації управління може бути різним і зазвичай має місце поєднання автоматизованих і ручних процедур. На цьому рівні здійснюється контроль, відображення параметрів роботи, технічне обслуговування, тестування, конфігурація окремих елементів або деяких їх підмножин. Рівень управління мережею дозволяє охопити єдиним поглядом всю мережу, контролюючи підмножини мережових елементів в їх взаємозв'язку між собою.

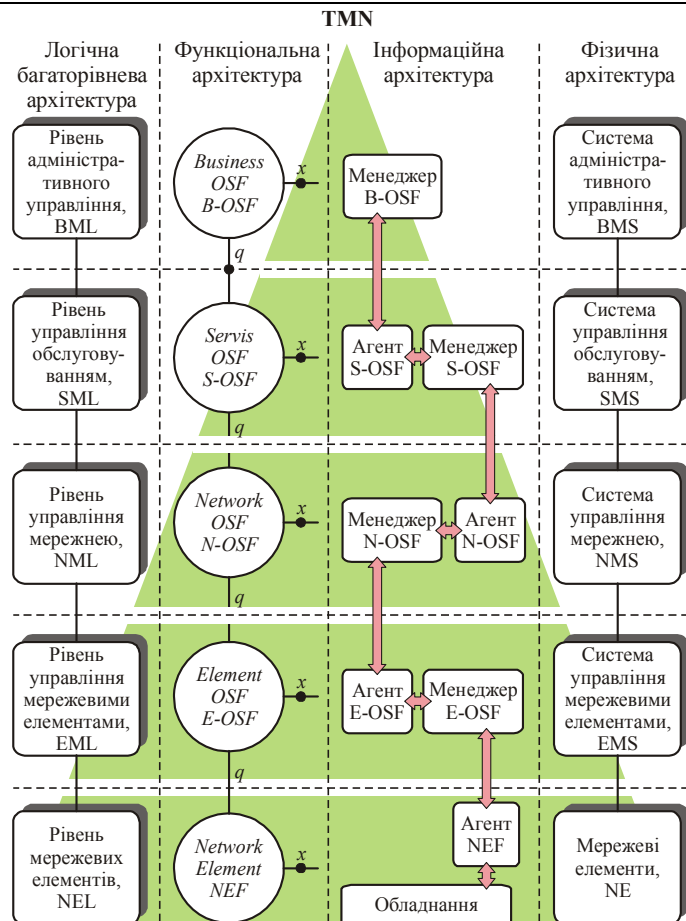


Рис. 1. Функціональна ієрархія TMN і систем підтримки

Рівень управління обслуговуванням, на відміну від всіх нижчих рівнів, які безпосередньо пов'язані з мережею, тобто з технічними засобами, "звернений обличчям" до користувача. Тут приймаються рішення з надання та припинення послуг, здійснюється ведення відповідного планування та обліку і т. п. Ключовим фактором тут є забезпечення якості обслуговування.

Рівень адміністративного управління забезпечує функціонування компанії-оператора мережі зв'язку. На цьому рівні вирішуються організаційні та фінансові питання, здійснюється взаємодія з компаніями-операторами інших телекомунікаційних мереж. На сьогоднішній день розроблені і пропонуються провідними фірмами системи управління мережами зв'язку, які реалізують функції рівнів не вище, ніж управління елементами або управління мережею, в окремих випадках – управління обслуговуванням.

Всі функції, пов'язані з управлінням телекомунікаційними системами, можна розбити на дві частини: загальні та прикладні. Загальні функції забезпечують підтримку прикладних рівнів і включають, наприклад, переміщення керуючої інформації між елементами телекомунікаційної мережі, її зберігання, відображення, сортування, пошук і т.п.

Прикладні функції розподіленого управління відповідно до класифікації ITU поділяються на п'ять категорій:

- управління якістю роботи;
- управління конфігурацією;
- управління усуненням несправностей;
- управління безпекою;
- управління розрахунками.

Управління якістю роботи має на меті підтримку на необхідному рівні основних характеристик мережі. Воно включає збір, обробку, реєстрацію, зберігання та відображення статистичних даних про роботу мережі і її елементів, виявлення тенденцій в їх поведінці і попередження про можливі порушення в роботі.

Управління конфігурацією забезпечує інвентаризацію мережевих елементів (їх типи, місцезнаходження, ідентифікатори і т.п.), включення елементів в роботу, їх конфігурацію та виведення з роботи; встановлення і зміну фізичних з'єднань між елементами.

Управління усуненням несправностей забезпечує можливості виявлення, визначення місця розташування несправностей в мережі, їх реєстрацію, доведення відповідної інформації до обслуговуючого персоналу, видачу рекомендацій щодо усунення несправностей.

Управління безпекою необхідно для захисту мережі від несанкціонованого доступу може включати обмеження доступу за допомогою паролів, видачу сигналів тривоги при спробах несанкціонованого доступу, відключення небажаних користувачів, або навіть криптографічний захист інформації.

Управління розрахунками здійснює контроль за використанням мережевих ресурсів і підтримує функції нарахування оплати за їх використання.

Розглянемо модель функціонального інтерфейсу TMN. Кожен мережевий елемент представляє систему масового обслуговування (СМО), таким чином, на рівні мережевих елементів паралельно функціонують "N" систем масового обслуговування, які позначимо номером «0». На вхід усіх "N" систему масового обслуговування 0 надходять аварійні сигнали, які характеризують потік несправностей у обладнанні мережевих елементів з інтенсивністю $\lambda^{(1)}(1), \lambda^{(1)}(2), \dots, \lambda^{(1)}(j), \dots, \lambda^{(1)}(N)$, де "N" – число мережевих елементів, $j=1, 2, \dots, N$. Процес взаємодії із застосуванням пристрою послідовного опитування починається з того моменту, коли система управління елементами мережі (EMS) потребуватиме дані для операції. Враховуючи, що даний процес є Марківським з безперервним часом, виділимо його стани: готовність, опитування, відмова (рис. 3).

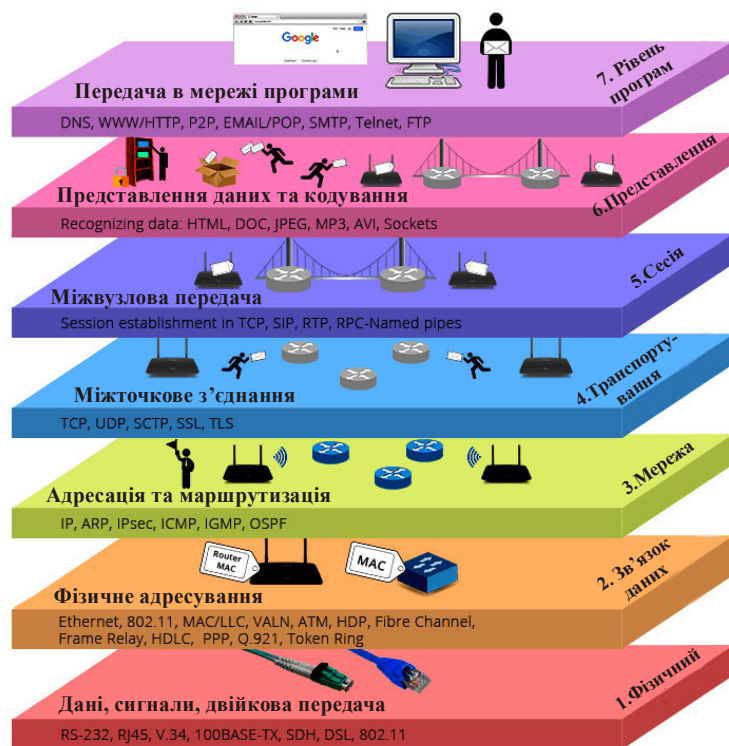


Рис. 2. Модель OSI

Для визначення можливих станів процесу в стаціонарному режимі, складаємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dP_1(t)}{dt} = -(a_{12} + a_{13})P_1(t) + a_{21}P_2(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = -a_{21}P_2(t) + a_{12}P_1(t) + a_{32}P_3(t); \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = -a_{32}P_3(t) + a_{13}P_1(t) \end{cases} \quad (1)$$

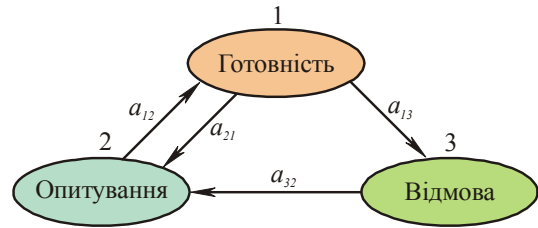


Рис. 3. Граф переходів опитуваних пристроїв

Рішивши дану систему, отримуємо вираз для вірогідності знаходження пристроїв в стані готовності P_1 :

$$P_1 = K_z = \frac{1}{(\tau_{\text{перем.}} / T_{\text{опит.}}) + \lambda_{\text{неспр.}} (\tau_{\text{перем.}} + T_{\text{опит.}}) + e^{-\lambda_{\text{неспр.}} T_{\text{перем.}}}} \quad (2)$$

Для визначення оптимальних значень вірогідності знаходження у стані готовності, необхідно скористатися похідною від функції, за допомогою якої можна дослідити дану функцію на монотонність та екстремум. Візьмемо часткову похідну від коефіцієнта готовності K_z за часом опитування $T_{\text{опит.}}$. Вона має вигляд:

$$\frac{\partial K_z}{\partial T_{\text{опит.}}} = \frac{(\tau_{\text{перем.}} / T_{\text{опит.}}^2) - \lambda_{\text{неспр.}} + \lambda_{\text{неспр.}} e^{-\lambda_{\text{неспр.}} T_{\text{перем.}}}}{\left((\tau_{\text{перем.}} / T_{\text{опит.}}) + \lambda_{\text{неспр.}} (\tau_{\text{перем.}} + T_{\text{опит.}}) + e^{-\lambda_{\text{неспр.}} T_{\text{перем.}}} \right)^2} \quad (3)$$

Для знаходження екстремуму, прирівняємо цей вираз до нуля. Тоді оптимальне значення періоду опитування пристроїв:

$$T_{\text{опит.}} = \arg \left[(\tau_{\text{перем.}} / T_{\text{опит.}}^2) - \lambda_{\text{неспр.}} + \lambda_{\text{неспр.}} e^{-\lambda_{\text{неспр.}} T_{\text{перем.}}} \right] = 0 \quad (4)$$

Всі можливі комбінації варіантів зв'язку при взаємодії показані на рис. 4. Проміжне програмне забезпечення (ППЗ) баз даних забезпечує доступ до локального або віддаленого ресурсу даних і включає в себе деякі низькорівневі засоби ППЗ комунікацій, необхідні для зв'язку клієнта і сервера. Основна задача ППЗ баз даних – приховати складне розташування розподіленого ресурсу даних. Проміжне програмне забезпечення баз даних включає шлюзи, концентратори, універсальні API-інтерфейси, СУБД, процесори перетворення даних, а також інструментальні засоби передачі змін між декількома екземплярами баз даних.

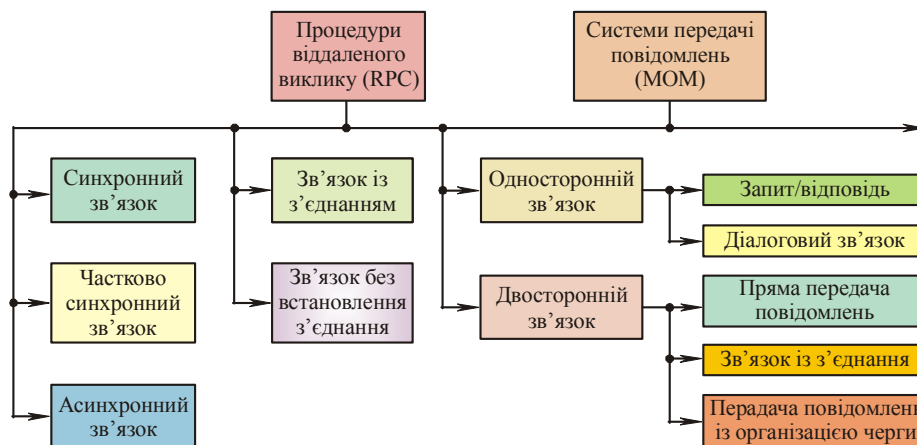


Рис. 4. Моделі і типові схеми комунікацій

Шлюзи і концентратори баз даних забезпечують доступ мовою SQL до різноманітних джерел даних. Коли джерела не підтримують SQL, шлюзи транслюють SQL-запити, отримані від додатків, в запити, зрозумілі цільовій базі даних. Концентратор бази даних аналогічний шлюзу, але може мати справу з декількома джерелами даних одночасно.

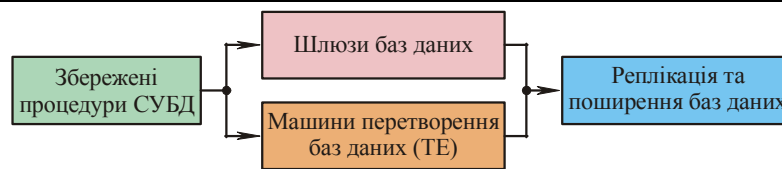


Рис. 5. Процедури СУБД

Даний тип програмного забезпечення (рис. 5) представляє собою ППЗ комунікацій з рядом додаткових функцій, які зазвичай відносяться до операційної системи. Воно відділяє додаток від мережевого програмного забезпечення та ОС, не тільки забезпечуючи API-інтерфейс більш високого рівня для комунікації, але і допомагає зробити прозорими ряд інших завдань: керування пам'яттю, управління процесами (включаючи їх автоматичний запуск і завершення), виявлення помилок і, іноді навіть автоматичне відновлення (наприклад, включення дублюючої системи). Також доступні деякі додаткові послуги, подібні до балансування завантаження та управління транзакціями. Платформне проміжне програмне забезпечення включає в себе сервери додатків, монітори обробки транзакцій та об'єктних запитів.

Висновки

Уточнено структуру мережі управління телекомунікаціями, яка представляє собою спосіб взаємодії розподілених прикладних програм відповідно до моделі взаємозв'язків відкритих систем OSI. Проведено аналіз концепцій побудови та функціонування систем управління телекомунікаційними мережами та сервісами. Для мережевого управління за стандартами TMN розроблена математична модель категорій управління несправностями, визначено коефіцієнт готовності, час опитування та оптимальне значення періоду опитування пристроїв.

Література

1. Стецюк В. І. Аналіз методів кодування інформації в цифровому телебаченні / В. І. Стецюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : міжнародний науково-технічний журнал. – 2000. – № 3. – С. 78–82.
2. Стецюк В. І. Вплив психовізуальної надлишковості телевізійних повідомлень на спектр частот відеосигналів / В. І. Стецюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : міжнародний науково-технічний журнал. – 2001. – № 3. – С. 77–79.
3. Стецюк В. І. Аналіз систем обмеженого доступу в мережах кабельного телебачення / В. І. Стецюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : міжнародний науково-технічний журнал. 2002. – № 2. – С. 172–178.
4. Стецюк В. І. Підвищення якості обробки сигналів цифрового телебачення / В. І. Стецюк, О. А. Мідяниць // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : міжнародний науково-технічний журнал. – 2006. – № 2. – С. 66–71.
5. Стецюк В. І. Аналіз і вдосконалення методів синхронізації телекомунікаційних систем / В. І. Стецюк, В. Р. Любчик, І. В. Файфура // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький, 2015. – № 3. – С. 232–238.

References

1. Stetsiuk V. I. Analiz metodiv koduvannya informatsii v tsyfrovomu telebachenni / V. I. Stetsiuk // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh : mizhnarodnyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal. – 2000. – № 3. – S. 78–82.
2. Stetsiuk V. I. Vplyv psikhovizualnoi nadlyshkovosti televiziinykh povidomlen na spektr chastot videosyhnaliv / V. I. Stetsiuk // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh : mizhnarodnyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal. – 2001. – № 3. – S. 77–79.
3. Stetsiuk V. I. Analiz system obmezenoho dostupu v merezhakh kabelnoho telebachennia / V. I. Stetsiuk // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh : mizhnarodnyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal. 2002. – № 2. – S. 172–178.
4. Stetsiuk V. I. Pidvyshchennia yakosti obrobky syhnaliv tsyfrovoho telebachennia / V. I. Stetsiuk, O. A. Midianys // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh : mizhnarodnyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal. – 2006. – № 2. – S. 66–71.
5. Stetsiuk V. I. Analiz i vdoskonalennia metodiv synkhronizatsii telekomunikatsiinykh system / V. I. Stetsiuk, V. R. Liubchik, I. V. Faifura // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu. – Khmelnytskyi, 2015. – № 3. – S. 232–238.

Рецензія/Peer review : 7.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.
Рецензент: д.т.н., доц. Любчик В.Р.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА САМОПОДІБНІСТЬ ТРАФІКУ В IP-МЕРЕЖАХ

У статті пропонується заснований на застосуванні модифікованого експоненціального розподілу аналітичний метод розрахунку середньої затримки, вірогідність втрати (за часом) пакету і параметра Херста для ланки IP-мережі з самоподібним трафіком.

Ключові слова: самоподібність, якість обслуговування.

M.A. SHEVCHENKO, K.L. HORIASCHENKO, O.Y. KUCHERUK

Khmelnytskyi National University, Ukraine

PROVIDING THE QUALITY OF SERVICE AND SELF-SIMILARITY OF TRAFFIC IN IP-BASED NETWORKS

Increasing of telecommunication traffic had rise up problems of packet transferring. Modern networks also known as "Next Generation Network" had come to solve problems of transferring three basic types of media – voice, video and data streams.

Quality of Service (QoS) technology developed and successfully implemented in all modern softwares with full support in hardwares. QoS used for data stream reservation, network traffic reservation and quick rerouting of packet throughout the network.

In main part of article it is shown voice and video streams requiring delivering packets without delays and repeats. Packets with data can be delivered with delays and repeats in case of transmission faults. Researches had shown what media traffic generates self-like traffic well-known as "fractals". As a result, it is shown memory-effect in NGN. The largest multimedia content in network, the largest correlation between packets in time.

Concept "Quality of service" required to control internet packets. In article it is shown to use Herst value to identify self-like networks. Herst value allow for determining type of QoS.

Keywords: fractal, traffic, Herst value, QoS.

Вступ. В Україні усіма операторами зв'язку проводяться роботи за рішенням концепції NGN (Next Generation Network), тобто створення універсальної мережі зв'язку наступного покоління, що забезпечує надання необмеженого набору послуг з гнучкими налаштуваннями з їх управління, персоналізації, створення нових послуг за рахунок уніфікації мережевих рішень. Концепція і архітектура NGN забезпечує перехід до IP-стандарту і ріст доходів за рахунок надання нових послуг.

Основна відмінність мереж наступного покоління від традиційних мереж в тому, що уся інформація, циркулююча в мережі, розбита на дві складові. Це сигнальна інформація, що забезпечує комутацію абонентів і надання послуг, і безпосередньо призначені для користувача дані, що містять корисне навантаження, призначене абонентів (голос, відео, дані). Шляхи проходження сигнальних повідомлень і призначеного для користувача навантаження можуть не співпадати. На сьогодні основним пристроєм для голосових послуг в мережах NGN являється Soft-switch (програмний комутатор), який управляє VoIP сесіями. Також важливою функцією програмного комутатора є зв'язок мереж наступного покоління NGN з існуючими традиційними мережами СТОП, за допомогою сигнального і медіа-шлюзів, які можуть бути виконані в одному пристрої.

Проблема переходу від традиційних мереж з комутацією каналів до мереж з комутацією пакетів (NGN) є однією з найбільш актуальних для операторів зв'язку. Перспективні розробки в області IP-комунікацій пов'язані зі створенням комплексних рішень, що дозволяють під час розвитку мереж наступного покоління зберігати існуючі підключення і забезпечити безперебійну роботу у будь-якій мережі: на інфраструктурі мідних пар, по оптичних каналах, на безпроводній (WiMAX, WiFi) і дротяній (ETTH, PLC і т. д.) мережі.

Основна відмінність NGN-сетей від мереж старого покоління полягає в тому, що ділення між транспортним рівнем і рівнем надання послуг стає швидше логічним, ніж фізичним, тому що NGN-сеть має на увазі легкий і швидкий запуск нових послуг. Саме у цьому і зацікавлені оператори зв'язку – не в побудові транспорту для кожної нової послуги, а в швидкому розгортанні послуг на базі сучасних платформ.

Компонентами мережі NGN є:

- універсальна транспортна мережа, яка включає IP-ядро мережі і мережі доступу, що використовують різні технології;

- система надання сервісів;
- система обліку абонентів, білінгова система;
- системи управління мережею.

Отже, при цьому усі інформаційні потоки інтегруються в єдину мережу.

Концепція мультисервісності містить декілька аспектів, що відносяться до різних сторін побудови мережі:

- конвергенція завантаження мережі, що визначає передачу різних типів трафіку у рамках єдиного формату представлення даних, яка визначає тенденцію використання мереж з комутацією пакетів для передачі і аудіо- і відеопотоків, і власне цих мереж;

- конвергенція протоколів, що визначає перехід від безлічі існуючих мережевих протоколів до загального (як правило, IP) і при цьому мультисервісні мережі орієнтуються на єдиний протокол і різні сервіси, що вимагаються для підтримки різних типів трафіку;
 - фізична конвергенція, що визначає передачу різних типів трафіку у рамках єдиної мережевої інфраструктури, тобто і мультимедійний, і голосовий трафіки можуть бути передані з використанням одного і того ж устаткування з урахуванням різних вимог до смуги пропускання, затримок і «тремтіння» частоти;
 - конвергенція пристроїв, що визначає тенденцію побудови архітектури мережевих пристроїв, здатної у рамках єдиної системи підтримувати різнотипний трафік. Так, комутатор підтримує комутацію Ethernet-пакетів, IP-маршрутизацію і з'єднання ATM. Облаштування мережі можуть обробляти дані, що передаються відповідно до загального протоколу мережі (наприклад, IP), і різні сервісні вимоги (наприклад, гарантії ширини смуги пропускання, затримку та ін.);
 - конвергенція додатків, що визначає інтеграцію різних функцій у рамках єдиного програмного засобу (наприклад, Web-браузер дозволяє об'єднати у рамках однієї сторінки мультимедіа-дані типу звукового, відеосигналу, графіки високого розділення та ін.);
 - конвергенція технологій виражає прагнення до створення єдиної загальної технологічної бази для побудови мереж зв'язку, здатного задовольнити вимоги і регіональних мереж зв'язку, і локальних обчислювальних мереж;
 - організаційна конвергенція, що припускає централізацію служб мережевих, телекомунікаційних, інформаційних під управлінням менеджерів вищої ланки. Це забезпечує необхідні організаційські передумови для інтеграції голосу, відеосигналу і даних в єдиній мережі.
- Усі перераховані аспекти визначають різні сторони проблеми побудови мультисервісних мереж, здатних передавати трафік різного типу як в периферійній частині мережі, так і в її ядрі.

Постановка проблеми

Мультисервісна мережа передачі даних припускає сучасний підхід до організації зв'язку. Єдина мережа забезпечить роботу прикладних завдань, надання внутрішньовідомчого телефонного зв'язку і відеоконференцзв'язку, середовище для роботи додатків дистанційного навчання службовців, вирішить завдання автоматизації обробки звернень громадян або споживачів послуг. Мережа надасть можливість розділення та ізоляції інформаційних потоків різних відомств, підрозділів установ.

Отже, з кожним роком мережеві застосування вимагають для своєї роботи все більшої смуги пропускання і менших тимчасових затримок і підтримка якості обслуговування (QoS) опорної IP-мережею є важливим завданням.

Перехід до систем пакетної передачі демонструє, що вживані методи розрахунку в традиційній телефонії не підходять для випадку комутації пакетів. Особливу значущість для проектування мовних і відео сервісів мають адекватні моделі трафіку як окремого джерела, так і мультиплексованих потоків.

Останні дослідження показують, що телекомунікаційний трафік для більшості видів сервісів є самоподібним (фрактальним). Пакетизована передача різних видів інформації зажадала перегляду багатьох завдань теорії телетрафіку, пов'язаних з описом потоків і розрахунком навантажень на мережу у зв'язку з проявом властивостей самоподібності в мережевому трафіку. Пачковий характер трафіку створює складні умови функціонування мережевих структур, що знаходяться під його дією. Це викликано тим, що як довжина пачок, так і паузи між ними змінюються в широких межах тимчасових інтервалів.

Сучасний підхід для механізму забезпечення якості обслуговування Quality of Service

Мережі з комутацією пакетів на основі протоколу IP не забезпечують гарантованої пропускну здатності, оскільки не гарантують доставки.

Для додатків, де не важливий порядок і інтервал приходу пакетів, час затримок між окремими пакетами не має вирішального значення. IP-телефонія є однією з областей передачі даних, де важливий порядок приходу пакетів і важлива динаміка передачі сигналу, яка забезпечується сучасними методами кодування і передачі інформації. Транспортні протоколи стека TCP/IP, що функціонують поверх протоколу IP, не забезпечують високої якості обслуговування трафіку, чутливого до затримок.

Протокол TCP, хоч і гарантує достовірну доставку інформації, але переносить її з непередбачуваними затримками. Протокол UDP, який, як правило, використовується для перенесення інформації в реальному часі, забезпечує менший, в порівнянні з протоколом TCP, час затримки, але, як і протокол IP, не містить ніяких механізмів забезпечення якості обслуговування.

В той же час необхідно забезпечити механізми, по яких в періоди перевантаження пакети з інформацією, чутливою до затримок (наприклад, мова), не простоюватимуть в чергах або отримують більш високий пріоритет, ніж пакети з інформацією, не чутливою до затримок. Для цієї мети в мережі мають бути реалізовані механізми, що гарантують потрібну якість обслуговування (Quality of Service – QoS).

Об'єктивними, вимірюваними або даними показниками якості є:

- зміна затримки в мережі;
- пропускну здатність мережі.

Час відгуку оцінюється за:

- проміжком часу від моменту передачі пакету до моменту прийому підтвердження;
- часом затримки однонапрявленого наскрізного з'єднання, що також називається часом запізнювання (latency);
- пропускну здатністю.

Готовність і надійність оцінюється за:

- можливістю доставання доступу до ресурсів мережі або коефіцієнта використання;
- результатами контролю рівня обслуговування 24/7 (при режимі роботи 24 години в добу, 7 днів в тиждень).

Заходи забезпечення QoS, вживані в IP-мережах:

1. Резервування ресурсів (на час з'єднання просяться і резервуються необхідні для виконання додатка ресурси).

2. Пріоритезація трафіку (розділення трафіку в мережі на класи з пріоритетним порядком обслуговування деяких з них).

3. Перемаршрутизація (дозволяє при перевантаженні в мережі перекласти трафік на резервний маршрут; саме цим способом забезпечується QoS в переважній більшості контролерів SBC).

В сучасних IP-мережах перераховані заходи реалізуються за допомогою технологій IntServ, DiffServ і MPLS з використанням протоколу RSVP.

Основний розділ

Трафік реального часу в IP-мережах

Як правило, велику частину VoIP-трафіку складають потоки інформації, чутливої до затримок. Максимальна затримка не повинна перевищувати 250 мс, причому сюди входить і час обробки інформації на кінцевій станції. Варіацію затримки (джиттер) також необхідно звести до мінімуму. Крім того, необхідно враховувати, що при стискуванні інформація стає чутливішою до помилок, що виникають при передачі, і їх не можна виправляти шляхом повторного запиту саме через необхідність передачі в реальному часі.

Загальна затримка мовної інформації ділиться на дві основні частини – затримка при кодуванні і декодуванні мови в шлюзах або термінальному устаткуванні користувачів і затримка, що вноситься самою мережею. Зменшити загальну затримку можна двома шляхами: по-перше, спроектувати інфраструктуру мережі так, щоб затримка в ній була мінімальною, і, по-друге, зменшити час обробки мовної інформації шлюзом.

Для зменшення затримки в мережі треба скорочувати кількість транзитних маршрутизаторів і сполучати їх між собою високошвидкісними каналами. А для згладжування варіації затримки можна використати такі ефективні методи, як, наприклад, механізми резервування мережевих ресурсів.

Одним із способів уникнути того, щоб мова і інша інформація, що вимагає передачі в режимі реального часу, не простоювала в чергах нарівні із статичною інформацією (звичайні, не голосові дані), є виділення і сортування пакетів, що містять голосову інформацію – Diff - Serv

Опція DiffServ дозволяє класифікувати пакети з трафіку, що йде в локальну мережу. Робота DiffServ ґрунтується на ідентифікаторі DSCP, що є перші 6 біт поля TOS. DSCP визначає, як перенаправлятимуться пакети в DiffServ-мережі (PHB, Per - hop Behavior). Змінюючи значення цього ідентифікатора, різні види трафіку можна розподілити за пріоритетами в черзі.

Модель DiffServ описує архітектуру мережі як сукупність пограничних ділянок і ядра. Приклад мережі згідно з моделлю Diff - Serv наведений на рис. 1.

Достоїнства моделі Diff - Serv:

- забезпечує єдине розуміння того, як повинен оброблятися трафік певного класу;
- дозволяє розділити увесь трафік на відносно невелике число класів і не аналізувати кожен інформаційний потік окремо;

- немає необхідності в організації попереднього з'єднання і в резервуванні ресурсів;
- не потрібно високої продуктивності мережевого устаткування.

До теперішнього часу для Diff - Serv визначено два класи трафіку :

- клас термінової пересилки пакетів (Expedited Forwarding PHB Group);
- клас гарантованої пересилки пакетів (Assured Forwarding PHB Group).

Механізм забезпечення QoS на рівні мережевого пристрою, вживаний в Diff - Serv, включає наступні операції. Спочатку пакети класифікуються на підставі їх заголовків. Потім вони маркуються відповідно до зробленої класифікації (у полі пріоритету Diff - Serv залежно від маркіровки вибирається алгоритм передачі, за необхідності – з вибірковою видалянню пакетів), що дозволяє уникнути затворів в мережі. Завершальна операція найчастіше полягає в організації черг з урахуванням пріоритетів.

Трафік обчислювальних мереж має яскраво виражений асинхронний і пульсуючий характер. Комп'ютер посилає пакети в мережу у випадкові моменти часу, у міру виникнення в цьому необхідності. При цьому інтенсивність посилки пакетів в мережу і їх розмір можуть змінюватися в широких межах –

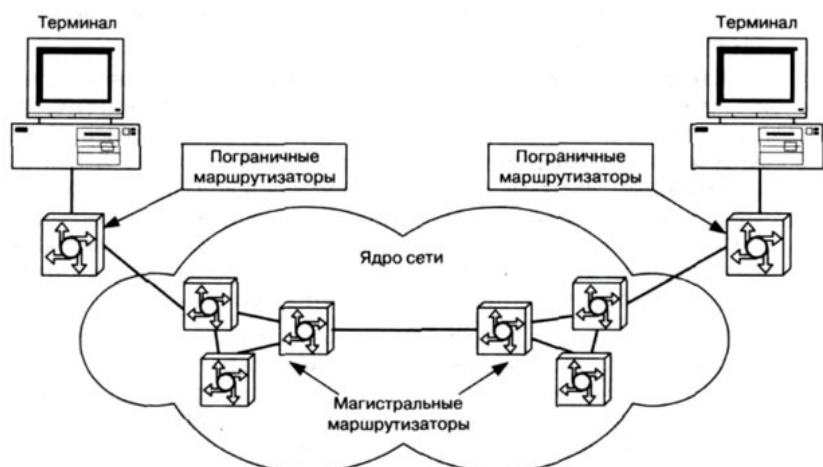


Рис. 1. Модель Diff - Serv

наприклад, коефіцієнт пульсацій трафіку (стосунки максимальної миттєвої інтенсивності трафіку до його середньої інтенсивності) протоколів без встановлення з'єднань може доходити до 200, а протоколів зі встановленням з'єднань – до 20. Чутливість комп'ютерного трафіку до втрат даних висока, оскільки без втрачених даних обійтися не можна і їх необхідно відновити за рахунок повторної передачі [6, 7, 8, 11].

Пакети поступають в мережу без попереднього резервування ліній зв'язку і не з фіксованою наперед заданою швидкістю, як це робиться в мережах з комутацією каналів, а в тому темпі, в якому їх генерує джерело. Передбачається, що мережа з комутацією пакетів на відміну від мережі з комутацією каналів завжди готова прийняти пакет вхід кінцевого вузла.

Процедура резервування пропускної спроможності може застосовуватися і в пакетних мережах. Проте основна ідея такого резервування принципово відрізняється від ідеї резервування пропускної спроможності в мережах з комутацією каналів. Різниця полягає в тому, що пропускна спроможність каналу мережі з комутацією пакетів може динамічно перерозподілятися між інформаційними потоками залежно від поточних потреб кожного потоку, чого не може забезпечити техніка комутації каналів.

Сервісні моделі QoS:

- Best Effort Service – негарантована доставка. Абсолютна відсутність механізмів QoS. Використовуються усі доступні ресурси мережі без якого-небудь виділення окремих класів трафіку і регулювання. Вважається, що кращим механізмом забезпечення QoS є збільшення пропускної спроможності, проте деякі види трафіку (наприклад, голосовий) дуже чутливі до затримок пакетів і варіації швидкості їх проходження. Модель Best Effort Service навіть за наявності великих резервів допускає виникнення перевантажень у разі різких сплесків трафіку [24].

- Integrated Service (IntServ) – модель інтегрованого обслуговування забезпечує наскрізну (End – to – End) якість обслуговування, гарантуючи необхідну пропускну спроможність. Може забезпечити наскрізну (End – to – End) якість обслуговування, гарантуючи необхідну пропускну спроможність. IntServ використовує для своїх цілей протокол сигналізації RSVP, який забезпечує виконання вимог до усіх проміжних вузлів. Дозволяє додатком виражати наскрізні вимоги до ресурсів і містить механізми забезпечення цих вимог. IntServ можна коротко охарактеризувати як резервування ресурсів (Resource reservation). При цьому маршрутизатори повинні зберігати інформацію про потоки і аналізувати кожен пакет, визначити чи належить він до конкретного потоку з тим, щоб направити пакет відповідно до критеріїв потоку.

- Differentiated Service – модель диференційованого обслуговування забезпечує QoS на основі розподілу ресурсів в ядрі мережі і певних класифікаторів і обмежень на межі мережі, комбінованих з метою надання необхідних послуг. У цій моделі вводиться розділення трафіку за класами, для кожного з яких визначається свій рівень QoS. DiffServ складається з управління формуванням трафіку (класифікація пакетів, маркіровка, управління інтенсивністю) і управління політикою (розподіл ресурсів, політика відкидання пакетів). DiffServ є найбільш відповідним прикладом «розумного» управління пріоритетом трафіку.

Обслуговуваний трафік X повинен розглядатися як сума декількох компонент :

$$X = \sum_{i=1}^n X_i = \sum_{i=1}^n \left(\lambda_i t + \sqrt{a_i \lambda_i} Z_t^{(i)} \right) = \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i \right) t + \sum_{i=1}^n \sqrt{a_i \lambda_i} Z_t^{(i)}, \quad (1)$$

де X_i – деякий стандартний процес, i , що описує i -у компоненту трафіку, і процеси X_i статистично незалежні;

$Z_t^{(i)}$ – фрактальний броунівський рух зі значенням параметра Херста H_i .

Отже, трафік, що поступає, складається з суміші декількох процесів з різними значеннями параметра Херста і має складну природу і важко досліджувати його властивості. Тому найбільш важливим є з'ясувати, наскільки істотно залежать його властивості від значень параметра Херста його компонент. З ростом параметра Херста такі статистичні властивості процесу як передбачуваність, розмах значень і тому подібне лише погіршуються. Точне визначення значення параметра Херста ускладнене у тому випадку, коли є лише одна копія трафіку. Тому визначити статистичними засобами усі параметри, що характеризують сумарний потік є неможливою, особливо якщо інтенсивності окремих компонент є відносно малими.

Висновки

Самоподібний трафік має особливу структуру, що зберігається при багатократному масштабуванні, тобто в реалізації є присутньою деяка кількість викидів при відносно невеликому середньому рівні трафіку.

Самоподібні процеси можна виявити за декількома рівноцінними ознаками [9]:

1) Вони мають гіперболічно згасаючу кореляційну функцію виду $R(k) \approx k^{(2H-2)} L(t)$ при $k \rightarrow \infty$.

Отже, кореляційна функція є не підсумовуваною і ряд, утворений послідовними значеннями кореляційної функції, розходиться $\sum_k R(k) = \infty$. Ця нескінченна сума є ще одним визначенням довготривалої залежності

(ДВЗ), тому усі самоподібні процеси є довготривало залежними. Наслідки цього істотні, оскільки кумулятивний ефект в широкому діапазоні затримок може значно відрізнятися від того, який спостерігається в короткочасній залежності (КВЗ) процесу (наприклад, пуассонівський). Аналіз телетрафіку базується на КВЗ, для яких ДВЗ можуть викликати серйозні наслідки. ДВЗ є причиною тривалих пульсацій, які перевищують середній рівень трафіку і це може призвести переповнюванню буферів і викликати втрати, затримки; дисперсія вибіркового середнього згасає повільніше, ніж величина зворотна розміру вибірки. Якщо

ввести в розгляд нову тимчасову послідовність $\{X_i^{(m)}; i = 1, 2, \dots\}$, отриману шляхом усереднювання первинної послідовності $\{X_i; i = 1, 2, \dots\}$ по послідовних блоках розміру m , що не перетинаються, тоді для самоподібних процесів характерне повільніше зменшення дисперсії згідно із законом $\sigma^2(X^{(m)}) \propto m^{2H-2}$ при $m \rightarrow \infty$, тоді як для теорії телетрафіку $\sigma^2(\{X_i^{(m)}; i = 1, 2, \dots\}) = \sigma^2 m^{-1}$, тобто зменшується обернено пропорційно до об'єму вибірки. Це говорить про те, що статистичні характеристики вибірки (середнє значення і дисперсія) сходяться особливо при H до 1. Це виражається на усіх заходах самоподібних процесів.

2) При розгляді самоподібного процесу в частотній області, прояв ДВЗ призводить до статичного характеру спектральної щільності поблизу нуля. А процеси КВЗ характеризуються спектральною щільністю, що має позитивне і кінцеве значення при $w=0$.

Неформально самоподібний (фрактальний) процес можна визначити як випадковий, статистичні характеристики якого проявляють властивості масштабування. Самоподібний процес істотно не змінює виду під час розгляду в різних масштабах за шкалою часу. Зокрема, на відміну від процесів, що не мають фрактальних властивостей, не відбувається його строго згладжування при усереднюванні за шкалою часу – процес зберігає схильність до сплесків [10, 11].

Література

1. Городецкий А.Я. Информатика. Фрактальные процессы в компьютерных сетях : учеб. пособие / Городецкий А.Я., Заборовский В.С. – СПб : Изд-во СПбГТУ, 2000. – 102 с.
2. Хастингс Н. Справочник по статистическим распределениям / Хастингс Н., Пикок Дж. – М. : Статистика, 1980. – 95 с.
3. Шелухин О.И. Фрактальные процессы в телекоммуникациях / Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В. – М. : Радиотехника, 2003. – 480 с.
4. Збаравський В.В. Реалізація концепції Triple play в мережі ADSL / В.В. Збаравський, К.Л. Горященко, Л.О. Ковтун // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 2. – С. 266–270.
5. Бертсекас Д. Сети передачи данных / Бертсекас Д., Галлагер Р. ; пер. с англ. – М. : Мир. 1989. – 544 с.
6. Крылов В.В. Теория телетрафика и ее приложения / Крылов В.В. Самохвалов С.С. – СПб : БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.
7. Лившиц Б.С. Теория телетрафика : учебник для вузов / Лившиц Б.С., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. – 2-е изд. – М. : Связь, 1979. – 224 с.
8. Бестугин А.Р. Контроль и диагностирование телекоммуникационных сетей / Бестугин А.Р., Богданова А.Ф., Стогов Г.В. – СПб : Политехника, 2003. – 174 с. : ил.
9. Данилов А.Н. Анализ методов оценки параметров трафика мультисервисной сети доступа / А.Н. Данилов, С.Т. Кайюмов // T-Comm Телекоммуникации и транспорт. – 2011. – № 3. – С. 38–39.
10. Власов А.И. Methods for predictive forecasting broadband networks [Електронний ресурс] / Власов А.И. / МГТУ. – Режим доступа : <http://swsys.ru>.
11. Треногин Н.Г. Фрактальные свойства сетевого трафика в клиент-серверной информационной системе / Н.Г. Треногин, Д.Е. Соколов // Вестник СУВПТ. – С. 163–172.
12. Горященко К.Л. Законодавча база застосування технологій керування телекомунікаційними мережами / К.Л. Горященко, І.В. Гула // Вісник ХНУ. – 2017. – № 4. – С. 256–262.

References

1. Gorodetskii A.Ia. Informatika. Fraktalnye protsessy v kompiuternykh setiakh : ucheb. posobie / Gorodetskii A.Ia., Zaborovskii V.S. – SPb : Izd-vo SPbGTU, 2000. – 102 s.
2. Khastings N. Spravochnik po statisticheskim raspredeleniiam / Khastings N., Pikok Dzh. – M. : Statistika, 1980. – 95 s.
3. Shelukhin O.I. Fraktalnye protsessy v telekommunikatsiiakh / Shelukhin O.I., Teniakshv A.M., Osin A.V. – M. : Radiotekhnika, 2003. – 480 s.
4. Zbaravskiy V.V. Realizatsiya kontseptsii Triple play v merezhi ADSL / V.V. Zbaravskiy, K.L. Horiashchenko, L.O. Kovtun // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2012. – № 2. – S. 266–270.
5. Bertsekas D. Seti peredachi dannykh / Bertsekas D., Gallager R. ; per. s angl. – M. : Mir. 1989. – 544 s.
6. Krylov V.V. Teoriia teletrafika i ee prilozheniia / Krylov V.V. Samokhvalov S.S. – SPb : BKhV-Peterburg, 2005. – 288 s.
7. Livshits B.S. Teoriia teletrafika : uchebnik dlia vuzov / Livshits B.S., Pshenichnikov A.P., Kharkevich A.D. – 2-e izd. – M. : Sviaz, 1979. – 224 s.
8. Bestugin A.R. Kontrol i diagnostirovanie telekommunikatsionnykh setei / Bestugin A.R., Bogdanova A.F., Stogov G.V. – SPb : Politehnika, 2003. – 174 s. : il.
9. Danilov A.N. Analiz metodov otcenki parametrov trafika multiservisnoi seti dostupa / A.N. Danilov, S.T. Kaiiumov // T-Comm Telekommunikatsii i transport. – 2011. – № 3. – S. 38–39.
10. Vlasov A.Y. Methods for predictive forecasting broadband networks [Elektronnyi resurs] / Vlasov A.Y. / MHTU. – Rezhym dostupu : <http://swsys.ru>.
11. Trenogin N.G. Fraktalnye svoistva setevogo trafika v klient-servernoi informatcionnoi sisteme / N.G. Trenogin, D.E. Sokolov // Vestnik SUVPT. – S. 163–172.
12. Horiashchenko K.L. Zakonodavcha baza zastosuvannia tekhnolohii keruvannia telekomunikatsiiny my merazhamy / K.L. Horiashchenko, I.V. Hula // Visnyk KhNU. – 2017. – № 4. – S. 256–262.

Рецензія/Peer review : 9.10.2018 р.

Надрукована/Printed : 11.11.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Підченко С.К.

NEUROEVOLUTION OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS FOR THE CLASSIFICATION OF LUNG CANCER IMAGES

Convolutional neural networks demonstrate impressive results during medical imaging of lung cancer. It may be possible to make diagnoses with convolutional neural networks on conventional chest X-rays that are definitively apparent on subsequently computed tomography and biopsy. Computer vision may reduce the need for further evaluation with invasive testing or prevent errors of missed diagnoses. Using over twelve thousand images of proven lung cancer from the Prostate, Lung, Colorectal, and Ovarian dataset, we developed an algorithm to predict the presence or absence of lung cancer. The classification algorithm has achieved an accuracy of 96.09% with a positive predictive value of 99.11% and a negative predictive value of 93.25%.

Keywords: convolutional neural networks, genetic algorithms, hyperparameters, dataset, lung cancer.

НЕЙРОЕВОЛЮЦІЯ КОНВОЛІЦІЙНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ЛІКУВАННЯ ЛЕГЕНЬ РАКУ

Згорткові нейронні мережі демонструють вражаючі результати під час медичної візуалізації раку легень. Є можливість провести діагнози з використанням згорткових нейронних мереж за звичайними рентгенівськими знімками грудної клітки, які остаточно проявляються на подальшій комп'ютерній томографії та біопсії. Комп'ютерне бачення може зменшити потребу в подальшій оцінці за допомогою інвазивного тестування або запобігання помилкам пропущених діагнозів. Використовуючи понад дванадцять тисяч зображень виявленого раку легень із набору даних з раком простати, легень, колоректальної та яєчників, ми представляємо алгоритм для прогнозування наявності або відсутності раку легень. Алгоритм класифікації досягнув точності розпізнавання 96.09% з позитивною прогностичною цінністю 99.11% та негативною прогностичною цінністю 93.25%.

Ключові слова: згорткові нейронні мережі, генетичні алгоритми, гіперпараметри, набір даних, рак легень.

Introduction

Over recent decades, the number of lung cancer patients has increased dramatically. Former or current smokers and those exposed to radiation or chemicals in the workplace have especially higher risks to the disease. According to the recent researches, over 1,465,000 people die every year from cancers, 18.2% of which is a variant of lung cancer [1]. The tumours resulting from this disease at a particular stage are visible to experienced radiologists on such mediums as chest X-rays, computed tomography scans, and positron emission tomography scans. The images of lung cancer serve as a preventative measure in several cases. Late detection of the disease leads to fatal consequences. Nowadays the level of survival from lung cancer is about 10% [2].

Owing to continued research into deep learning and convolutional neural networks (CNNs) during the past several years, image classification and object detection have shown tremendous improvements in performance [3]. Not only does the success of CNNs owe to computing power and large datasets but also the innovations into the model structure [4]. Replacement of the activation function on ReLU [5], insertion of dropout layers [6], fully connected layers, and various optimisation techniques significantly changed and improved approaches of using CNNs [7], [8].

Genetic algorithms are search heuristics that try to imitate the process of natural selection to find possible solutions to optimisation as well as search problems. They have two main components: genetic representation of the solution space and the ability to evaluate the fitness of solutions. At first, we form every possible CNN architecture through our genetic encoding scheme. Having trained the model on the training data, we evaluate the fitness of the solution. In the end, we test the trained solution on our test set, which then becomes the solution's fitness [9].

Genetic algorithms begin with the original population of genes and populations of problem-solving. Once every solution in the population is evaluated, they all are chosen based on their suitability for modification to create a new generation of solutions. In the result, the more fit the solution, the more likely it has a descendant. The population becomes better at solving the task with time. The algorithm ends when at least one individual across all generations is recognised as the best solution to the problem.

The use of neural networks in medical diagnosis

The use of data analysis on medical images is not a new approach to medical diagnosis. However, many applications of computer vision for medical applications struggle due to the medical data being noisy, inexact, sparse, or just too big. Therefore, algorithms of medical diagnosis based on CNNs have been continually improving.

In a recent project performed at the University of Bern, a group of researchers created a deep CNN architecture for the classification of lung diseases based on lung slices from computed tomography images that performed with an accuracy of 85.5% on its dataset [10]. They successfully classified lung computed tomography image patches between six different lung diseases. The dataset consisted of 2,032 different diseases. To handle such a diverse dataset, they balanced their classes using a dynamic tree-taxonomy. To eliminate the problem of small

training classes, researchers generated classes based on the number of examples rather than final diagnoses. It resulted in having 757 classes, instead of 2,032.

In another project performed at the Federal University of Parana, a CNN performed to classify images of cell slides of breast cancer patients [11]. Using the BreakHis dataset [12], researchers used AlexNet to classify microscopic biopsy images of benign and malignant breast tumours. Each slide of breast tissue contained four images, each with different levels of magnification. To handle the high-resolution nature of their dataset, they invoked a few techniques. The first was the use of sliding windows with 50% overlap, and the second was random crops of the raw image with no overlap.

The goal of the article and tasks to fulfil

For this paper, we used the modified NEAT algorithm, dubbed DeepNEAT [13], to evolve the architecture of CNN. We inserted convolution and pooling layers with pseudorandom hyperparameters into a minimal architecture and then optimised the weights through backpropagation on the training set. The fitness of a model is the final accuracy on the test set after two epochs of training.

During neural networks deployment, dozens of parameters require optimisation. Optimising parameters through any search algorithm is impractical, especially one based on chance.

We claim the following tasks that must be fulfilled:

1. The encoding had to be able to encode directed acyclic graphs of variable size;
2. Be able to track topological innovations over time,
3. Be able to create a new, coherent, individual from the genes of two parent individuals;
4. The encoding scheme must inherently allow for an efficient search for optimal network architectures.

Few encoding schemes satisfy all these requirements. We chose direct encoding in the form of graph encoding. More specifically, we used Schiffman encoding [14]. Its basic structure is a list of neurons with their connectivity information. We program our own rules for mutations, so mutations do not result in illegal phenotypes. Each vertex in the graph represented a layer in a CNN, and also stored hyper-parameter information for the construction node.

The NEAT algorithm was slightly modified in order to evolve a CNN. First of all, we defined primary mutations. Inject Node injects a random node (convolution, pool, or ReLU) with pseudo-random hyperparameters into the genome's network between a pre-existing connection. Before injecting the new node, we checked to ensure that it would produce a valid network. If it did, the injection occurred, if it did not, we changed the hyperparameters to values that would result in a valid network. This approach solves the problem of convolving the image to zero dimensions, as is guaranteed to occur as the number of injects increases. Inject Segment injects a pair of convolution with a ReLU, as well as a pool layer in a preexisting connection. Point Mutate changes the essential hyperparameters of a node.

Dataset

The dataset used for training and testing was compiled from the Prostate, Lung, Colorectal, and Ovarian

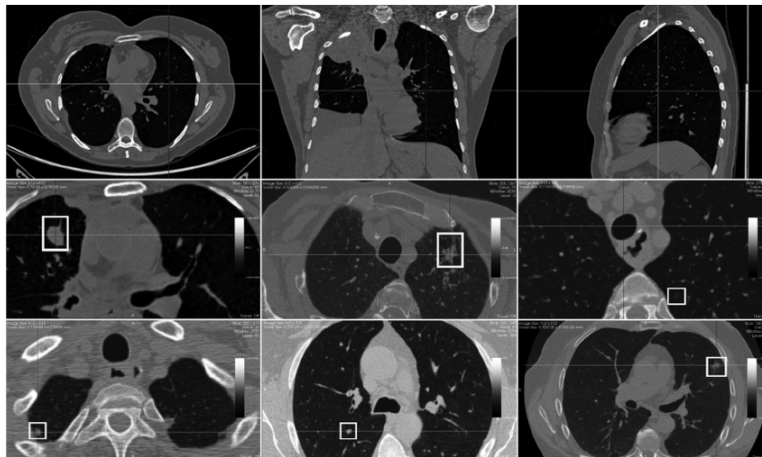


Fig. 1. From the PLCO dataset to lung cancer diagnosis

Cancer Screening Trial (PLCO) dataset [15]. The dataset contains images of randomised and controlled trials to determine whether specific screening exams reduce the mortality of prostate, lung, colorectal, and ovarian cancer. Approximately 155,000 participants took part in the screening portion of the trial from 1993 to 2006. If a participant developed cancer at any point during the screening phase, all CXRs preceding the diagnosis were considered to be cancerous and marked as positives, which resulted in over 9,200 positives in the dataset. The typical instance of the PLCO dataset is

presented in figure 1.

The original PLCO image dataset occupied 2.2TB in TIF format with individual images of chest radiographs having an approximate size of 2000x3000 pixels. In [16], the dataset was improved through downscaling and then cropped. The current dataset was uniformly downscaled to 256 x 256 pixels and stored in PNG format. The dataset was randomly split into 70% and 30% for training and testing, respectively. In order to train the DeepNEAT algorithm, we selected several CNN models and applied them using the machine learning framework TensorFlow v. 1.10.0 [17].

Training

During the training, we used a gene pool of fifty individuals, throughout ten generations. The DeepNEAT algorithm received mutation rate parameters, which determined the frequency of each mutation. Each mutation received specific rate (table 1).

Table 1

The mutation rate of the genetic algorithm

Mutation	Rate, %
Inject Convolution	50
Inject Pooling	50
Add ReLU	30
Point Mutate	45
Inject Segment	15

At the first stage of training, the genetic algorithm graphically coded the network. After that, we export the created graph to the TensorFlow model. Each model received an identical set of hyperparameters. The names of hyperparameters and their values are listed in table 2.

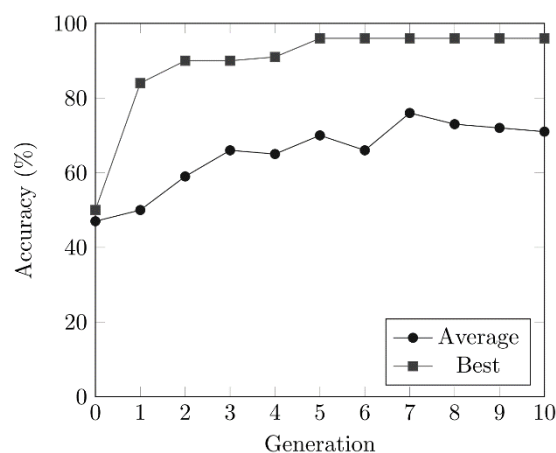
Table 2

Parameters of the CNN

Hyperparameter	Value
Optimisation function	SGD
Epochs	5
Learning rate policy	INV
Learning rate	0.01
Momentum	0.9
Weight Decay	0.0005

Results

We conducted several experiments with different sizes of generations of the population. According to the training results, fifty individuals for ten generations were the most efficient in producing a fit population, as well as producing very fit top models. We trained five hundred models and outperformed the state-of-the-art classification models by 4%. The recognition accuracy increases with the increase in the number of generations of the DeepNEAT algorithm (fig. 2).

**Fig. 2. Improvement of accuracy over generations**

To test the effectiveness of DeepNEAT, we compared it to the best models from the past 5 years. As shown in table 3, the accuracy of DeepNEAT exceeds every model. DeepNEAT executed in its entirety in 4 hours, whereas AlexNet, ResNet-151 and GoogLeNet took over 21, 40 and 35 hours to train, respectively.

Table 3

Testing accuracy for applied models

Model	Test accuracy, %	Time training, hours
AlexNet	79.88	21.06
GoogleNet	89.34	40.19
ResNet-151	92.03	35.56
DeepNEAT	96.09	4.89

For binary classifiers, such as the DeepNEAT model, we calculated several statistics regarding the performance of the algorithm. In table 4 we introduce the contingency statistical data, which present the frequency of the real condition variable and the predicted condition variable.

Table 4

Binary classifier evaluation contingency table				
	True positive	False negative	False positive	True negative
Population, numbers	1224	94	11	1298
Rate, %	92.87	7.13	0.84	99.16

From table 4 many ratios can be derived, most notably the rates of false positives and negatives among the population. The statistical ratios were calculated from these inputs and presented in table 5. To calculate the contingency rates, the network, based on the DeepNEAT model, has been calculated on all 1,884. Statistical coefficients were calculated from these data and are presented in table 5.

Table 5

Statistical ratios of predicted and confirmed population samples	
Positive predictive rate, %	99.11
False discovery rate, %	0.89
False omission rate, %	6.75
Negative predictive value, %	93.25
Positive likelihood ratio, %	51.29
Negative likelihood ratio, %	7.19
Accuracy, %	96.09

The best model generated by the DeepNEAT algorithm achieved an accuracy of 96.09% with a positive predictive rate of 99.11% and a negative predictive rate of 93.25%.

Conclusion

The final accuracy of the network over a set check of 96.09% indicates that the model has succeeded in learning the functions associated with the presence of different types of confirmed lung cancer in these images. Given that the human radiologist must spend a significant amount of time in each image to make the correct prediction, indications for many types of cancer are not often seen early, causing diagnoses often arriving during the late stages of these diseases. This model can handle images at a speed of 3.41 milliseconds each; the potential for using such a model as the previous step of screening can save many lives from early detection and misdiagnosis. The automation provided by this tool may reduce costs as well as increase the speed and accuracy of diagnoses.

References

1. Ambrosini V. PET/CT imaging in different types of lung cancer: an overview / V. Ambrosini, S. Nicolini, P. Caroli // *Eur J Radiol.* – 2012. – Volume 81, Issue 5. – P. 988–1001. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2011.03.020>
2. Yang P. Clinical Features of 5,628 Primary Lung Cancer Patients: Experience at Mayo Clinic from 1997-2003 / P. Yang, M. Allen, M. Aubry, J. Wampfler // *Chest.* – 2005. – Volume 128, Issue 1. – P. 452–462. – URL : <https://doi.org/10.1378/chest.128.1.452>
3. Simonyan K. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition / K. Simonyan, A. Zisserman // *arXiv preprint arXiv:1409.1556.* – 2014.
4. Krizhevsky A. ImageNet classification with deep convolutional neural networks / A. Krizhevsky, I. Sutskever, G. Hinton // *Advances in neural information processing systems.* – 2012. – P. 1097–1105. – URL : <https://doi.org/10.1145/3065386>
5. Romanuke V. V. Appropriate number and allocation of ReLUs in convolutional neural networks / V. V. Romanuke // *Research Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute".* – 2017. – No. 1. – P. 69 – 78. – URL : <https://doi.org/10.20535/1810-0546.2017.1.88156>
6. Romanuke V. V. Appropriateness of DropOut layers and allocation of their 0.5 rates across convolutional neural networks for CIFAR-10, EEACL26, and NORB datasets / V. V. Romanuke // *Applied Computer Systems.* – 2017. – Volume 22. – P. 54 – 63. – URL : <https://doi.org/10.1515/acss-2017-0018>
7. Romanuke V. V. Optimal training parameters and hidden layer neuron number of two-layer perceptron for generalised scaled object classification problem / V. V. Romanuke // *Information Technology and Management Science.* – 2015. – Volume 18. – P. 42 – 48. – URL : <https://doi.org/10.1515/itms-2015-0007>
8. Radiuk P. M. Impact of training set batch size on the performance of convolutional neural networks for diverse datasets / P. M. Radiuk // *Information Technology and Management Science.* – 2017. – Volume 20. – P. 20 – 24. – URL : <https://doi.org/10.1515/itms-2017-0003>
9. Angeline P.J. An Evolutionary Algorithm that Constructs Recurrent Neural Networks / P.J. Angeline, G.M. Saunders, J.B. Pollack // *IEEE Transactions on neural networks.* – 1994. – Volume 5, Issue 1. – P. 54–65. – URL : <https://doi.org/10.1109/72.265960>
10. Anthimopoulos M. Lung Pattern Classification for Interstitial Lung Diseases Using a Deep Convolutional Neural Network / M. Anthimopoulos, S. Christodoulidis, L. Ebner // *IEEE Transactions on Medical*

Imaging. – 2016. – Volume 35, Issue 5. – P. 1207–1216. – URL : <https://doi.org/10.1109/TMI.2016.2535865>

11. F.A. Spanhol Breast cancer histopathological image classification using Convolutional Neural Networks / F.A. Spanhol, L.S. Oliveira, C. Petitjean, L. Heutte // International Joint Conference on Neural Networks. – 2016. – ISSN: 2161–4407. – URL : <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2016.7727519>

12. F.A. Spanhol A Dataset for Breast Cancer Histopathological Image Classification / F.A. Spanhol, L.S. Oliveira, C. Petitjean, L. Heutte // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 2015. – Volume 63, Issue 7. – P. 1455–1462. – URL : <https://doi.org/10.1109/TBME.2015.2496264>

13. Miikkulainen R. Evolving Deep Neural Networks / R. Miikkulainen, J. Liang, E. Meyerson // arXiv:1703.00548. – 2017.

14. Schiffmann W. Performance evaluation of evolutionarily created neural network topologies / W. Schiffmann, J. Merten, R. Werner // Parallel Problem Solving from Nature. – 1990. – № 496. – P. 274–283. – URL : <https://doi.org/10.1007/BFb0029764>

15. The Prostate, Lung, Colorectal and Ovarian Cancer Screening Trial [Electronic resource] // Cancer Data Access System. – URL : <https://biometry.nci.nih.gov/cdas/datasets/plco/21/>

16. Hafemann L. Forest Species Recognition Using Deep Convolutional Neural Networks / L.G. Hafemann, L.S. Oliveira, P. Cavalin // 22nd International Conference on Pattern Recognition. – 2014. – ISBN: 978–1–4799–5209–0. – URL : <https://doi.org/10.1109/ICPR.2014.199>

17. Abadi M. TensorFlow: Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Distributed Systems / M. Abadi, A. Agarwal, P. Barham // OSDI'16 Proceedings of the 12th USENIX conference on Operating Systems Design and Implementation. – 2016. – P. 265–283. – ISBN: 978-1-931971-33-1.

Рецензія/Peer review : 7.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Романюк В.В.

Н.І. ПРАВОРСЬКА, Н.В. ГРИПИНСЬКА

Хмельницький національний університет

ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ОБМІНУ ДАНИМИ ДАТЧИКА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Зростання кількості пристроїв, що використовуються для автоматизації процесів моніторингу, керування та інших дій в рамках інтернету речей вимагає розуміння вимог до побудови серверної частини цієї мережі. Впровадження сукупності фізичних пристроїв взаємодії призводить до виникнення ситуації перевантаження мережі та зменшення пропускної спроможності.

Ключові слова: інтернет речей, датчик, сервер.

N.I. PRAVORSKA, N.V. HRIPINSKA

Khmelnitskyi National University

DEVELOPMENT OF SENSOR FOR INTERNET OF THINGS DATA TRANSFERRING

Internet of Things grows with a high speed. In a nearest years total amount of IoT expected over 20 billions devices. As a result, global providing of Internet of Things requires a lot of resources. One of them is a network. The second important recourses are hardware for IoT. IoT provides simple logic, so IoT can be build with use of 8-bit devices like Arduino devices.

In a main part is shown local module of IoT requires periodically send data to main server. Data transferring starts at moments of events or periodically by local timer events. Increasing of IoT connections will generate situation when connections are large then available throughput.

Model of Bianka used for modelling of Data transferring ability. It is shown what with rizing of retries counts received higher throughput. But with rizing of connection count we could receive delays and even DoS. Keywords: Internet of Things, sensor, server, DoS.

Вступ

Інтернет речей (Internet of Things, IoT) – це міжмережева взаємодія фізичних пристроїв, транспортних засобів (що також називаються "підключеними пристроями", або "розумними пристроями"), будівель й інших предметів, забезпечених електронікою, програмним забезпеченням, датчиками, актуаторами і мережевим підключенням, які дозволяють цим об'єктам збирати і обмінюватися даними. У 2013 році Світова ініціатива стандартизації з Інтернету речей (Global Standards Initiative on Internet of Things, IoT – GSI) визначила інтернет речей як "інфраструктуру інформаційного суспільства". Інтернет речей дозволяє пристроям бути виявленим або контрольованим видалено через існуючу мережеву інфраструктуру, створюючи можливості для прямої інтеграції фізичного світу в комп'ютерну систему, в результаті підвищуючи ефективність, точність, економічну вигоду на додаток до скорочення втручання людини. Коли інтернет речей доповнюється датчиками і виконавчими механізмами, ця технологія стає базою для загальніших кіберфізичних систем, які також охоплюють такі технології, як розумні мережі, розумні будинки, розумний транспорт і розумні міста. Кожна річ унікально ідентифікується через вбудовану обчислювальну систему, але здатна взаємодіяти з існуючою інфраструктурою інтернету. За оцінками експертів, до 2020 року в інтернет речей буде включено майже 50 мільярдів об'єктів [1].



Рис. 1. Суть інтернету речей

Згідно зі звітом компанії Gartner Inc. до 2020 року інтернет речей складатиметься з, приблизно, 20.8 мільярдів пристроїв. Інтеграція з мережею інтернет має на увазі, що пристрої повинні мати унікальні ідентифікатори, якими є IP-адреси. Проте, у зв'язку з обмеженістю пулу адрес IPv4 (4.3 мільярдів унікальних

адрес), об'єкти в мережі інтернету речей повинні використати IPv6 для розміщення надзвичайно величезного адресного простору. Ці об'єкти представляють собою не лише пристрої з сенсорними можливостями, але і активації (замки, контрольовані через інтернет), що забезпечують таку можливість. Для подальшого росту, майбутнє інтернету речей не представляється можливим без підтримки IPv6; і, отже, глобальне впровадження IPv6 найближчими роками матиме вирішальне значення для успішного розвитку інтернету речей в майбутньому.

З іншого боку, інтернет речей може відповідати і за виконання різних дій, а не тільки за сприйняття речей. Інтелектуальні торгові системи, наприклад, можуть проводити моніторинг певних купівельних звичок користувача в якому-небудь магазині за допомогою відстеження їх мобільних телефонів.

Основна частина

Інтеграція сенсорних і таких, що управляють системою, підключених до інтернету, може оптимізувати споживання енергії в цілому. Очікується, що в облаштування інтернету речей будуть інтегровані усі види енергоспоживаючих пристроїв (перемикачів, розеток, лампочок, телевізорів і так далі) і зможуть передавати інформацію компанії, що поставляє комунальні послуги, щоб ефективно збалансувати виробництво і використання енергії. Такі пристрої також запропонують споживачам можливість видаленого доступу або централізованого управління за допомогою хмарних серверів, і підключення додаткових функцій, таких як планування (видалене включення або виключення обігрівачів, управління духовими шафами, зміна умов освітлення і так далі).

Окрім домашнього управління енергією, інтернет речей особливо актуальний для SmartGrid мереж, оскільки він надає системи збору і обробки інформації про енергію і потужність в автоматичному режимі з метою підвищення ефективності, надійності, стійкості і економічності розподілу і виробництва електроенергії. Використання облаштувань розширеної вимірювальної інфраструктури (AMI), підключених до інтернету, облаштування електропостачання можуть не лише збирати інформацію від кінцевих споживачів, але і управляти іншими облаштуваннями автоматизації розподілу, такими як трансформаторами і АПВ (автоматичне повторне включення).

Мережева архітектура та зразки реалізації апаратної частини

Інтернет речей вимагає величезної масштабованості в мережевому просторі для обробки швидкозростаючої кількості пристроїв. Стандарт 6LoWPAN використовуватиметься для підключення пристроїв до IP-мереж. З мільярдами пристроїв, що додаються в мережевий простір, IPv6 відіграватиме важливу роль в обробці масштабованості мережевого рівня. Протокол обмежених застосувань, MQTT і ZeroMQ забезпечать легке перенесення даних. Туманні обчислення (Fog computing) є реальною альтернативою запобігання такому великому потоку даних, що проходить через інтернет. Обчислювальна потужність граничних мережевих пристроїв (маршрутизатори, комутатори) може використовуватися для аналізу і обробки даних, що забезпечує простоту масштабування в режимі реального часу.

Наприклад, застосування мережевих додатків зараз не викликає складнощів, оскільки доступні готові платформи швидкої розробки користувацьких проектів. Наприклад, в якості контролера буде використаний контролер з сімейства Arduino.



Рис. 2. Контролер Arduino Uno R3

Програмна реалізація

Програми, написані в середовищі розробки Arduino IDE для Arduino, називаються нарисами або скетчами. Нариси зберігаються на комп'ютері розробника у вигляді файлів з розширенням .ino.

Arduino IDE підтримує мови C і C++, використовуючи спеціальні правила структуризації. У Arduino IDE вбудована бібліотека з проекту Wiring, що надає доступ до безлічі простих процедур введення/виводу. Код, написаний користувачем, може містити всього 2 базових функції, для запуску нарису і основного циклу програми, які компілюються і зв'язуються з функцією-заглушкою main() у виконувану циклічну програму за допомогою GNU toolchain, також включеною в дистрибутив IDE. У Arduino IDE

використовується програма avrdude, що перетворює виконуваний код в текстовий файл в шістнадцятиричному форматі, який завантажується на плату Arduino програмою завантажувачем.

Однією з важливих деталей облаштувань інтернету речей є можливість сполучатися один з одним без участі користувача, відповідно такі пристрої мають бути підключені до мережі. У моєму випускній кваліфікаційній роботі пристрій також буде підключений до мережі, для забезпечення доступу до пристрою з будь-якої точки земної кулі, де є сигнал мережі.

На поточний момент часу існує величезна безліч різних стандартів, протоколів і специфікацій мережових протоколів, що дозволяють пристроям виходити в мережу. Одна з найпоширеніших технологій – це Wi-Fi. У зв'язку з цим, мною було вирішено використати її для реалізації виходу пристрою в мережу і передачі даних на сервер.

Оцінювання пропускної спроможності мережі

Для розрахунку пропускної спроможності слід використати модель Бьянки (рис. 3). Основним вкладом моделі Бьянки є аналітичний розрахунок пропускної спроможності насичення в замкнутому виді. Модель також обчислює вірогідність збою передачі пакету із-за зіткнення. Вона припускає, що канал знаходиться в ідеальних умовах, тобто немає прихованого терміналу і ефекту захоплення. Бьянки використовує двовимірний ланцюг Маркова з $m + 1$ схидами відведення, в якій кожен етап представляє лічильник часу відстрочення вузла. Перехід відбувається при зіткненні і успішній передачі на «більш високу» стадію (наприклад, із стадії $i - 1$ на стадію i) і до найнижчого ступеня (тобто стадії 0), відповідно [9].

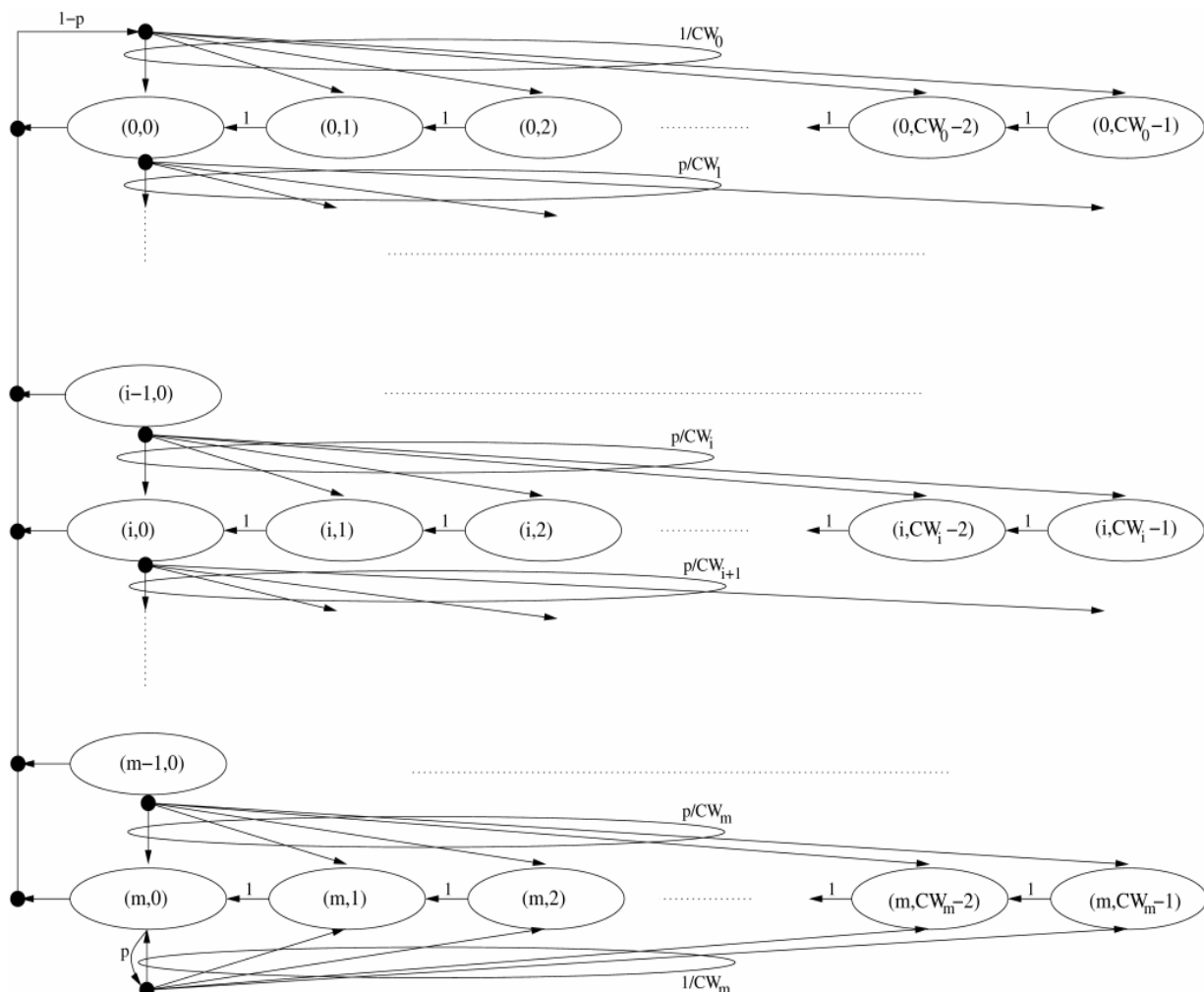


Рис. 3. Ланцюг Маркова для моделі Бьянки

Ця модель припускає, що в кожній спробі передачі, незалежно від кількості повторних передач, кожен пакет стикається з постійною і незалежною вірогідністю p виникнення цієї події.

Іншими словами, p – вірогідність того, що впродовж інтервалу часу, щонайменше, одна з $N-1$ станцій, що залишилися, також передає пакет даних. Якщо в стійкому стані кожна станція, що залишилася, передає пакет з вірогідністю π , p можна записати так:

$$p = 1 - (1 - \pi)^{N-1}.$$

Вірогідність доступу до каналу π вузла обчислюється як функція кількості рівнів ступеня відкату m , мінімального значення вікна конкуренції W_{min} і вірогідності зіткнення p :

$$\pi = \sum_{i=0}^m b_{i,o} = \frac{b_{o,o}}{1-p} =$$

$$= \frac{2(1-2p)}{(1-2p)(W_{\min} + 1) + pW_{\min}(1-(2p)^m)} =$$

$$= \frac{2}{W_{\min} + 1 + pW_{\min} \sum_{k=0}^{m-1} (2p)^k}$$

Для оцінювання проведено моделювання при різних значеннях рівня відкату m від 3 до 7. Результат моделювання наведено на рис. 4.

В цілому при кількості станцій до 1000 швидкість передачі даних зменшується до 3-х разів, а час затримки передачі не перевищує 10 секунд. В цілому такі швидкість і затримка цілком підходять для реалізації проєктів IoT, і можна сміливо говорити про те, що проєкт реалізовується практично на будь-якій території. Проте слід розуміти, що швидкість безпроводної передачі даних залежить від безлічі зовнішніх чинників і неможливо точно сказати, яка буде кінцева швидкість для певного варіанту реалізації.

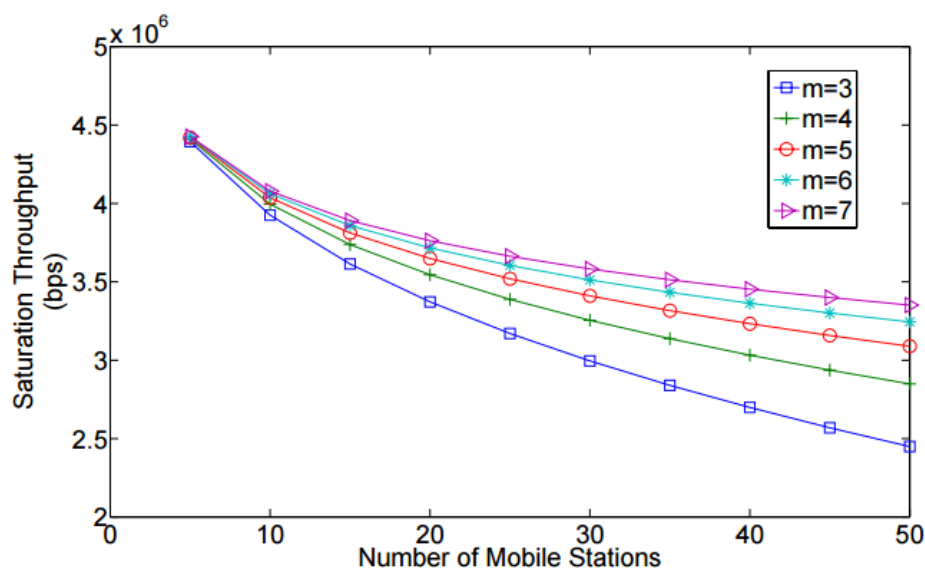


Рис. 4. Графік рівня відкату та вплив на пропускну здатність (Saturation throughput), Мбіт/с

Створення сервера

Для забезпечення доступу до даних, отриманих з пристрою, необхідно створити сервер, куди буде передаватися інформація з датчиків. Потужність сервера має бути достатня для забезпечення потрібної кількості запитів від датчиків весь період часу. Передача інформації від датчиків виникає зазвичай у детерміновані моменти часу. Використання програмованих контролерів зазвичай надає можливість вимірювання часових періодів, синхронізованих між собою, оскільки контролер містить точні опорні генератори.

Як показано на рис. 4, зростання таких датчиків може привести до виникнення повторних запитів на передачу інформації. А це обумовить досягнення стану неможливості обслуговування запитів. Виникне ситуація відмови в обслуговуванні – Denial of Service (DoS), відомий тип атаки на сервера для виведення їх з роботи.

Доступ до перегляду інформації, що зберігається на сервері зможе отримати будь-яка людина, що має вихід в інтернет та має доступ до серверу.

Для отримання даних з пристрою і їх подальшого відображення створюється **.php** файл з функціями очікування POST запиту. Виглядає така функція таким чином:

```
"$DataValue2=$_POST["humidity"];".
```

З таким функціоналом сторінка чекатиме від отримування POST-запиту і оновлюємо сторінку актуальною інформацією по отриманню такого запиту.

```

<?php
    echo "<pre>";
    echo "<br>Sensor state ..... : ";
    echo $_POST["Sensor"];
    echo "<br>Sensor voltage ... : ";
    echo $_POST["Voltage"];
    echo "<br>Sensor current ... : ";
    echo $_POST["Current"];
    echo "</pre>";
?>

```

Рис. 5. Приклад *php*-файла на стороні сервера

Висновки

Створення серверу обробки даних від пристроїв мережі інтернету речей вимагає аналізу періодичності отриманні запитів від кінцевих пристроїв до серверу. Оскільки інтервали між запитами можуть змінюватись, виникатиме ситуація, коли запити на вході серверу будуть накладатись в часі. Це призведе до виникнення повторних перевідправлень даних до сервера.

Зростання кількості датчиків збільшує ймовірність виникнення подібної ситуації. Також слід розраховувати на можливість перевантаження серверу запитами та можливості виникнення ситуації з відмовою в обслуговуванні запитів.

Література

1. Internet of Things [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things (дата обращения 16.03.2017).
2. Privacy of the Internet of Things [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1611/1611.03340.pdf> (дата обращения 22.04.2017)
3. Горященко, К.Л. Впровадження стандарту IEEE 1901 передачі інформації по проводових лініях / К. Л. Горященко, В. П. Нездоровін, В. С. Коваль // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 3. – С. 242–245.
4. Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino> (дата обращения 15.03.2017).
5. Современные сетевые технологии, технологии Интернет [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.itlab.unn.ru/Uploads/part2.pdf> (дата звернення 15.03.2017).

References

1. Internet of Things [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things (data obrashcheniya 16.03.2017).
2. Privacy of the Internet of Things [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1611/1611.03340.pdf> (data obrashcheniya 22.04.2017)
3. Horiashchenko, K.L. Vprovadzhennia standartu IEEE 1901 peredachi informatsii po provodovoykh liniyakh / K. L. Horiashchenko, V. P. Nezdorovin, V. S. Koval // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2017. – № 3. – S. 242–245.
4. Arduino [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino> (data obrashcheniya 15.03.2017).
5. 5. Sovremennye setevye tehnologii, tehnologii Internet [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <http://www.itlab.unn.ru/Uploads/part2.pdf> (data zvernennja 15.03.2017).

Рецензія/Peer review : 11.9.2018 р.

Надрукована/Printed : 8.11.2018 р.
Рецензент: д.т.н., доц. Любчик В.Р.

МЕТОДИ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

В роботі розглянуто алгоритми маршрутизації, основані на графовому описі мережі зв'язку, проведено їх аналіз, вказано на переваги та недоліки кожного методу. Проаналізовані недоліки алгоритмів пошуку найкоротшого єдиного шляху між кожною парою вузлів у мережі, пов'язані з обмеженими можливостями забезпечення збалансованого завантаження мережі та якості обслуговування одночасно за декількома показниками, оскільки кожному тракту передачі мережі ставилося у відповідність усього одне число (довжина, метрика), пов'язане з тим або іншим одним показником якості обслуговування. До обмежень, що накладаються на маршрут, відносяться пропускна здатність і часова затримка передачі даних в каналі. Відзначені недоліки мають послужили поштовхом до досить інтенсивних розробок у напрямку вдосконалення розглянутих алгоритмів та розробки оптимальних маршрутів практично для будь-якого типу сервісу телекомунікаційних мереж (звук, відео, дані тощо).

Ключові слова: мережа, телекомунікації, алгоритм, тракт, зв'язок, пропускна здатність, маршрут, сервіс.

V.I. STETSYUK, V.R. LUBCHIK, A.S. SEMENYUK

Khmelnytskyi National University

MULTICRITERIA ROUTING METHODS IN TELECOMMUNICATION NETWORKS

Modern society is unthinkable without the use of telecommunication technologies, which allow the use of communication networks not only for the regular browsing of web pages and the sending of e-mails, but for the transmission of voice and video. Given the low cost of telecommunication services, this process can be considered a revolution of communication, because in a fraction of a second you can see a subscriber from another country or even another continent. At the same time, the technically competent organization of this process is a serious task for both telecommunication specialists and software engineers. Until recently, television, telephone and internet services were provided to users on various access networks. However, in telecommunications, a new stage in the development of the industry began, namely the convergence of traffic. Now, on the same access networks, users can receive the full spectrum of information and communication services. However, routing methods that were used for traffic of a single type of service became ineffective for packet traffic of various services. In this paper, routing algorithms based on the graph description of the communication network are considered as the most optimal and visually perceptive method of analysis. A detailed analysis of the most promising algorithms is carried out, the advantages and disadvantages of each method are indicated. The disadvantages of algorithms for finding the shortest (that is, the only) path between each pair of nodes in the network are due to the limited ability to ensure a balanced load of the network and the quality of service at the same time for several indicators, since each network path of transmission was put in correspondence with only one number (length, metric), related to one or another QoS Quality Score. The restrictions imposed on the route include: bandwidth and time delay data transmission in the channel. The noted disadvantages have served as a stimulus to rather intensive developments in the direction of improving the considered algorithms and the development of optimal routes for virtually any type of service in telecommunication networks.

Keywords: network, telecommunications, algorithm, path, communication, bandwidth, route, service.

Мільйони людей використовують Internet в повсякденному житті, навіть не задумуючись в його організації, сприймаючи це за належне. Сучасні технології дозволяють використовувати мережі зв'язку не лише для звичайного перегляду web-сторінок і відправки електронних листів, але і для передачі голосу та відео. Враховуючи невелику вартість телекомунікаційних послуг, даний процес можна вважати революційною спілкування, адже за долю секунди можна побачити абонента з іншої країни або навіть іншого континенту. Разом із тим, технічно грамотна організація цього процесу являється серйозною задачею як для фахівців в галузі телекомунікацій, так і для фахівців з програмної інженерії.

Ще до недавня послуги телебачення, телефону та інтернету надавалися користувачам по різних мережах доступу. Однак в телекомунікаціях почався новий етап розвитку індустрії, а саме конвергенція трафіку. Тепер по одних і тих же мережах доступу користувачі можуть отримувати весь спектр інформаційно-комунікативних послуг. Проте методи маршрутизації, які застосовувалися для трафіку єдиного типу сервісу, стали неефективними для трафіку пакетів різних сервісів. Функціонування пакетної мережі можна вважати ефективним тільки тоді, коли кожен ресурс завантажений, але не переобтяжений. У зв'язку з цим з'явилася потреба створення систем маршрутизації, які при побудові шляху враховували б не лише технічні характеристики обладнання і каналів, але і його вартість. Різке зростання Internet сталося після створення World Wide Web (WWW). Разом з числом користувачів Internet удосконалювалося і мережеве обладнання – маршрутизатори і лінії зв'язку. Пріоритетними завданнями були збільшення ширини пропускання каналів зв'язку і зменшення загасання сигналу на одиницю довжини каналу. В наші дні волоконно-оптичні лінії зв'язку мають найкращі характеристики. Також із вдосконаленням ресурсної складової Internet, розширювався і спектр послуг, пропонованих телекомунікаційними компаніями. З'явилися такі ресурсоємні сервіси, як IP-телефонія, відеоконференція, SmartTV та ін. Усі вони використовують протокол IP для передачі даних, але кожна послуга має свій ряд вимог до обробки IP пакетів. Незмінним залишався і залишається протокол передачі даних, завданням якого служить надійна передача даних в мережах з різною топологією. Від технології IP передусім чекали, що вона дозволить

створювати мережі довільно великого розміру, інтегрувати різні мережеві технології і надасть набір різноманітних сервісів.

Для якісного надання якої-небудь послуги оператори зв'язку повинні мати ресурсну базу (маршрутизатори, канали зв'язку і інше обладнання), технічні характеристики якої задовольняють усім вимогам цієї послуги. При цьому різні типи сервісів мають різні вимоги до технічних характеристик мережі зв'язку. Так, для простої передачі даних (пересилка електронної пошти або файлів) критична тільки ширина пропускання каналів зв'язку, тоді як для IP-телефонії найбільшим пріоритетом є мінімальний час затримки обробки IP пакетів на шляху отримання до адресата. На різних ділянках мережі може знаходитися різне обладнання зі своїм набором характеристик. Для певного сервісу не усі облаштування мережі можуть задовольняти вимогам до ресурсів. Тому такі пристрої не повинні входити в маршрут прямування IP пакетів цього сервісу. Таким чином, не усі послуги можуть надаватися по деяких ділянках мережі.

Оптимальним вирішенням цієї задачі є побудова збалансовано завантаженої мережі зв'язку. Для цього необхідно розробити методи вибору шляхів проходження IP трафіку різних сервісів через мережу, які враховуватимуть як вимоги сервісу до ресурсів мережі і завантаженість мережевого обладнання, так і вартість проходження трафіку по маршруту.

Для розв'язання маршрутних задач у рамках існуючих протоколів [1] розглянуто ряд комбінаторних алгоритмів, оснований на графовому описі мережі зв'язку. Математична модель ТКС у цьому разі представляється зваженим орієнтованим графом $G=(R, L)$, множину вершин якого складають мережні вузли – множина дуг, яка моделює тракти передачі між вузлами мережі та потужність якої дорівнює n . В якості вагових коефіцієнтів окремо взятої дуги l_{ij} графа G виступають деякі дійсні числа d_{ij} , які називаються довжиною (метрикою) дуги. Тому довжина (метрика) орієнтованого шляху $p=(l_{ik}, l_{k,g}, \dots, l_{m,j})$ між вузлами r_i та r_j може визначатися так:

$$d_p = d_{ik} + d_{k,g} + \dots + d_{m,j} = \sum_{(l,m) \in p} d_{l,m} \quad (1)$$

Тоді для будь-яких двох вузлів r_i та r_j графа задача найкоротшого шляху полягає в пошуку такого шляху між цими двома вузлами, який би мав мінімальну довжину (метрику). Наприклад, якщо d_{ij} – середня затримка в тому чи іншому тракті передачі, то найкоротший шлях між мережними вузлами r_i та r_j забезпечуватиме мінімальний час доставки пакетів. У випадку, коли d_{ij} – імовірність того, що тракт, який моделюється дугою l_{ij} , перебуває в працездатному стані та не залежить від стану інших трактів, то пошук найкоротшого шляху між вузлами r_i та r_j еквівалентний пошуку найбільш надійного шляху між цими вузлами з метриками дуг $(-Ind_{ij})$.

Як правило, пошук найкоротшого шляху здійснюється за допомогою комбінаторних алгоритмів, тобто алгоритмів спрямованого перебору [2]. Основною перевагою комбінаторних алгоритмів розв'язання завдання пошуку найкоротшого шляху є невисока та заздалегідь відома обчислювальна складність їхньої реалізації. Найефективнішими та найпоширенішими з них є алгоритми Дійкстри (Dijkstra), Беллмана-Форда (Bellman-Ford), Флойда-Уоршела (Floyd-Warshall) та велика кількість різних їх модифікацій. При цьому перші два алгоритми знаходять найкоротші шляхи від обраного вузла-відправника пакетів до всіх інших вузлів, а третій алгоритм знаходить найкоротші шляхи від всіх вузлів до всіх інших вузлів [1].

Алгоритм Беллмана-Форда. Власне ідея досить проста. Маршрутизатор зберігає в таблиці список усіх відомих маршрутів із вказівкою в кожному елементі таблиці мережі одержувача і цілого числа – кількості пересилань до цієї мережі. Періодично кожен маршрутизатор надсилає копію своєї таблиці іншим маршрутизаторам, до яких він має прямий доступ. Одержавши таку копію від маршрутизатора B , маршрутизатор A аналізує отриманий набір адресатів і відстаней до них. Маршрутизатор A замінює дані у своїй таблиці, якщо маршрутизатору B відомий коротший, ніж наявний у ній, маршрут до одержувача, або якщо в його списку є невідомий йому дотепер маршрутизатор.

На підставі цієї таблиці, відповідно до алгоритму Беллмана-Форда, і розраховується значення метрики (наприклад вартості маршруту, затримки тощо) для кожного та здійснюється пошук мінімального сумарного числа пересилань. Поняття «вектор дистанцій» саме й пов'язане з характером інформації, що періодично передається протоколом інформації. У повідомленнях міститься пара чисел $\{R, D\}$, де R – вектор, який визначає вузол-одержувач, а D – відстань до цього вузла-одержувача, тобто один маршрутизатор повідомляє іншому про свою можливість досягти одержувача R за D пересилань. Під час розрахунку найкоротших шляхів між заданим вузлом і всіма іншими вузлами довжини (метрики) дуг можуть бути як додатними, так і від'ємними, але передбачається, що немає циклів від'ємної довжини. Позначимо також, що $d_{ij} = \infty$, якщо в графі відсутня дуга l_{ij} . Послідовність кроків алгоритму Беллмана-Форда полягає в тому, щоб спочатку знайти довжини найкоротших шляхів, за умови, що шляхи містять не більше однієї дуги, потім розраховуються довжини найкоротших шляхів за умови, що шляхи містять не більше двох дуг тощо. Найкоротший шлях за умови, що шлях містить не більше h дуг, надалі називатиметься найкоротшим ($\leq h$) шляхом.

Нехай $D_i^{(h)}$ – довжина найкоротшого ($\leq h$) шляху від вузла 1 до i -го вузла. Вважатимемо, що $D_i^{(h)}=0$ для всіх h . Тоді, при ініціалізації алгоритму Беллмана-Форда, спочатку виконується така операція:

$$D_i^{(0)} = \infty \text{ для всіх } i \neq 1. \quad (2)$$

При кожному наступному $h \geq 0$:

$$D_i^{(h+1)} = \min_j [D_j^{(h)} + d_{ji}] \text{ для всіх } i \neq 1 \quad (3)$$

Роботу алгоритму проілюстровано на рис. 1. Число ітерацій алгоритму в найгіршому разі дорівнює $(m-1)$, кожна ітерація має бути проведена для $(m-1)$ -го вузла, а для кожного вузла мінімізація здійснюється якнайбільше за $(m-1)$ -ю змінною. Таким чином, у найгіршому разі обсяг обчислень зростає як m^3 , що записується у вигляді $O(m^3)$. Більш ретельний підрахунок свідчить, що обсяг обчислень дорівнює $O(\alpha^n)$, де n – число дуг, а α – максимальне число дуг, що міститься в найкоротшому шляху. Популярність алгоритму Беллмана-Форда пояснюється тим, що у разі, коли довжини всіх дуг додатні, початкові умови $D_i^{(0)}$ для $i \neq 1$ можуть бути будь-якими невід'ємними числами та ітерації (3) можуть виконуватися паралельно для різних вузлів, власне кажучи, у довільному порядку, що має велике значення для аплікацій з розподіленими алгоритмами. На використанні алгоритму Беллмана-Форда основані протоколи вектора відстаней або дистанційно-векторні протоколи (Vector Distance Protocol), до яких, наприклад, належать протоколи RIP та IGRP.

Алгоритм Дікстри. Цей алгоритм вимагає, щоб довжини всіх дуг були додатні, що в сучасних мережах, як правило, виконується. Обсяг обчислень у найгіршому разі для цього алгоритму значно менший, ніж в алгоритмі Беллмана-Форда. Основна ідея алгоритму полягає в тому, щоб відшукувати найкоротші шляхи в порядку зростання їх довжини. Найкоротшим серед усіх найкоротших шляхів від вузла 1 є шлях, що складається з однієї дуги, що з'єднує вузол 1 з найближчим сусіднім вузлом, оскільки будь-який шлях, який складається з декількох дуг, буде завжди довшим ніж довжина першої дуги, внаслідок припущення про додатність всіх дугових довжин. Наступним найкоротшим серед найкоротших шляхів має бути або шлях з однієї дуги до наступного найближчого сусіда вузла 1, або найкоротший шлях із двох дуг, який проходить через вузол, обраний на першому кроці, тощо.

Для того щоб формально описати цю процедуру у вигляді алгоритму, вважатимемо, що кожний i -й вузол має мітку D_i , яка означає оцінку довжини найкоротшого шляху від вузла 1. Коли оцінка в ході розрахунків не змінюється, то вважається, що вузол *остаточно позначений*, а множину остаточно позначених вузлів позначимо через P . Вузол, що буде доданий на черговому кроці до множини P , є найближчим до вузла 1 серед всіх вузлів, що ще не ввійшли до P . Таким чином, у рамках алгоритму Дікстри на k -му кроці множина P складається з k найближчих вузлів до вузла 1. Серед усіх шляхів, що з'єднують вузол 1 з яким-небудь вузлом не з множини P , найкоротший шлях повинен пройти по вузлах з P (оскільки $d_{ij} > 0$). Тому $(k+1)$ -й найближчий вузол i відповідна найкоротшу відстань отримують мінімізацією за j по P величини $\min_{i \in P} [D_j + d_{ji}]$, у результаті чого

обчислювальна складність алгоритму Дікстри становитиме порядку $O(m^2)$. Формально алгоритм Дікстри працює в такий спосіб. Ініціалізація алгоритму: $P = \{1\}$, $D_1 = 0$ та $D_j = d_{1j}$ для $j \neq 1$.

Крок 1: пошук наступного найближчого вузла. Знайти i , таке, що $D_i = \min_{j \neq P} D_j$. Покласти $P = P \cup \{i\}$. Якщо P

містить усі вузли, то на цьому робота алгоритму закінчується. Крок 2: відновлення міток. Для всіх j покласти $D_j = \min[D_j, D_i + d_{ij}]$. Перейти до кроку 1.

Робота цього алгоритму, а також алгоритму Беллмана-Форда (для порівняння) проілюстрована на рис. 2. Оскільки число операцій, виконуваних алгоритмом Дікстри на кожному кроці, пропорційно m , а кроки повторюються $(m-1)$ разів, то обсяг обчислень у найгіршому разі дорівнює $O(m^2)$, а не $O(m^3)$, як і в алгоритмі Беллмана-Форда.

Однак для слабозв'язних структур ТКС, у яких $n \ll m^2$, алгоритм Беллмана-Форда закінчує свою роботу після досить малого числа ітерацій ($\alpha \ll m$), у цьому разі обсяг обчислень $O(\alpha^n)$ може бути набагато менше, ніж $O(m^2)$ алгоритму Дікстри. Алгоритм розрахунку найкоротшого шляху, запропонований Дікстри, покладений в основу протоколів OSPF, PNNI, IS-IS.

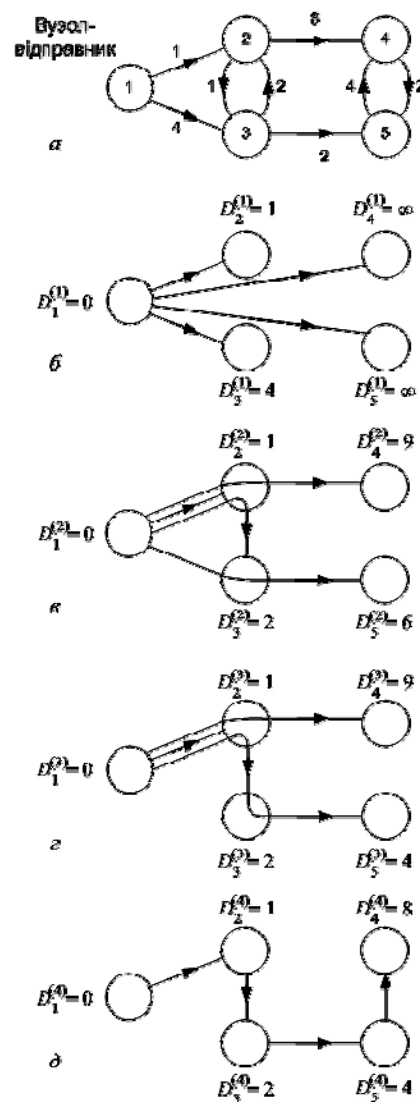


Рис. 1. Ілюстрація роботи алгоритму Беллмана-Форда:

а) постановка задачі щодо визначення найкоротшого шляху із наведенням довжин дуг; б) перша ітерація: розрахунок найкоротших шляхів, що містять не більше однієї дуги; в) друга ітерація: розрахунок найкоротших шляхів, що містять не більше двох дуг; г) третя ітерація: розрахунок найкоротших шляхів, що містять не більше трьох дуг; д) результат розв'язання задачі: підсумкове дерево найкоротших шляхів

Алгоритм Флойда-Уоршелла на відміну від двох вище розглянутих алгоритмів знаходить найкоротші шляхи відразу для всіх пар вузлів. Як і в алгоритмі Беллмана-Форда, довжини дуг можуть бути як додатними, так і від'ємними, але також не повинно бути циклів від'ємної довжини. У всіх трьох алгоритмах остаточне рішення отримується методом ітерацій, але в кожному алгоритмі число ітерацій залежить від різних величин. Якщо в алгоритмі Беллмана-Форда число ітерацій залежить від числа дуг у шляху і в мережі в цілому, а в алгоритмі Дікстри – від числа вузлів у мережі, то в алгоритмі Флойда-Уоршелла число ітерацій прямо залежить від кількості вузлів, які допускається використовувати як проміжні вузли на шуканих шляхах. Як і раніше описані алгоритми, алгоритм Флойда-Уоршелла починає свою роботу з розрахунку шляхів, які складаються з однієї дуги (тобто без проміжних вузлів), обраних як вихідні оцінки для довжин найкоротших шляхів. Потім обчислюються найкоротші шляхи з тим обмеженням, що проміжним вузлом може бути тільки вузол 1, потім з обмеженням, що проміжними вузлами можуть бути тільки вузли 1 і 2 тощо.

З метою більш строгого опису алгоритму позначимо через $D_{ij}^{(k)}$ довжину найкоротшого шляху від i -го вузла до j -го вузла при обмеженні, що тільки вузли 1, 2, ..., k можуть використовуватися як проміжні вузли на шляху. Формально алгоритм Флойда-Уоршелла працює в такий спосіб.

Крок 1: ініціалізація алгоритму: $D_{ij}^{(0)} = d_{ij}$ для i, j ($i \neq j$).

Крок 2: для $k = 0, 1, \dots, m-1$,

$D_{ij}^{(k+1)} = \min[D_{ij}^{(k)}, D_{i(k+1)}^{(k)} + D_{(k+1)j}^{(k)}]$ для i, j ($i \neq j$).

Оскільки кожний з кроків відбувається для кожної пари вузлів, то об'єм обчислень для алгоритму Флойда-Уоршелла дорівнює $O(m^3)$, тобто такий же, як і в алгоритмі Дікстри, повтореного для всіх вузлів, обраних як відправник.

Висновки.

Розглянуто алгоритми маршрутизації, основані на графовому описі мережі зв'язку, як найбільш оптимальному та візуально сприйнятливому методі аналізу. В роботі проведено детальний аналіз найбільш перспективних алгоритмів, вказано на переваги та недоліки кожного методу. Недоліки алгоритмів пошуку найкоротшого (тобто єдиного) шляху між кожною парою вузлів у мережі пов'язані з обмеженими можливостями забезпечення збалансованого завантаження мережі та якості обслуговування одночасно за декількома показниками, оскільки кожному тракту передачі мережі ставилося у відповідність усього одне число (довжина, метрика), пов'язане з тим або іншим одним показником якості обслуговування QoS (англ. quality of service). До обмежень, що накладаються на маршрут, відносяться пропускна здатність і часова затримка передачі даних в каналі. Відзначені недоліки мають послужили поштовхом до досить інтенсивних розробок у напрямку вдосконалення розглянутих алгоритмів та розробки оптимальних маршрутів практично для будь-якого типу сервісу телекомунікаційних мереж.

Література

1. Поповський В. В. Педагогічний програмний засіб: Телекомунікаційні системи та мережі. Структура й основні функції. Том 1 [Електронний ресурс] / В. В. Поповський, О. В. Лемешко; В. К. Ковальчук та ін. – Режим доступу : <http://www.znanius.com/3534.html?L=5>.
2. Стецюк В. І. Аналіз і вдосконалення методів синхронізації телекомунікаційних систем / В. І. Стецюк, В. Р. Любчик, І. В. Файфура // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький, 2015. – № 3. – С. 232–238.

References

1. Popovskiy V. V. Pedagogichnyi programnyi zasib: Telekomunikatsiini systemy ta merezhi. Struktura y osnovni funktsii. Tom 1 [Elektronnyi resurs] / V. V. Popovskiy, O. V. Lemeshko; V. K. Kovalchuk ta in. – Rezhym dostupu : <http://www.znanius.com/3534.html?L=5>.
2. Stetsiuk V. I. Analiz i vdoskonalennia metodiv synkronizatsii telekomunikatsiinykh system / V. I. Stetsiuk, V. R. Liubchik, I. V. Faifura // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu. – Khmelnytskyi, 2015. – № 3. – S. 232–238.

Рецензія/Peer review : 25.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Підченко С.К.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ АББРЕВИАТУР ДЛЯ СЛОВАРЕЙ ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Показано, что словари предметных областей широко используются на различных этапах создания и эксплуатации программных продуктов. Модель выделения термина для аббревиатур определяет цепочку слов в зависимости от выявленного типа аббревиатуры. Каждой аббревиатуре соответствует многословный термин. Выделение этого термина – нетривиальная задача, поскольку единого способа введения в текст документа аббревиатуры не существует. Поэтому предложено решение исследовать документ с точки зрения выделения различных типов аббревиатур и определения вероятности их появления. Разработан программный продукт, позволяющий в значительной степени автоматизировать процесс выделения аббревиатур из текста.

Ключевые слова: словарь предметной области, многословный термин, анафора, аббревиатура.

O. B. KUNGURTSEV, IA. V. POTOCHNIAK, A. G. LIPINSKA, L. S. ZHIRO

Odessa National Polytechnic University

INFORMATION TECHNOLOGY EXTRACTION ABBREVIATURES FOR DICTIONARY OF SUBJECT AREAS

Dictionaries of subject areas are widely used at various stages of creating and operating software products. The aim of the study is to develop a method for identifying abbreviations and proper names in the texts of documents from a specific subject area. The term allocation model for abbreviations defines a chain of words depending on the type of abbreviation identified. Each abbreviation corresponds to a verbose term. Selection of this term is a non-trivial task, since there is no single way to introduce an abbreviation into the text of a document. Therefore, it was proposed to investigate the document in terms of identifying different types of abbreviations and determining the likelihood of their occurrence. A software product has been developed that allows automating the process of extracting abbreviations from the text to a significant degree. The results of approbation of the proposed solutions showed a significant reduction in time for the process of identifying abbreviations and proper names from natural language texts with a minimum number of errors.

Keywords: dictionary of subject area, multi-word term, anaphora, abbreviation.

Введение

Словари предметных областей (СПО) широко используются при создании программных продуктов, проектировании баз данных и знаний, в процессе эксплуатации различных организационных систем [1]. Основной принцип построения СПО для некоторой предметной области – определения частотных характеристик вхождения терминов в тексты документов, принадлежащих этой предметной области [2, 3]. Известны работы по уточнению частоты появления терминов путем выявления анафор [4], когда термин представлен местоимением, числительным или другими частями речи. Наряду с анафорами термины также могут быть представлены аббревиатурами. Статья СПО не может содержать только аббревиатуру. Необходимо поместить в словарь и соответствующий ей термин. Найти термин по аббревиатуре можно с помощью словарей сокращений русского, украинского, английского и других языков. Однако такие словари не привязаны к узкой предметной области, поэтому могут предлагать десятки терминов для одной аббревиатуры. Так, например, для аббревиатуры «ООП» в словаре [5] предложено около 200 толкований. Из сказанного следует, что автоматизация процесса выделения аббревиатур и соответствующих им многословным терминов – актуальная задача построения словарей узкой предметной области.

Анализ литературных данных и цель работы

В работах [5, 6] рассматриваются вопросы классификации и различные аспекты использования аббревиатур, однако не предложено решений по выделению их из текстов.

В работе [7] предложено решение для нахождения полного названия журнала по его аббревиатуре. Узкая специализация полученного решения не позволяет его использовать для определения полных форм аббревиатур в разных предметных областях.

В работах [8, 9] на основании определения частот соседей для слов определяется мера связности слов, что позволяет предложить вероятные полные формы сокращений. Достоинством такого метода является его универсальность, недостатком – высокая трудоемкость.

В работах [10, 11] предложено исходный текст представлять в виде множества тем, которые образуются множеством входящих в них с разной вероятностью слов. Найденная схожесть частей текста может быть использована как представление сокращения. Указанный подход обычно предлагает множество решений, возможно, с близкими вероятностями, что предусматривает много работы для эксперта на стадии формулировки термина.

В работе [12] сделана попытка объединения нескольких рассмотренных ранее подходов для нахождения полной формы сокращений.

Во всех рассмотренных работах (кроме [4]) предложены универсальные решения для определения сокращений без выделения аббревиатур, как частного случая общей задачи. Результатом является использование весьма трудоемких алгоритмов и во многих случаях нечеткий результат анализа. Поскольку при составлении СПО интерес представляют только аббревиатуры и только в редких случаях специальные сокращения, для которых необходимо получить детерминированные определения, то возникает проблема

разработки специализированного метода определения полной формы для аббревиатур. Таким образом целью исследования является сокращение времени на нахождение полной формы для аббревиатур в виде единственного многословного термина.

Для достижения поставленной цели предложено решить следующие задачи.

1. Определить орфографические правила образования аббревиатур и выделения специальных сокращений.

2. Определить вероятностные характеристики появления в текстах аббревиатур различных типов.

3. Разработать математическую модель аббревиатуры.

4. Создать программный модуль и выполнить апробацию принятых решений.

1. Классификация аббревиатур, на основе их орфографии

Аббревиатуры принято подразделять на инициальные и сложносокращенные [6]. В первом случае аббревиатура составляется из первых букв последовательности слов (для нас эта последовательность является многословным термином). Во втором случае в аббревиатуру могут быть включены не только первые, но и другие буквы сокращаемых слов. Классические сложносокращенные аббревиатуры типа «зарплата» в конкретной предметной области рассматриваются как однословные термины и в дальнейшем нами анализироваться не будут.

С точки зрения определения термина, соответствующего аббревиатуре, предлагается следующая классификация аббревиатур:

А. Инициальная аббревиатура на языке документа заключенная в круглые скобки; слова термина разделены только пробелами. Например, «...словарь предметной области (СПО)...».

В. Инициальная аббревиатура на языке документа заключенная в круглые скобки; некоторые слова термина объединены знаком тире либо между словами встречается запятая, либо некоторое слово термина заключено в круглые скобки. Например, «...объектное – ориентированное программирование (ООП)...» или «...и помогает лицам, принимающим решения (ЛПР), находить...» или «Современные исследования и разработки по созданию перспективных интеллектуальных (экспертных) систем поддержки принятия решений (ИСППР) ...».

С. Инициальная аббревиатура с элементами сложносокращенных слов на языке документа заключенная в круглые скобки. Например, «...система автоматизированного проектирования (САПР)...». Здесь «ПР» представляет собой сокращение слова «проектирование».

Д. Инициальная аббревиатура на иностранном языке заключенная в круглые скобки; слова термина разделены только пробелами. Например, «unified process (UP)».

Е. Инициальная аббревиатура на иностранном языке заключенная в круглые скобки; некоторые слова термина объединены знаком тире либо между словами встречается запятая, либо некоторое слово термина заключено в круглые скобки. Например, «high – pressure cylinder (HPC)».

Ф. Инициальная аббревиатура на иностранном языке заключенная в круглые скобки совместно с многословным термином на иностранном языке. Например, «Вывод на основе прецедентов (CBR – Case – Based Reasoning) является...»

Г. Инициальная аббревиатура на иностранном языке не заключенная в скобки; термин на иностранном языке располагается перед аббревиатурой. Например, «...как On – Line Analysis Processing, или OLAP...».

Н. Инициальная аббревиатура, заключенная в круглые скобки, на иностранном языке; термин – на языке документа. Например, «...гликемический индекс (GI)...»

І. Неинициальная аббревиатура, представляющая химическое соединение. Например, «...гелиальгинат кальция (Alg2Ca)...». Отличительной особенностью такой аббревиатуры является использование прописных букв, которые могут занимать любую позицию, кроме первой.

2. Вероятностные характеристики появления в текстах аббревиатур различных типов

Предложенная классификация была использована для анализа 100 документов из области техники, экономики, пищевых производств, энергетики, механики, экологии, материаловедения, прикладной физики. Для каждого вида аббревиатуры подсчитывалось количество её появления в документах.

Результаты представлены на диаграмме (рис. 1). Из диаграммы видно, что первые пять типов аббревиатур составляют почти 90% от общего количества аббревиатур в исследованных текстах. Процесс выделения терминов для этих типов аббревиатур будет подробно рассмотрен ниже.

Пусть S_n представляет некоторое предложение:

$$S_n = e_1 e_2 \dots e_i \dots e_n,$$

где e_i – элемент предложения (слово, либо знак препинания).

Определим слово W как последовательность символов

$$W = s_1 s_2 \dots s_j \dots s_k, \quad (1)$$

где символ может быть некоторой буквой l из множества букв $l \in mL$ или цифрой d из множества цифр $d \in mD$.

Определим операцию выделения символа из слова:

$$s_j = W[j],$$

Также в тексте термина может использоваться знак тире, связывающий два слова. Если некоторый элемент предложения e_i содержит знак тире – $e_i[j] = "-"$, то его следует считать двумя словами и соответственно уменьшить значение p на 1 ($p = p - 1$).

В тексте термина, определяющего аббревиатуру, могут присутствовать слова, заключенные в круглые скобки. Эти слова поясняют другие слова термина и не представлены буквами в аббревиатуре. Поэтому слова в скобках не должны учитываться при расчете p для определения Ta . В отличие от аббревиатуры первая буква первого слова в скобках является строчной). Сформулируем условие выделения фрагмента текста, заключенного в круглые скобки. Пусть:

$$e_1 e_2 \dots e_i \dots e_j \dots e_n.$$

Представляет собой некоторый фрагмент текста, расположенный слева от аббревиатуры. Тогда если:

$$e_i = "(" \wedge e_j = ")" \wedge e_{i+1}[1].is \neq cap.$$

То все слова, заключенные между e_i и e_j , не должны учитываться при расчете длины Ta . Тогда:

$$p = m - (k + 1) + j - i + 1.$$

Выделение инициальных буквенных аббревиатур с элементами сложносокращенных слов

Если условие (4) не соблюдается, то можно предположить, что в аббревиатуре присутствует сложносокращенное слово, то есть она относится к типу С.

Поскольку первой букве аббревиатуры всегда должно соответствовать первое слово термина, которое начинается с этой же буквы, выделяем эту букву – $l = W_m[1]$. Затем определяем количество повторений первой буквы в аббревиатуре – n . В соответствии с п.1 при расчете длины термина учитываем слова, заключенные в круглые скобки, знаки препинания и тире. Начиная от слова с номером $m - 1$ ищем n слов, таких что:

$$l = e_j[1].li(j = m - 1, m - k).$$

Если n таких слов не обнаружено, то можно предположить, что одна из букв l в аббревиатуре W_m входит в сокращение не на первой позиции. В этом случае уменьшаем число $n := n - 1$ и продолжаем поиск слов. Если в результате оказалось что $n = 0$, то поиск расшифровки аббревиатуры прекращается. В противном случае переходим ко второму этапу.

На втором этапе необходимо убедиться, что имеется возможность определить Ta в соответствии с W_m . Для этого в Ta необходимо найти слова, соответствующие буквам $s_2 \dots s_j \dots s_k$ из аббревиатуры. Запускаем цикл поиска слов ($i = 1$):

Если $e_{n-i}[1] = s_{i+1}$, то $i := i + 1$ пока соблюдается условие $i \leq k$.

Если $e_{n-i}[1] \neq s_{i+1}$, то нужно искать равенство:

$$e_{n-i}[j] = s_{i+1}. \quad (5)$$

Для $j = 2, j \leq d$, где d – количество букв в слове e_{n-i} . Если такое равенство не будет обнаружено, то поиск расшифровки аббревиатуры прекращается. В противном случае аббревиатура W_m и соответствующий ей текст Ta помещаются в словарь предметной области в качестве термина.

Выделение инициальных буквенных аббревиатур на иностранных языках

Приведенные ниже алгоритмы могут использоваться, если язык документа – кириллица (русский, украинский, белорусский, болгарский, сербский языки).

Термины для аббревиатур типов D и E выделяются аналогично выделению терминов для аббревиатур типов 1) и 2).

Рассмотрим способ выделения термина для аббревиатуры типа F. Аббревиатура, составлена из латинских букв, имеет расшифровку на языке документа и иностранном языке. В круглые скобки заключена аббревиатура и её расшифровка на иностранном языке. Расшифровка на языке документа приведена перед скобками. Например, «Вывод на основе прецедентов (CBR – Case – Based Reasoning) является...».

Для выявления такого варианта аббревиатуры предлагается следующий алгоритм:

1) Определяется слово W_m , которое может быть аббревиатурой. Для этого проверяются следующие условия:

$$e_{m-1} = "(" \wedge \forall s_j \in W_m \mid s_j.is = cap \wedge s_j.al = la.$$

Для $j = 1, j \leq k$, где k – количество входящих в аббревиатуру букв.

2) По правилам расшифровки инициальных буквенных аббревиатур анализируется текст,

расположенный после аббревиатуры до закрывающей круглой скобки.

3) Производится автоматизированный перевод текста, заключенного в круглые скобки.

4) Выделяется фрагмент текста перед круглыми скобками, содержащий k слов.

5) Если фрагмент текста и перевод с допустимой вероятностью совпадают, то в словарь заносится аббревиатура, её расшифровка на иностранном языке и на языке документа.

В соответствии с типом G аббревиатуры сокращение может не заключаться в круглые скобки. Например, «...как On – Line Analysis Processing, или OLAP...».

Для выявления такого варианта аббревиатуры предлагается следующий алгоритм:

1) Определяется слово W_m , которое может быть аббревиатурой. Для этого проверяются следующие условия:

$$e_{m-1} = \forall s_j \in W_m \mid s_j.ls = cap \wedge s_j.al = la.$$

Для $j = 1, j \leq k$, k – количество входящих в аббревиатуру букв.

2) В пределах предложения, в котором обнаружена предполагаемая аббревиатура W_m , слева от W_m определяется последовательность слов, составленных из латинских букв. Предполагается, что эта последовательность будет представлять толкование аббревиатуры Ta .

3) По правилам, изложенным в пункте «Выделение инициальных буквенных аббревиатур», производится анализ соответствия Ta аббревиатуре.

Для аббревиатур типа Н и I возникают большие затруднения с точным определением термина. Они связаны с тем, что для них нет соответствия начальных букв в словах термина и в аббревиатуре. А для типа I также нет соответствия между количеством знаков в аббревиатуре и количеством слов в термине. Поэтому для типов Н и I приняты решения в качестве заготовки для термина предоставить фрагмент текста слева от аббревиатуры. Предполагается, что этот текст в дальнейшем будет редактироваться экспертом.

Пусть $e_1 e_2 \dots e_i \dots e_n$, – некоторое предложение и $e_i = s_1 s_2 \dots s_j \dots s_k$ – элемент предложения. Если, как минимум два символа из e_i соответствуют условию:

$$\left. \begin{aligned} s_l \in e_i \wedge s_l \in Lm \wedge s_l.ls = cap \wedge s_l.al = la \\ s_m \in e_i \wedge s_m \in Lm \wedge s_m.ls = cap \wedge s_m.al = la \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

То можно считать, что e_i является аббревиатурой. Тогда в качестве термина Ta можно принять:

$$Ta = e_1 e_2 \dots e_{i-1}.$$

Если $k \leq 2 \times (i - 1)$, в остальных случаях:

$$Ta = e_{i-2 \times k} \dots e_{i-1}$$

В соответствии с условием (6) может быть выделено и собственное имя, например, программного продукта, однако это не приведет к ошибке, поскольку собственные имена также могут быть терминами.

4. Аprobация принятых решений

В работе [13] разработан программный продукт, позволяющий автоматизировать процесс выделения терминов из текстовых документов. Используя программный продукт из работы [13], была реализована модель выделения термина для аббревиатур, которая определяет цепочку слов в зависимости от выявленного типа аббревиатуры. Программный продукт TermsSelect был расширен модулем – «выделение аббревиатур». Схема обработки документа представлена на рис. 2.



Рис. 2. Функциональная схема программы TermsSelect

На рис. 3 представлено окно, позволяющее эксперту отредактировать термин, определяющий аббревиатуру типа С.

Рис. 3. Просмотр и редактирование термина

Для проведения испытаний предложенной модели были использованы тексты из различных областей науки и техники. Испытание программного продукта, предложенного в работе [13] и добавленного модуля для выделения аббревиатур, показало, что при использовании TermsSelect среднее время выделения термина и определяющую его аббревиатуру, из документа объемом 10000 слов, составило 16,3 секунд. В тех же условиях время выделения терминов экспертом составило 2 часа. При этом ошибок не было выявлено. Таким образом, при обработке текстов удалось получить существенное повышение качества выделения многословных терминов и их аббревиатур.

Заключение

1. Предложена классификация аббревиатур с точки зрения их орфографии, что позволило создать детерминированные процедуры выделения соответствующих терминов.
2. Проведенные статистические исследования показали, что предложенная классификация позволяет выявлять около
3. Разработана математическая модель выделения аббревиатур, позволившая формализовать как процесс выявления аббревиатуры, так и процесс определения её толкования.
4. Создан программный продукт, позволяющий в значительной степени автоматизировать процесс выделения аббревиатур из текста.

Литература

1. Избачков Ю. С. Информационные системы : учебник для вузов / Ю. С. Избачков, В. Н. Петров. – Питер, 2011. – 544 с.
2. Кунгурцев А. Б. Метод автоматизированного построения толкового словаря предметной области [Электронный ресурс] / А. Б. Кунгурцев, Я. В. Поточняк, Д. А. Силяев // Технологический аудит и резервы производства – 2015. – № 2/2(22). – С. 58 – 63. – Режим доступа : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv_2015_2%282%29__12.
3. Кунгурцев О. Б. Побудова словника предметної області на основі автоматизованого аналізу текстів українською мовою / О. Б. Кунгурцев, С. В. Ковальчук, Я. В. Поточняк, М. В. Широкоступ // Технічні науки та технології – 2016. – № 3 (5). – С. 164–174.
4. Кунгурцев А.Б. Учет межфразовых связей при автоматизированном построении толкового словаря предметной области / А. Б. Кунгурцев, А. И. Гаврилова, А. С. Леонгард, Я. В. Поточняк // Информатика и математические методы в моделировании. – 2016. – № 2. – С. 173–183.
5. Суперанская А. В. Общая терминология: Вопросы теории. Аббревиация в терминологии / А. В. Суперанская, Н. В. Подольская, Н. В. Васильева. – Изд. 6-е. – М. : Книжный дом «ЛИБРОКОМ». – 2012. – 248 с.
6. Нургалева Т. Г. Аббревиация как средство экспрессивного словообразования [Электронный ресурс] : дис. ... канд. филол. наук, спец. 10.02.04 «Германские языки» / Т. Г. Нургалева. – Москва, 2010. – 240 с. – Режим доступа : <http://www.dissercat.com/content/abbreviatsiya-kak-sredstvo-ekspressivnogo-slovoobrazovaniya>
7. Jenkins K. Deciphering Journal Abbreviations with JAbbr // Code4Lib Journal. – 2009. – № 7. – URL : <https://journal.code4lib.org/articles/1758>
8. Mikolov T. Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space [Electronic resource] / T. Mikolov, K. Chen, G. Corrado, J. Dean // arXiv.org. – 2013. – URL : <http://arxiv.org/pdf/1301.3781v3.pdf>
9. Mikolov T. Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality / T. Mikolov, I. Sutskever, K. Chen, G. Corrado, J. Dean // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2013. – P. 3111–3119.

10. Blei D. M. Latent Dirichlet Allocation / D. M. Blei, A. Y. Ng, M. I. Jordan // *Journal of Machine Learning Research*. – 2003. – № 3. – P. 993–1022.
11. Heinrich G. Parameter estimation for text analysis. – 2004. – URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.216.695>
12. Шилов И.М. Автоматическое выявление и расшифровка аббревиатур и сокращений в тексте / Шилов И.М. – СПбГУ, 2016.
13. Кунгурцев А. Б. Разработка информационной технологии выделения терминов из документов на естественном языке / А. Б. Кунгурцев, С. Л. Зиноватная, Я. В. Поточняк, М. А. Кутасевич // *Восточно-Европейского журнала передовых технологий*. – 2018. – № 6.

References

1. Izbachkov YU. S. Informacionnye sistemy : uchebnik dlya vuzov / YU. S. Izbachkov, V. N. Petrov. – Piter, 2011. – 544 s.
2. Kungurcev A. B. Metod avtomatizirovannogo postroeniya tolkovogo slovary predmetnoj oblasti [EHlektronnyj resurs] / A. B. Kungurcev, YA. V. Potochnyak, D. A. Silyaev // *Tekhnologicheskij audit i rezervy proizvodstva* – 2015. – № 2/2(22). – S. 58 – 63. – Rezhim dostupa : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv_2015_2%282%29__12.
3. Kunhurtsev O. B. Pobudova slovnika predmetnoi oblasti na osnovi avtomatyzovanoho analizu tekstiv ukrainskoiu movoiu / O. B. Kunhurtsev, S. V. Kovalchuk, Ya. V. Potochniak, M. V. Shyrokostup // *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii* – 2016. – № 3 (5). – S. 164–174.
4. Kungurcev A.B. Uchet mezhfrazovyh svyazey pri avtomatizirovannom postroenii tolkovogo slovary predmetnoj oblasti / A. B. Kungurcev, A. I. Gavrilova, A. S. Leongard, YA. V. Potochnyak // *Informatika i matematicheskie metody v modelirovanii*. – 2016. – № 2. – S. 173–183.
5. Superanskaya A. V. Obshchaya terminologiya: Voprosy teorii. Abbreviatsiya v terminologii / A. V. Superanskaya, N. V. Podol'skaya, N. V. Vasil'eva. – Izd. 6-e. – M. : Knizhnyy dom «LIBROKOM». – 2012. – 248 s.
6. Nurgaleeva T. G. Abbreviatsiya kak sredstvo ehkspressivnogo slovoobrazovaniya [EHlektronnyj resurs] : dis. ... kand. filol. nauk, spec. 10.02.04 «Germanskije yazyki» / T. G. Nurgaleeva. – Moskva, 2010. – 240 s. – Rezhim dostupa : <http://www.dissercat.com/content/abbreviatsiya-kak-sredstvo-ekspressivnogo-slovoobrazovaniya>
7. Jenkins K. Deciphering Journal Abbreviations with JAbbr // *Code4Lib Journal*. – 2009. – № 7. – URL : <https://journal.code4lib.org/articles/1758>
8. Mikolov T. Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space [Electronic resource] / T. Mikolov, K. Chen, G. Corrado, J. Dean // *arXiv.org*. – 2013. – URL : <http://arxiv.org/pdf/1301.3781v3.pdf>
9. Mikolov T. Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality / T. Mikolov, I. Sutskever, K. Chen, G. Corrado, J. Dean // *Advances in Neural Information Processing Systems*. – 2013. – P. 3111–3119.
10. Blei D. M. Latent Dirichlet Allocation / D. M. Blei, A. Y. Ng, M. I. Jordan // *Journal of Machine Learning Research*. – 2003. – № 3. – P. 993–1022.
11. Heinrich G. Parameter estimation for text analysis. – 2004. – URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.216.695>
12. ШИЛОВ И.М. Автоматическое выявление и расшифровка аббревиатур и сокращений в тексте / ШИЛОВ И.М. – СПбГУ, 2016.
13. Кунгурцев А. Б. Разработка информационной технологии выделения терминов из документов на естественном языке / А. Б. Кунгурцев, С. Л. Зиноватная, YA. V. Potochnyak, M. A. Kutasevich // *Vostochno-Evropejskogo zhurnala peredovyh tekhnologij*. – 2018. – № 6.

Рецензія/Peer review : 15.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Вичужанін В.В.

МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

З урахуванням стрімкого розвитку телекомунікаційних систем та інформаційних ресурсів, питання, пов'язані з захистом інформації, мають першочергове значення. Вирішення цих питань нерозривно пов'язане зі створенням унікальних телекомунікаційних систем і забезпеченням їх безпеки в умовах широкого використання нових інформаційних технологій і дії внутрішніх і зовнішніх загроз інформаційної безпеки. В даній роботі уточнена класифікація методів шифрування та захисту інформації стосовно телекомунікаційних систем і мереж. Розкрито питання несанкціонованого доступу в каналах передачі телекомунікаційних даних. Наведені структурні схеми та математичні моделі симетричної та асиметричної криптографічних системи. Здійснено аналіз переваг та недоліків кожної з систем. Так, поряд з обчислювальною простотою та інтуїтивною зрозумілістю симетричних криптосистем, вони мають ряд серйозних недоліків: проблема поширення симетричних ключів і їх зберігання. Перевагою асиметричного протоколу є наявність загальнодоступних відкритих ключів, що не вимагає секретності і закритих ключів, які зберігаються у користувачів. Разом із тим, асиметричні криптосистеми також мають свої недоліки, наприклад необхідність захисту відкритих ключів від підміни та менша швидкість в порівнянні із симетричними. Найбільш досконалі рішення полягають у поєднанні алгоритмів обох видів шифрування, тобто побудова гібридних криптосистем. Саме вони являються найбіль перспективними з точки зору застосування в телекомунікаційних мережах і системах.

Ключові слова: мережа, безпека, інформація, захист, несанкціонований доступ, криптосистема, алгоритм, шифрування, дешифрування, протокол.

V.I. STETSIUK, V.V. MISHAN, O.V. BOZHENOK

Khmelnitskyi National University

CONTROL METHODS OF INFORMATION FLOWS IN TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Modern society is accompanied by the rapid development of information resources and the growing role of the information sphere, which represents a set of information, information infrastructure, entities that collect, compile, disseminate and use information. Information sphere is a system-forming factor of society's life and actively influences the state of all components of security of the country. The material basis of the information sphere is the united information and telecommunication space of the country as the basis for solving the tasks of socio-economic, political, military, scientific and cultural development of the country and ensuring its security. In such conditions, the role of information is significantly increased and the problem of forming a single information space of the country and the transition from the industrial to the information society is actualized. A prerequisite for solving this problem is the improvement of information provision of the bodies of state administration, scientific, industrial, banking and other structures on the basis of reliable, timely, complete, systemically organized and safe information as the basis for effective management, security of the individual, society and the state. The solution of these issues is inextricably linked with the creation of unique telecommunication systems and the provision of their security in the widespread use of new information technologies and the actions of internal and external threats to information security. In view of this, the provision of information security implies the existence of an effective system for the administration and control of information security on telecommunications objects, the results of which are implemented a set of adequate methods of sustainable protection against threats, inextricably linked with the use of the results of in-depth studies of the fundamental aspects of information security, development scientifically grounded methods of providing information security protection in conditions of uncertainty, risk, external actions and dynamic changes in the objects of activity. The classification of methods of encryption and protection of information concerning telecommunication systems and networks is specified in the work. Issues of unauthorized access in telecommunication data transmission channels are disclosed. Structural schemas and mathematical models of symmetric and asymmetric cryptographic systems are presented. The analysis of the advantages and disadvantages of each system is analyzed.

Keywords: network, security, information, protection, unauthorized access, cryptosystem, algorithm, encryption, decryption, protocol.

Вступ.

Сучасне суспільство супроводжується стрімким розвитком інформаційних ресурсів. В таких умовах істотно підвищується роль інформації і актуалізується проблема формування єдиного інформаційного простору країни та переходу від індустріального до інформаційного суспільства. Необхідною умовою вирішення цієї проблеми є вдосконалення інформаційного забезпечення діяльності органів державного управління, наукових, промислових, банківських і інших структур на основі надання достовірної, своєчасної, повної, системно організованої і безпечної інформації, як основи ефективного управління, безпеки особи, суспільства і держави.

Вирішення цих питань нерозривно пов'язане зі створенням унікальних телекомунікаційних систем і забезпеченням їх безпеки в умовах широкого використання нових інформаційних технологій і дії внутрішніх і зовнішніх загроз інформаційної безпеки [1–4]. Яскравим проявом таких загроз є широкомасштабні «інформаційні війни», несанкціонований доступ до захищених інформаційних ресурсів, недостатня інформованість посадовців органів державного управління при аналізі технічних, соціально-економічних, політичних, військових, екологічних та інших ситуацій.

З урахуванням цього забезпечення інформаційної безпеки припускає наявність ефективної системи адміністрування і контролю безпеки інформації на телекомунікаційних об'єктах, за результатами

функціонування якої реалізується комплекс адекватних методів стійкого захисту від загроз, нерозривно пов'язаних з використанням результатів глибоких досліджень фундаментальних аспектів інформаційної безпеки, розробкою науково обґрунтованих методів забезпечення захисту інформації в умовах невизначеності, ризику, зовнішніх дій і динамічних внутрішніх змін об'єктів діяльності.

Основна частина.

Захист інформації в сучасних телекомунікаційних мережах – сукупність заходів і відповідних засобів, які забезпечують захист програм, баз і банків даних від несанкціонованого доступу, використання, руйнування або завдання шкоди в будь-якій іншій формі. Необхідність в інформаційній безпеці впливає із самої природи мережних служб, сервісів і послуг. Криптографічний захист інформації – вид захисту, що реалізується шляхом перетворення інформації з використанням спеціальних (ключових) даних з метою приховування / відновлення змісту інформації, підтвердження її справжності, цілісності, авторства тощо [1]. З точки зору несанкціонованого доступу канал передачі телекомунікаційних даних можна представити наступним чином:



Рис. 1. Канал передачі даних

Процедури шифрування і дешифрування можна представити в наступному вигляді:

$$\begin{aligned} c &= E_{k_e}(p); \\ p &= D_{k_d}(c) \end{aligned} \quad (1)$$

де p і c відповідно – відкритий і зашифрований тексти, k_e і k_d – ключі шифрування і дешифрування; E_{k_e} , D_{k_d} – функції шифрування з ключем k_e і дешифрування з ключем k_d відповідно, причому для будь-якого відкритого тексту справедливе співвідношення:

$$D_{k_d}(E_{k_e}(p)) = p \quad (2)$$

Шифрування і дешифрування повідомлень відбувається на вході і виході каналу передачі даних. Несанкціонована особа (НО) аналізує процес передачі інформації по каналу зв'язку і має можливість формувати свої власні повідомлення.

Розрізняють наступні типи алгоритмів шифрування: симетричні (із закритим або секретним ключем), асиметричні (з відкритим ключем) та гібридні (рис. 2).

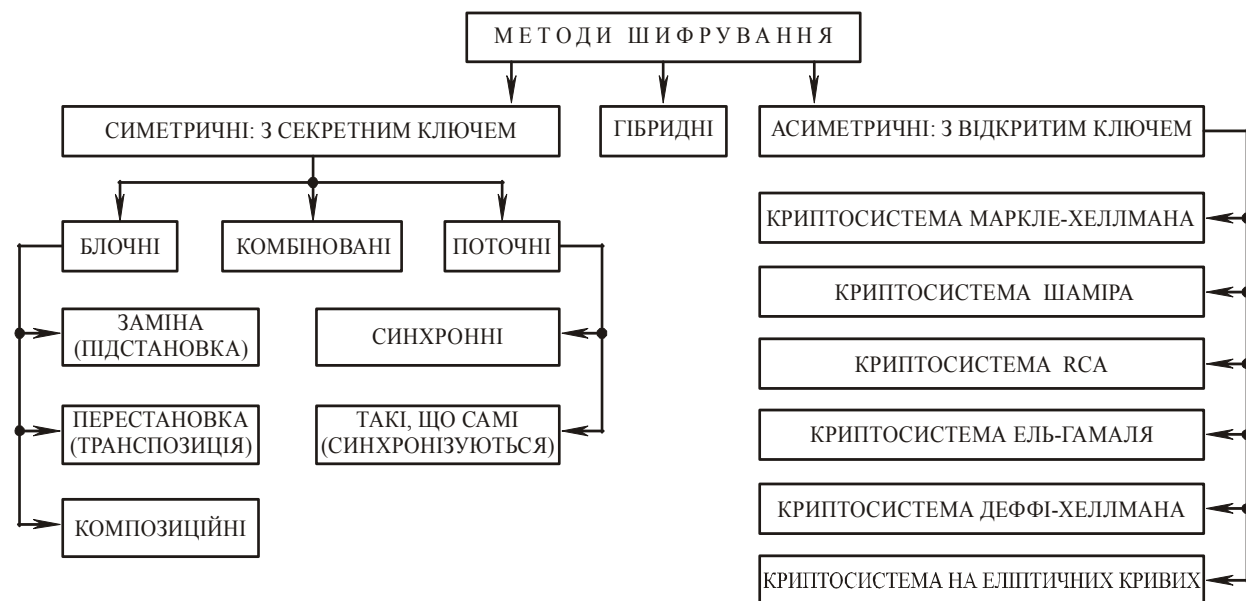


Рис. 2. Класифікація методів шифрування інформації

При симетричному методі ключ шифрування збігається з ключем дешифрування (рис. 3).

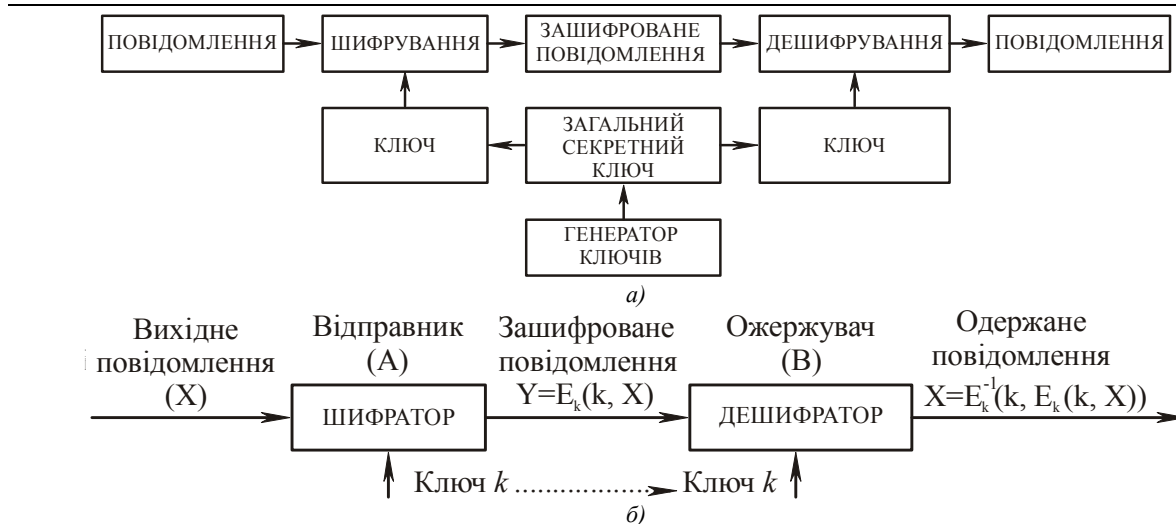


Рис. 3. Схема симетричної криптосистеми:
а) структурна схема; б) математична модель

В асиметричних алгоритмах (рис. 4) для шифрування і дешифрування використовуються різні ключі, причому знання одного з них не дає практичної можливості визначити інший.

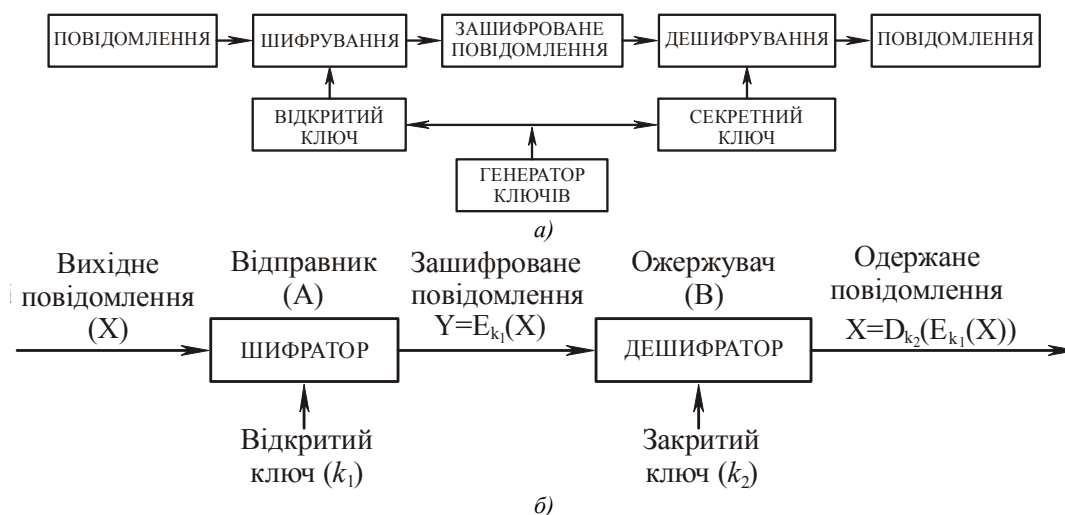


Рис. 4. Схема асиметричної криптосистеми:
а) структурна схема; б) математична модель

Асиметричні системи характеризуються тим, що для шифрування і дешифрування використовуються різні ключі, пов'язані між собою певною залежністю. При цьому дана залежність така, що встановити один ключ, знаючи інший, з обчислювальної точки зору дуже важко. Один з ключів (наприклад, ключ шифрування) може бути зроблений загальнодоступним, і в цьому випадку проблема отримання загального секретного ключа для зв'язку відпадає. Якщо зробити загальнодоступним ключ розшифрування, то на базі отриманої системи можна побудувати систему аутентифікації переданих повідомлень.

Асиметричні алгоритми шифрування визначається трьома алгоритмами: генерації ключів, шифрування і розшифрування. Алгоритм генерації ключів відкритий і вільно можна подати йому на вхід випадковий рядок r потрібної довжини та у відповідь отримати пару ключів (k_1, k_2) . Один з ключів (наприклад, k_1) публікується, він відкритий, а другий (секретний), зберігається в таємниці. Алгоритми шифрування E_{k_1} і дешифрування D_{k_2} такі, що для будь-якого відкритого тексту m : $D_{k_2}(E_{k_1}(m)) = m$.

Висновки

Переваги та недоліки симетричного протоколу. Поряд з обчислювальною простотою та інтуїтивною зрозумілістю симетричних криптосистем, вони мають ряд серйозних недоліків: проблема поширення симетричних ключів і проблема їх зберігання. При використанні симетричних криптосистем для шифрування інформації між користувачами криптографічного мережі необхідно забезпечити безпечну передачу ключів шифрування між усіма учасниками криптографічного обміну. При цьому передача ключа шифрування обов'язково повинна здійснюватися по закритому каналу, так як перехоплення зловмисником даного ключа веде до компрометації всієї криптографічної мережі, і подальше шифрування інформації втрачає сенс. Однак наявність закритого каналу зв'язку дозволяє передавати і сам відкритий текст з даного каналу. Таким чином, необхідність шифрування як би відпадає. Проблема зберігання симетричних ключів шифрування полягає також і в тому, що всі учасники криптографічної мережі повинні володіти ключем

шифрування, тобто мати до нього доступ. При великій кількості учасників криптографічного обміну даний факт значно підвищує ймовірність компрометації ключів шифрування. У зв'язку з цим, використання симетричних алгоритмів передбачає наявність взаємної довіри сторін. Несумлінність відносини одного з тисячі учасників криптографічного обміну до питання зберігання ключів може призвести до витоку ключової інформації, через що постраждають всі учасники, в тому числі і ті, що сумлінно ставляться до своїх обов'язків зі зберігання ключів. Ймовірність компрометації ключів тим вище, чим більша кількість користувачів входить в криптографічний мережу. Це є великим недоліком симетричних криптосистем.

Переваги та недоліки асиметричного протоколу. Перевагою протоколу є те, що розподіл відкритих ключів не вимагає секретності. У мережі зв'язку нерідко відкриті ключі користувачів містяться в загальнодоступній базі даних, а закриті ключі зберігаються у користувачів.

Переваги асиметричних криптографічних систем перед симетричними криптосистемами:

- в асиметричних криптосистемах вирішена складна проблема розподілу ключів між користувачами, так як кожен користувач може згенерувати свою пару ключів сам, а відкриті ключі користувачів можуть вільно публікуватися і поширюватися мережевими комунікаціями;

- зникає квадратична залежність числа ключів від числа користувачів; в асиметричній криптосистемі число використовуваних ключів пов'язане з числом абонентів лінійною залежністю (в системі з N користувачів використовуються $2N$ ключів), а не квадратичною, як в симетричних системах;

- асиметричні криптосистеми дозволяють реалізувати протоколи взаємодії сторін, які не довірять один одному, оскільки при використанні асиметричних криптосистем закритий ключ повинен бути відомий тільки його власнику.

Недоліки асиметричних криптосистем:

- на даний момент немає математичного доказу незворотності використовуваних в асиметричних алгоритмах функцій;

- асиметричне шифрування істотно повільніше симетричного, оскільки при шифруванні і розшифровці використовуються досить ресурсомісткі операції; з цієї ж причини реалізувати апаратний шифратор з асиметричним алгоритмом істотно складніше, ніж реалізувати апаратно-симетричний алгоритм;

- необхідність захисту відкритих ключів від підміни.

Якими б недоліками і перевагами не володіли асиметричні та симетричні криптографічні методи шифрування, необхідно відзначити, що найбільш досконалі рішення – це ті, які вдало поєднують в собі алгоритми обох видів шифрування, тобто гібридні. Саме вони являються найбільш перспективними з точки зору застосування в телекомунікаційних мережах і системах.

Література

1. Захарченко М. В. Асиметричні методи шифрування в телекомунікаціях : навч. посіб. / М. В. Захарченко, О. В. Онацький, Л. Г. Йона, Т. М. Шинкарчук. – Одеса : ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2011. – 184 с.
2. Стецюк В. І. Аналіз методів кодування інформації в цифровому телебаченні / В. І. Стецюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : міжнародний науково-технічний журнал. – 2000. – № 3. – С. 78–82.
3. Стецюк В. І. Вплив психовізуальної надлишковості телевізійних повідомлень на спектр частот відеосигналів / В. І. Стецюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : міжнародний науково-технічний журнал. – 2001. – № 3. – С. 77–79.
4. Стецюк В. І. Аналіз систем обмеженого доступу в мережах кабельного телебачення / В. І. Стецюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : міжнародний науково-технічний журнал. – 2002. – № 2. – С. 172–178.

References

1. Zakharchenko M. V. Asymetrychni metody shyfruvannya v telekomunikatsiakh : navch. posib. / M. V. Zakharchenko, O. V. Onatskyi, L. H. Yona, T. M. Shynkarchuk. – Odessa : ONAZ im. O. S. Popova, 2011. – 184 s.
2. Stetsiuk V. I. Analiz metodiv koduvannya informatsii v tsyfrovomu telebachenni / V. I. Stetsiuk // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh : mizhnarodnyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal. – 2000. – № 3. – S. 78–82.
3. Stetsiuk V. I. Vplyv psikhovizualnoi nadlyshkovosti televiziinykh povidomlen na spektr chastot videosyhnaliv / V. I. Stetsiuk // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh : mizhnarodnyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal. – 2001. – № 3. – S. 77–79.
4. Stetsiuk V. I. Analiz system obmezenoho dostupu v merezhakh kabelnoho telebachennia / V. I. Stetsiuk // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh : mizhnarodnyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal. – 2002. – № 2. – S. 172–178.

Рецензія/Peer review : 20.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.

Рецензент: д.т.н., доц. Любчик В.Р.

OPTIMAL PARTITIONING OF AN INITIAL DATASET INTO SUBDATASETS TO BE CLUSTERED FOR GETTING RID OF THE DATASET SUPERFLUITIES FOR A MACHINE LEARNING TASK

As preprocessing huge datasets may consume far more resources than solving a machine learning task, an approach to optimal partitioning an initial dataset into subdatasets is suggested. Every subdataset is subsequently clustered in order to filter surplus objects from it. This is fulfilled based on the previously suggested approach to optimizing a dataset by clustering it and selecting closest-to-the-centroid objects, which constitute thus a refined dataset. Firstly, it is described how subdatasets are obtained. An initial number of objects is 2 to the power of some integer. This integer is presumed to be greater than 6 because a dataset of less than 100 objects is counted small, and so partitioning it further is hardly reasonable. Both the number of entries in a subdataset and the number of subdatasets of the same type also are 2 to the power of some integers. When, secondly, the dataset hugeness is explained and formalized, a factor showing how the subdataset may be maximally "squeezed" is introduced. This factor can be equal to from 2 up to the power integer for the initial number of objects decreased by 1. If this factor is great, it shows superfluities in the initial dataset. Besides, it defines the number of different types of subdatasets. For lesser values of the factor, the dataset superfluity is less, but the number of subdatasets grows. The minimal value of the factor gives the least hugeness of the dataset, where it can be 4 times "squeezed" at the most. Finally, the initial dataset is optimally partitioned by a squeezing factor and a certain subdataset type, at which the time taken by clustering is minimized. A data augmentation technique can be used to achieve such a 2-to-the-power representation. This is for the approach could be efficiently parallelized.

Keywords: machine learning, dataset, clustering, dataset partitioning, subdatasets.

В. В. РОМАНЮК

Військово-морська академія Польщі, Гдиня

ОПТИМАЛЬНЕ РОЗБИТТЯ ПОЧАТКОВОГО НАБОРУ НА ПІДРОЗДІЛИ ДАНИХ ДЛЯ ЇХ ПОДАЛЬШОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ З МЕТОЮ ЗНЯТТЯ НАДЛИШКІВ У НАБОРІ ДЛЯ ЗАДАЧІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Оскільки передпроцесінг великих наборів даних може потребувати набагато більше ресурсів, ніж вирішення задачі машинного навчання, пропонується підхід до оптимального розбиття вихідного набору даних на підрозділи. Кожен підрозділ даних потім кластеризується, щоб відфільтрувати надлишкові об'єкти з нього. Це виконується на основі запропонованого раніше підходу до оптимізації набору даних шляхом кластеризації та вибору найближчих до центроїдів об'єктів, які, таким чином, утворюють удосконалений набір даних. Початкове число об'єктів дорівнює 2 у деякій цілій степені. І кількість записів у підрозділі, і кількість підрозділів того ж типу також дорівнюють 2 у деяких цілих степенях. Вводиться фактор, який показує, як можна максимально "стиснути" підрозділ. Для менших значень цього фактора надлишковість набору даних менша, але кількість підрозділів зростає. Його мінімальне значення означає найменшу надлишковість набору даних, де він може бути "стиснутий" в 4 рази щонайбільше. Початковий набір даних оптимально розбивається за такого фактора стискування та певного типу підрозділів, за яких час кластеризації мінімізується. Для здійснення вказаного подання у формі "2 у степені" можна використати техніку збільшення даних.

Ключові слова: машинне навчання, набір даних, кластеризація, розбиття набору даних, піднабори даних.

Introduction and motivation

The dataset is a crucial part in solving any machine learning task. Recently, it was shown in [1] that a dataset may be optimized by clustering. Article [1] explains that, in a wider sense, a dataset is optimized by filtering surplus objects from it. Namely, an approach to forming an optimal dataset (either of real-world objects or synthetic ones) for a machine learning task was suggested in [1] for when an initial number of objects is significantly greater than required. The proposed approach relies on an appropriately selected algorithm of clustering and a distance [2, 3]. It considers two cases of the number of objects, at which the training process is presumably close to optimal. In the case #1, the number is unknown but included into an interval between the known integers. Then, the optimal number of objects is determined by using the silhouette criterion [4]. Here, the optimal number of objects to be included into the corresponding dataset is the optimal number of clusters at which the maximum of the silhouette criterion function is achieved. When the optimal number of dataset entries is known, i. e. determined by using the silhouette criterion or known-beforehand (the case #2), the initial set of objects is clustered, where the number of clusters is equal to that number of dataset entries. In each cluster, the object closest to the cluster centroid is the best one for including it into the dataset. The closeness is treated by the same distance used previously in the silhouette criterion function and clustering [3]. The closest-to-the-centroid objects are found by minimizing the distance to the centroid. So, the optimal dataset consists of such objects.

Article [1] also suggested that if an initial number of objects is too great, it would be reasonable to break them into a few groups. This is crucial for accelerating the process of clustering. Thus, an optimal subdataset will be formed from each group by using the same approach of clustering and selecting closest-to-the-centroid objects. However, when should an initial group of objects be broken for forming optimal subdatasets? It is obvious that a criterion for partitioning an initial dataset into subdatasets to be optimized is the amount of resources spent for the process of clustering. In particular, it is the time which is taken by clustering. Besides, if the optimal number of objects for optimal subdatasets is unknown, then using the silhouette criterion is too much time-consuming.

So, the question is how should huge initial datasets be partitioned before clustering? Is it possible to know a close-to-optimal number of subdatasets, each of which will be clustered separately? Before answering these questions, the hugeness of a dataset must be formalized. Representation of classes and a partitioning must be linked.

Goal of the article and tasks to be fulfilled

The goal of the article is to develop an approach to optimal partitioning an initial dataset into subdatasets to be clustered. This will provide a faster and more efficient preparation of an optimal dataset for a machine learning task. For achieving the article's goal, the following three tasks are to be fulfilled: 1) to describe how subdatasets are obtained; 2) to formalize the dataset hugeness; 3) to describe how an optimal partitioning is searched.

Subdatasets and superfluities in the initial dataset

Let Q be an initial number of objects. These objects constitute the initial dataset. For convenience of partitioning the dataset into subdatasets of an equal volume, let $Q = 2^W$ by $W \in \mathbb{N} \setminus \{1, 6\}$. The reason for such W is that a dataset of less than 100 objects is counted small, and so partitioning it further is hardly reasonable. A matter of object representation in each class will be discussed below.

In the u -th subdataset type, let integer N_u be a number of objects, at which the training process is presumably close to optimal. If there are initially, say, $Q = 1024$ objects, then such a dataset can be partitioned into the following versions of subdatasets: 1) two subdatasets by 512 objects; 2) four subdatasets by 256 objects; 3) eight subdatasets by 128 objects; ...; 7) 128 subdatasets by eight objects. Surely, the case when no partition is reasonable is additionally included, where, potentially, $N_1 \in \{256, 512\}$ by holding at a kind of principle of double-integer uncertainty [5]. For the case of two subdatasets, $N_2 \in \{128, 256\}$ and $N_3 \in \{64, 128\}$ for the case of four subdatasets, and so on. And it is reasonable that $N_8 \in \{2, 4\}$ because of only eight objects in each of 128 subdatasets. Thus, every subdataset is at least 2 times "squeezed" (i. e., optimized or filtered). At the most, it may be 4 times "squeezed".

However, this has been just a single example of how the dataset is partitioned (eight cases including the case with no partition by $u=1$). Here is another example (for the same initial set of 1024 objects), where every subdataset is from 4 to 8 times "squeezed": 1) two subdatasets by 512 objects and $N_2 \in \{64, 128\}$; 2) four subdatasets by 256 objects and $N_3 \in \{32, 64\}$; 3) eight subdatasets by 128 objects and $N_4 \in \{16, 32\}$; ...; 6) 64 subdatasets by 16 objects and $N_7 \in \{2, 4\}$. The case when no partition is reasonable comes at $N_1 \in \{128, 256\}$.

Continuing on the same logics, there is a case of an ultimate squeezing, where the initial dataset is not partitioned at all but only from 2 to 4 best objects are filtered out. In other words, here the dataset is from 512 down to 256 times "squeezed". Formally, there is the single subdataset type represented singly by the initial dataset, and $N_1 \in \{2, 4\}$ for such a case.

Henceforward, a factor

$$z \in \{2, \log_2 Q - 1\} \quad \text{or} \quad z \in \{2, W - 1\} \quad (1)$$

shows how the subdataset may be maximally "squeezed": the number of squeezing times is equal to 2^z . Integer 2^z is the maximally possible squeezing coefficient. If factor (1) is great, it shows superfluities in the initial dataset. Besides, it defines the number of different types of subdatasets, which is equal to $W - z$. The total number of subdatasets of the u -th subdataset type is 2^{u-1} by $u = 1, \overline{W - z}$. Every subdataset of u -th type has $Q_u = Q/2^{u-1}$ entries. For the three cases, exemplified above, factor z is equal respectively to 2, 3, and 9. Moreover, the number of objects, at which the training process is presumably close to optimal for every subdataset of the u -th type, is

$$N_u \in \{N_{\min}^{(u)}, N_{\max}^{(u)}\} \quad \text{by} \quad N_{\min}^{(u)} = 2^{W-z-u+1} \quad \text{and} \quad N_{\max}^{(u)} = 2N_{\min}^{(u)} \quad \text{for} \quad u = 1, \overline{W - z} \quad (2)$$

by factor (1). Obviously, setting $z = W - 1$ may serve as an evidence of hugeness of the dataset. For lesser z , the dataset superfluity is less, but the number of subdatasets grows. Factor $z = 2$ gives us the least hugeness of the dataset, where it can be 4 times "squeezed" at the most. Superfluity and hugeness imply here much the same.

Searching for an optimal partitioning

Obviously, rationality of the partitioning depends on the number F of object features. Therefore, the time t which is taken by clustering can be considered as a function $t(z, u, F)$. Then the initial dataset is optimally partitioned by the parameters

$$[u^*(F) \quad z^*(F)] \in \arg \min_{z \in Z \subset \{2, \overline{W-1}\}} \left\{ \min_{u=1, \overline{W-z}} t(z, u, F) \right\} \quad (3)$$

where $u^*(F)$ is the optimal subdataset type, and $z^*(F)$ is the optimal factor for squeezing the subdatasets by the given number of object features, and $Z \subset \{2, \overline{W-1}\}$ is an admissible subset of the squeezing factors suitable for the given task. Occasionally, if the number of object features can be varied, then, for instance, it is

$$F \in \{\alpha F_{\min}\}_{\alpha=1}^{\alpha_{\max}} \quad \text{by} \quad \alpha_{\max} \in \mathbb{N} \setminus \{1\} \quad (4)$$

where $F_{\min}$ is a minimal number of features (see Figure 1 along with Figure 2 showing influence of this number).

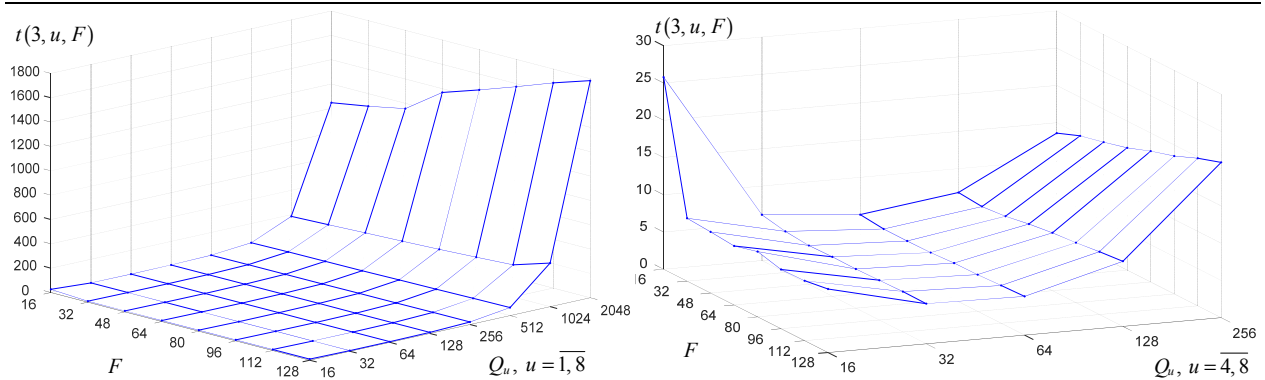


Figure 1. An example of the time spent for the clustering by varying the number of object features according to (4), where $z = 3$

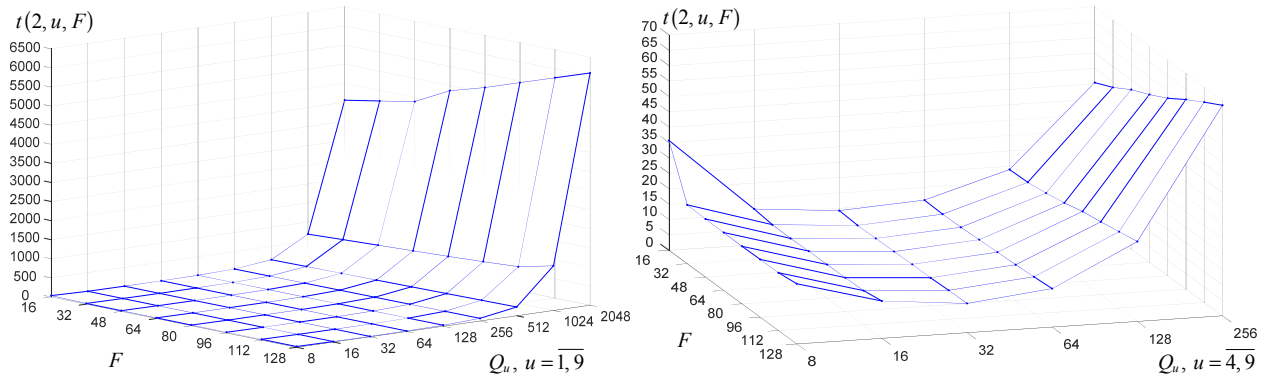


Figure 2. The added example of the time spent for the clustering by varying the number of object features according to (4), where $z = 2$

The example visualized above stands for not much superfluities in the initial dataset. It solves problem (3) for $Z = \{2, 3\}$ and any number of features from 16 to 128: 32 datasets by 64 entries are clustered into 8 to 16 clusters faster (see Figure 1 to the right) than 64 datasets by 32 entries are clustered into the same interval of clusters (see Figure 2 to the right). Influence of the number of object features on the time spent for the clustering is minor.

Discussion and conclusion

If the dataset represents D classes, with d_i objects in the i -th class, then they should satisfy a statement

$$\min_{i=1, D, k=1, D} \{ \max \{ d_i / d_k, d_k / d_i \} \} \text{ by } \sum_{i=1}^D d_i = Q = 2^W. \quad (5)$$

If initially $Q \neq 2^W$, this can be achieved by using a data augmentation technique [6, 7] allowing also to achieve approximately equal representation of classes. Similar equal representation of each class should be achieved for every subdataset, where the principle in (5) can be used. In the naive way, the classes must be “allocated” randomly.

The proposed 2^W -approach is intended to be efficiently parallelized. It relies on statement (5) holds, whereupon problem (3) is solved numerically. After subdatasets are determined, the approach of clustering and selecting closest-to-the-centroid objects [1] will filter surplus objects from every subdataset. Then, the optimized subdatasets are gathered into the refined dataset, which is considered to be optimal itself for a machine learning task.

References

1. Romanuke V. V. Optimization of a dataset for a machine learning task by clustering and selecting closest-to-the-centroid objects // Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. — 2018. — No. 6, Vol. 1. — P. 263 — 265.
2. Nylen E. L., Wallisch P. Neural Data Science. Chapter 9 — Classification and Clustering / Academic Press, 2017. — P. 249 — 276.
3. Larsson C. 5G Networks. Chapter 6 — Clustering / Academic Press, 2018. — P. 123 — 141.
4. Campello R. J. G. B., Hruschka E. R. A fuzzy extension of the silhouette width criterion for cluster analysis // Fuzzy Sets and Systems. — 2006. — Vol. 157, Iss. 21. — P. 2858 — 2875.
5. Romanuke V. V. Interval uncertainty reduction via division-by-2 dichotomization based on expert estimations for short-termed observations // Journal of Uncertain Systems. — 2018. — Vol. 1, No. 12. — P. 3 — 21.
6. Romanuke V. V. Training data expansion and boosting of convolutional neural networks for reducing the MNIST dataset error rate // Research Bulletin of NTUU “Kyiv Polytechnic Institute”. — 2016. — No. 6. — P. 29 — 34.
7. Lv J.-J., Shao X.-H., Huang J.-S., Zhou X.-D., Zhou X. Data augmentation for face recognition // Neurocomputing. — 2017. — Vol. 230. — P. 184 — 196.

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ SDN МЕРЕЖІ ЗА ДОПОМОГОЮ КЕРУЮЧОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Мета роботи полягає в підвищенні ефективності SDN мережі за допомогою керуючого програмного забезпечення. Запропоновано методiku розробки програмного забезпечення, яке спростить можливість керування процесами обслуговування комп'ютерної, а саме мобільної, мережі та покращить її технічні показники, характеристики та надійність фізичної і програмної інфраструктури. За допомогою первинних математичних моделей в роботі була розроблена математична модель розрахунку вартості мережі, на базі якої можливо розрахувати ефективність витрат на постачання послуг. В статті розроблено математичну модель розрахунку та запропоновано метод покращення її основних надійнісних характеристик за допомогою математичної моделі керування транспортним рівнем програмно-орієнтованої мережі. Визначено що децентралізовані системи, які мають програмний рівень, можуть підтримувати характеристики надійності та можливості планування і керування процесами на мікрорівні.

Ключові слова: програмне забезпечення, програмно-керована мережа, централізована та децентралізована система керування, мобільна та стаціонарна мережа, мобільні стандарти, відмова, вартість об'єкту, показники надійності, мережева інфраструктура, перше-образні моделі, математичні моделі.

SERHII DAKOV

Taras Shevchenko National University of Kyiv

METHOD OF EFFICIENCY ADVANCEMENT OF THE SDN NETWORK BY SOFTWARE

The purpose of the work is to increase the efficiency of SDN network with the help of control software. A software development methodology is proposed that simplifies the ability to manage computer maintenance processes, namely the mobile network, and will improve its technical characteristics, characteristics and reliability of the physical and software infrastructure with the help of primary mathematical models. One of the main shortcomings of the software - oriented network is the high cost of equipment, due to the novelty of hardware infrastructure, which is only introduced in the industrial standard and does not have any industry standard. Therefore, the cost of the controller and switches is much more evident than the cost of the classical network. In this paper a mathematical model for calculating the cost of a network was developed, on the basis of which it is possible to calculate the efficiency of costs for the supply of services. The second disadvantage is the problem of centralized control systems that is lower than the classical network types. In this work, a mathematical model of calculation was developed and a method for improving its basic reliability characteristics was proposed with the help of a mathematical model for managing the transport levels of a software-oriented network. It has been determined that decentralized systems that have a program level can support the characteristics of reliability and the ability to plan and manage processes at the "micro" level.

Keywords: software, software-managed network, centralized and decentralized control system, mobile and fixed network, mobile standards, failure, object cost, reliability indicators, network infrastructure, first-model models, mathematical models.

Вступ

Мережі 3GPP мають складну структуру. Мережі 3GPP складаються з мікро- та макрорівнів, що вже ускладнює контроль роботи з трафіком, так як принцип роботи цих рівнів відрізняється обладнанням та програмними засобами. До того ж технічні засоби додають ускладнення в роботі, ці ускладнення перетворюються на помилки або затримки в мережі, що призводить до погіршення і впливає на якість послуг.

Інструмент керування мережею – це автоматизовані чи програмні засоби керування, тому для роботи зі швидкісними мережами з такими типами трафіку вже необхідні програмні засоби керування процесами. А саме програмне забезпечення, що буде за допомогою моделі процесу аналізувати показники та враховувати негативні критерії, які необхідно розробити, перевірити за допомогою впровадження програмно-керованих мереж, в яких все програмне забезпечення встановлене на гіпервізорі.

Стандарти 3GPP розвиваються в напрямку 5G, де дуже велику роль матиме надійність та можливість легкого керування значними об'ємами трафіку. Тому саме централізоване керування середовищем є актуальним в майбутньому та на даний час, яке позиціонує себе саме як інструмент для великих масивів інформації. Така технологія має значно більші характеристики ніж 3 та 4G. Виходячи з цього, актуально використовувати саме software-defined networking (SDN). Але не меншу актуальність для мережі 5G має надійність. Тому програмне забезпечення (ПЗ) допоможе автоматизувати дуже велику кількість процесів та зробить показники мережі кращими, дасть можливість відповідати вимогам вище згаданого стандарту.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В статті [1] автор акцентує увагу на системі керування інфраструктурою мережі, яка є багатоінструментальною складовою програмно-керованої мережі, та не виділяє низьку надійність мережі SDN. В літературі [2] статті описано надійність системи SDN. Запропоновано низьку надійність перемиканням з мережі OpenFlow на класичну мережу, що саме допоможе підтримати працездатність мережі та підняти її надійність. Але треба сказати, що показники мережі значно зменшаться, тому що IP-мережа за своїми характеристиками поступається, що можливо побачити в роботі [3] та при переході до

більш сучасної мережі можливо отримати на деяких ділянках перевантаження та зниження якості послуги. Треба підкреслити, що надійність OpenFlow дійсно вище ніж у мережі Overlay.

В статті [4] розглянуто метод роботи мережі в перевантаженому режимі, що в комплексі вирішує проблему переключення з SDN на NAT, але низька надійність мережі Overlay залишається, що робить у використанні мережу практично неможливою для мобільного оператора або великих об'єктів стаціонарної мережі. А для стандартів 4G та 5G надійність має певну характеристику, яка дорівнює більше ніж можуть забезпечити контролер SDN та обладнання інших рівнів [6, 7].

Треба зазначити, що робота над надійністю мережі має дуже важливий характер і для централізованих мереж – це життєво важливий цикл. Тому необхідне застосування додаткових інструментів. Але вартість централізованих мереж також дуже значна, що можливо побачити в статті [8], де врахована не лише первинна вартість об'єкта, а й його модернізація та розширення.

Багато проблем можна вирішити за допомогою програмного забезпечення, яке можливо встановити на прикладному рівні програмно-керованої мережі або ПКМ [9], за допомогою якого ми матимемо можливість керувати процесами та автоматизувати багато процесів мережі, в тому числі об'єднати існуючі моделі та функції. В комплексі ці моделі зможуть зменшити вартість та підняти показники мережі. Автор виявив саме ті недоліки, які не згадані в роботах на тему централізованих ПКМ.

Метою роботи є визначення негативних критеріїв, які можуть виникнути внаслідок експлуатації мобільної або стаціонарної мереж, можливості керувати процесом та наслідків, які покращать можливість керування за допомогою програмного забезпечення, що буде аналізувати процеси та надавати змогу тримати явища в межах, що будуть встановлені за допомогою програмного забезпечення на прикладному рівні.

Виклад основного матеріалу

Програмно-керована система має недоліки, такі як велика вартість та низька надійність, що виходить з самої архітектури клієнт-сервер або з її централізованого вигляду. До того ж треба врахувати, що основний тип промислових мереж має вигляд гетерогенної мережі, але за допомогою SDN можливо поліпшити керування цієї мережі та підвищити динаміку впровадження нового обладнання, яке може відрізнятися не лише такими критеріями, як пропускна здатність, затримка та повторне використання ресурсу, але різновидом інтерфейсу та адаптивними можливостями обладнання, що дуже ускладнює роботу персоналу та робить можливість обслуговування мережі дуже важкою та затратною.

На рис. 4–6 зображена архітектура транспортних сегментів мобільної мережі LTE

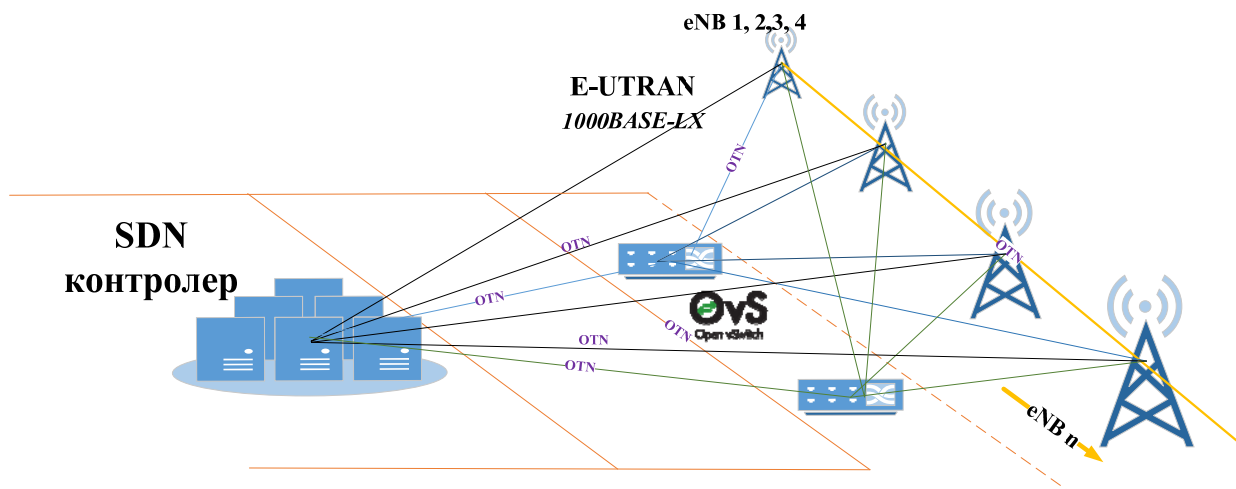


Рис. 1. Архітектура software-defined networking

Архітектура програмно-орієнтованої мережі має ієрархічно залежну, складну, багатопідрівневу систему передавання потоків трафіку за допомогою процесів керування контролером SDN, який керує OvS свічами, де знаходиться таблиця переадресації. Недоліки такої архітектури в тому, що працездатність кожного рівня залежить від іншого і тому з'єднання таких смуг не надійне, але ця мережа має більш ефективні показники, тому основна задача – підняти надійність та розробити модель розподілу, резервування та рознесення слабких частин системи.

На рис.5 зображена архітектура мобільної мережі, побудована на базі протоколу класичної IP-технології адресації вузлів. Тут кожний елемент системи працює автономно, структура такої мережі вважається децентралізованою, тому надійність більша.

Але треба зазначити, що IP-мережа менш ефективна та має менш динамічну структуру керування, що обмежує її в використання до мережі майбутнього FN. Треба зазначити, що будувати програмно-керовану мережу з нуля дуже дорого і зупинити роботу вже працюючої інфраструктури неможливо. Тому третьою за популярністю вважається мережа OpenFlow, де поверх вже існуючої інфраструктури можливо розташувати мережу SDN і згодом розвивати вже Overlay мережу. Архітектура мережі OpenFlow зображена на рис. 6.

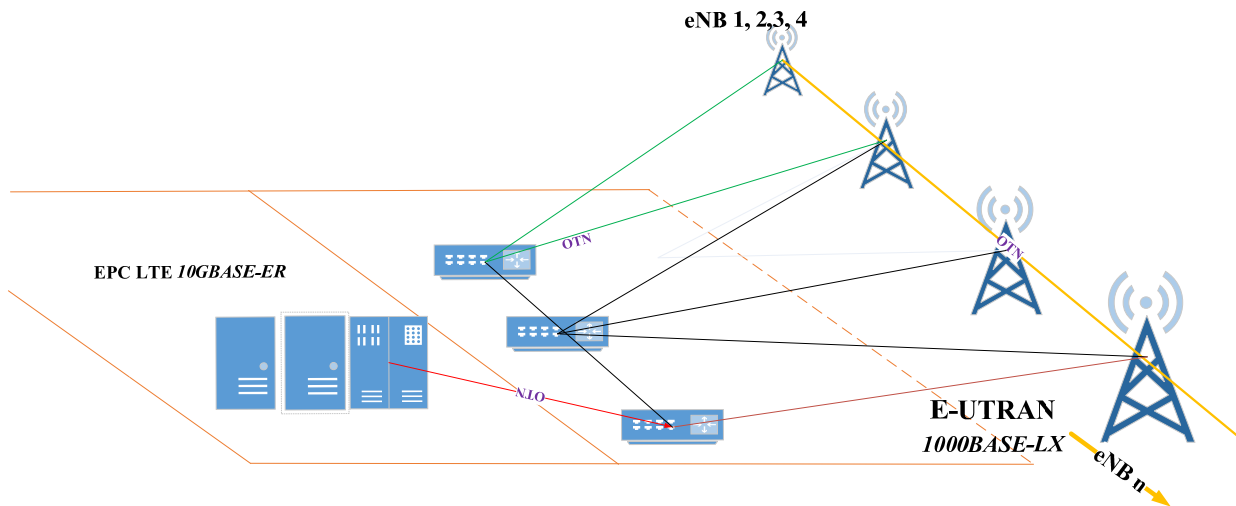


Рис. 2. Архітектура System Architecture Evolution

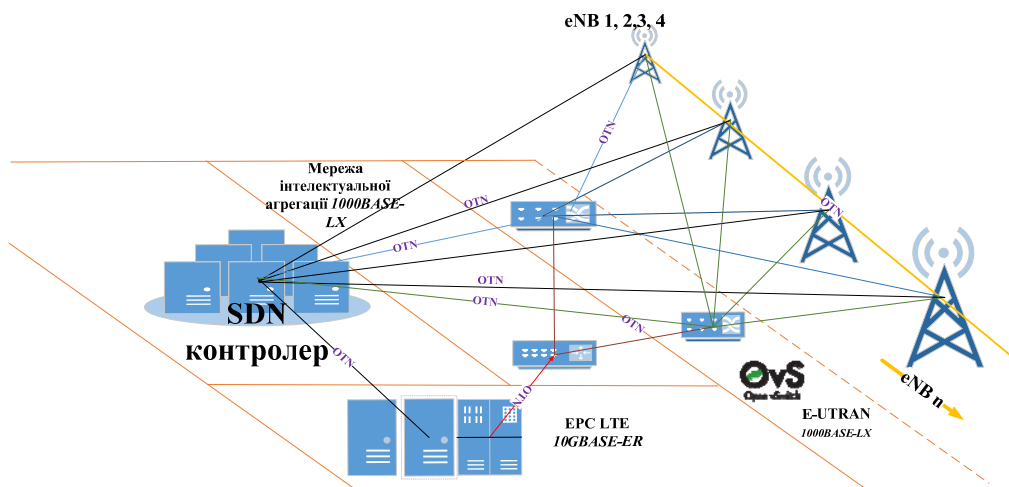


Рис. 3. Гібридна архітектура SDN OpenFlow

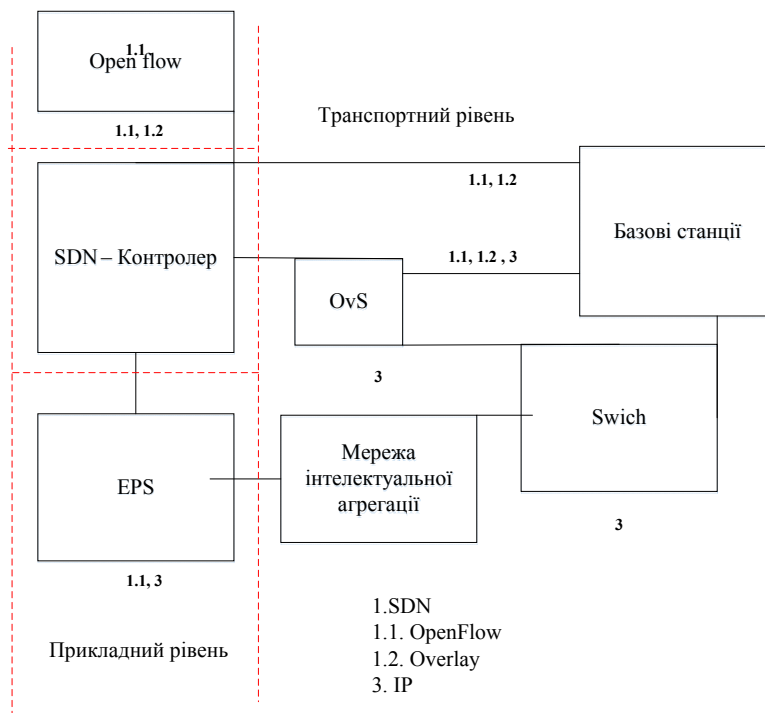


Рис. 4. Схема розподілу потоків трафіку

Інформаційні процеси фізичної інфраструктури сучасної 3GPP мережі. Процеси передавання даних в централізованих мережах відрізняються від процесів передавання трафіку в децентралізованих мережах, а саме основна взаємодія централізованих процесів проходить за допомогою сервера або групи серверів, відповідаючи кожен за свої задачі.

В централізованій мережі або, якщо мова йде про мережу SDN, взаємодія керується сервером. Простий приклад даної системи – клієнт-серверна архітектура мережі. На рис. 4 зображена схема розподілу потоків трафіку в мобільних мережах. Треба зауважити, що SDN відокремлює сервісний трафік від трафіку користувачів, тому обчислювальної потужності треба набагато менше ніж для роботи з величезними масивами, в яких капсульовано користувацький і сервісний трафік.

Варто зауважити, що смуга передавання для кожного користувача в системі SDN на одного клієнта рівна тому, скільки цьому користувачеві потрібно, що цим самим робить роботу мережі більш оптимальною (рис. 4).

Моделі для створення програмного забезпечення. За кожним рівнем структура взаємодій збільшується та набагато ускладнюється (рис. 5, 6). Також можливо побачити семантику зростання та розподіл цифрових потоків цієї мережі, яка зростає з кожним рівнем, що зображено на рис. 5.

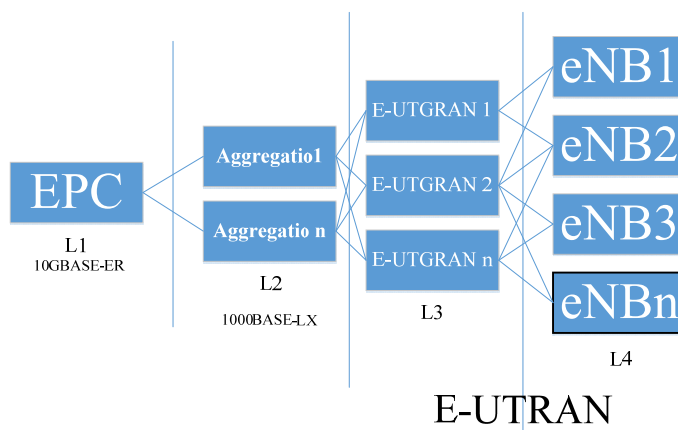


Рис. 5. Побудова семантичної моделі NAT мережі

На моделі SDN (рис. 6) можна побачити, що взаємодія структурована таким чином, що контролер, з'єднаний з кожним блоком, може керувати кожним блоком окремо та безпосередньо отримувати показники напряму.

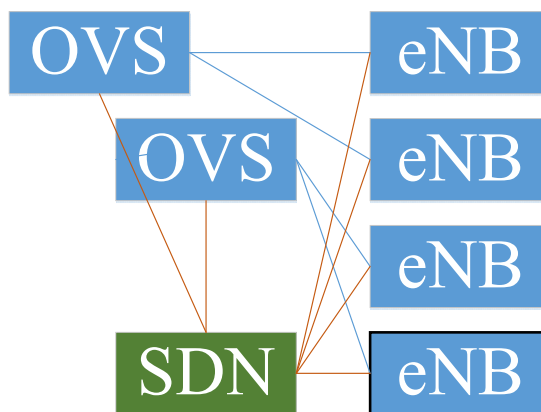


Рис. 6. Побудова семантичної моделі SDN мережі

Модель розрахунку надійності мережі, дотримання стандарту 3 GPP. Задача моделі надійності – можливість прорахувати вразливості математичними функціями та використати методику для підвищення показників (наприклад методику резервування або дублювання) даної системи.

$$P\left\{\sum_{i=1}^n A_i\right\} = 1 - P\left\{\prod_{i=1}^n \bar{A}_i\right\} \quad (1)$$

Для розрахунку показників надійності спочатку треба абстрагувати архітектуру до блочного рівня, як показано на рис. 7.

а. Це класична IP-мережа або децентралізована мережа.

b. Це блок-схема SDN або централізована мережа, де блок P – якийсь показник надійності.

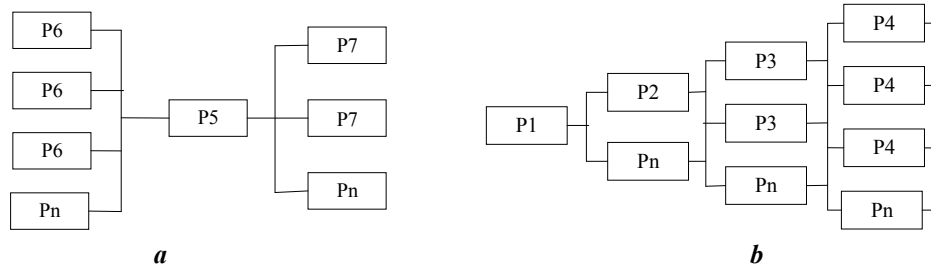


Рис. 7. Блоки фонаційної моделі для розрахунку надійності мобільної мережі: *a* – централізована мережа SDN, *b* – децентралізована мережа IP

Використання практичних показників. Ймовірність події $A - P\{A\}$ визначається частотою її появи в серії випробувань і описується формулою:

$$F_A = \frac{n_A}{N} \xrightarrow{N \rightarrow \infty} P\{A\}, \quad (2)$$

де $\hat{A}$ – деяка подія;
 N – загальне число дослідів;
 n_A – число появи події $\hat{A}$;
 $P\{A\}$ – ймовірність події $\hat{A}$;

$$P\{A_0\} = \frac{n_a}{N} = \frac{N}{N} = 1. \quad (3)$$

Ймовірність достовірної події

$$P\{A_i\} = \frac{i_i}{N} = \frac{0}{N} = 0 \quad (4)$$

Ймовірність неможливої події

Ймовірність випадкової події може змінюватись в межах $0 \leq P\{A\} \leq 1$, але ніколи $P\{A\} > 1$

$$P\{A\} + P\{\bar{A}\} = 1. \quad (5)$$

Для повної групи подій

Ймовірність складної події може бути представлена через суму і добуток простих подій. Добуток подій $A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot \dots \cdot A_n$ називається складна подія, яка складається з того, що відбувається і подія A_1 , і A_2 , ..., і A_n , тобто відбуваються всі події. Така подія позначається так:

$$A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot \dots \cdot A_n = \prod_{i=1}^n A_i; \quad (6)$$

$$P\left\{\prod_{i=1}^n A_i\right\} = \prod_{i=1}^n P\{A_i\}$$

Сумою подій $A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n$ називається складна подія, яка має на увазі те, що відбудеться, або подія A_1 , або A_2 , ..., або A_n , тобто виконується хоча б одна з подій. Сума подій позначається [13]:

$$A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n = \sum_{i=1}^n A_i. \quad (7)$$

Методика створення програмного забезпечення за допомогою існуючих моделей та обробка цих показників і планування вищих рівнів. Сучасні виробники, наприклад відомі бренди HP, Samsung, Xerox, Cisco, створюють обладнання, яке під'єднується до мережі та фіксує технічний стан обладнання. Це допомагає зменшити час, витрачений на обслуговування об'єкта та віддалено розуміти його налаштування, централізувати можливості обслуговування та налаштування.

Основне призначення цих програм – зробити об'єкт більш керованим, зручнішим в налаштуванні та кращим в обслуговуванні. Програма стосується конкретного обладнання, а не системи в цілому, тобто обладнання мають свої мікросистеми, що вираховують технічний стан, саме ці показники технічного стану і аналізуються програмними рішеннями [4].



Рис. 8. Семантична модель (мережі) блоків програмного забезпечення

Показники, які можливо вилучити з датчиків або з первинних моделей, можна використати для більш детального аналізу, алгоритм якого і буде працювати в програмі на прикладному рівні. Якщо налаштувати взаємодію за допомогою програмних засобів, які будуть працювати з першеобразними моделями, це дасть можливість аналізувати додаткові стани, наприклад розрахунок вартості розширення або вартості ремонту, або вартості ТО в певний час. Тобто програмно-керована мережа стає набагато інтелектуальнішою та придатною до автоматизованого, оптимального керування, де розподіл ресурсів буде керуватися на нижчому мікрорівні.

Дана модель може моніторити стан мережі на підставі технічних даних, або якщо оператор взяв на себе відповідальність продовжити термін експлуатації на підставі технічного огляду або введення додаткових заходів чи модернізації.

При отриманні практичних даних система може контролювати стан мережі і тримати показники в межах, встановлених користувачем або стандартом. Комплексне програмне забезпечення допоможе зменшити годину граничного стану мережі, зменшити терміни реконфігурації мережі, розрахувати затрати, необхідні на ремонт або обслуговування обладнання.

Використовуючи першеобразні моделі (моделі, про які йде мова, а саме модель надійності та вартості комп'ютерних мереж),—можемо вивести додаткові функції, які будуть розраховувати вартість ремонту та період подовження експлуатації після ремонту або технічного обслуговування.

На рис. 9 зображена типова пряма – це модель, яка з'явилась експериментальним шляхом багатьох запусків обладнання або системи та зведена до загального типу [14].

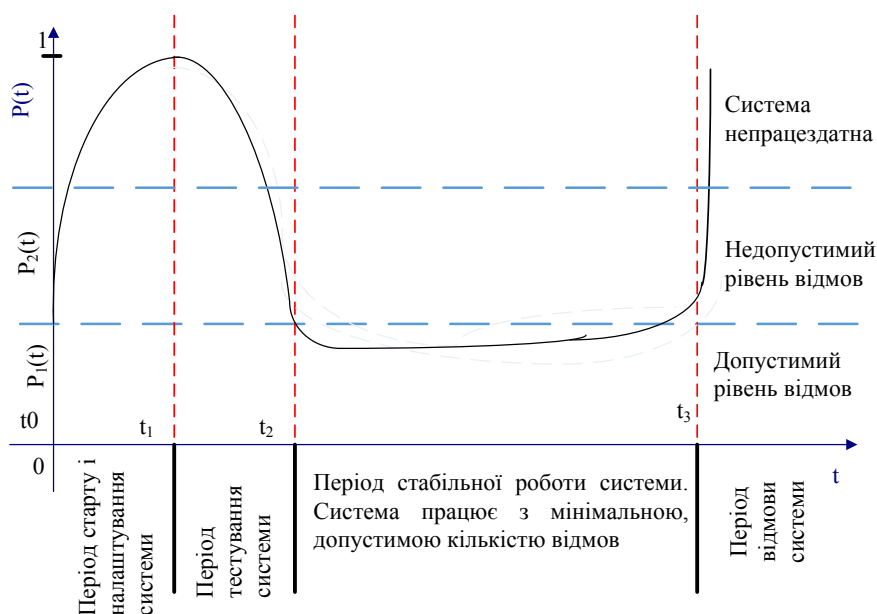


Рис. 9. Типова пряма запуску SDN контролера

Типова пряма показує 1) етапи запуску інфраструктури мобільної мережі, яка включає період налаштування системи; період тестування системи; період стабільної роботи системи; період відмови

системи; 2) стан об'єкта: стан непрацездатності системи; недопустимий рівень відмов; допустимий рівень відмов.

На рис. 9 бачимо три ділянки $0-t_1$ – це період запуску або «обкатки» обладнання або системи, цей період має дуже нестабільний стан, період $0-t_2$ – це виведення обладнання або системи з періоду експлуатації, так як її інтенсивність відмов не дає нам можливості використовувати це обладнання. Приклад розрахунку вартості обслуговування мережі за певний період часу.

В ході розгляду відмов мова йде лише про випадкові відмови, які знаходяться в періоді t_1-t_2 , на ділянці «нормальної» роботи, де $\lambda(t) = const$ (відкидаються ділянки припрацювання та зношення). Отже перше припущення виконується. Для нього ймовірність безвідмовної роботи системи чи елементу визначається експоненціальним законом.

Висновки

Зроблено аналіз комп'ютерних мереж. Проаналізовані централізовані SDN та децентралізовані NAT системи керування комп'ютерними мережами, які на даний час мають найбільшу популярність. Визначено, що в сучасному промисловому впровадженні більш за все прийнятні централізовані системи керування openflow та overlay, які мають більші показники ніж децентралізовані IP-мережі. Визначено, що централізовані системи мають нижчі показники надійності ніж децентралізовані та за тривалістю часу ці показники зменшуються. Тому необхідно розробляти додаткові інструменти моніторингу та керування на основі аналізу, розширені можливості моделі.

Запропоновано методику розробки, впровадження та використання програмного забезпечення для SDN мережі, що можливо використати на програмному рівні за допомогою гіпервізора, який є в цих мережах. Визначено, що обладнання ПКМ мережі має велику вартість, тому треба мати чітку схему розрахунку вартості впровадження та модернізації мережі. Проаналізовані можливості математичної моделі, вартості комп'ютерної мережі. На основі аналізу, розширені можливості моделей. Визначено, що за допомогою програмного забезпечення можливо використати математичні моделі та налаштувати взаємодію між ними. Це допоможе покращити методику керування процесами обслуговування та модернізації об'єкта. Запропонована методика розробки програмного забезпечення та показана можливість взаємодії між моделями. Також розроблена модель аналізу технічного стану мережі.

Література

1. Ndiaye M. Software Defined Networking for Improved / M. Ndiaye, G.P. Hancke, A.M. Abu-Mahfouz // Wireless Sensor Network Management, A Survey. Sensors. – 2017. – 17. – P. 1031.
2. Hegr T. Impact of Nodal Centrality Measures to Robustness in, Software-Defined Networking / Tomas Hegr, Leos Bohac // Advances in Electrical and Electronic Engineering. – 2014. – 12(4). – P. 252–259. DOI 10.15598/aeec.v12i4.1208
3. Odarchenko R. S. Modeling of SDN Overlay Networks and Their Main Characteristics Research / R. S. Odarchenko, S. Yu. Dakov, V. V. Polischuk, A. M. Tyrsenko // Knowledge-based technologies. – 2016. – № 3 (31). – P. 284.
4. Odarchenko R. Traffic offload improved method for 4G/5G mobile network operator / R. Odarchenko, A. Abakumova, O. Polihenko, S. Gnatyuk // 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2018. Proceedings. – 2018-April. – P. 1051–1054.
5. NAT. Retrieved from URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/NAT>
6. Gagandeep G. Accurate Anomaly Detection using Adaptive / Gagandeep Garg, Roopali Garg // Monitoring and Fast Switching in SDN", IIJTCs. – 2015. – Vol. 7, no.11. – P. 34–42. DOI: 10.5815/ijitcs.2015.11.05
7. Ferrag M.A. Security for 4G and 5G cellular networks / Mohamed Amine Ferrag, Leandros Maglaras, Antonios Argyriou, Dimitrios Kosmanos, Helge Janicke // A survey of existing authentication and privacy-preserving schemes, Journal of Network and Computer Applications. – 2018. – Volume 101, 1 January. – P. 55–82.
8. Odarchenko R. Operator class SDN and classical IP network costs estimation / Roman Odarchenko, Serhii Dakov, Larisa Dakova // 9th International Conference Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT'2018. – 188 p.
9. Callegati F. Virtual Networking Performance in Open Stack / Franco Callegati, Walter Cerroni, Chiara Contoli // Platform for Network Function Virtualization, Journal of Electrical and Computer Engineering. – 2016. DOI: 10.1155/2016/5249421
10. Сетевые технологии SDN – Сеть с программным обеспечением [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://habrahabr.ru/company/muk/blog/251959/>
11. Одарченко С. Моделирование сетей наложения SDN и их основные характеристики исследования / С. Одарченко, С.Ю. Даков, В. В. Полищук, А. М. Тырсенко // Технологии знаний. – 2016. – № 3 (31). – С. 284.
12. OpenFlow [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ru.wikipedia.org/wiki/OpenFlow>
13. Азарков В.Н. Надежность систем управления и автоматизации / Азарков В.Н., Стрельников В.П. – К. : НАУ, 2004. – 164 с.
14. Погребинский С.Б. Проектирование и надежность многопроцессорных компьютеров /

Погребинский С.Б., Стрельников В.П. – М. : «Радио и связь», 1988.

15. Gharakheili H. H. Роль SDN в широкополосных сетях / H. Habibi Gharakheili // Springer Nature Singapore Pte Ltd. – 2017. DOI 10.1007 / 978-981-10-3479-4_2

16. What is Network Virtualization? Retrieved from URL: <https://www.sdxcentral.com/sdn/network-virtualization/definitions/whats-network-virtualization/&usg=ALkJrhiffGeKh8PBbieLvd5SwB7ybKi2Jw>

17. Odarchenko R.S. The method of the project for the SDN version of the Operator class / R.S. Odarchenko, S. Dakov // Science and Technology. – 2017. – No. 4 (36).

References

1. Ndiaye M. Software Defined Networking for Improved / M. Ndiaye, G.P. Hancke, A.M. Abu-Mahfouz // Wireless Sensor Network Managemen, A Survey. Sensors. – 2017. – 17. – P. 1031.
2. Hegr T. Impact of Nodal Centrality Measures to Robustness in, Software-Defined Networking / Tomas Hegr, Leos Bohac // Advances in Electrical and Electronic Engineering. – 2014. – 12(4). – P. 252–259. DOI 10.15598/aece.v12i4.1208
3. Odarchenko R. S. Modeling of SDN Overlay Networks and Their Main Characteristics Research / R. S. Odarchenko, S. Yu. Dakov, V. V. Polischuk, A. M. Tyrsenko // Knowledge-based technologies. – 2016. – № 3 (31). – P. 284.
4. Odarchenko R. Traffic offload improved method for 4G/5G mobile network operator / R. Odarchenko, A. Abakumova, O. Polihenko, S. Gnatyuk // 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2018. Proceedings. – 2018-April. – P. 1051–1054.
5. NAT. Retrieved from URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/NAT>
6. Gagandeep G. Accurate Anomaly Detection using Adaptive / Gagandeep Garg, Roopali Garg // Monitoring and Fast Switching in SDN", IJITCS. – 2015. – Vol. 7, no.11. – P. 34–42. DOI: 10.5815/ijitcs.2015.11.05
7. Ferrag M.A. Security for 4G and 5G cellular networks / Mohamed Amine Ferrag, Leandros Maglaras, Antonios Argyriou, Dimitrios Kosmanos, Helge Janicke // A survey of existing authentication and privacy-preserving schemes, Journal of Network and Computer Applications. – 2018. – Volume 101, 1 January. – P. 55–82.
8. Odarchenko R. Operator class SDN and classical IP network costs estimation / Roman Odarchenko, Serhii Dakov, Larisa Dakova // 9th International Conference Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT'2018. – 188 p.
9. Callegati F. Virtual Networking Performance in Open Stack / Franco Callegati, Walter Cerroni, Chiara Contoli // Platform for Network Function Virtualization, Journal of Electrical and Computer Engineering. – 2016. DOI: 10.1155/2016/5249421
10. Setevye tehnologii SDN – Set' s programmym obespecheniem [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://habrahabr.ru/company/muk/blog/251959/>
11. Odarchenko S. Modelirovanie setej nalozhenija SDN i ih osnovnye harakteristiki issledovanija / S. Odarchenko, S.Ju. Dakov, V. V. Polishhuk, A. M. Tyrsenko // Tehnologii znaniy. – 2016. – № 3 (31). – S. 284.
12. OpenFlow [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://ru.wikipedia.org/wiki/OpenFlow>
13. Azarkov V.N. Nadezhnost' sistem upravlenija i avtomatizacii / Azarkov V.N., Strel'nikov V.P. – K. : NAU, 2004. – 164 s.
14. Pogrebinskij S.B. Proektirovanie i nadezhnost' mnogoprocessornyh komp'juterov / Pogrebinskij S.B., Strel'nikov V.P. – M. : «Radio i svjaz'», 1988.
15. Gharakheili H. H. Роль SDN в широкополосных сетях / H. Habibi Gharakheili // Springer Nature Singapore Pte Ltd. – 2017. DOI 10.1007 / 978-981-10-3479-4_2
16. What is Network Virtualization? Retrieved from URL: <https://www.sdxcentral.com/sdn/network-virtualization/definitions/whats-network-virtualization/&usg=ALkJrhiffGeKh8PBbieLvd5SwB7ybKi2Jw>
17. Odarchenko R.S. The method of the project for the SDN version of the Operator class / R.S. Odarchenko, S. Dakov // Science and Technology. – 2017. – No. 4 (36).

Рецензія/Peer review : 21.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 21.12.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Оксінюк О.Г.

ОБМІН ПРАКТИЧНИМ ДОСВІДОМ, ТЕХНОЛОГІЯМИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

DOI 10.31891/2307-5732-2018-267-6(2)-224-231

УДК 004:61

Д.В. ВАКУЛЕНКО, С.Н. ВАДЗЮК, А.В. СЕМЕНЕЦЬ
ДВНЗ «Тернопільський державний медичний університет імені І.Я. Горбачевського»

О.В. ГЕВКО

Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя

І.Є. АНДРУЩАК

Луцький національний технічний університет

ОБґРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА
ДЛЯ ПРОФІЛАКТИКИ ТА РЕАБІЛІТАЦІЇ РІЗНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ

В роботі обґрунтовується з позиції системного аналізу використання мультимедійних чинників для підвищення ефективності реабілітації пацієнтів на різних етапах захворювання. Вперше запропоновано методологію формування вектора пріоритетів в ході залучення фахівців з різних галузей з градуюванням ваги суджень згідно з їх фаховою спеціалізацією та представлено реалізоване вебінтегроване психомодельюче мультимедійне середовище «Зцілення та Гармонія».

Ключові слова: мультимедійне середовище, реабілітація, системний аналіз.

D.V. VAKULENKO, S.N. VADZYUK, A.V. SEMENETS

I. Horbachevsky Ternopil State Medical University

O.V. GEVKO

Ternopil National Technical University named after I. Puluj

I.E. ANDRUSHCHAK

Lutsk National Technical University

SUBSTANTIATION OF APPLICATION A MULTIMEDIA ENVIRONMENT FOR THE PREVENTION AND
REHABILITATION OF VARIOUS DISEASES

The work is justified from the standpoint of system analysis using multimedia factors to improve rehabilitation patients at different stages of the disease. The first time the formation of the methodology vector priorities specialists in various fields of calibration weight judgments are used according to their professional expertise. Using the results of constructing a matrix of priorities for increasing the effectiveness of rehabilitation of a patient, we arrive at the following assumptions. Primary prophylaxis of diseases will increase human health. Complex use of various multimedia factors can involve maximum receptors for increasing the effectiveness of various stages of rehabilitation. It will provide more comfortable conditions for the patient, optimal time costs for the patient, reduce the costs of the patient, employers and the state for treatment and rehabilitation will help maximize the integration of the patient's innovative health technologies. An example of a "Healing and Harmony" web integrated multimedia environment is available at www.zen.harmoniya.org. The multimedia environment includes the possibility of choosing the number of multimedia channels, the speaker's voice (male or female voice), the user's use of rehabilitation techniques in the process of rehabilitation and without their use, the groups of diseases to which the multimedia environment and other possibilities are directed. Modern dynamic life puts high demands on the level of human health. Rehabilitation at its various stages plays an important role in its provision. Modern facilities of multimedia resources and media are not sufficiently used for health and rehabilitation of a citizen. As a result of building a priority hierarchy in rehabilitation, the importance of using multimedia factors to improve rehabilitation efficiency was demonstrated, and the implemented web integrated, multimodal multimedia environment "Healing and Harmony".

Keywords: multimedia environment, rehabilitation, systems analysis.

Передові країни світу переходять від індустріальної економіки до економіки знань, так званого інформаційного суспільства. У ньому завдяки прогресу інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) кожен може створювати і накопичувати інформацію та знання, вільно користуватися і обмінюватися ними.

В нашій державі приділяється велика увага здоров'ю людини, для цього реалізація продовжується впровадження міжгалузевої комплексної програми "ЗДОРОВ'Я НАЦІЇ" терміном реалізації 2002–2011 рр. В основу програми покладено принципи державної політики у сфері охорони здоров'я, а також принципи Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ). Ще один крок це реалізація концепції державної програми "Репродуктивне здоров'я нації на 2006–2015 роки".

Україна має власну історію розвитку базових засад інформаційного суспільства. Це і всесвітньовідома школа кібернетики, і сформовані концепції та програми інформатизації, і створені інформаційно-комунікаційні технології, і загальнодержавні інформаційно-аналітичні системи різного рівня та призначення [1]. Розпорядженням Уряду від 15 серпня 2007 р. № 653-р затверджено план заходів з виконання завдань, передбачених Законом України „Про основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007–2015 роки”.

В сучасній медицині накопичено великий досвід в галузі лікування різних захворювань. Проте недостатня увага приділяється питанням профілактики та реабілітації різних захворювань. Що призводить до значного збільшення витрат щодо звернень пацієнтів при первинному зверненні (профілактика найкращий спосіб запобігання захворювань) та повторних звернень минулих пацієнтів (оскільки захворювання не були вилікувані остаточно). За останні десятиліття медицина розділилась на багато вузьких

напрямків з фундаментальними здобутками в кожній з них. Часто ці здобутки не є доступними для інших напрямків. Ще одним здобутком XX та початку XXI століття стало впровадження комп'ютерних, мультимедійних технологій в різних сферах життя. Важливим завданням в сучасному світі, і саме в галузі медицини, який стрімко розвивається, є спільне вирішення важливих питань фахівцями різних галузей для збереження та підвищення рівня здоров'я людини. В галузі системного аналізу напрацьовано досвід щодо вирішення такого класу задач.

В доступних для нас джерелах знайдено багато результатів досліджень, щодо використання музики [2–12], зображень, кольору [13], тверджень, відео роликів, зон Захар'їна – Геда [14, 15] для профілактики та реабілітації різних видів захворювань. Однак комплексного задіявання мультимедійних середовищ з можливістю інтерактивного керування для профілактики та реабілітації ми не зустрічали.

Мета дослідження – розробити методологію формування вектора пріоритетів в ході залучення фахівців з різних галузей з градуванням ваги суджень згідно фахової спеціалізації та оцінити доцільність використання мультимедійного середовища при проведенні профілактичних заходів на різних етапах реабілітації. Для забезпечення об'єктивності при постановці завдання, вибору пріоритетів та реалізації мультимедійного середовища для профілактики і реабілітації при різних патологіях було запрошено 6 експертів з різних галузей: представник управління охорони здоров'я, лікар терапевт, лікар реабілітолог, лікар з традиційної китайської медицини, психолог. Оскільки ці фахівці мають свою спеціалізацію, то вони будуть супроводжувати реалізацію цього середовища на всіх етапах.

Матеріали та методи дослідження. Для вирішення поставленої задачі ми скористаємось підходами, описаними в праці [16], методом аналізу ієрархій Сааті та запропонуємо підходи для розв'язання задач в даному класі.

Побудова ієрархії. Запропонуємо кожному фахівцю описати перелік чинників, на його думку важливих, для включення в мультимедійне середовище.

Лікар терапевт: Первинна та вторинна профілактика захворювань, своєчасні діагностика та лікування, здоровий спосіб життя, раціональна медикаментозна терапія.

Реабілітолог: фізичні вправи, природні та преформовані фізичні чинники, загартування, механотерапія, працетерапія, рухова активність, концентрація уваги на уявних рухах, кероване дихання, вольова регуляція тривалості вдиху та видиху та паузи, ароматерапія, фітотерапія, здоровий спосіб життя, раціональне харчування, психогігієна, зони Захар'їна — Геда (ЗЗГ).

Психолог: арт-терапія, біоенергетичний аналіз, гіпноз, ігротерапія, кінезіологія, клієнт-центрована терапія, когнітивна психотерапія, особистісно-орієнтована (реконструктивна) психотерапія, нейролінгвістичне програмування (НЛП), позитивна психотерапія, процесуально-орієнтована психотерапія, раціонально-емоційна поведінкова терапія, казкотерапія, тілесно-орієнтована психотерапія, емоційно-образна терапія), залучення максимальної кількості каналів впливу для досягнення здоров'я.

Представник управління охорони здоров'я: забезпечення умов для профілактики захворювань, реабілітації хворих, діяльності фахівців різних галузей медицини та зменшення витрат на охорону здоров'я, зменшення витрат держави та роботодавців на лікування та реабілітацію.

Лікар з традиційної китайської медицини (ТКМ): концепція У-Сін, концепція Ін-Ян, вчення про головні органи та головні елементи внутрішнього середовища організму, вчення про енергію та меридіани.

Пацієнт: Більш комфортні умови для пацієнта (БКУ), оптимальні затрати часу пацієнта (ОЗЧп), зменшення витрат для пацієнта на лікування та реабілітацію (ЗВП), максимальна інтегрованість в життя пацієнта (МІЖ).

Із запропонованих фахівцями факторів (сил), впливаючих на загальну мету з позиції всіх вище перерахованих фахівців: первинна профілактика захворювань, мультимедійне середовище, зображення, зони Захар'їна — Геда, концепція У-Сін, перебування в лікарні хворого.

Таким чином приходимо до декомпозиції теми нашого дослідження на 5-и рівнях ієрархії (рис. 1):

Рівень 1. Загальна мета: Підвищення ефективності реабілітації (ПЕР).

Рівень 2. (Сили): превентивна профілактика захворювань (ППЗ), мультимедійне середовище (МС), зображень (Зо), зони Захар'їна — Геда (ЗЗГ), концепція У-Сін (КУ), прогресування патологічних процесів (ПЛ).

Рівень 3. (Актори): реабілітолог (Р), психолог (Пс), лікар з ТКМ (ЛТКМ), представник управління охорони здоров'я (ПОЗ), пацієнт (Па).

Рівень 4. (Цілі): Більш комфортні умови для пацієнта (БКУ), оптимальні затрати часу пацієнта (ОЗЧп), задіявання максимальної кількості каналів впливу для досягнення здоров'я (КВП), зменшення витрат для пацієнта на лікування та реабілітацію (ЗВП), Зменшення витрат держави на лікування та реабілітацію (ЗВД), зменшення витрат роботодавців на лікарняні витрати (ЗВР), максимальна інтегрованість в життя пацієнта (МІЖ).

Рівень 5. (Сценарії): Реабілітаційні заходи з використанням мультимедійних чинників (РЗМ), реабілітаційні заходи без використанням мультимедійних чинників (РБМ).

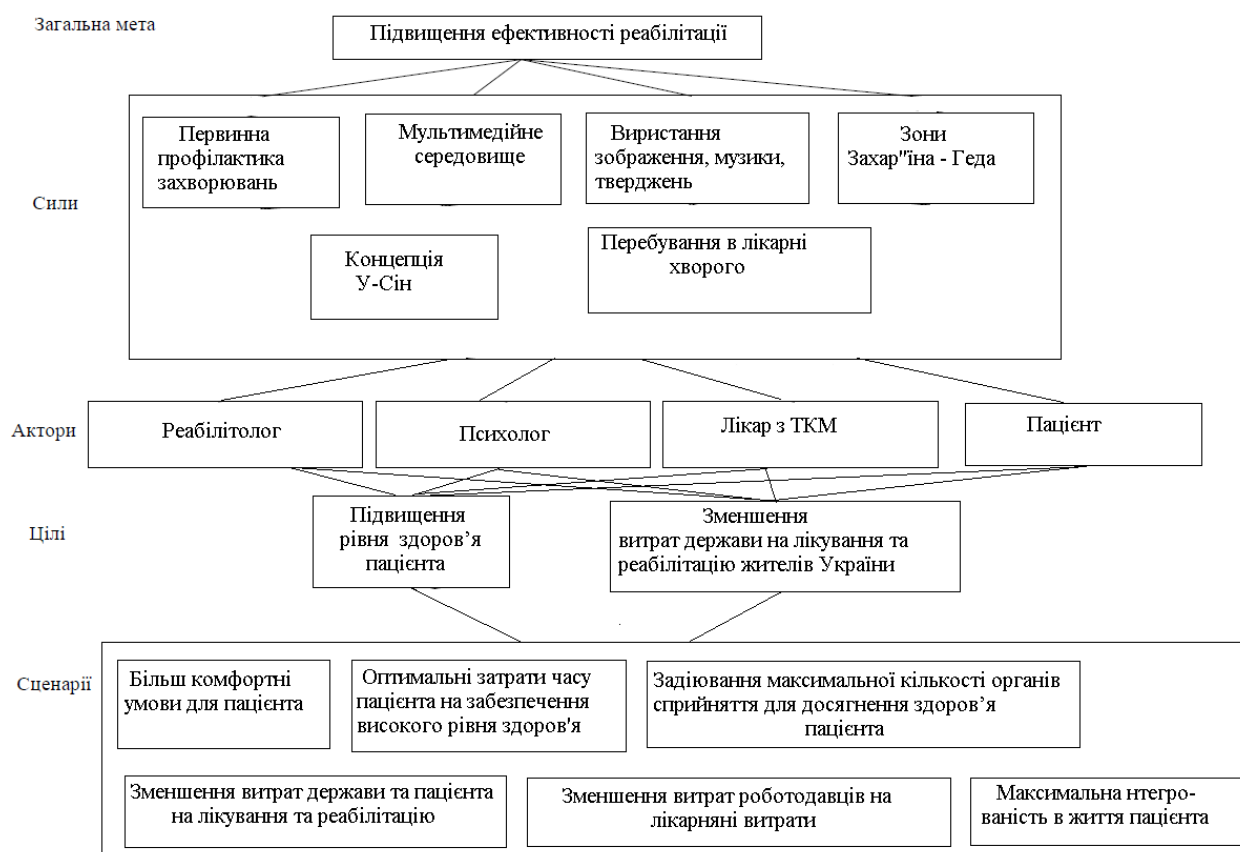


Рис. 1. Ієрархічна модель задачі обґрунтування використання мультимедійного середовища в процесі різних етапів реабілітації пацієнтів

Розподіл ваги суджень експертів, згідно з їх фаховістю: кожен експерт має напрямок своєї компетенції. Відповідно буде мати різну вагу при відповіді на кожну групу питань. Відповіді на питання з галузі фахівця матимуть вагу 1, відповіді на питання з суміжної галузі – 0,7, відповіді на питання з віддаленої галузі – 0,3 та відповіді на питання з невідомої галузі для фахівців матимуть вагу 0,1.

Ступінь фаховості за досліджуваними показниками на другому рівні буде мати наступний розподіл

	Р	Пс	ЛТКМ	ПОЗ	Па
ППЗ	1	1	1	1	0,7
МС	1	1	0,7	0,7	0,7
Зо	0,7	1	0,7	0,7	0,7
ЗЗГ	0,5	0,75	0,2	0,7	0,5
КУ	0,7	0,75	1	0,5	0,5
ПЛ	1	1	1	0,7	0,5

Застосовуючи до вище наведеної ієрархічної моделі метод аналізу ієрархій на основі матриць попарних порівнянь, отриманих в роботі [5], отримуємо матрицю пріоритетів використання мультимедійних чинників для досягнення загальної мети – підвищення ефективності реабілітації пацієнта, яка буде мати наступний вигляд для різних учасників процесу реабілітації.

Для більш зваженої оцінки запропонуємо «Акторам» дати відповідь на запитання типу «Наскільки важливішим є використання мультимедійних чинників на етапі превентивної реабілітації в порівнянні з прогресуванням патологічних процесів під час підвищення ефективності реабілітації».

Реабілітолог (Р)							Психолог (Пс)						
	ППЗ	МС	Зо	ЗЗГ	КУ	ПЛ		ППЗ	МС	Зо	ЗЗГ	КУ	ПЛ
ППЗ	1	3	1.7	3.75	4.25	5	ППЗ	1	7	2	4.60	4.60	5
МС	0.33	1	2.1	1.5	2.55	3	МС	5	1	3	2.76	2.76	3
Зо	2	0.23	1	0.19	0.18	1.7	Зо	2	0.33	1	0.30	0.23	2
ЗЗГ	0.15	0.16	1.8	1	0.19	2.25	ЗЗГ	0.17	0.30	2.76	1	0.25	2.76
КУ	0.17	2	2.8	1.8	1	2.55	КУ	0.18	1.84	3.68	2.25	1	2.76
ПЛ	0.2	0.33	0.42	0.24	0.28	1	ПЛ	0.20	0.33	0.50	0.30	0.30	1

Лікар традиційної китайської медицини (ЛТКМ)							Представник управління охорони здоров'я (ПОЗ)						
	ППЗ	МС	Зо	ЗЗГ	КУ	ПЛ		ППЗ	МС	Зо	ЗЗГ	КУ	ПЛ
ППЗ	1	5.95	1.7	4.25	5	5	ППЗ	1	5.95	1.7	4.25	3.75	4.25
МС	4.25	1	2.1	2.1	2.55	2.55	МС	4.25	1	2.1	2.55	1.8	2.1
Зо	1.7	0.23	1	0.23	0.21	1.7	Зо	1.7	0.21	1	0.23	0.15	1.4
ЗЗГ	0.17	0.23	2.1	1	0.28	2.55	ЗЗГ	0.17	0.23	2.1	1	0.19	2.1
КУ	0.2	1.7	3.4	2.55	1	3	КУ	0.15	1.2	2.4	1.8	1	1.8
ПЛ	0.2	0.28	0.43	0.28	0.33	1	ПЛ	0.17	0.23	0.35	0.23	0.20	1

Пацієнт (Па)						
	ППЗ	МС	Зо	ЗЗГ	КУ	ПЛ
ППЗ	1	4.9	1.4	3	3	3
МС	3.5	1	2.1	1.8	1.8	1.8
Зо	1.4	0.23	1	0.20	0.15	1.2
ЗЗГ	0.12	0.20	1.8	1	0.17	1.5
КУ	0.12	1.2	2.4	1.5	1	1.5
ПЛ	0.12	0.20	0.3	0.17	0.17	1

При цьому вектор пріоритетів буде наступним.

	Р	Пс	ЛТКМ	ПОЗ	Па
ППЗ	0.3538	0.3498	0.3622	0.3751	0.3473
МС	0.1983	0.2533	0.2301	0.2477	0.2557
Зо	0.1004	0.0848	0.0803	0.0842	0.089
ЗЗГ	0.1053	0.1047	0.1001	0.1041	0.1019
КУ	0.1953	0.1693	0.1874	0.1499	0.1645
ПЛ	0.047	0.0381	0.0398	0.0391	0.0415

Подальші відповіді на питання буде давати психолог (ПС), оскільки вага його фаховості в досліджуваних питаннях найбільша порівняно з іншими учасниками дослідження. Відповідаючи на запитання типу «Наскільки важливішим є вплив психолога порівняно з представником управління охорони здоров'я на превентивну профілактику захворювань».

На превентивну профілактику захворювань (ППЗ)

	Р	Пс	ЛТКМ	ПОЗ	Па
Р	1	3	2	5	0,3
Пс	0,3	1	3	5	0,3
ЛТКМ	0,5	0,3	1	3	0,3
ПОЗ	0,2	0,2	0,3	1	0,2
Па	3	3	3	5	1

У використанні мультимедійного середовища в процесі реабілітації (МС)

	Р	Пс	ЛТКМ	ПОЗ	Па
Р	1	3	1	5	0,25
Пс	0,3	1	3	5	0,3
ЛТКМ	1	0,2	1	5	0,3
ПОЗ	0,2	0,2	0,2	1	0,2
Па	4	3	3	5	1

у використанні зображень (Зо)

	Р	Пс	ЛТКМ	ПОЗ	Па
Р	1	0,3	1	5	0,5
Пс	3	1	3	5	3
ЛТКМ	1	0,3	1	5	0,3
ПОЗ	0,2	0,2	0,2	1	0,2
Па	2	0,3	3	5	1

у використанні зон Захар'їна — Геда (ЗЗГ)

	Р	Пс	ЛТКМ	ПОЗ	Па
Р	1	0,3	1	5	4
Пс	3	1	0,3	3	3
ЛТКМ	1	3	1	5	3
ПОЗ	0,2	0,3	0,2	1	3
Па	0,25	0,3	0,3	0,3	1

у використанні концепції У-Сін (КУ)

	Р	Пс	ЛТКМ	ПОЗ	Па
Р	1	0,3	0,3	3	4
Пс	3	1	0,3	3	3
ЛТКМ	3	3	1	5	5
ПОЗ	0,3	0,3	0,2	1	3
Па	0,25	0,3	0,2	0,3	1

у прогресуванні патологічних процесів (ПЛ)

	Р	Пс	ЛТКМ	ПОЗ	Па
Р	1	1	0,5	2	1
Пс	1	1	1	1	1
ЛТКМ	2	1	1	0,5	1
ПОЗ	0,5	1	2	1	0,5
Па	1	1	1	2	1

При цьому матриця пріоритетів, яка складається з нормованих векторів, має вигляд.

	Р	Пс	ЛТКМ	ПОЗ	Па
Р	0.26	0.23	0.18	0.27	0.20
Пс	0.22	0.21	0.34	0.25	0.24
ЛТКМ	0.12	0.17	0.17	0.31	0.40
ПОЗ	0.04	0.04	0.04	0.11	0.11
Па	0.35	0.35	0.26	0.05	0.05

Відповідь на запитання «Наскільки для пацієнта важливі оптимальні затрати часу на забезпечення високого рівня здоров'я в пацієнта»

Для реабілітолога (Р)

	БКУ	ОЗЧп	КВП	ЗВП	ЗВД	ЗВР	МІЖ
БКУ	1	2	0,5	4	3	0,5	1
ОЗЧп	0,5	1	5	4	4	4	2
КВП	2	0,2	1	4	3	3	1
ЗВП	0,25	0,25	0,25	1	6	5	3
ЗВД	0,33	0,25	0,3	0,15	1	1	0,2
ЗВР	2	0,25	0,3	0,2	1	1	0,3
МІЖ	1	0,5	1	0,3	5	3	1

Для психолога (П)

	БКУ	ОЗЧп	КВП	ЗВП	ЗВД	ЗВР	МІЖ
БКУ	1	2	0,5	4	3	0,5	1
ОЗЧп	0,5	1	5	4	4	4	2
КВП	2	0,2	1	4	3	3	1
ЗВП	0,25	0,25	0,25	1	6	5	3
ЗВД	0,33	0,25	0,3	0,15	1	1	0,2
ЗВР	2	0,25	0,3	0,2	1	1	0,3
МІЖ	1	0,5	1	0,3	5	3	1

Для лікаря традиційної китайської медицини (ЛТКМ)

	БКУ	ОЗЧп	КВП	ЗВП	ЗВД	ЗВР	МІЖ
БКУ	1	0,5	0,5	4	3	0,5	1
ОЗЧп	2	1	5	4	4	4	2
КВП	2	0,2	1	4	3	3	1
ЗВП	0,25	0,25	0,25	1	6	5	3
ЗВД	0,33	0,25	0,3	0,15	1	1	0,2
ЗВР	2	0,25	0,3	0,2	1	1	0,3
МІЖ	1	0,5	1	0,3	5	3	1

Для представника управління охорони здоров'я (ПОЗ)

	БКУ	ОЗЧп	КВП	ЗВП	ЗВД	ЗВР	МІЖ
БКУ	1	0,5	0,3	4	3	0,5	1
ОЗЧп	2	1	5	4	4	4	2
КВП	3	0,2	1	4	3	3	1
ЗВП	0,25	0,25	0,25	1	6	5	3
ЗВД	0,33	0,25	0,3	0,15	1	1	0,2
ЗВР	2	0,25	0,3	0,2	1	1	0,3
МІЖ	1	0,5	1	0,3	5	3	1

Для пацієнта (Па)

	БКУ	ОЗЧп	КВП	ЗВП	ЗВД	ЗВР	МІЖ
БКУ	1	0,5	0,3	0,25	3	0,5	1
ОЗЧп	2	1	5	0,5	4	4	2
КВП	3	0,2	1	4	3	3	1
ЗВП	4	2	0,25	1	6	5	3
ЗВД	0,33	0,25	0,3	0,15	1	1	0,2
ЗВР	2	0,25	0,3	0,2	1	1	0,3
МІЖ	1	0,5	1	0,3	5	3	1

При цьому матриця пріоритетів має вигляд

БКУ	0.15	0.13	0.12	0.08	0.05
ОЗЧп	0.25	0.27	0.26	0.23	0.21
КВП	0.17	0.17	0.18	0.19	0.17
ЗВП	0.19	0.19	0.19	0.26	0.23
ЗВД	0.04	0.04	0.04	0.04	0.13
ЗВР	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
МІЖ	0.14	0.14	0.14	0.14	0.16

Відповідаючи на запитання типу «Наскільки для ефективної реабілітації важливе мультимедійне середовище»

Для більш комфортних умов для пацієнта (БКУ)

	РЗМ	РБМ
РЗМ	1	5
РБМ	0,2	1

Для оптимальних затрати часу пацієнта на превентивну профілактику(ОЗЧп)

	РЗМ	РБМ
РЗМ	1	3
РБМ	0,33	1

Для залучення максимальної кількості каналів впливу для підтримання здоров'я (КВП)

	РЗМ	РБМ
РЗМ	1	2
РБМ	0,5	1

Для зменшення витрат для пацієнта на лікування та реабілітацію (ЗВП)

	РЗМ	РБМ
РЗМ	1	5
РБМ	0,2	1

Для зменшення витрат держави на лікарняні витрати (ЗВД)

	РЗМ	РБМ
РЗМ	1	3
РБМ	0,33	1

Для зменшення витрат роботодавців на лікарняні витрати (ЗВР)

	РЗМ	РБМ
РЗМ	1	3
РБМ	0,33	1

Для максимальної інтегрованості в життя пацієнта (МІЖ)

	РЗМ	РБМ
РЗМ	1	3
РБМ	0,33	1

При цьому матриця пріоритетів на четвертому рівні має вигляд (в нормальному вигляді):

	БКУ	ОЗЧп	КВП	ЗВП	ЗВД	ЗВР	МІЖ
РЗМ	0,83	0,75	0,67	0,83	0,75	0,75	0,75
РБМ	0,17	0,25	0,33	0,17	0,25	0,25	0,25

Слід зазначити, що індекс узгодженості усіх матриць приймає значення менше ніж 0,1, що дозволяє застосувати процедуру методу аналізу ієрархій. Згідно з методом аналізу ієрархій, вектор пріоритетів задачі вибору доцільності використання мультимедійних композицій в процесі превентивної реабілітації розраховується як добуток попередньо отриманих матриць та векторів пріоритетів:

РЗМ	0,76
РБМ	0,24

Тобто пріоритетнішим буде використовувати мультимедійні композиції в процесі реабілітації.

Для побудови ключових компонентів мультимедійного психомодельючого середовища використано наступні засоби:

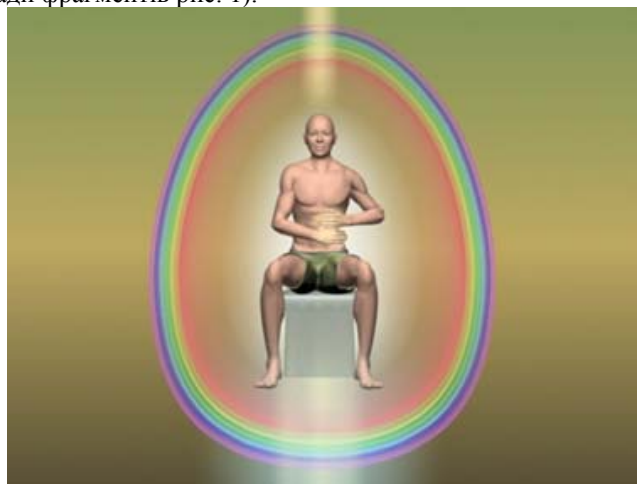
- Для візуалізації 4д об'єктів використано програмне середовище 3D MAX (демо-версію).
- Твердження та музичні композиції підібрано з врахуванням частини тіла та його психоемоційними відповідниками.
- Компонування мультимедійних об'єктів для кожної ділянки тіла виконували в програмному середовищі Pinnacle studio.
- Під час побудови вебінтегрованих мультимедійних послідовностей програму реалізовано в термінах мов програмування Javascript за допомогою SWFObject для використання Flash-технології. Адреса розміщення ресурсу <http://zen.harmoniya.org/zen-video/zen/>.

Опис компонентів психомодельючого мультимедійного середовища. Програма "Мультимедійне середовище "Зцілення та гармонія" призначена для психомодельючої підтримки хворих та здорових осіб. У програмі реалізовано можливість інтерактивної взаємодії пацієнта та веб-інтегрованого середовища під час вибору потрібних комбінацій мультимедійних ресурсів та гучності, залежно з рекомендаціями лікаря та психолога, станом пацієнта, його психологічних уподобань, технічних засобів для відображення та оптимальних каналів сприйняття. Програма являється самостійним програмним продуктом.

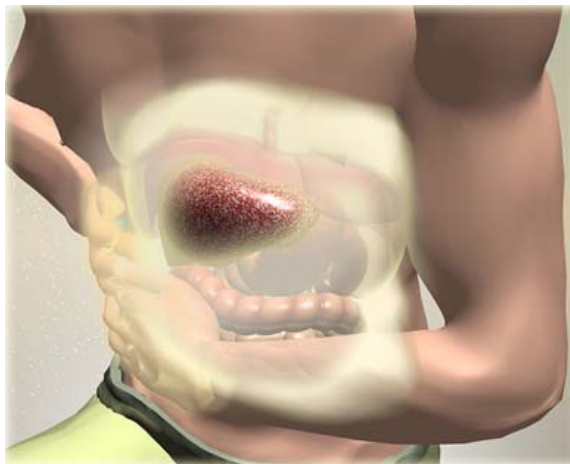
Психомодельюче мультимедійне середовище "Зцілення та гармонія" включає такі основні можливості:

- вибір кількості мультимедійних каналів (відео, музика, твердження) (музика, твердження), (відео, музика), (музика);
- вибір мультимедійних композицій залежно від уподобань до методів оздоровлення пацієнта (без уподобань, для практикуючих Рейкі, для практикуючих Живу, для практикуючих Дзен);
- вибір мультимедійних психомодельючих композицій залежно від ознак захворювань чи їх протікання та статі пацієнта;
- можливість редагування гучності та розміру відображення мультимедійних композицій;

При реалізації психомодельючого мультимедійного середовища використано 3д моделювання організму людини (приклади фрагментів рис. 1).



Зображення 3д моделей людини в мультимедійному середовищі «Зцілення і гармонія»



Зображення 3д моделі черевної порожнини

Рис. 1. Зображення 3д моделей людини

Програму реалізовано в термінах мов програмування Javascript за допомогою SWFObject для використання Flash-технології при побудові вебінтегрованих мультимедійних послідовностей. Адреса розміщення ресурсу <http://zen.harmoniya.org/zen-video/zen/>.

Результати і їх обговорення. Використовуючи результати побудови матриці пріоритетів підвищення ефективності реабілітації пацієнта приходимо до наступних засад. Первинна профілактика захворювань підвищить рівень здоров'я людини. Комплексне використання різних мультимедійних чинників зможе задіяти максимум рецепторів для підвищення ефективності різних етапів реабілітації. Воно забезпечить більш комфортні умови для пацієнта, оптимальні затрати часу пацієнта, зменшення витрат пацієнта, роботодавців та держави на лікування та реабілітацію, допоможе максимально інтегрувати в життя пацієнта інноваційні технології здоров'я. Приклад реалізованого вебінтегрованого мультимедійного середовища «Зцілення та Гармонія» знаходиться за адресою www.zen.harmoniya.org. Мультимедійне середовище передбачає можливість вибору кількості мультимедійних каналів передачі, голосу диктора (чоловий чи жіночий голос), використовуваних користувачем методик оздоровлення в процесі реабілітації та без їх використання, груп захворювань, на які спрямоване мультимедійне середовище та інші можливості.

Висновки: Сучасне динамічне життя ставить високі вимоги до рівня здоров'я людини. Важливе значення в його забезпеченні відіграє реабілітація на різних її етапах. Сучасні можливості засобів мультимедійних ресурсів та ЗМІ не достатньо використовуються для здоров'я та реабілітації громадянина. В результаті побудови ієрархії пріоритетів в проведенні реабілітації було показано важливість використання мультимедійних чинників для підвищення ефективності реабілітації та представлено реалізоване вебінтегроване психомодельює мультимедійного середовища «Зцілення та Гармонія»

Література

1. Департамент комунікацій влади та громадськості Секретаріату Кабінету Міністрів України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=89666284&cat_id=103615
2. Опанасюк О. П. Культурологічні та онтологічні аспекти музикотерапії / О. П. Опанасюк // Вісник НАКККиМ. – 2011. – № 3.
3. Едунов С.М. Программы по музыке в контексте ведущих тенденций развития отечественного музыкального образования: история и современность / Едунов С.М., Праслова Г.А. – СПб : СПб ГУМП, 2001.
4. Жавинина О., Зац Л. Музыкальное воспитание: поиски и находки / О. Жавинина, Л. Зац // Искусство в школе. – 2003. – № 5.
5. Назарова Л.Д. Фольклорная арттерапия / Назарова Л.Д. – СПб : Речь, 2002.
6. Наumenко Г.М. Фольклорная азбука / Г.М. Наumenко // Молодежная эстрада. – 1999. – № 4.
7. Овчинникова Т. Музыка для здоровья / Овчинникова Т. – СПб : Союз художников, 2004.
8. Седунова Л.М. О современных тенденциях развития общего музыкального образования / Л.М. Седунова // Музыка в школе. – 2004.
9. Смирнов В. А. Музыкальная валеология в системе школьного образования / В. А. Смирнов // Ребенок и Север: проблемы сохранения здоровья и создания эффективной образовательной среды : сборник докладов и тезисов выступлений, 25–27 марта 2003 г., МОИПКРО. – Мурманск : НИЦ “Пазори”, 2004.
10. Шанских Г. Музыка как средство коррекционной работы / Г. Шанских // Искусство в школе. – 2003.
11. Яковенко Т.Е. Музыка и здоровье человека: Фестиваль педагогических идей “Открытый урок” / Яковенко Т.Е. – М. : Первое сентября, Чистые пруды, 2004.

12. Кириллова А.В. Региональный аспект художественно-эстетического образования: проблемы и находки / Кириллова А.В. – Мурманск : НИЦ “Пазори”, 2004.
13. Лобзин В.С. Аутогенная тренировка / Лобзин В.С., Решетников М.М. – Л., 1986.
14. Сидоров П.И. Психосоматическая медицина / Сидоров П.И., Соловьев А.Г., Новикова И.А. – М. : МЕДпресс-информ, 2006. – 564 с.
15. Мачёрет Е.Л. Основы традиционной китайской медицины в рефлексотерапии / Мачёрет Е.Л., Коркушко А.О. – К. : ДІА. 2005. – 397 с.
16. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Саати Т. ; перевод с англ. Р.Г. Вачнадзе. – М. : Радио и связь, 1993. – 278 с.

References

1. Departament komunikatsii vladı ta hromadskosti Sekretariatu Kabinetu Ministriv Ukrainy [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=89666284&cat_id=103615
2. Opanasiuk O. P. Kulturolohichni ta ontologichni aspekty muzykoterapii / O. P. Opanasiuk // Visnyk NAKKKiM. – 2011. – № 3.
3. Edunov S.M. Programmy po muzyke v kontekste vedushih tendentsiy razvitiya otechestvennogo muzyikalnogo obrazovaniya: istoriya i sovremennost / Edunov S.M., Praslova G.A. – SPb : SPb GUMP, 2001.
4. Javinina O., Zats L. Muzyikalnoe vospitanie: poiski i nahodki / O. Javinina, L. Zats // Iskusstvo v shkole. – 2003. – № 5.
5. Nazarova L. D. Folklornaya artterapiya / Nazarova L. D. – SPb : Rech, 2002.
6. Naumenko G.M. Folklornaya azbuka / G.M. Naumenko // Molodejnaya estrada. – 1999. – № 4.
7. Ovchinnikova T. Muzyka dlya zdorovya / Ovchinnikova T. – SPb : Soyuz hudojnikov, 2004.
8. Sedunova L.M. O sovremennyih tendentsiyah razvitiya obshego muzyikalnogo obrazovaniya / L.M. Sedunova // Muzyka v shkole. – 2004.
9. Smirnov V. A. Muzyikalnaya valeologiya v sisteme shkolnogo obrazovaniya / V. A. Smirnov // Rebenok i Sever: problemy sohraneniya zdorovya i sozdaniya effektivnoy obrazovatelnoy sredy : sbornik dokladov i tezisov vystupleniy, 25–27 marta 2003 g., MOIPKRO. – Murmansk : NITS “Pazori”, 2004.
10. SHanskiy G. Muzyka kak sredstvo korrektsionnoy raboty / G. SHanskiy // Iskusstvo v shkole. – 2003.
11. YAkovenko T.E. Muzyka i zdorove cheloveka: Festival pedagogicheskikh idey “Otkrytiy urok” / YAkovenko T.E. – M. : Pervoe sentyabrya, CHistyie prudy, 2004.
12. Kirillova A.V. Regionalnyy aspekt hudojestvenno-esteticheskogo obrazovaniya: problemy i nahodki / Kirillova A.V. – Murmansk : NITS “Pazori”, 2004.
13. Lobzin V.S. Autogennaya trenirovka / Lobzin V.S., Reshetnikov M.M. – L., 1986.
14. Sidorov P.I. Psihosomaticheskaya meditsina / Sidorov P.I., Solovov A.G., Novikova I.A. – M. : MEDpress-inform, 2006. – 564 s.
15. Macheret E.L. Osnovy traditsionnoy kitayskoy meditsiny v refleksoterapii / Macheret E.L., Korkushko A.O. – K. : DIYA. 2005. – 397 s.
16. Saati T. Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarhiy / Saati T. ; perevod s angl. R.G. Vachnadze. – M. : Radio i svyaz, 1993. – 278 s.

Рецензія/Peer review : 27.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Лупенко С.А.

Б.П. КНИШ, Я.А. КУЛИК, А.І. ЛІСОВЕНКО

Вінницький національний технічний університет

МЕТОД РОЗПОДІЛУ ЧАСУ НА ДОСТАВКУ ТОВАРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЗГІДНО З ПРІОРИТЕТОМ

В роботі запропоновано метод, який дозволяє зменшити час доставки товарів за допомогою безпілотних літальних апаратів за рахунок зменшення середнього часу очікування в черзі при доставці однієї одиниці товару залежно від параметрів систем доставки товарів. Проведено експериментальні дослідження, які підтвердили ефективність запропонованого методу для систем доставки товарів.

Ключові слова: авіація, безпілотні літальні апарати, метод, пріоритет, доставка товарів.

B.P. KNYSH, J.A. KULIK, A.I. LISOVENKO

Vinnytsia National Technical University

THE METHOD OF THE TIME DISTRIBUTION FOR THE GOODS SHIPMENT BY THE MEANS OF UNPILOTED AERIAL VEHICLES BASED ON A PRIORITY

The object of this work is the development of a method, which let decrease a time of the goods shipment carried out by the unpiloted aerial vehicles. In the article are viewed the determination of the parameters of a goods shipment system by the means of unpiloted aerial vehicles, which influence the mean time of waiting in a queue; carried out a math model, which render the connection between shipment system's parameters and the mean time of waiting in a queue; on the base of the proposed math model is developed the method, which lets decrease the period of a goods shipment by the means of unpiloted aerial vehicles; the experimental researches are applied to confirm the adequacy of results of the proposed math model. The experimental researches prove the efficiency of the proposed method in case of the one-channel systems and the multi-channel systems of goods shipment which have an option of rejection and a waiting option. Also researches' results show that the described systems of goods shipment, which use the concept of priority during the servicing of goods shipment, have less tendency to be overloaded, can carry out more orders per a time period and income orders get less quantity of rejections or have a smaller period of caring out inside this systems.

Keywords: aviation, unmanned aerial vehicles, method, priority, delivery of goods.

Вступ

Логістика як господарський процес і як функція управління передбачає єдину систему переміщення матеріальних, інформаційних і фінансових товарів та послуг. Її невід'ємною складовою є транспорт, який органічно вписується у виробничі й торгові процеси, адже дозволяє здійснювати перевезення людей та доставку товарів [1].

Основні проблеми, які виникають при організації доставки товарів, полягають у недосконалої інфраструктури, незадовільному стані транспортного обслуговування та зношеності рухомого складу, низькій якості транспортних шляхів, їх перевантаженості, віддаленості точок прийому та видачі товарів, поганій організації процесу доставки, непрогнозованих витратах тощо [2, 3]. Вищенаведені проблеми можна вирішити шляхом використання в якості транспорту для доставки товарів безпілотні літальні апарати (БПЛА) та за рахунок розв'язання задач ефективного управління їх рухом [4]. Для цього існують математичні моделі систем доставки товарів (СДТ) за допомогою БПЛА [5], але вони недостатньо ефективні, оскільки вони не забезпечують максимально можливої швидкості доставки товарів. Тому виникає потреба в пошуку більш досконалого вирішення проблеми управління рухом БПЛА. Її можна вирішити шляхом підвищення ефективності існуючих моделей СДТ за рахунок зменшення середнього часу очікування в черзі при доставці однієї одиниці товару. Таким чином, метою роботи є розробка методу, який дозволяє зменшити час доставки товарів за допомогою БПЛА.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні основні задачі:

1. Визначити параметри СДТ, які впливають на середній час очікування в черзі.
2. Розробити математичну модель, яка відображає зв'язок між параметрами СДТ та середнім часом очікування в черзі.
3. Розробити на основі отриманої математичної моделі метод, який дозволяє зменшити час доставки товарів за допомогою БПЛА.
4. Виконати експериментальні дослідження і підтвердити адекватність результатів математичного моделювання.

Параметри систем доставки товарів

СДТ поділяються на одноканальні та багатоканальні, тобто доставка товарів виконується, в даному випадку, одним чи багатьма БПЛА, відповідно [6]. Середній час очікування заявки на доставку товару в черзі залежить від параметрів цих систем, до яких відносять: λ – інтенсивність надходження замовлень в СДТ, тобто середня кількість замовлень в системі за одиницю часу; N – кількість замовлень в СДТ; C – кількість місць у черзі; n – кількість вільних БПЛА; μ – зведена інтенсивність обслуговування; ρ – зведена інтенсивність завантаження каналу (середня кількість замовлень, що надходять за час обслуговування одного замовлення).

Математична модель зв'язку між параметрами системи доставки товарів та середнім часом очікування в черзі

Вирішення завдання мінімізації середнього часу очікування в черзі при доставці товарів з допомогою БПЛА можна здійснити шляхом застосування відомої математичної моделі СДТ, яка визначає стани функціонування системи. Роботу СДТ можна описати за допомогою системи рівнянь [7]:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} P_0 = -n\lambda P_0 + \mu P_1, \\ \frac{d}{dt} P_1 = -(n-1)\lambda P_1 + \mu P_2 + n\lambda P_0 - \mu P_1, \\ \frac{d}{dt} P_2 = -(n-2)\lambda P_2 + \mu P_3 + (n-1)\lambda P_1 - \mu P_2, \\ \dots, \\ \frac{d}{dt} P_n = -\lambda P_{n-1} - \mu P_n, \\ \sum_{j=0}^n P_j = 1. \end{cases} \quad (1)$$

де $P_0, P_1, P_2, \dots, P_{n-1}, P_n$ – імовірності знаходження системи в станах $S_0, S_1, S_2, \dots, S_{n-1}, S_n$, відповідно. Вирішенням даної системи є імовірність знаходження системи в j -му стані P_j . СДТ функціонує при незмінних в часі параметрах, тому всі похідні дорівнюють нулю [8], $j = 0, \dots, n$. Таким чином, розв'язок системи рівнянь (1) буде мати вигляд

$$\begin{cases} P_1 = \frac{n\lambda P_0}{\mu}, \\ P_2 = \frac{(n-1)\lambda P_1}{\mu} = \frac{(n-1)\lambda^2 P_0}{\mu^2}, \\ \dots, \\ P_j = \frac{(n+j-1) \cdot \dots \cdot (n-2)(n-1)n\lambda^j P_1}{\mu^j} = \frac{n!\lambda^j P_0}{(n-j)!\mu^j}, \\ \sum_{j=0}^n P_j = 1 = P_0 \sum_{j=0}^n \frac{n!\lambda^j}{(n-j)!\mu^j}. \end{cases} \quad (2)$$

де $P_0, P_1, P_2, \dots, P_{j+1}, P_j$ – імовірності знаходження системи в станах $S_0, S_1, S_2, \dots, S_{j+1}, S_j$, відповідно

З системи (2) визначимо імовірність простою БПЛА, яка складає

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{j=0}^n \frac{n!\lambda^j}{(n-j)!\mu^j}}. \quad (3)$$

В класичній системі масового обслуговування кількість замовлень, які знаходяться на обслуговування, рівна кількості вільних транспортних каналів. У випадку застосування БПЛА кількість вільних транспортних каналів теоретично є необмеженим, а на практиці ця кількість обмежується кількістю БПЛА. Тому імовірність зайнятості БПЛА та, відповідно, каналу буде

$$P_z = 1 - P_0. \quad (4)$$

Метод розподілу часу на доставку товарів за допомогою безпілотних літальних апаратів згідно пріоритету

В роботі запропоновано метод, який дозволяє зменшити час доставки товарів за допомогою БПЛА

за рахунок зменшення середнього часу очікування в черзі при доставці однієї одиниці товару в залежності від параметрів СДТ. Розглянемо СДТ за допомогою БПЛА, яка працює з використанням квантування часу обслуговування відповідно до пріоритету. Такі системи мають найбільшу ефективність, оскільки розподіл квантування часу відповідно до пріоритету буде завжди кращим, ніж послідовне обслуговування [9]. Якщо СДТ під час роботи буде використовувати квантування часу обслуговування відповідно до пріоритету, то зміниться середній час очікування в черзі та імовірність знаходження станів системи. Оскільки квантування вирішує задачу оптимізації, то середній час очікування зменшиться. При функціонуванні СДТ з використанням квантування часу обслуговування відповідно до пріоритету виділяється квант часу на обслуговування доставки за допомогою БПЛА пропорційно числу пріоритету. Причому число пріоритету буде тим більше, чим менше потрібно часу на обслуговування заявки, тобто чим менша відстань до замовника товару.

Зведена інтенсивності обслуговування пропорційна середньому часу очікування в черзі $\mu = \frac{1}{t}$.

Використовуючи вищевикладену математичну модель опишемо роботу СДТ, яка працює з використанням квантування часу обслуговування відповідно до пріоритету [9], у вигляді системи рівнянь

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} P_0 = -n\lambda P_0 + \mu^2 P_1, \\ \frac{d}{dt} P_1 = -(n-1)\lambda P_1 + \mu^2 P_2 + n\lambda P_0 - \mu^2 P_1, \\ \frac{d}{dt} P_2 = -(n-2)\lambda P_2 + \mu^2 P_3 + (n-1)\lambda P_1 - \mu^2 P_2, \\ \dots, \\ \frac{d}{dt} P_n = -\lambda P_{n-1} - \mu^2 P_n, \\ \sum_{j=0}^n P_j = 1. \end{cases} \quad (5)$$

У статичному вигляді всі похідні дорівнюють нулю, $j = 0, \dots, n$, тому розв'язок рівнянь системи (5) має вигляд:

$$\begin{cases} P_1 = \frac{n\lambda P_0}{\mu^2}, \\ P_2 = \frac{(n-1)\lambda P_1}{\mu^2} = \frac{(n-1)\lambda^2 P_0}{\mu^4}, \\ \dots, \\ P_j = \frac{(n+j-1) \cdot \dots \cdot (n-2)(n-1)n\lambda^j P_1}{\mu^{2j}} = \frac{n!\lambda^j P_0}{(n-j)!\mu^{2j}}, \\ \sum_{j=0}^n P_j = 1 = P_0 \sum_{j=0}^n \frac{n!\lambda^j}{(n-j)!\mu^{2j}}. \end{cases} \quad (6)$$

Імовірність простою БПЛА складає

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{j=0}^n \frac{n!\lambda^j}{(n-j)!\mu^{2j}}}. \quad (7)$$

Враховуючи, що $\mu = \frac{1}{t}$, то вираз (9) змінюється до вигляду:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{j=0}^n \frac{n! \lambda^j t^{2j}}{(n-j)!}}. \quad (8)$$

Таким чином, імовірність, зайнятості БПЛА (каналу) буде

$$P_z = 1 - P_0. \quad (9)$$

Таким чином, можна стверджувати, що розв'язок системи рівнянь (6) з урахуванням $\mu = \frac{1}{t}$ дозволяє перейти від мінімізації імовірності простою БПЛА до мінімізації середнього часу очікування в черзі, що ілюструє формула (8). Це дозволяє зменшити час доставки товарів за допомогою БПЛА, що є основою запропонованого методу.

Експериментальні дослідження на основі запропонованого методу

Нехай є СДТ за допомогою БПЛА, у якій на вхід поступають $\lambda = 6$ заявок на обслуговування товарів, а середня інтенсивність обслуговування (завантаження системи) складає $\rho = 0,65$. Система має $N = 3$ канали, які можуть бути вільні або зайняті. У системі одночасно в середньому знаходиться $\mu = 9,23$ замовлень, які чекають обслуговування. За даної інтенсивності система в середньому обслуговує заявки швидше, ніж вони надходять, тому система є стабільною та не перевантаженою. Розглянемо випадок, одноканальних СДТ, яка використовує один БПЛА та два способи порядку обслуговування замовлень на доставку: з відмовами, коли замовлення на доставку при наявності кількості заявок на входи системи більше, ніж місць у черзі або кількості каналів N , отримують відмову (з можливістю повторної подачі заявки); з очікуванням у черзі (при цьому один БПЛА обслуговує по черзі N каналів). У випадку одноканальних СДТ з відмовами можливі два стани системи: S_0 – канал вільний і БПЛА готовий обслуговувати замовлення на доставку; S_1 – канал зайнятий і БПЛА виконує обслуговувати замовлення на доставку та не готовий до обслуговування нової заявки.

Імовірності системи:

- P_0 – імовірність стану S_0

$$P_0 = \frac{\mu}{\lambda + \mu}; \quad (10)$$

- P_1 – імовірність стану S_1 [10]

$$P_1 = 1 - P_0. \quad (11)$$

Використаємо запропонований метод розподілу часу на доставку товарів за допомогою БПЛА згідно пріоритету. Тоді імовірності P_0 (10) та P_1 (11) цієї системи набудуть вигляду P_{0m} та P_{1m} , відповідно

$$P_{0m} = \frac{\mu^2}{\lambda^2 + \mu^2}; \quad (12)$$

$$P_{1m} = 1 - P_{0m}. \quad (13)$$

Порівняння двох способів обслуговування черги замовлень (з пріоритетами та без) графічно показано на рис. 1.

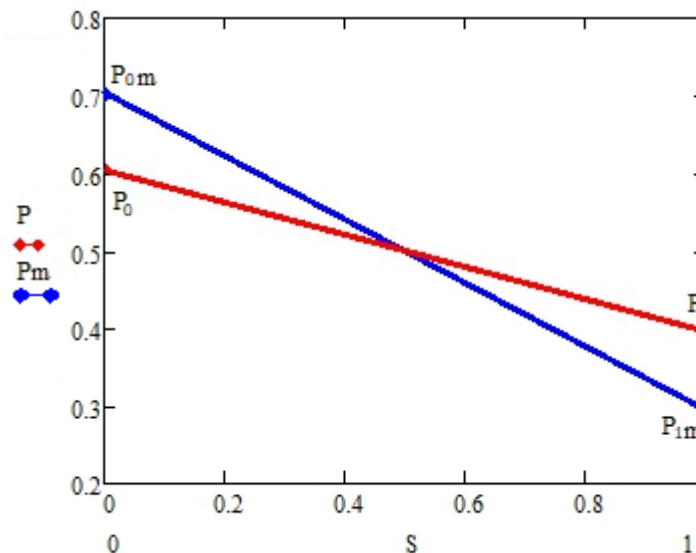


Рис. 1. Розподіл імовірностей для одноканальних СДТ з відмовами з пріоритетністю доставки P_m та без P

З рисунку видно, що використання запропонованого методу в одноканальних СДТ з відмовами дозволяє збільшити імовірність стану вільного каналу P_{0m} та зменшити імовірність стану зайнятого каналу P_{1m} . Це свідчить про те, що в цілому СДТ з пріоритетністю доставки в середньому за одиницю часу є менш завантаженою та дозволяє обслуговувати більше замовлень, а вхідні замовлення отримують менше число відмов. Сума імовірностей P_0 і P_1 та P_{0m} і P_{1m} в обох випадках рівна 1, що показує правильність отриманих розрахунків. У випадку одноканальних СДТ з очікуванням можливі стани мають таку інтерпретацію: S_0 – канал вільний; S_1 – канал зайнятий (черги немає); S_2 – канал зайнятий (одне замовлення знаходиться в черзі); S_i – канал зайнятий ($i-1$ замовлення знаходиться в черзі); S_N – канал зайнятий ($N-1$ замовлення знаходиться в черзі).

Тоді імовірності системи:

- P_0 – імовірність стану S_0

$$P_0 = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{N+1}}; \quad (14)$$

- P_i – імовірність стану S_i

$$P_i = P_0 \rho^i. \quad (15)$$

Використаємо запропонований метод розподілу часу на доставку товарів за допомогою БПЛА згідно пріоритету. Тоді імовірності P_0 (14) та P_i (15) цієї системи набудуть вигляду P_{0m} та P_{im} , відповідно

$$P_{0m} = \frac{1 - \rho_m}{1 - \rho_m^{N+1}}; \quad (16)$$

$$P_{im} = P_{0m} \rho_m^i. \quad (17)$$

де $\rho_m = \rho^2$ – зведена інтенсивність завантаження каналу для запропонованого методу. Порівняння двох способів обслуговування черги замовлень (з пріоритетами та без) графічно показано на рис. 2.

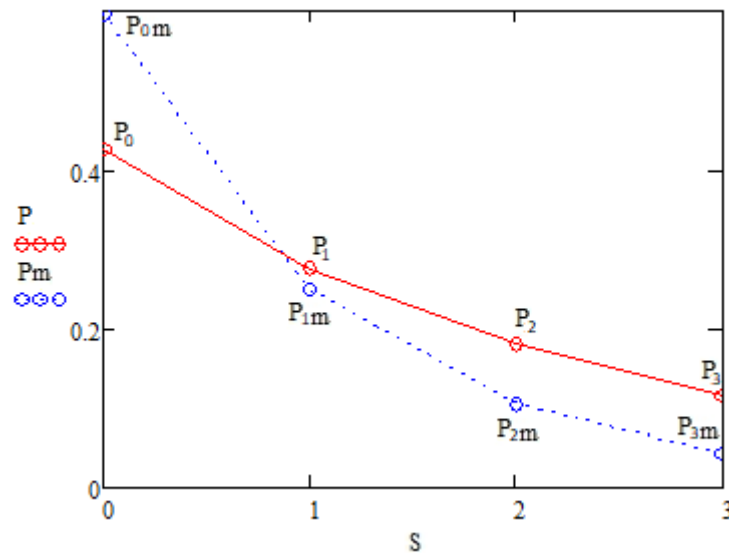


Рис. 2. Розподіл імовірностей для одноканальних СДТ з очікуванням з пріоритетністю доставки P_m та без P

З рисунку видно, що використання запропонованого методу в одноканальних СДТ з очікуванням дозволяє збільшити імовірність стану вільного каналу P_{0m} та зменшити імовірність стану зайнятого каналу зі збільшенням черги замовлень. Це свідчить про те, що в цілому СДТ з пріоритетністю доставки в середньому за одиницю часу є менш завантаженою та дозволяє обслуговувати більше замовлень, а вхідні замовлення менше часу перебувають у черзі. Сума імовірностей з P_0 по P_3 та з P_{0m} по P_{3m} в обох випадках рівна 1, що показує правильність отриманих розрахунків. Розглянемо випадок, багатоканальної СДТ, яка використовує певну кількість БПЛА та два способи порядку обслуговування замовлень на доставку: з відмовами, якщо надходить велика кількість замовлень на доставку товарів з джерела вимог i (велика інтенсивність λ) і тип товарів дає можливість відмовитись від виконання окремих замовлень на доставку; з очікуванням у черзі, якщо при великій кількості замовлень на доставку товарів з джерела вимог i (інтенсивність λ) тип товарів не дає можливість відмовитись від виконання замовлень на доставку. У випадку багатоканальної СДТ з відмовами, яка містить N каналів для обслуговування, потік замовлень на обслуговування інтенсивністю λ , інтенсивність обслуговування μ , можливі стани мають таку інтерпретацію: S_0 – всі канали вільні; S_1 – один канал зайнятий, інші $N-1$ канали вільні; S_2 – два канали зайняті, інші $N-2$ канали вільні; S_i – i каналів зайняті, інші $N-i$ канали вільні; S_N – всі канали зайняті, замовлення отримує відмову в обслуговуванні.

Імовірності системи:

- P_0 – імовірність стану S_0

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{i=0}^N \frac{\rho^i}{i!}}; \quad (18)$$

- P_i – імовірність стану S_i

$$P_i = \frac{\rho^i}{i!} P_0. \quad (19)$$

Використаємо запропонований метод розподілу часу на доставку товарів за допомогою БПЛА згідно пріоритету. Тоді імовірності P_0 (18) та P_i (19) цієї системи набудуть вигляду P_{0m} та P_{im} , відповідно

$$P_{0m} = \frac{1}{\sum_{i=0}^N \frac{\rho_m^{2i}}{i!}}; \quad (20)$$

$$P_{im} = \frac{\rho_m^{2i}}{i!} P_{0m}. \quad (21)$$

Порівняння двох способів обслуговування черги замовлень (з пріоритетами та без) графічно показано на рис. 3.

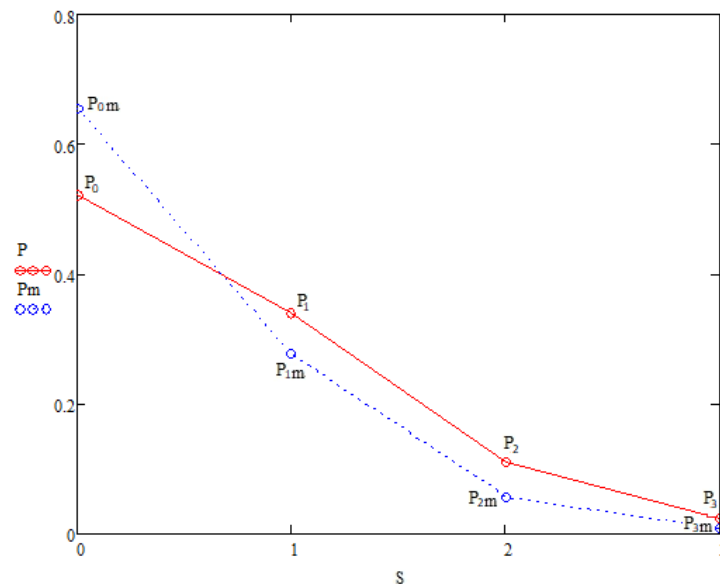


Рис. 3. Розподіл імовірностей для багатоканальних СДТ з відмовами з пріоритетністю доставки P_m та без P

З рисунку видно, що використання запропонованого методу в багатоканальних СДТ з відмовами дозволяє збільшити імовірність стану вільного каналу P_{0m} та зменшити імовірність стану зайнятого каналу із збільшенням черги замовлень. Це свідчить про те, що в цілому СДТ з пріоритетністю доставки в середньому за одиницю часу є менш завантаженою та дозволяє обслуговувати більше замовлень, а вхідні замовлення менше часу перебувають у черзі. Сума імовірностей з P_0 по P_3 та з P_{0m} по P_{3m} в обох випадках рівна 1, що показує правильність отриманих розрахунків. У випадку багатоканальної СДТ з очікуванням, коли є обмеження на довжину черги, розрахунки будуть виконуватись для $C = 2$. Тоді можливі стани мають таку інтерпретацію: S_0 – всі канали вільні; S_1 – один канал зайнятий, інші $C-1$ канали вільні; S_2 – два канали зайняті, інші $C-2$ канали вільні; S_C – C каналів зайняті (всі, що є у розпорядженні), черги немає; S_{C+1} – C каналів зайняті, одне замовлення знаходиться в черзі; S_N – всі C каналів зайняті, $N-C$ замовлень знаходиться в черзі.

Імовірності системи:

- P_0 – імовірність стану S_0

$$P_0 = \begin{cases} \left(\sum_{i=0}^{C-1} \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^C \left(1 - \left(\frac{\rho}{C} \right)^{N-C+1} \right)}{C! \left(1 - \frac{\rho}{C} \right)} \right)^{-1}, & \frac{\rho}{C} \neq 1, \\ \left(\sum_{i=0}^{C-1} \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^C}{C!} (N-C+1) \right)^{-1}, & \frac{\rho}{C} = 1; \end{cases} \quad (22)$$

- P_i – імовірність стану S_i

$$P_i = \begin{cases} \frac{\rho^i}{i!} P_0, 0 \leq i \leq C, \\ \frac{\rho^i}{C! C^{i-C}} P_0, C \leq i \leq N. \end{cases} \quad (23)$$

Використаємо запропонований метод розподілу часу на доставку товарів за допомогою БПЛА згідно з пріоритетом. Тоді імовірності P_0 (22) та P_i (23) цієї системи набудуть вигляду P_{0m} та P_{im} , відповідно

$$P_{0m} = \begin{cases} \left(\sum_{i=0}^{C-1} \frac{\rho_m^{2i}}{i!} + \frac{\rho_m^{2C} \left(1 - \left(\frac{\rho_m^2}{C} \right)^{N-C+1} \right)}{C! \left(1 - \frac{\rho_m^2}{C} \right)} \right)^{-1}, \frac{\rho_m^2}{C} \neq 1, \\ \left(\sum_{i=0}^{C-1} \frac{\rho_m^{2i}}{i!} + \frac{\rho_m^{2C}}{C!} (N - C + 1) \right)^{-1}, \frac{\rho_m^2}{C} = 1; \end{cases} \quad (24)$$

$$P_{im} = \begin{cases} \frac{\rho_m^{2i}}{i!} P_{0m}, 0 \leq i \leq C, \\ \frac{\rho_m^{2i}}{C! C^{i-C}} P_{0m}, C \leq i \leq N. \end{cases} \quad (25)$$

Порівняння двох способів обслуговування черги замовлень (з пріоритетами та без) графічно показано на рис. 4.

З рисунку видно, що використання запропонованого методу в багатоканальних СДТ з очікуванням дозволяє збільшити імовірність стану вільного каналу P_{0m} та зменшити імовірність стану зайнятого каналу зі збільшенням черги замовлень. Це свідчить про те, що в цілому СДТ з пріоритетністю доставки в середньому за одиницю часу є менш завантаженою та дозволяє обслуговувати більше замовлень, а вхідні замовлення менше часу перебувають у черзі. Сума імовірностей з P_0 по P_3 та з P_{0m} по P_{3m} в обох випадках рівна 1, що показує правильність отриманих розрахунків.

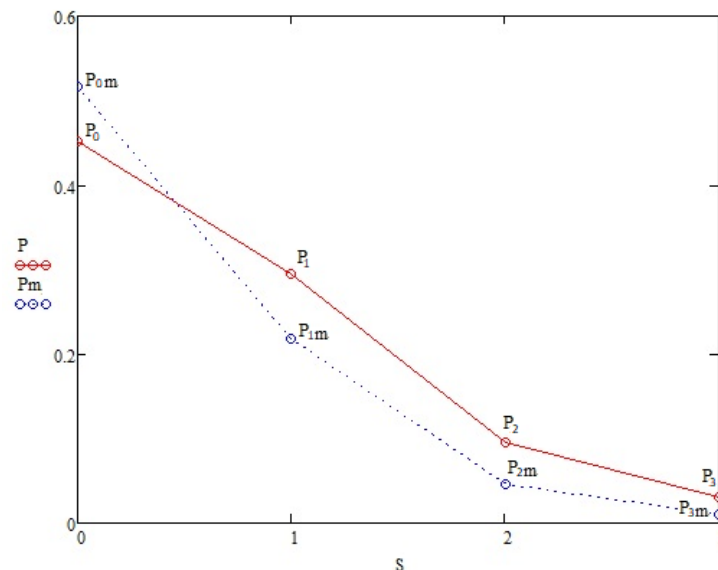


Рис. 4. Розподіл імовірностей для багатоканальних СДТ з відмовами з пріоритетністю доставки P_m та без P

Висновки

В роботі запропоновано метод, який дозволяє зменшити час доставки товарів за допомогою БПЛА за рахунок зменшення середнього часу очікування в черзі при доставці однієї одиниці товару залежно від параметрів СДТ. Експериментальні дослідження підтвердили ефективність запропонованого методу для одноканальних та багатоканальних СДТ з відмовами та з очікуванням і показали, що в цілому розглянуті СДТ з використанням пріоритетності доставки в середньому за одиницю часу є менш завантаженими та встигають обслуговувати більше замовлень, а вхідні замовлення отримують менше число відмов або менше часу перебувають у черзі. У реальних системах зменшення часу очікування призводить до збільшення прибутку, а для окремих категорій товарів є важливим показником, якщо час доставки впливає на якість цих товарів.

Література

1. Перебийніс В.І. Транспортно-логістичні системи підприємств: формування та функціонування : монографія / В. І. Перебийніс, О. В. Перебийніс. – Полтава : РВВ ПУСКУ, 2005. – 207 с.
2. Yang Xin-She. Computational optimization, modelling and simulation: Past, present and future / Xin-She Yang, Slawomir Koziel, Leifur Leifsson // International Conference on Computational Science. Procedia Computer Science, 2014. – No 29(0). – P. 754–758.
3. Zhu Xueping. Model of Collaborative UAV Swarm Toward Coordination and Control Mechanisms Study / Xueping Zhu, Zhengchun Liu, Jun Yang // International Conference On Computational Science. Procedia Computer Science. – 2015. – Volume 51. – P. 493–502.
4. Книш Б.П. Класифікація безпілотних літальних апаратів та їх використання для доставки товарів / Б.П. Книш, Я.А. Кулик, М.В. Барабан // Вісник Хмельницького національного університету. – 2018. – № 3. – С. 246–252.
5. В'юненко О.Б. Дослідження операцій. Системи масового обслуговування / О.Б. В'юненко, Л.П. Воронець. – Суми : ШНАУ, 2008. – 370 с.
6. Dogan A. Probabilistic approach in path planning for UAVs / A. Dogan // Intelligent Control. 2003 IEEE International Symposium. – 2003. – P. 608-613. – ISSN 2158-9860.
7. Bortoff S.A. Path planning for UAVs / S. A. Bortoff // American Control Conference, IEEE, Chicago, IL, USA. – 28-30 June, 2000. – ISBN: 0-7803-5519-9, ISSN: 0743-1619. – DOI: 10.1109/ACC.2000.878915.
8. Андросенко О.С. Постановка и решение задач Марковских процесов на ЭВМ / О.С. Андросенко, Л.Д. Девятченко, Е.П. Маяченко. – Магнитогорск : ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. – 510 с.
9. Бэкон Д. Операционные системы. Параллельные и распределенные системы / Д. Бэкон, Г. Харрис. – СПб : Питер, 2004. – 800 с.
10. Dai Ran. Path planning for multiple unmanned aerial vehicles by parameterized cornu-spirals / Ran Dai, John E. Cochran // American Control Conference. – 2009. – P. 2391–2396. – ISSN 0743-1619.

References

1. Perebyinis V.I. Transportno-lohistychni systemy pidpriemstv: formuvannia ta funktsionuvannia : monohrafiia / V. I. Perebyinis, O. V. Perebyinis. – Poltava : RVV PUSKU, 2005. – 207 s.
2. Yang Xin-She. Computational optimization, modelling and simulation: Past, present and future / Xin-She Yang, Slawomir Koziel, Leifur Leifsson // International Conference on Computational Science. Procedia Computer Science, 2014. – No 29(0). – P. 754–758.
3. Zhu Xueping. Model of Collaborative UAV Swarm Toward Coordination and Control Mechanisms Study / Xueping Zhu, Zhengchun Liu, Jun Yang // International Conference On Computational Science. Procedia Computer Science. – 2015. – Volume 51. – P. 493–502.
4. Knysh B.P. Klyasyfikatsiia bezpilotnykh litalnykh aparativ ta yikh vykorystannia dlia dostavky tovariv / B.P. Knysh, Ya.A. Kulyk, M.V. Baraban // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2018. – № 3. – S. 246–252.
5. Viunenko O.B. Doslidzhennia operatsii. Systemy masovoho obsluhovuvannia / O.B. Viunenko, L.P. Voronets. – Sumy : SNAU, 2008. – 370 s.
6. Dogan A. Probabilistic approach in path planning for UAVs / A. Dogan // Intelligent Control. 2003 IEEE International Symposium. – 2003. – P. 608-613. – ISSN 2158-9860.
7. Bortoff S.A. Path planning for UAVs / S. A. Bortoff // American Control Conference, IEEE, Chicago, IL, USA. – 28-30 June, 2000. – ISBN: 0-7803-5519-9, ISSN: 0743-1619. – DOI: 10.1109/ACC.2000.878915.
8. Androsenko O.S. Postanovka i reshenie zadach Markovskikh procesov na EHVМ / O.S. Androsenko, L.D. Devyatchenko, E.P. Mayachenko. – Magnitogorsk : GOU VPO «MGTU», 2007. – 510 s.
9. Behkon D. Operacionnye sistemy. Parallelnye i raspredelennye sistemy / D. Behkon, G. Harris. – SPb : Piter, 2004. – 800 s.
10. Dai Ran. Path planning for multiple unmanned aerial vehicles by parameterized cornu-spirals / Ran Dai, John E. Cochran // American Control Conference. – 2009. – P. 2391–2396. – ISSN 0743-1619.

Рецензія/Peer review : 26.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Бісікало О.В.

О.В. БАБЕНКО

Вінницький національний технічний університет

А.А. ВИДМИШ, А.А. ШТУЦЬ

Вінницький національний аграрний університет

НАБЛИЖЕНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ОСВІТЛЕНOSTІ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ СИСТЕМИ ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ

В статті проаналізовано процес практичного визначення освітленості світильників зовнішнього освітлення. Наведено схеми здійснення світлотехнічних вимірювань. Для вимірювання освітленості на невеликих відстанях можна використати схему з горизонтальним розміщенням світильника, а для вимірювання на значних відстанях доцільно використати схему з вертикальним розміщенням світильника. Досліди за такими схемами нескладно реалізувати в реальних умовах діяльності енергоаудитора, оскільки потребують лише засобів кріплення світильника з можливістю його повороту на заданий кут і вимірювального пристрою – люксметра. Здійснено порівняння способів визначення освітленості: з використанням кривої сили світла, що побудована за результатами світлотехнічних вимірювань на значній відстані від світильника; з використанням кривої сили світла, що побудована за результатами світлотехнічних вимірювань на невеликій відстані від світильника та з використанням регресійних моделей. Встановлено, що перший спосіб більш ефективний за необхідності визначення освітленості на відстані понад 8 м, другий – на відстані до 8 м, а третій – за будь-якої відстані. Особливість третього способу полягає в необхідності отримання значної кількості результатів світлотехнічних вимірювань для багатьох напрямів розповсюдження світлового потоку. Під час аналізу можливості використання регресійних моделей для побудови аналітичної залежності освітленості від відстані від світильника враховано, що ця залежність має гіперболічний характер. Таким чином запропоновано використовувати нелінійну однофакторну регресійну модель для гіперболічної функціональної залежності. Поєднання вказаних способів дозволяє запропонувати метод визначення освітленості світильниками зовнішнього освітлення, в основу якого покладено використання побудованих наближених кривих сили світла на основі вимірювань освітленості на конкретних відстанях та з використанням регресійної моделі. Метод може бути використаний для попередньої оцінки значення освітленості під час енергетичного аудиту системи зовнішнього освітлення.

Ключові слова: освітленість, крива сили світла, регресійна модель.

O.V. BABENKO

Vinnytsia National Technical University

A.A. VIDMISH, A.A. SHUTS

Vinnytsia National Agrarian University

APPROXIMATE METHOD OF DETERMINING LIGHTING DURING THE EXECUTION OF THE ENERGY AUDIT OF THE EXTERNAL LIGHTING SYSTEM

The article analyzes the process of practical determination of the illumination of outdoor lighting fixtures. Shows the implementation of lighting measurements. For measuring illumination at short distances, you can use a scheme with horizontal placement of the lamp, and for measuring illumination at long distances - it is advisable to use a scheme with vertical placement of the lamp. Experiments on such schemes are easy to implement in real-life conditions of the energy auditor, since they require only fixing means for the luminaire with the possibility of its rotation at a given angle and a measuring device - a luxmeter. A comparison was made of methods for determining the illumination: using the luminous intensity curve based on the results of lighting measurements at a considerable distance from the luminaire; using the light intensity curve based on the results of lighting measurements at a short distance from the luminaire and using regression models. It was found that the first method of determining illumination is more effective if it is necessary to determine illumination at a distance of more than eight meters, the second method of determining illumination at a distance of up to eight meters, and the third method of determining illumination at any distance. The feature of the third method is the need to obtain a significant number of results of lighting measurements for many directions of propagation of the light flux. When analyzing the possibility of using regression models to build an analytical dependence of illumination on distance from a lamp, it was taken into account that this dependence is hyperbolic in nature. Thus, it is proposed to use a non-linear single-factor regression model for hyperbolic functional dependence. The combination of these methods allows us to propose a method for determining the illumination of outdoor lighting fixtures, which is based on the use of constructed approximate light intensity curves based on measurements of illumination at specific distances and using a regression model. The method can be used for a preliminary assessment of the value of illumination during an energy audit of an outdoor lighting system.

Key words: illumination, light intensity curve, regression model.

Постановка проблеми

Енергетичний аудит освітлювальних установок є важливим і все більш перспективним напрямом діяльності в народному господарстві. Серед характеристик, які часто необхідно отримати аудитору, є крива сили світла світильника і значення освітленості в конкретних точках. Особливо це актуально у випадку роботи з новими світильниками, зокрема світлодіодними, які широко розробляються підприємствами України.

Аналіз основних джерел

Постає задача розроблення методу визначення освітленості, який дозволить отримати результати з точністю, достатньою для попередньої оцінки якості роботи світильника. Відомою є формула для визначення освітленості на робочій поверхні від точкового світильника:

$$E = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos \alpha}{l^2}, \quad (1)$$

де I_{α} – сила світла при певному куті α , кд; l – відстань від світильника до розрахункової поверхні, м. Відповідно до цієї формули

$$I_{\alpha} = \frac{E \cdot l^2}{\cos \alpha}. \quad (2)$$

Формула (1) показує, що для розрахунку значення освітленості в конкретній точці необхідно мати інформацію про сили світла при різних кутах для світильника, що досліджується. В умовах проведення енергоаудиту може виникнути ситуація, коли на підприємстві використовується світильник, для якого виникає складність знайти інформацію про криву сили світла. Це може бути з найрізноманітніших причин, наприклад, світильник виготовлено маловідомим виробником, який не дав чіткої інформації про світлорозподіл. В такому випадку постає актуальна задача побудови наближених методів розрахунку освітленості на основі кривої сили світла, що знята самим аудитором на наявному в нього обладнанні. З огляду на формулу (1), запропоновано визначати освітленість точках на основі експериментально отриманих значень сили світла енергоаудитором. Експериментальна крива сили світла без спеціального обладнання може бути побудована з огляду на формулу (2) шляхом вимірювання освітленостей навколо світильника в точках з відстанню l , що описують коло. Таке вимірювання може бути виконане люксометром в площинах, що завжди перпендикулярні центральній вісі світильника і становлять з нею кут α . Постає питання вибору відстані l . В багатьох літературних джерелах, наприклад [1–7] відмічено, що для ефективного зняття кривої сили світла необхідно забезпечити відстань до точки вимірювання, в якій світильник можна вважати точковим. Для світильників вуличного освітлення ця відстань повинна перевищувати 2 м. З практичної точки зору під час проведення енергетичного аудиту зручно вимірювати освітленість або при горизонтальному розміщенні світильника, однак порівняно невеликих значеннях l (2–2,5 м) (рис. 1а), або при вертикальному розміщенні світильника, коли ця відстань збільшена до необхідного для практики значення (рис. 1б). В останньому випадку, оскільки світильник повинен бути розміщений паралельно до світлочутливого елемента люксометра, то їх обидва необхідно повертати на кут α [8].

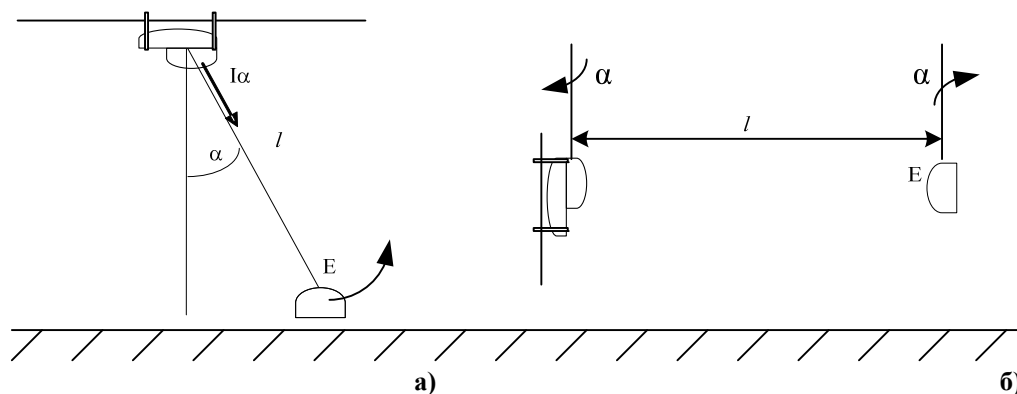


Рис. 1. Схеми проведення дослідів: а) з горизонтальним розміщенням світильника; б) з вертикальним розміщенням світильника

Було проведено дослідження світильника вуличного освітлення ЖКУ-11У-70-011 з натрієвою лампою, потужністю 70 Вт, а також світильника РКУ-13-125-002 зі світлодіодами, потужністю 45 Вт. На початку дослідів було отримано експериментальні залежності освітленості від відстані до точки її вимірювання. На рис. 2 для прикладу наведено залежність освітленості на вісі $\alpha = 0^\circ$. Крива 1 характеризує світлодіодний світильник, а крива 2 – світильник з натрієвою лампою. Характер кривих показав, що наближено лінійна залежність спостерігається на відстані, більшій за 8 м.

Тому подальші дослідження виконані для двох випадків: при відстані від джерела світла 3–8 м і при відстані 8–15 м. Максимальна відстань в досліді пояснюється тим, що, враховуючи висоти опор вуличного освітлення і відстані між останніми, достатньо досліджувати освітленість на відстані орієнтовно до 15 м.

Мета роботи: визначити і проаналізувати освітленість на основі кривої сили світла, що побудована за результатами дослідів, виконаних за схемами, що наведені на рис. 1, тобто при горизонтальному і вертикальному розміщенні світильників. Такі досліді нескладно реалізувати в реальних умовах діяльності енергоаудитора, оскільки потребують лише пристроїв для закріплення світильника з можливістю його повороту на заданий кут і люксометра, наприклад типу Ю 116.

Виклад основного матеріалу

Враховуючи, що залежність $E(l)$ має гіперболічний характер, запропоновано також визначати освітленість в потрібних точках з використанням нелінійної однофакторної регресійної моделі для

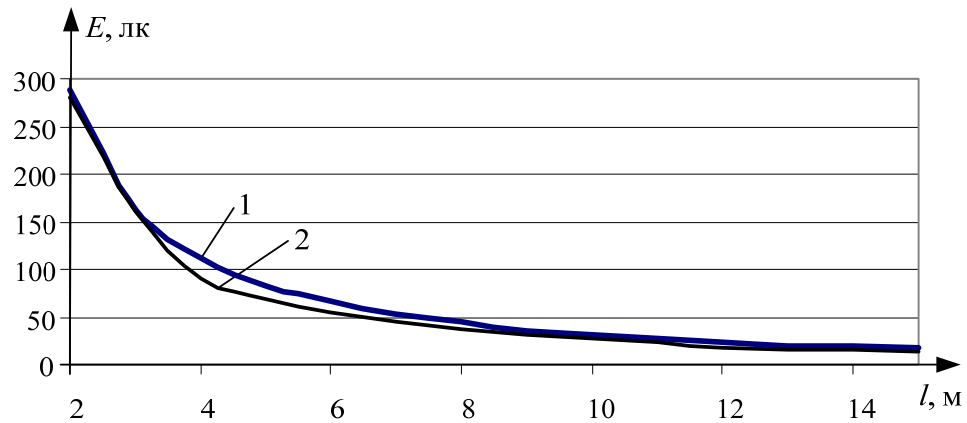


Рис. 2. Залежності освітленості для світильників: 1 – з натрієвою лампою, 2 – зі світлодіодами

гіперболічної функціональної залежності [9]:

$$E(l) = b_0 + \frac{b_1}{l}, \quad (3)$$

де коефіцієнти b_0 , b_1 визначаються з системи рівнянь $\begin{cases} ab_0 + cb_1 = d \\ cb_0 + fb_1 = g \end{cases}$, в якій a , c , d , f , g – коефіцієнти, що визначаються на основі зібраних під час вимірювань даних E_i на конкретних відстанях l_i , а саме: $a = \sum i$, $c = \sum \frac{1}{l_i}$, $d = \sum E_i$, $f = \sum \frac{1}{l_i^2}$, $g = \sum \frac{E_i}{l_i}$.

Враховуючи вищевикладені пропозиції було проведено вимірювання і виконано математичне моделювання. Результати наведено на рис. 3.

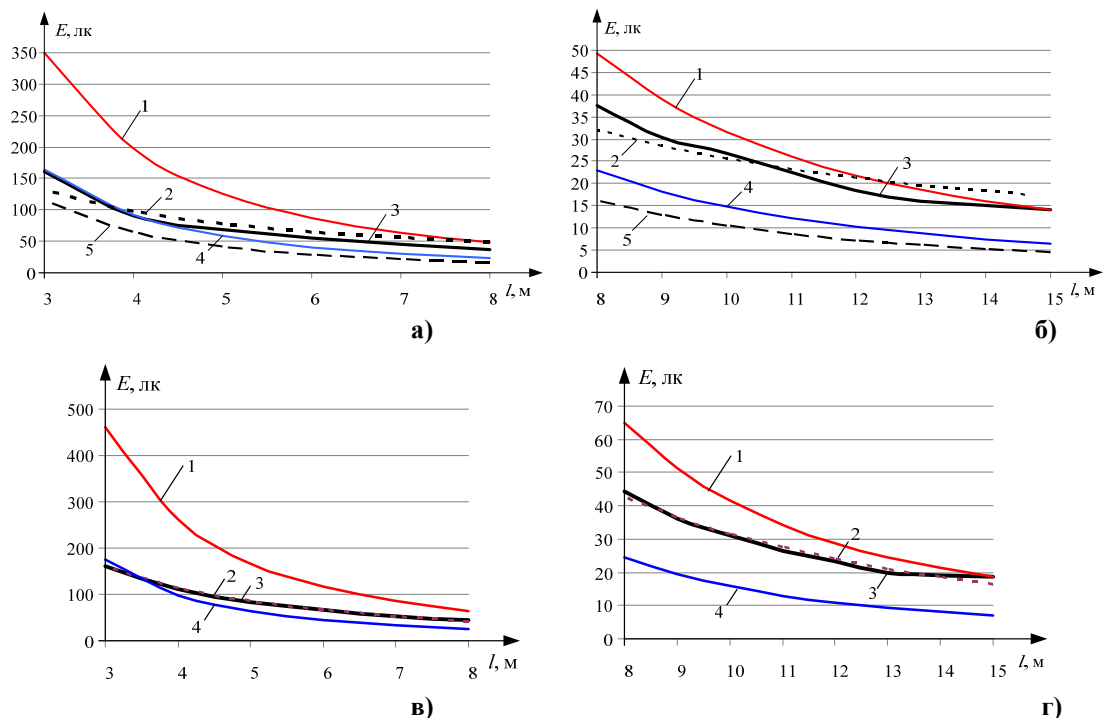


Рис. 3. Результати досліджень світильника з натрієвою лампою (а, б) та із світлодіодами (в, г)

На рис. 3 крива 1 – залежність освітленості, що розрахована на основі експериментальної кривої сили світла, яка побудована з використанням вимірювань освітленості на значній відстані від світильника (за схемою, що на рис. 1б на відстані 15 м); 2 – залежність освітленості, що побудована з використанням нелінійної однофакторної регресійної моделі для гіперболічної функціональної залежності; 3 – залежність освітленості, що отримана експериментально з використанням люксметра; 4 – залежність освітленості, що розрахована на основі експериментальної кривої сили світла, яка побудована з використанням вимірювань освітленості на невеликій відстані від світильника (за схемою, що на рис. 1а на відстані 2,5 м); 5 – залежність

освітленості, що отримана на основі кривої сили світла виробника світильників. Крива 5 наведена тільки для світильника ЖКУ-11У-70-011 із натрієвою лампою, а світильник із світлодіодами є експериментальним зразком, не є на стадії виробництва і наданий для його дослідження організацією-розробником.

Аналіз вищенаведених залежностей дозволяє відмітити наступне. У випадку використання запропонованого методу отримання освітленості на основі побудованої наближеної кривої сили світла за схемою рис. 1б (з використанням вимірювання освітленості на значній відстані), помічено, що при відстані від світильника, більший ніж 8 м, розбіжність між експериментальною і теоретичною кривими зменшується. При меншій відстані, ніж 8 м, навпаки – точнішим є визначення освітленості на основі даних з кривої сили світла, що побудована на основі вимірювань на невеликій відстані (2–2,5 м). Використання регресійної моделі є найбільш точним, однак потребує більшої кількості даних. Для його ефективного практичного застосування необхідно побудувати регресійні функції для багатьох напрямів світлового потоку в декількох меридіанних площинах.

Зацікавлення викликала крива 5, що побудована на основі табличних даних підприємства-виробника про значення сили світла. Ця крива є подібна до експериментально виміряної, однак розташована дещо нижче. Причиною розбіжності є наявність відбитої складової освітленості в приміщенні проведення дослідження, яка завищує покази люксметра під час експерименту. Наближене вимірювання зазначеної відбитої складової показало, що її значення лежить в межах 5–35 лк (в середньому 20 лк) в залежності від точки на вісі вимірювання. З рис. 3б видно, що розбіжність між кривими 3 та 5 є в межах 20 лк. З цього ж рисунку випливає, що більш достовірні результати в реальних умовах проведення аудиторського дослідження (за наявності стін приміщення, що спричиняють появу відбитої складової освітленості) виникають в результаті використання кривої сили світла, яка побудована на основі ближніх вимірювань освітленості (2,5 м). Вказана висота пояснюється ще й практичною можливістю аудитора проводити вимірювання вручну. Точніший результат спостерігається і на ділянці вимірювання до 8 м.

Побудова регресійної моделі може бути потрібною для проведення перехресної перевірки результатів, що отримані на основі побудованої наближеної кривої сили світла. Однак, для забезпечення достовірних результатів необхідно суттєво знизити відбиту складову освітленості. Останнє може бути досягнуто шляхом закриття стін приміщення, в якому відбувається дослідження матеріалом з якомога меншим коефіцієнтом відбиття (наприклад чорною матовою тканиною). З рис. 3в,г видно, що характер залежностей для світильника із світлодіодами дозволяє сформулювати подібні висновки. Важливість застосування запропонованого методу

На рис. 4 наведено криві сили світла досліджуваних світильників, що побудовані з використанням вище запропонованого методу.

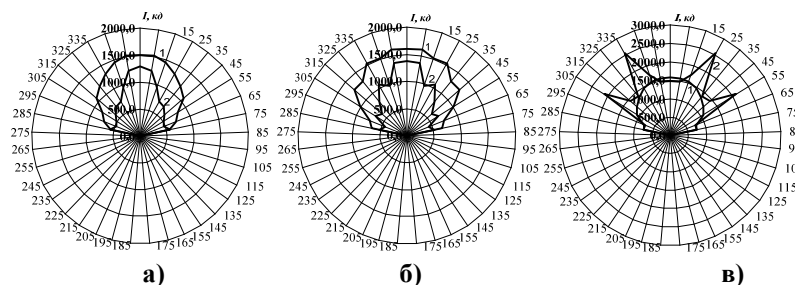


Рис. 4. Криві сили світла для світильників із світлодіодами (1) і з натрієвою лампою (2) в меридіанних площинах 0° (а), 45° (б), 90° (в)

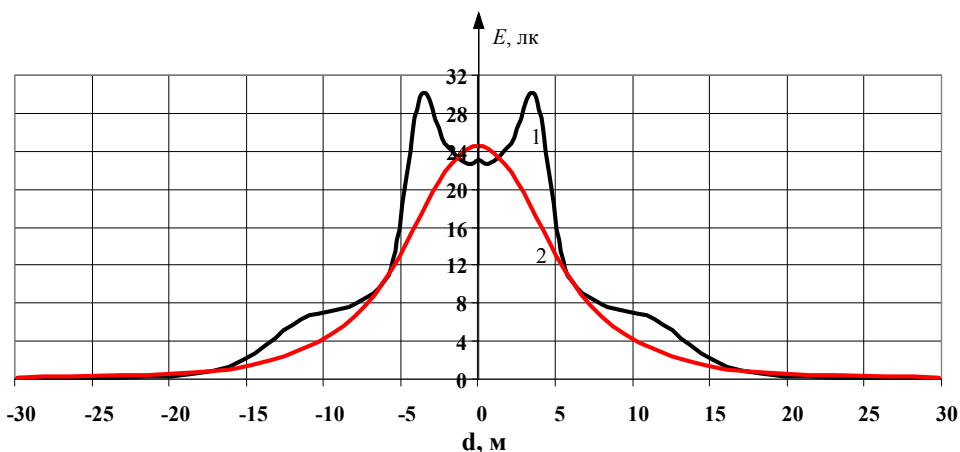


Рис. 5. Розрахунок освітленості на відстані d від освітлювальної опори, висотою 8 м: 1 – для світильника з натрієвою лампою, 2 – для світильника із світлодіодами

На рис. 5 наведено залежності освітленості, яка створюється на землі від світильника, що

розташований на опорі висотою 8 м. Освітленість розрахована на основі кривих сили світла в поперечній меридіанній площині світильника (вздовж вулиці) (рис. 4в)

Аналіз рис. 5 дозволяє зробити висновок, що за необхідності створення мінімальної освітленості 4 лк, світильник зі світлодіодами забезпечує її на відстані 10 м, а світильник з натрієвою лампою – 13 м. Рекомендацією енергоаудитора може бути доцільність застосування світлодіодного світильника, який, забезпечуючи необхідну освітленість, сприяє економії електроенергії, оскільки потужність світлодіодів – 45 Вт, що на 35% менше ніж натрієвої лампи. Іншою рекомендацією енергоаудитора в даному випадку може бути доцільність виробнику світлодіодного світильника розширити поперечну криву сили світла для збільшення площі освітлення, наприклад, з використанням спеціальних оптичних лінз.

Висновок

Запропоновано метод визначення освітленості в системі зовнішнього освітлення, в основу якого покладено побудову наближеної кривої сили світла на основі вимірювань освітленості на конкретних відстанях та використання регресійної моделі. Він є прийнятним за умови проведення енергетичного аудиту за відсутності високоточного лабораторного обладнання. Результати використання методу є достатніми для формування попередніх висновків про ефективність системи освітлення.

Література

1. Кнорринг Г. М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Кнорринг Г. М., Фадин И. М., Сидоров В. Н. – СПб : Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
2. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. – М. : Знак, 2006. – 972 с.
3. Кнорринг Г.М. Светотехнические расчёты в установках искусственного освещения / Г. М. Кнорринг. – Л. : Энергия, 1973. – 199 с.
4. Основы формирования углового распределения силы света [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.led-e.ru/articles/led-manufacture/2010_2_42.php (дата звернення 19.05.2015).
5. Бабенко О. В. Автоматичне керування освітленням [Електронний ресурс] / О. В. Бабенко, А. В. Гадай, О. М. Захарчук // Наукові праці ВНТУ. – 2013. – № 1.
6. Бабенко О. В. Підвищення швидкодії застосування точкового методу під час розрахунку системи освітлення з круглосиметричними світильниками / О. В. Бабенко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – № 2. – С. 50–54.
7. Бабенко О. В. Метод перехресної перевірки результатів оцінювання освітлювального навантаження під час проведення енергетичного аудиту виробничих приміщень [Електронний ресурс] / О. В. Бабенко, В. В. Захаров, Д. Л. Ферфецький // Наукові праці ВНТУ. – 2014. – № 2.
8. Бабенко О. В. Наближений метод побудови кривої сили світла світильників вуличного освітлення / О. В. Бабенко, В. В. Захаров, А. А. Видмиш // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 2. – С. 38–42.
9. Методичні вказівки та практичні завдання до виконання контрольних робіт з дисципліни "Економетрія" / Уклад. А.О. Азарова, Н.В. Сачанюк-Кавецька. – Вінниця : ВНТУ, 2004. – 60 с.

References

1. Knorring G. M. Spravochnaya kniga dlya proektirovaniya elektricheskogo osvescheniya / Knorring G. M., Fadin I. M., Sidorov V. N. – SPb : Energoatomizdat, 1992. – 448 s.
2. Spravochnaya kniga po svetotekhnike / pod red. YU. B. Ayzenberga. – M. : Znak, 2006. – 972 s.
3. Knorring G.M. Svetotekhnicheskie raschety v ustanovkah iskusstvennogo osvescheniya / G. M. Knorring. – L. : Energiya, 1973. – 199 s.
4. 4. Osnovy formirovaniya uglovogo raspredeleniya silyi sveta [Elektronniy resurs]. – Rejim dostupu : http://www.led-e.ru/articles/led-manufacture/2010_2_42.php (data zvernennya 19.05.2015). — Nazva z ekrana.
5. Babenko O. V. Avtomatichne keruvannya osvittlenniam [Elektronnyi resurs] / O. V. Babenko, A. V. Hadai, O.M. Zakharchuk // Naukovi pratsi VNTU. – 2013. – № 1.
6. Babenko O. V. Pidvyshchennia shvydkodii zastosuвання tochkovoho metodu pid chas rozrakhunku systemy osvittlennia z kruhlosymetrychnymy svitylnykamy / O. V. Babenko // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2014. – № 2. – S. 50–54.
7. Babenko O. V. Metod perekhresnoi perevirky rezultativ otsiniuvannya osvittliuvalnogo navantazhennia pid chas provedennia enerhetichnogo audytu vyrobnychkykh prymyshchen [Elektronnyi resurs] / O. V. Babenko, V. V. Zakharov, D. L. Ferfetskyi // Naukovi pratsi VNTU. – 2014. – № 2.
8. Babenko O. V. Nablyzheniy metod pobudovy kryvoi syly svitla svitylnykyv vulychnoho osvittlennia / O. V. Babenko, V. V. Zakharov, A. A. Vydmysh // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2015. – № 2. – S. 38–42.
9. Metodychni vkazivky ta praktychni zavdannia do vykonannia kontrolnykh robot z dystsypliny "Ekonometriia" / Uklad. A.O. Azarova, N.V. Sachaniuk-Kavetska. – Vinnytsia : VNTU, 2004. – 60 s.

Рецензія/Peer review : 24.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Матвійчук В.А.

І.В. ГУНКО, С. А. БУРЛАКА, А.П. ЄЛЕНИЧ

Вінницький національний аграрний університет

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОСТІ НАФТОВОГО ПАЛИВА ТА БІОПАЛИВА З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДОЛОГІЇ ПОВНОГО ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

Використання викопних видів палива призводить до забруднення навколишнього середовища та зміни клімату в цілому. Для забезпечення енергетичної безпеки та покращення екологічних умов необхідно використовувати альтернативні види енергії та визначити їх потенціал і вплив на клімат нашої планети. Необхідно більш детально проаналізувати всі аспекти використання біопалива, визначити його потенціал, шляхи застосування та економічну складову. Наведено переваги використання різного біопалива з рослинних олій у двигунах внутрішнього згорання та показано вплив процесу життєдіяльності та переробки на екологічну складову. Також були проаналізовані різні методику аналізу життєвого циклу виробництва палива нафтового походження та отриманих з енергетичних культур. В ході застосування розглянутих методик проведені порівняльні характеристики різних видів палива. Визначено, що паливо, отримане з біомаси, має переваги за екологічними показниками як на стадії виробництва, коли в процесі росту біомаси поглинається вуглекислий газ, так і на стадії експлуатації. В процесі оцінки за повним життєвим циклом (ПЖЦ) проведено аналіз витрачання енергії, аналіз природних ресурсів, аналіз негативного впливу на навколишнє середовище. Проаналізовані наступні вимоги до палива під час їх оцінки: виконання (Європейських) норм на викид шкідливих речовин (CO , $CxHy$, NOx) за випробувальним циклом, зменшення викиду CO_2 , мінімальне витрачання природних ресурсів та енергії та мінімальний вплив на навколишнє середовище в повному життєвому циклі. У статті розглядаються основні напрямки досліджень і результати, отримані при використанні біопалива з олійовмісних, цукровмісних та крохмалевмісних культур. Наводяться дані щодо впливу різних способів поліпшення економічності. Розглянуто способи інтенсифікації згорання під час застосування, виробництва та експлуатації енергетичної сировини в якості палива.

Ключові слова: двигун, нафтове дизельне паливо, олія, метиловий ефір рапсової олії, життєвий цикл, екологічні характеристики, токсичність, відпрацьовані гази.

I.V. GUNKO, S.A. BURLAKA, R.O. YAROSHUK

Vinnytsia National Agrarian University

EVALUATION OF ENVIRONMENTALITY OF OIL FUELS AND BIOFINING USING THE METHODOLOGY OF THE FULL LIFE CYCLE

The use of fossil fuels leads to environmental pollution and climate change as a whole. To ensure energy security and improve environmental conditions, alternative energy sources need to be used to determine their potential and impact on the climate of our planet. It is necessary to analyze in more detail all aspects of biofuel use, to determine its potential, ways of application and economic component. The advantages of using different biofuels from vegetable oils in internal combustion engines are shown, and the influence of the process of life and processing on the ecological component is shown. Various methods for analyzing the life cycle of production of fuels of petroleum origin and derived from energy crops were also analyzed. In applying these methods, comparative characteristics of different types of fuel are carried out. It has been determined that fuels derived from biomass have advantages in terms of environmental performance, both at the production stage, when carbon dioxide is absorbed during the growth of biomass and at the stage of exploitation. In the process of evaluation for a full life cycle (FPC), an analysis of energy consumption, analysis of natural resources, analysis of the negative impact on the environment is conducted. The following fuel requirements have been analyzed in their assessment: implementation of (European) norms on emissions of pollutants (CO , $CrNu$, NOx) during the test cycle, reduction of CO_2 emissions, minimum consumption of natural resources and energy, and minimal impact on the environment in the full life cycle. The article deals with the main directions of research and the results obtained with the use of biofuels from oil, sugar, and starch crops. Data are given on the impact of different ways to improve cost efficiency. The methods of intensification of combustion in the application, production and operation of energy raw materials as fuel are considered.

Key words: engine, petroleum diesel fuel, oil, rapeseed oil methyl ester, life cycle, environmental characteristics, toxicity, exhaust gases.

Вступ

У сучасному світі, з урахуванням зростання парку автомобілів, обмеженості сировинних ресурсів для отримання нафтового палива та методів зниження шкідливих викидів відпрацьованих газів, стосовно традиційного палива, нам необхідно шукати нові шляхи вирішення цієї проблеми. У найближчій перспективі очікується збільшення потреби споживання нафтопродуктів при постійних обсягах їх виробництва, тому очікуваний підйом національної економіки буде супроводжуватися дефіцитом нафти та нафтопродуктів, що створює передумови до більш широкого використання інших енергетичних ресурсів.

Таких заходів, як модернізація систем живлення та запалювання двигунів, вдосконалення систем нейтралізації ВГ, підвищення якості нафтового палива зараз вже не достатньо. У комплексі з цими заходами необхідний вибір і використання альтернативного палива з біологічно відновлюваної сировини, які б знижували викиди шкідливих речовин не тільки на стадії експлуатації, але і на стадії отримання палива, щоб так само зменшити залежність від палива нафтового походження.

Мета і задачі роботи

Негативний вплив на навколишнє середовище не обмежений тільки викидами шкідливих речовин в експлуатації, необхідно досліджувати паливо в повному життєвому циклі (ПЖЦ). Методологію ПЖЦ можна

віднести до будь-якого виробу та до палива в тому числі. На сьогоднішній день є наукові роботи, в яких досліджується ПЖЦ силової установки, або ПЖЦ автомобіля в цілому, проте екологічність і енергетичний баланс палива оцінити дуже складно через відсутність існуючих методик.

Аналіз останніх досліджень

З огляду на важливість комплексного підходу до питань екологічності продукції міжнародною організацією зі стандартизації були розроблені стандарти оцінки продукції за повним життєвим циклом, такі як ISO 14040, ISO 14041, ISO 14042, ISO 14043. Україна в той же час прийняла частину стандартів ДСТУ ISO серії 14000 в якості державних стандартів, в тому числі стандарти з оцінки життєвого циклу [4]. Повний життєвий цикл палива – сукупність взаємопов'язаних складових виробничої системи, починаючи з процесу отримання сировини до кінцевої стадії – використання палива в ДВЗ.

Виклад основного матеріалу

В процесі оцінки з ПЖЦ проводиться аналіз витрачання енергії, аналіз природних ресурсів, аналіз негативного впливу на навколишнє середовище. Існують наступні вимоги до палива при їх оцінці: виконання (Європейських) норм на викид шкідливих речовин (CO, CxHy, NOx) за випробувальними циклами, зменшення викиду CO₂, мінімальне витрачання природних ресурсів та енергії, а так же мінімальний вплив на навколишнє середовище в повному життєвому циклі [4, 7].

Оцінка за ПЖЦ є послідовністю взаємопов'язаних етапів, на кожному з яких вирішується певне завдання. Оцінка продукції за ПЖЦ включає наступні 4 етапи:

1. Визначення мети і сфери – початковий етап оцінки життєвого циклу, визначає мету, межі, прийняті обмеження, основні процедури оцінки.

2. Інвентаризація включає збір даних і проведення розрахунків для кількісної оцінки вхідних і вихідних потоків продукційної системи, а також потоків, що характеризують одиничні процеси в життєвому циклі виробу. Ці вхідні та вихідні потоки можуть включати використання ресурсів, енергії, викиди в атмосферу, водне середовище і ґрунт.

3. Оцінка впливу – процес кількісної та (або) якісної оцінки результатів впливу на навколишнє середовище, визначених на етапі інвентаризації. Оцінка впливу включає наступні елементи: класифікацію, характеризацію, нормалізацію і оцінку значущості.

4. Інтерпретація є процедурою ідентифікації, визначення, перевірки і оцінки інформації, отриманої на етапах інвентаризації та оцінки впливу, і представлення її в такому вигляді, щоб задовольнити вимоги, сформульовані на першому етапі оцінки.

Для проведення інвентаризації витрачання сировини, витрат енергії та впливу на навколишнє середовище необхідно більш докладний опис кожної стадії життєвого циклу палива. Для цього кожна стадія поділяється на одиничні процеси і окремо моделюється кожен такий процес, після чого результати моделювання обробляються з метою визначення матеріального та енергетичного балансу даної стадії, а потім і повного життєвого циклу.

Нафтове паливо отримують в процесі переробки нафти. На середньому нафтопереробному заводі спалюється 6–8% палива від загальної кількості, що переробляється. Рівень енерговитрат залежить від складу, глибини переробки, числа і якості технологічних установок, ступеня комбінування процесів, географічного положення виробництва. Також в аналізі необхідно враховувати токсичність хімічних компонентів та близькість розташування даних місць до житлового сектору або до джерел питної води, тому що їх потенційний вплив на здоров'я людини може бути дуже високою. За рахунок високого рівня впливу виділяються нафтові вуглеводні, місця видобуток, а також майданчики підземних сховищ та нафтопереробні підприємства, що є джерелами найважливіших екологічних проблем. Хімічні речовини, які виділяються на даних виробничих об'єктах – це бензол, толуол, етилбензол, ксиліл, всі нафтові вуглеводні. Бензол надає канцерогенний вплив на організм людини, а всі інші несуть загрозу його здоров'ю [1, 3, 8].

Значення питомих викидів шкідливих речовин при виробництві бензину, дизельного палива, зрідженого нафтового газу (ЗНГ) і стисненого природного (СПГ) газу наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Питомі викиди шкідливих речовин при виробництві моторного палива, г/кг продукції [3]

Показник	Види палива				
	Дизпаливо	Бензин	ЗНГ	СПГ, г/м ³	
Аерозолі	2,5	3,6	0,005	0,01	
CO ₂	489,6	695,5	4,0	6,8	
CO	10,9	15,4	0,04	0,06	
NOx	1,3	1,9	0,05	0,1	
SO ₂	15,4	21,8	0,3	0,5	
CxHy	6,3	8,9	1,2	0,003	
Енерговитрати, кВт год/кг	3,5	5,0	0,14	0,23	

Аналіз життєвого циклу рідкого біопалива включає в себе стадії, показані на рис. 1.

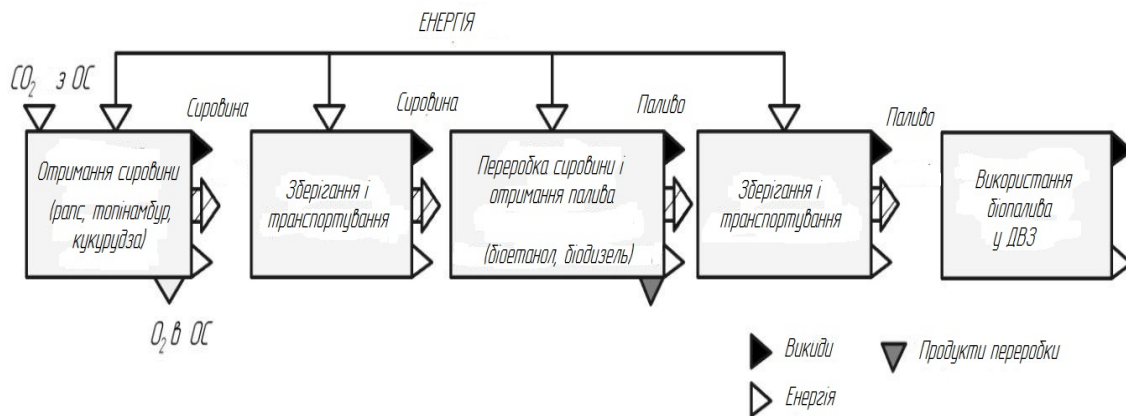


Рис. 1. Стадії життєвого циклу біопалива

Проводиться аналіз процесу отримання біосировини, стадій отримання біопалива і його використання, на кожному етапі аналізуються вхідні і вихідні потоки.

Біопалива, мають цілу низку переваг перед нафтовими паливами, вони знижують викиди шкідливих речовин в атмосферу, парникових газів з урахуванням поглинання CO_2 з атмосфери в період зростання біомаси.

За допомогою методології ПЖЦ можна отримати найбільш точну оцінку ефективності застосування біопалива з урахуванням витрат енергії, викидів шкідливих речовин і економіки використання конкретного виду альтернативного палива, а так само провести оцінку балансу парникових газів для конкретного виду палива.

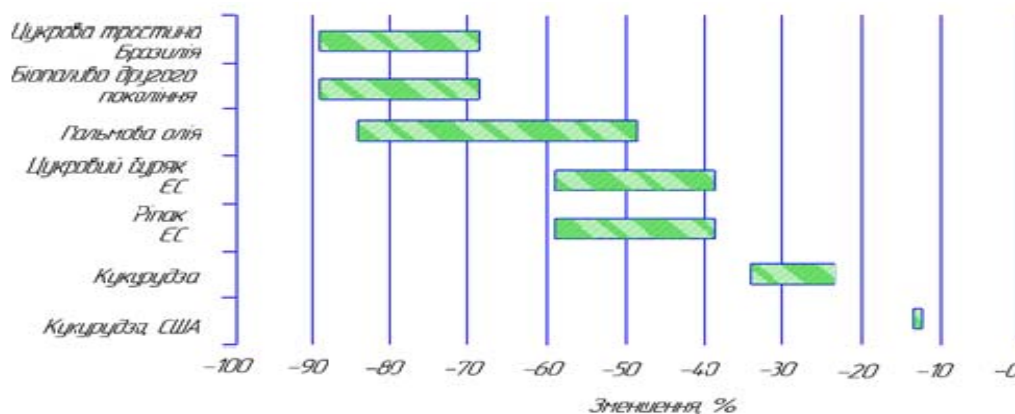


Рис. 2. Скорочення шкідливих викидів парникових газів під час використання окремих видів біопалива в порівнянні з викопним паливом [6]

Оцінка балансу парникових газів починається з визначення граничних умов конкретної біопаливної системи, яка порівнюється з відповідною «традиційною» еталонною системою. Баланси парникових газів значно відрізняються для різних культур і розташування й залежать від методів виробництва сировини, технологій переробки та використання. Введені ресурси, такі як азотні добрива, та спосіб отримання електроенергії (наприклад, з вугілля або нафти, у вигляді ядерної енергії), які використовуються в процесі переробки сировини в біопаливо, можуть призводити до варіювання рівня викидів парникових газів.

У більшості досліджень показано, що виробництво біопалива з існуючого рослинної сировини призведе до скорочення викидів в інтервалі від 20 до 60 відсотків у порівнянні з викопним паливом за умови використання найбільш ефективних систем виробництва. При посівних площах ріпаку в 1 тис. га поглинання CO_2 складе 20 тис. т. на рік, виділення кисню до 11 млн л з 1 га, а посів топінамбура площею 1 тис. га поглинає 8 тис. т вуглекислого газу в рік.

Висновки

Аналізуючи дані, представлені в статті, ми дійшли до висновку, що палива, отримані з біомаси, мають переваги за екологічними показниками як на стадії виробництва, коли в процесі росту біомаси поглинається вуглекислий газ, так і на стадії експлуатації.

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. 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. "ХПТ : збірка наукових праць. – Харків : НТУ "ХПТ". – 2002. – № 3. – С. 177–197.
9. Гутаревич Ю.Ф. Екологія автомобільного транспорту : навчальний посібник / Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов, А.Г. Говорун, А.О. Корпач, Л.П. Мерзиевська. – К. : Основа, 2002. – 312 с.
10. Система автоматизованих полігонних випробувань тракторів / В.Л. Басінюк, М.М. Журавльов, Я.В. Басінюк, І.М. Ус // Механіка машин на порозі III тисячоліття : матеріали міжнар. наук.-техн. конф. – Мінськ, 2001. – С. 448–452.

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 s.
2. Nikolaenko A.V. Theory, design and calculation of autotractor engines / A.V. 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 pp.: il.
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 V.I. 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.: Ariste, 2004. 476 p.
7. Devyanin S.N., Markov V.A., Semenov V.G. 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.
8. Semenov V.G. 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.
9. Gutarevich Yu.F. Ecology of motor transport: a manual / Yu.F. Gutarevich, D.V. Zerkalov, A.G. Govorun, A.O. Korpach, LP Merzhievskaya - K.: Osnova, 2002. - 312 p.
10. The system of automated field testing of tractors / V.L. Basinuk, M.M. Zhuravlev, Ya.V. Basinuk, I.M. Us // Mechanics of cars on the threshold of the third millennium: Materials intern. Sci.-Tech. conf. Minsk, 2001. P. 448–452.

Рецензія/Peer review : 26.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.12.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Анісімов В.Ф.

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 № 3 від 27.11.2018 р.

Підп. до друку 30.11.2018 р. Ум.друк.арк. 31,38 Обл.-вид.арк. 29,85
Формат 30x42/4, 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