

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

# **ВІСНИК**

**КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ**

**№ 1 (154), 2021**  
**Частина 2 (серія «Технічні науки»)**

**DOI:10.30857/1813-6796.2021.1**

Наукове фахове видання

Періодичність виходу: 6 разів на рік

Дата заснування: грудень 1999 р.

*Київ 2021*

**Засновником журналу «ВІСНИК Київського національного університету технологій та дизайну» є**

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ**

Науковий фаховий журнал є правонаступником видання «Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности», який видавався з березня 1958 року у Київському технологічному інституті легкої промисловості (СРСР)

**№ 1 (154), 2021**

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: серія КВ №19330–9130 ПР від 08.08.2012 р.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК № 993 від 24.07.2002 р.

**Журнал входить до переліку наукових фахових видань України.** Наказ МОН України від 18.12.2018 № 1412 (додаток 10, рішення щодо подовження) – фаховість із технічних наук ( категорія Б).

**ISSN 1813-6796 print**  
**ISSN 2617-9105 online**

Журнал зареєстровано в Міжнародному центрі періодичних видань (ISSN International Centre, Париж, Франція)

Журнал реферується та індексується у наступних міжнародних базах даних: Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost, WorldCat, РИИЦ, Index Copernicus, Research Bible, SJIF, PBN, JIF, OAJI, InfoBase Index, ISI, UIF, CiteFactor, Google Scholar, Crossref

**Засновник і видавець:**

Київський національний університет технологій та дизайну  
Україна, 01011, м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2

**Головний редактор:**

**Панасюк І.В.,** д.т.н., професор

**Заступник**

**головного редактора:**

**Злотенко Б. М.,** д.т.н., професор

**Відповідальний секретар:**

**Василенко В. М.,** к.т.н.

Тематична спрямованість журналу «Вісник КНУТД»: Мехатронні системи. Ресурсозбереження та енергоефективність. Матеріалознавство індустрії моди, технологій виробництва текстилю, одягу та взуття. Хімічні та біофармацевтичні технології

Видання орієнтоване на науковців, викладачів, аспірантів, студентів, а також науково-практичних працівників і фахівців відповідних галузей промисловості.

**АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:**

01011, м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2, корп. 1, к. 1-112

тел./факс: +38 (044) 256-29-86

e-mail: [vistnuk@knutd.edu.ua](mailto:vistnuk@knutd.edu.ua)

<http://vistnyk.knutd.edu.ua/>

**Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну, протокол № 7 від 24.02.2021 р.**

Матеріали друкуються мовою оригіналу. Відповідальність за переклад, достовірність фактів, цитат, власних імен, географічних назв, назв підприємств, організацій, установ та іншої інформації несуть автори статей. Передруки та переклади статей дозволяються лише за згодою автора (-ів) та редакції.

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE**

# **BULLETIN**

**of the KYIV NATIONAL UNIVERSITY  
of TECHNOLOGIES and DESIGN**

**Issue 1 (154), 2021 Part 2.  
Technical Science Series**

**DOI:10.30857/1813-6796.2021.1**

Scientific Specialized Edition

Issued: 6 times a year

Founded: December, 1999

*Kyiv 2021*

**The owner of «BULLETIN of the Kyiv National University of Technologies and Design» is**

**KYIV NATIONAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGIES AND DESIGN**

This Scientific Specialized Journal is the successor of the edition «Proceedings of Higher educational establishments. Technology of the light industry», which was published by Kiev Technological Institute of Light Industry from March, 1958 (USSR)

*№ 1 (154), 2020*      The state registration of print media is KB № 19330-9130 ПП, originating date 08.08.2012

License for publishing activity is ДК № 993, originating date 24.07.2002

The journal is listed & reregistered in Higher Attestation Commission of Ukraine: № 1412, originating date 18.12.2018. Fields: Technical Science.

---

*ISSN 1813-6796 print*      The journal is registered in ISSN International Centre, Paris.  
*ISSN 2617-9105 online*

The journal is abstracted and indexed by Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost, WorldCat, ПИИЛ, Index Copernicus, Research Bible, SJIF, PBN, JIF, OAJI, InfoBase Index, ISI, UIF, CiteFactor, Google Scholar, Crossref

---

**Owner and Publisher:**      Kyiv National University of Technologies and Design  
Ukraine, 01011, Kyiv, 2, Nemyrovych-Danchenka, Str.

---

**Editor-in- Chief:**      **Igor V. Panasiuk** - Dr., professor

**Deputy Editor:**      **Borys M. Zlotenko** - Dr., professor

**Executive secretary:**      **Viktoria M. Vasylenko** - PhD

---

Scientific fields: Mechatronic systems. Energy Efficiency and Resource-saving Technologies. Material science in the textile, clothing and footwear manufacturing industries. Chemical and biopharmaceutical technologies

The journal is aimed at a wide range of researchers, professors, students, and graduate students and to bring the results of scientific research carried out under a variety of intellectual traditions and organizations of procedures to the attention of a specialized readership.

**EDITORIAL OFFICE:**

01011, Ukraine, Kyiv, 2, Nemyrovych-Danchenka, Str., office 1-112

Tel./fax: +38 (044) 256-29-86

e-mail: [vistnuk@knutd.edu.ua](mailto:vistnuk@knutd.edu.ua)

<http://vistnyk.knutd.edu.ua/>

---

**Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 7, originating date 24.02.2021.**

---

Articles are published in the original language. The authors are responsible for the translation, authenticity of facts, quotations, proper names, geographic names, names of enterprises and other information.

The Editorial Office's and author's consent is needed prior to republishing or translating the articles.

## ЗМІСТ

### МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ. РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

1. **Залюбовський М. Г., Панасюк І. В., Малишев В. В., Скідан В. В.**  
Кінетостатичне дослідження шарнірних просторових механізмів галтувальних машин (частина 1: дослідження механізму з додатковою рухомою ланкою – коромислом) 9
2. **Терентьев В. А.**  
Розробка алгоритму загальної стратегії автоматизації вибору курсу ухилення судна 19
3. **Цибуля М. В., Олейнікова І. В.**  
Освітлення вхідної групи з елементом режиму очікування для закладів цілодобової роботи 34

### МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ІНДУСТРІЇ МОДИ, ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ, ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ

4. **Єліна Т. В., Галавська Л. Є., Щербань В. Ю., Колиско О. З., Боброва С. Ю.**  
Каркасна модель одноосного розтягування кулірного трикотажу вздовж петельних стовпчиків 43

### ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

5. **Кислова О. В.**  
Порівняльна характеристика ефективності електрохімічних методів дослідження вмісту важких металів у стічних водах 54

УДК 621.924.7

<sup>1</sup>ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М. Г., <sup>2</sup>ПАНАСЮК І. В.,

<sup>1</sup>МАЛИШЕВ В. В., <sup>2</sup>СКІДАН В. В.

<sup>1</sup> Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», м. Київ, Україна

<sup>2</sup> Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

## КІНЕТОСТАТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ШАРНІРНИХ ПРОСТОРОВИХ МЕХАНІЗМІВ ГАЛТУВАЛЬНИХ МАШИН (ЧАСТИНА 1: ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ З ДОДАТКОВОЮ РУХОМОЮ ЛАНКОЮ – КОРОМИСЛОМ)

**Мета.** Кінестатичне дослідження статично визначеного шарнірного просторового механізму без надлишкового (пасивного) зв'язку з додатковою рухомою ланкою – коромислом машини для обробки деталей, у якій робоча ємкість виконує складний просторовий рух.

**Методика.** Суть кінестатичного дослідження полягала у визначенні радіальних та осьових складових реакцій в усіх обертальних кінематичних парах шарнірного статично визначеного просторового механізму машини для обробки деталей, при її роботі на холостому ході. Кінестатичне дослідження реалізувалося із застосуванням системи автоматизованого проектування SolidWorks-2016 із попереднім виконанням 3D моделювання даної конструкції машини з додатковою рухомою ланкою – коромислом.

**Результати.** У ході проведення кінестатичного дослідження виконано 3D моделювання машини з додатковою рухомою ланкою – коромислом в системі автоматизованого проектування SolidWorks-2016, визначено максимальні значення радіальних та осьових складових реакцій в усіх обертальних кінематичних парах машини для обробки деталей, досліджено вплив зміни міжосьової відстані проміжного шатуна (робочої ємкості) на приріст максимальних значень реакцій в усіх обертальних кінематичних парах.

**Наукова новизна.** Встановлено взаємозв'язок між міжосьовою довжиною проміжного шатуна (робочої ємкості) та зміною максимальних значень реакцій в усіх обертальних кінематичних парах машини для обробки деталей. В результаті цього виникає можливість визначити гранично допустиму міжосьову довжину проміжного шатуна для забезпечення довговічної роботи машини.

**Практична значимість.** Встановлено, що характер зміни максимальних значень радіальних та осьових складових реакцій у кожній обертальній кінематичній парі просторового механізму залежить від значення коефіцієнту, який характеризує відношення міжосьової довжини проміжного шатуна (робочої ємкості) до міжосьової довжини ведучого чи веденого шатунів машини. Визначено діапазон зміни даного коефіцієнту, в межах якого раціонально виконувати проектування даної конструкції машини. Отримані результати можуть бути використані у відповідних конструкторських бюро машинобудівних підприємств на стадії проектування галтувального обладнання зі складним просторовим рухом робочих ємкостей.

**Ключові слова:** кінематичні пари; максимальні значення реакцій; шатун; складний просторовий рух.

**Вступ.** Підвищення продуктивності виготовлення пластмасових та металевих деталей значною мірою залежить від скорочення часу підготовчих та фінішних оздоблювально-зачищувальних операцій [1, 2]. До таких операцій відносяться полірування та шліфування деталей [3, 4] у рухомих ємкостях абразивом у вигляді вільних гранул, відділення відлитих деталей від ливників [5] тощо. На ці операції витрачається до 80% технологічного часу. Проведення фінішної оздоблювально-зачищувальної обробки часто виконується ручним способом або засобами малої механізації [6], що є малоефективним способом. Відоме застосування галтувальних машин з обертальним рухом робочої ємкості [7], а також вібраційних машин, однак, дані типи обладнання, зазвичай, мають низьку продуктивність та

значні енергозатрати. Підвищення продуктивності фінішних оздоблювально-зачищувальних технологічних операцій обробки пластмасових та металевих деталей можна досягти інтенсифікацією руху технологічного середовища (деталі та наповнювач) у робочих ємкостях за рахунок забезпечення їх складного просторового переміщення. Перспективним типом обладнання вважаються машини [8], робочі ємкості яких виконують складний просторовий рух. Доведено [9], що саме такий рух робочих ємкостей сприяє підвищенню інтенсивності руху робочого масиву. В результаті чого досягається значне підвищення продуктивності виконання фінішних оздоблювально-зачищувальних технологічних операцій з одночасним зменшенням енерговитрат. Таким чином, достеменно різнобічне дослідження галтувального обладнання зі складним просторовим рухом робочих ємкостей є актуальною задачею на сьогоднішній день.

**Постановка завдання.** У 60-х роках 20 століття швейцарською фірмою Willy A. Bachofen (WAB) [10] було розроблено змішувач [11, 12] для сипких дрібнодисперсних речовин, просторовий шарнірний механізм якого став «базовим». Автори статті довели успішність використання такої галтувальної машини, де ємкість переміщається за складною просторовою траєкторією, для реалізації інших оздоблювально-зачисних технологічних операцій.

В основі «базової» конструкції галтувальної машини використовується просторовий шарнірний шестиланковий механізм, що має суттєвий недолік – наявність пасивного (надлишкового) зв'язку [13], який створює негативний вплив під час експлуатації даної машини та, навіть, може призвести до раптового повного виходу конструкції з ладу. Таким чином, було спроектовано дещо відмінне [14, 15], але фактично аналогічне за принципом роботи, галтувальне устаткування без пасивного зв'язку. Одним із варіантів такого устаткування є конструкція [16], де ведений вал рухомо з'єднанується з додатковою ланкою – коромислом з горизонтальною віссю обертання. Дана конструкція утворює собою семиланковий шарнірний просторовий механізм. Після додання у кінематичний ланцюг просторового механізму цієї ланки виникає можливість змінювати міжосьову відстань проміжного шатуна (робочої ємкості), цим самим впливати на зміну режимів руху сипкого середовища. Таким чином, за допомогою САПР SolidWorks важливо виконати кінетостатичне дослідження даної конструкції машини, зокрема, дослідити, як зміна міжосьової відстані проміжного шатуна (робочої ємкості), впливає на максимальні значення реакцій в кінематичних парах машини, визначити гранично допустиму величину міжосьової відстані проміжного шатуна, збільшення якої призведе до перевищення максимальних значень реакцій у кінематичних парах «базової» конструкції машини.

**Результати дослідження.** Розроблена конструкція машини, у якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом, що має горизонтальну вісь обертання. Модель машини, яка виконана у САПР SolidWorks, представлена на рис. 1.

Машина складається зі станини 1, ведучого 2 та веденого 3 валів. Ведучий вал 2 встановлений у підшипниковій опорі станини 1, ведений вал 3 кінематично з'єднаний з коромислом 4, яке рухомо встановлено в станині 1 та виконує коливальний рух у вертикальній площині відносно горизонтальної вісі. Ведучий 2 та ведений 3 вали шарнірно з'єднані другими кінцями з ведучим шатуном 5 та веденим шатуном 6 відповідно, діаметрально взаємоперпендикулярні вісі яких 7 і 8 є вісями кріплення проміжного шатуна 9. Проміжним шатуном 9 являється робоча ємкість машини. При моделюванні описаної конструкції машини у САПР SolidWorks основні геометричні та конструктивні параметри приймали аналогічними до параметрів промислового змішувача «Turbula T10B» («базова» конструкція машини). Геометричні та конструктивні параметри змодельованої конструкції машини представлені у табл. 1.

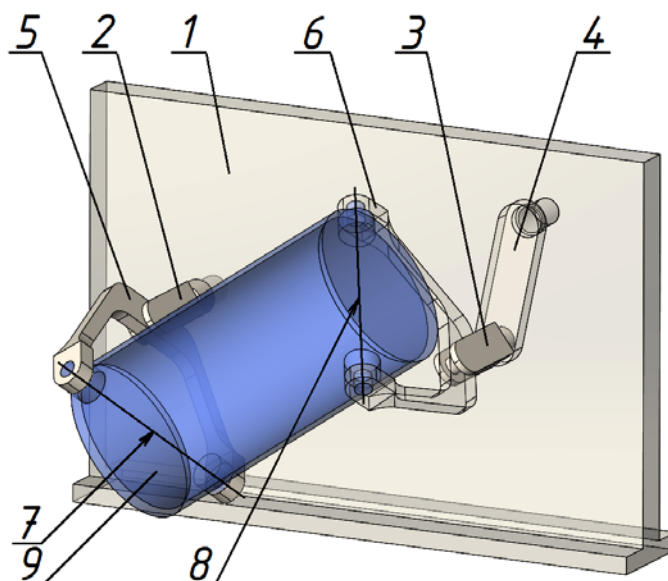


Рис. 1. Модель розробленої конструкції машини

Таблиця 1

**Геометричні та конструктивні параметри змодельованої конструкції машини**

Конструктивні параметри машини	Коефіцієнт $\lambda$				
	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00
Зовнішній діаметр ємкості $d_{PE}$	0,318 м				
Довжина вісі ємкості $l_{\Pi}$	0,430 м	0,480 м	0,535 м	0,590 м	0,640 м
Відстань між осями ведучого та веденого шатунів $l_{\Pi(V)}$	0,272 м				
Міжосьова відстань проміжного шатуну $l_{\Pi(ПРОМ)}$	0,330 м	0,380 м	0,435 м	0,490 м	0,540 м
Об'єм робочої ємкості $V_{PE}$	0,032 м <sup>3</sup>	0,036 м <sup>3</sup>	0,041 м <sup>3</sup>	0,045 м <sup>3</sup>	0,050 м <sup>3</sup>
Маса ланок машини, які є рухомими $m_D$	50,1 кг	52,2 кг	53,5 кг	55,0 кг	56,2 кг
Кутова швидкість ведучого валу машини $\omega_{ведч.}$	3,2 с <sup>-1</sup> (31 об/хв)				

За рахунок введення в кінематичний ланцюг додаткової рухомої ланки коромисла, виключено надлишковий зв'язок, що дає можливість варіювати міжосьовою відстанню проміжного шатуну  $l_{\Pi(ПРОМ)}$ . Досліджували, як зміна даного геометричного параметру впливає на максимальні значення реакцій у кінематичних парах машини, а також при якій міжосьовій відстані проміжного шатуну  $l_{\Pi(ПРОМ)}$  реакції у кінематичних парах машини будуть перевищувати попередньо визначені у роботі [17] максимальні значення реакцій у кінематичних парах «базової» конструкції машини. Кінетостатичне дослідження виконувалося із застосуванням САПР SolidWorks-2016. Міжосьову відстань проміжного шатуну  $l_{\Pi(ПРОМ)}$  поступово збільшували та спостерігали за зміною реакцій у кінематичних парах машини. Для кожного типу реакцій визначалися її максимальні та мінімальні значення. Відстань між осями проміжного шатуну  $l_{\Pi(ПРОМ)}$  була виражена коефіцієнтом  $\lambda$ , який раніше був запропонований у роботі [8] та характеризує відношення міжосьової відстані проміжного шатуну до міжосьової відстані ведучого чи веденого шатуну машини:  $l_{\Pi(ПРОМ)} / l_{\Pi(V)}$ . Дослідження виконувалися для конструкції машин з такими значеннями коефіцієнту  $\lambda$ : 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0.

Визначали «граничну» міжосьову відстань проміжного шатуну, подальше видовження якої призведе до такого збільшення реакцій у кінематичних парах машини, коли вони перевищать реакції у кінематичних парах машини, яку прийнято за «базову». Графічне

представлення реакцій цього розробленого просторового механізму, де вал, що є веденим рухомо з'єднаний з введеною новою ланкою – повзуном представлено на рис. 2.

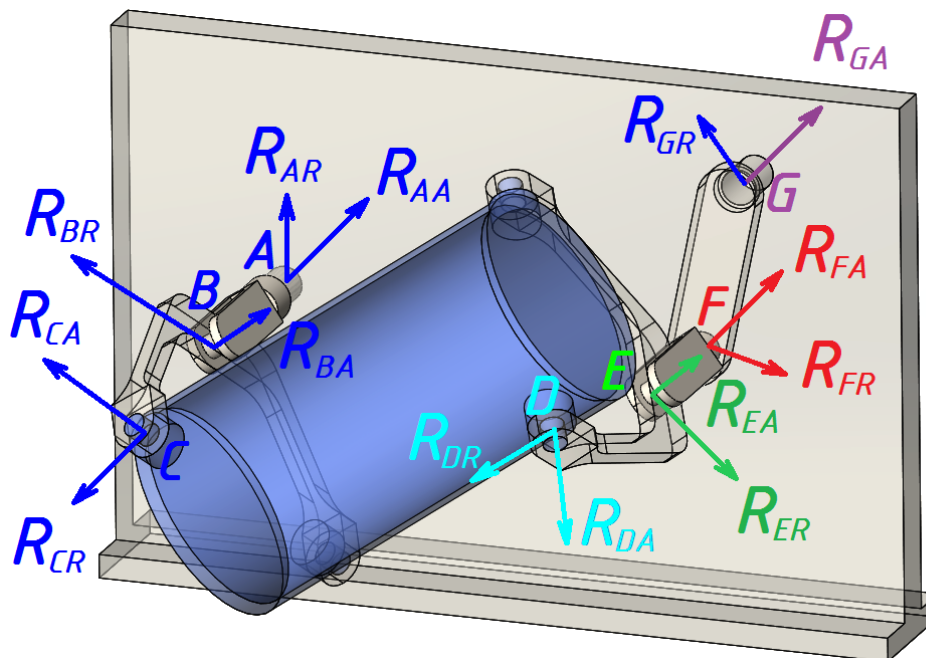


Рис. 2. Розрахункова схема реакцій у кінематичних парах просторового механізму розробленої машини

Усі дослідження виконувалися на холостому ході при кутовій швидкості ведучого валу  $3,2 \text{ c}^{-1}$ . Саме при такій кутовій швидкості ведучого валу машини буде реалізуватися водоспадний режим руху сипкого робочого середовища у середині ємкості, будуть виникати найбільші інерційні навантаження на рухомі ланки та кінематичні пари машини. Результати силового дослідження «базової» конструкції машини, які представлені у роботі [17] показали, що усі значення реакцій у кінематичних парах машини, при її роботі на робочому ході, були на однаковий відсоток збільшені по відношенню до величини реакцій у кінематичних парах цієї ж машини, але коли вона працювала на холостому ході. Таким чином, подальші порівняльні дослідження розробленої конструкції машин проводили лише на холостому ході.

Визначали максимальні значення реакцій  $R$  в таких кінематичних парах:  $A, B, C, D, E, F, G$ . Їх значення розподіляли на дві групи: група радіальних реакцій та група осьових реакцій:  $R_{AA}$  – осьова реакція у кінематичній парі «станина – вал, що є ведучим»;  $R_{AR}$  – радіальна реакція у кінематичній парі «станина – вал, що є ведучим»;  $R_{BA}$  – осьова складова реакції в кінематичній парі «ведучий вал – ведучий шатун»;  $R_{BR}$  – радіальна складова реакції в кінематичній парі «ведучий вал – ведучий шатун»;  $R_{CA}$  – осьова складова реакції в кінематичній парі «ведучий шатун – проміжний шатун»;  $R_{CR}$  – радіальна складова реакції в кінематичній парі «ведучий шатун – проміжний шатун»;  $R_{DA}$  – осьова складова реакції в кінематичній парі «проміжний шатун – ведений шатун»;  $R_{DR}$  – радіальна складова реакції в кінематичній парі «проміжний шатун – ведений шатун»;  $R_{EA}$  – осьова складова реакції в кінематичній парі «ведений шатун – ведений вал»;  $R_{ER}$  – радіальна складова реакції в кінематичній парі «ведений шатун – ведений вал»;  $R_{FA}$  – осьова складова реакції в кінематичній парі «ведений вал – коромисло»;  $R_{FR}$  – радіальна складова реакції в кінематичній парі «ведений вал – коромисло»;  $R_{GA}$  – осьова складова реакції в кінематичній парі «коромисло – станина»;  $R_{GR}$  – радіальна складова реакції в кінематичній парі «коромисло – станина».

Далі, значення (максимальні) реакцій в залежності від зміни коефіцієнту  $\lambda$ , що визначалися за допомогою SolidWorks-2016 були зведені до табл. 2. Також і тій само таблиці представлено значення реакцій, що утворювалися у кінематичних парах «базового» просторового механізму галтувальної машини, при коефіцієнті  $\lambda=1$ .

Таблиця 2

Максимальні значення реакцій у кінематичних парах машини при різних значеннях коефіцієнту  $\lambda$

		Коефіцієнт $\lambda$					
		1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Значення реакцій в кінематичних парах машини	$R_{AA}$ , [Н]	88	80	101	128	165	198
	$R_{FA}$ , [Н]	68	68	98	120	138	169
	$R_{AR}$ , [Н]	405	420	465	502	576	633
	$R_{FR}$ , [Н]	608	380	350	443	600	798
	$R_{BA}$ , [Н]	198	169	190	220	260	310
	$R_{EA}$ , [Н]	124	90	112	155	210	290
	$R_{BR}$ , [Н]	294	238	251	280	318	382
	$R_{ER}$ , [Н]	545	313	300	345	408	576
	$R_{CA}$ , [Н]	95	70	78	83	91	100
	$R_{DA}$ , [Н]	194	82	76	78	80	82
	$R_{CR}$ , [Н]	325	168	215	301	400	585
	$R_{DR}$ , [Н]	342	180	242	368	540	798
	$R_{GA}$ , [Н]	-----	105	145	177	205	228
	$R_{GR}$ , [Н]	-----	428	406	406	515	690

Згідно результатів досліджень, представлених у табл. 2 було створено відповідні графічні залежності максимальних значень реакцій у кінематичних парах шарнірного просторового механізму від зміни коефіцієнту  $\lambda$ , які представлені на рис. 3 (радіальні складові реакцій) та рис. 4 (осьові складові реакцій).

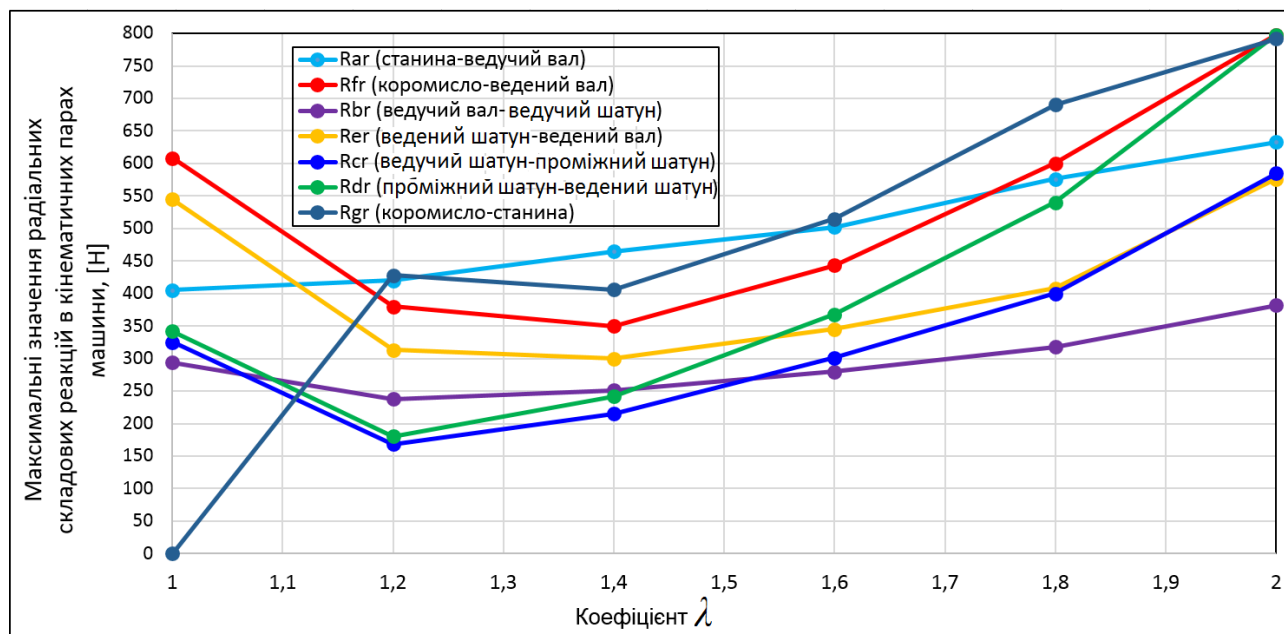


Рис. 3. Залежність максимальних значень радіальних складових реакцій в кінематичних парах просторового механізму від зміни коефіцієнту  $\lambda$

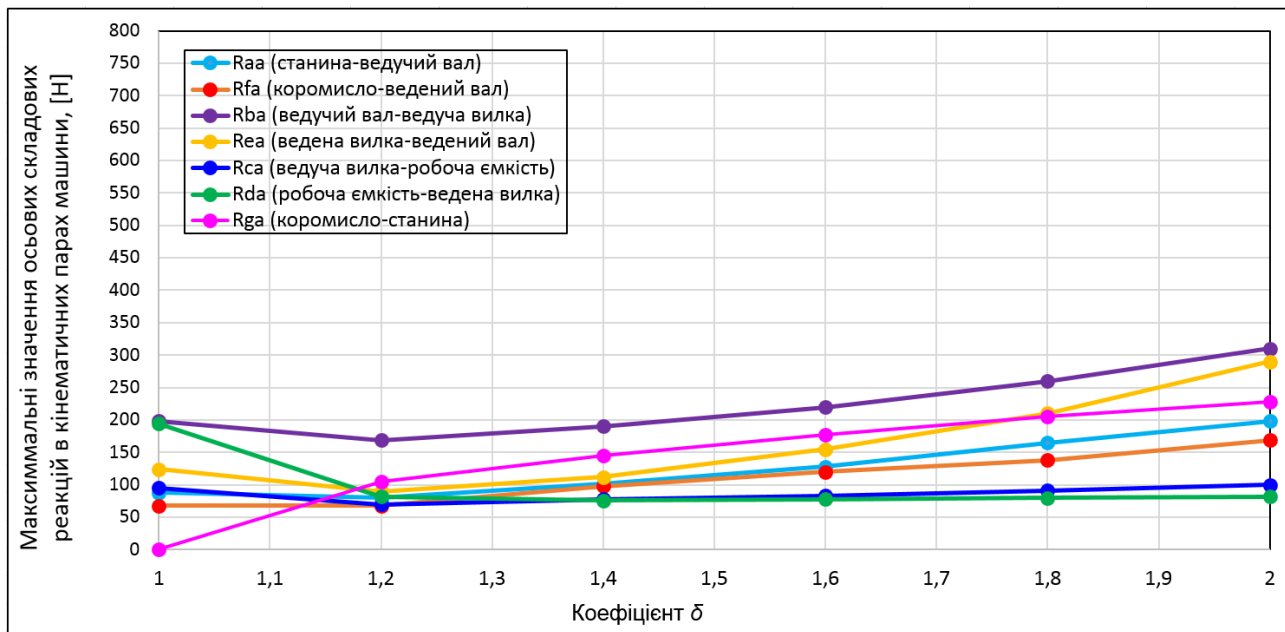


Рис. 4. Залежність значень реакцій, що є осьовими, від коефіцієнту  $\lambda$  у кінематичних парах просторового механізму

Таким чином, у даній конструкції машини, при коефіцієнті  $\lambda = 1,2$  утворюються найменші значення реакцій в усіх кінематичних парах, які є меншими за екстремальні значення цих само реакцій у кінематичних парах «базового» механізму галтувальної машини. Зі збільшенням коефіцієнту  $\lambda$  відбувалося й збільшення максимальних значень реакцій в усіх кінематичних парах: осьові складові реакцій мали незначний приріст, в той час, як деякі радіальні складові реакцій ( $R_{GR}$ ,  $R_{FR}$ ,  $R_{ER}$ ) зменшувалися до значення коефіцієнту  $\lambda = 1,4$ . При перевищенні коефіцієнту  $\lambda = 1,4$  приріст радіальних складових реакцій значно збільшився. У досліджуваній конструкції машини при коефіцієнті  $\delta = 1,8$  максимальні значення семи із дванадцяти реакцій перевищили максимальні значення тих само реакцій у «базовій» конструкції машини. При коефіцієнті  $\delta = 2,0$  максимальні значення восьми із дванадцяти реакцій значно перевищили максимальні значення тих само реакцій у «базовій» конструкції машини. Реакції  $R_{CR}$  та  $R_{DR}$  перевищили значення тих само реакцій в «базовій» конструкції машини майже у два рази.

#### Висновки.

1. За допомогою САПР SolidWorks виконано кінетостатичне дослідження просторового статично визначеного семиланкового шарнірного механізму машини для обробки деталей з новою введеною рухомою ланкою – коромислом, що має горизонтальну вісь обертання, зокрема, визначено реакції в усіх обертальних та кінематичних парах.

2. Досліджено вплив зміни коефіцієнту  $\lambda$ , який характеризує відношення міжосьової відстані проміжного шатуна (робочої ємкості) до міжосьової відстані ведучого шатуна (веденого шатуна) машини на приріст максимальних значень реакцій в усіх кінематичних парах машини.

3. Встановлено, що досліджувану конструкцію машини раціонально використовувати в діапазоні зміни коефіцієнту  $\lambda = [1,0-1,8]$ . При коефіцієнті  $\lambda > 1,6$  спостерігалось значне збільшення максимальних значень більшості реакцій у порівнянні з максимальними значеннями реакцій у кінематичних парах «базової» конструкції машини.

## References

1. Zaliubovskiy, M. G., Panasiuk, I. V., Malyshev, V. V. (2020). Perspektivni tekhnologii obrobky detalei ta zmishuvannya sypkykh rehovyn u rukhomykh robochykh yemkostiakh (chastyna 1: sposoby tekhnolohichnykh operatsii) [Advanced technologies for processing parts and mixing bulk materials in mobile working tanks (part 1: methods of technological operations)]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V. I. Vernadskoho. Seriya: tekhnichni nauky – Scientific notes of Tavriya National University named after V. I. Vernadsky. Series: technical sciences*, No. 2, Vol. 31 (70), P. 29–35 [in Ukrainian].
2. Burmistenkov, O. P., Zlotenko, B. M., Konoval, V. P., Panasiuk, I. V., Skyba, M. Ye., Syniuk, O. M. (2007). Vyrobnystvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimernykh materialiv u vzuttievii ta shkirhalantereinii promyslovosti: monohrafiia [Production of cast parts and products from polymeric materials in the footwear and leather goods industry: monograph]. Khmelnytsk. 255 p. [in Ukrainian].
3. Zalyubovskiy, M. G., Panasyuk, I. V., Smirnov, Y. I., Klaptsov, Y. V., Malyshev, V. V. (2019). Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working container. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dyzainu – Bulletin of Kyiv National University of Technologies and Design*, No. 2 (132), P. 24–32.
4. Zalyubovskiy, M. G., Panasyuk, I. V., Smirnov, Y. I., Kuznetsova, O. O., Malyshev, V. V. (2019). Analytical determination of the time of handling process of polymeric details in a machine with a complex movement of working container. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dyzainu – Bulletin of Kyiv National University of Technologies and Design*, No. 3 (134), P. 9–17.
5. Zaliubovskiy, M. G., Panasiuk, I. V., Malyshev, V. V. (2019). Eksperymentalne vyznachennia enerhii neobkhidnoi dlia viddilennia metalevykh detalei vid luvnykiv [Experimental determination of the energy required to separate metal parts from castings]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dyzainu – Bulletin of Kyiv National University of Technologies and Design*, No. 6 (140), P. 9–17 [in Ukrainian].
6. Shvartc, A. I. (1987). Mekhanizatsiia i avtomatizatsiia proizvodstva formovykh RTI: uchebnoe posobie dlia rabocheho obrazovaniia [Mechanization and automation of the production of molded rubber goods: a textbook for workers' education]. Moscow: Khimiia. 176 p. [in Russian].
7. Pershin, V. F., Odnolko, V. G., Pershina, S. V. (2009). Pererabotka sypuchikh materialov v mashinakh barabannogo tipa: monografiia [Processing of bulk materials

## Література

1. Залюбовський М. Г., Панасюк І. В., Малишев В. В. Перспективні технології обробки деталей та змішування сипких речовин у рухомих робочих ємкостях (частина 1: способи технологічних операцій). *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2020. № 2, Том 31 (70). С. 29–35.
2. Бурмістенков О. П., Злотенко Б. М., Коновал В. П., Панасюк І. В., Скиба М. Є., Синюк О. М. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантерейній промисловості: монографія. Хмельницьк, 2007. 255 с.
3. Zalyubovskiy M. G., Panasyuk I. V., Smirnov Y. I., Klaptsov Y. V., Malyshev V. V. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working container. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2019. № 2 (132). P. 24–32.
4. Zalyubovskiy M. G., Panasyuk I. V., Smirnov Y. I., Kuznetsova O. O., Malyshev V. V. Analytical determination of the time of handling process of polymeric details in a machine with a complex movement of working container. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2019. № 3 (134). P. 9–17.
5. Залюбовський М. Г., Панасюк І. В., Малишев В. В. Експериментальне визначення енергії необхідної для відділення металевих деталей від ливників. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2019. № 6 (140). С. 9–17.
6. Шварц А. И. Механизация и автоматизация производства формовых РТИ: учебное пособие для рабочего образования. М.: Химия, 1987. 176 с.
7. Першин В. Ф., Однолько В. Г., Першина С. В. Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа:

- in drum-type machines: monograph]. Moscow: Mashinostroenie. 220 p. [in Russian].
8. Zaliubovskiy, M. G., Panasiuk, I. V., Malyshev, V. V. (2018). Mashyny zi skladnym rukhom robochykh yemkosti dlia obrobky polimernykh detalei: monohrafiia [Machines with complex movement of working tanks for processing of polymeric details: monograph]. Kyiv: Universytet "Ukraina". 228 p. [in Ukrainian].
9. Zaliubovskiy, M. G., Panasiuk, I. V., Malyshev, V. V. (2020). Perspektyvni tekhnolohii obrobky detalei i zmishuvannia sypanykh rehovyn u rukhomykh robochykh yemkostiakh (chastyna 2: typu obladnannia z rukhomymy yemkostiamy) [Promising technologies for processing parts and mixing bulk materials in mobile working tanks (part 2: types of equipment with moving tanks)]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V. I. Vernadskoho. Serii: tekhnichni nauky – Scientific notes of Tavriya National University named after V. I. Vernadsky. Series: technical sciences*, No. 3, Vol. 31 (70), P. 7–13 [in Ukrainian].
10. Willy A. Bachofen (WAB) (2020). Website Willy A. Bachofen AG, Maschinenfabrik. URL: <https://www.wab-group.com/en/>.
11. Marigo, M. (2012). Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation EngD. The University of Birmingham, UK.
12. Mayer-Laigle, C., Gatumel, C., Berthiaux, H. (2015). Mixing dynamics for easy flowing powders in a lab scale Turbula mixer. *Chemical Engineering Research and Design*. March 2015, Vol. 95, P. 248–261.
13. Reshetov, L. N. (1972). Konstruirovaniye ratsionalnykh mekhanizmov [Designing rational mechanisms]. 2nd ed., rev. and enl. Moscow: Mashinostroenie. 256 p. [in Russian].
14. Zalyubovskii, M. G., Panasyuk, I. V. (2020). On the study of the basic design parameters of a seven-link Spatial mechanism of a part processing machine. *International Applied Mechanics*, April 2020, Vol. 56, Iss. 1, P. 54–64.
15. Zaliubovskiy, M. G., Panasiuk, I. V., Smirnov, Yu. I., Malyshev, V. V. (2020). Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, Vol. 178, Iss 4. P. 69–75.
16. Patent №108488, МПК В01F 11/00. Mashyna dlia obrobky detalei [Machine for processing parts] / Zaliubovskiy M. G., Panasiuk I. V., zaiavnyk ta patentovlasnyk Kyivskiy natsionalnyi universytet tekhnolohii ta dyzainu [applicant and patent owner Kyiv National University of Technology and Design] – монографія. М.: Машиностроение, 2009. 220 с.
8. Залюбовський М. Г., Панасюк І. В., Малишев В. В. Машина зі складним рухом робочих ємкостей для обробки полімерних деталей: монографія. К.: Університет "Україна", 2018. 228 с.
9. Залюбовський М. Г., Панасюк І. В., Малишев В. В. Перспективні технології обробки деталей і змішування сипких речовин у рухомих робочих ємкостях (частина 2: типи обладнання з рухомими ємкостями). *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2020. № 3, Том 31 (70). С. 7–13.
10. Willy A. Bachofen (WAB): сайт Willy A. Bachofen AG, Maschinenfabrik. 2020. URL: <https://www.wab-group.com/en/>.
11. Marigo M. Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation EngD. The University of Birmingham, UK., 2012.
12. Mayer-Laigle C., Gatumel C., Berthiaux H. Mixing dynamics for easy flowing powders in a lab scale Turbula mixer. *Chemical Engineering Research and Design*. March 2015. Vol. 95. P. 248–261.
13. Решетов Л. Н. Конструирование рациональных механизмов. Изд. 2-е, переработ. и доп. М.: Машиностроение, 1972. 256 с.
14. Zalyubovskii M. G., Panasyuk I. V. On the study of the basic design parameters of a seven-link Spatial mechanism of a part processing machine. *International Applied Mechanics*. April 2020. Vol. 56. Iss. 1. P. 54–64.
15. Zaliubovskiy M. G., Panasiuk I. V., Smirnov Yu. I., Malyshev V. V. Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. Vol. 178. Iss 4. P. 69–75.
16. Патент №108488, МПК В01F 11/00. Машина для обробки деталей / Залюбовський М. Г., Панасюк І. В., заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну –

№u201511872; zaiav. 01.12.2015, opub. 25.07.2016, biul. № 14 [in Ukrainian].

17. Zaliubovskiy, M. G., Panasiuk, I. V., Malyshev, V. V. (2020). Sylove doslidzhennia prostorovoho shestylankovoho mekhanizmu mashyny dlia obrobky detalei (chastyna 1: doslidzhennia pry roboti mashyny na kholostomu khodi) [Power study of the spatial six-link mechanism of the machine for machining parts (part 1: study when the machine is idling)]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V. I. Vernadskoho. Serii: tekhnichni nauky – Scientific notes of Tavriya National University named after VI Vernadsky. Series: technical sciences*, No. 5, Vol. 31 (70), P. 13–18 [in Ukrainian].

№u201511872; заяв. 01.12.2015, опуб. 25.07.2016, бюл. № 14.

17. Залюбовський М. Г., Панасюк І. В., Малишев В. В. Силове дослідження просторового шестиланкового механізму машини для обробки деталей (частина 1: дослідження при роботі машини на холостому ході). *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2020. № 5, Том 31 (70). С. 13–18.

**ZALIUBOVSKIY MARK**

Open University of Human Development  
"Ukraine", Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-6258-0088>  
E-mail: [markzaliubovskiy@gmail.com](mailto:markzaliubovskiy@gmail.com)

**MALYSHEV VICTOR**

Open University of Human Development  
"Ukraine", Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-2756-3236>  
E-mail: [viktor.malyshev.igic@gmail.com](mailto:viktor.malyshev.igic@gmail.com)

**PANASYUK IGOR**

Kyiv National University of  
Technologies and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-6671-4266>  
ResearcherID: D-4255-2017  
E-mail: [panasjuk1961@gmail.com](mailto:panasjuk1961@gmail.com)

**SKIDAN VLADYSLAVA**

Kyiv National University of  
Technologies and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-8358-9759>  
E-mail: [v.v.skidan@ukr.net](mailto:v.v.skidan@ukr.net)

<sup>1</sup>ЗАЛЮБОВСКИЙ М. Г., <sup>2</sup>ПАНАСЮК И. В., <sup>1</sup>МАЛЫШЕВ В. В., <sup>2</sup>СКИДАН В.В.

<sup>1</sup> Открытый международный университет развития человека «Украина», г. Киев, Украина

<sup>2</sup> Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

**КИНЕТОСТАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШАРНИРНЫХ  
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ ГАЛТОВОЧНЫХ МАШИН  
(ЧАСТЬ 1: ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ  
ПОДВИЖНЫМ ЗВЕНОМ – КОРОМЫСЛОМ)**

**Цель.** Кинестатическое исследование статически определенного шарнирного пространственного механизма без избыточной (пассивной) связи с дополнительным подвижным звеном – коромыслом машины для обработки деталей, в которой рабочая емкость выполняет сложное пространственное движение.

**Методика.** Суть кинестатического исследования заключалась в определении радиальных и осевых составляющих реакций во всех вращательных кинематических парах шарнирного статически определенного пространственного механизма машины для обработки деталей, при ее работе на холостом ходу. Кинестатическое исследование реализовалось с применением системы автоматизированного проектирования SolidWorks 2016 с предварительным выполнением 3D моделирования данной конструкции машины с дополнительным подвижным звеном – коромыслом.

**Результаты.** В ходе проведения кинестатического исследования выполнено 3D моделирование машины с дополнительным подвижным звеном – коромыслом в системе автоматизированного проектирования SolidWorks 2016, определены максимальные значения радиальных и осевых составляющих реакций во всех вращательных кинематических парах машины для обработки деталей, исследовано влияние изменения межосевого расстояния промежуточного шатуна (рабочей емкости) на прирост максимальных значений реакций во всех вращательных кинематических парах.

**Научная новизна.** Определена взаимосвязь между межосевым расстоянием промежуточного шатуна (рабочей емкости) и изменением максимальных значений реакций во всех вращательных кинематических парах машины для обработки деталей. В результате этого возникает возможность определить предельно допустимое межосевое расстояние промежуточного шатуна для обеспечения долговечной работы машины.

**Практическая значимость.** Определено, что характер изменения максимальных значений радиальных и осевых составляющих реакций в каждой вращательной кинематической паре пространственного механизма зависит от значения коэффициента, характеризующего отношение межосевой длины промежуточного шатуна (рабочей емкости) до межосевой длины ведущего или ведомого шатунов машины. Определен диапазон изменения данного коэффициента, в рамках которого рационально выполнять проектирование данной конструкции машины. Полученные результаты могут быть использованы в соответствующих конструкторских бюро машиностроительных предприятий на стадии проектирования галтовочного оборудования со сложным пространственным движением рабочих емкостей.

**Ключевые слова:** кинематические пары; максимальные значения реакций; шатун; сложное пространственное движение.

<sup>1</sup>ZALYUBOVSKIY M. G., <sup>2</sup>PANASYUK I. V., <sup>1</sup>MALYSHEV V. V., <sup>2</sup>SKIDAN V.V.

<sup>1</sup> Open International University of Human Development "Ukraine", Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

#### KINETOSTATIC STUDIES OF HINGED SPATIAL MECHANISMS OF GALLING MACHINES (PART 1: RESEARCH OF THE MECHANISM WITH AN ADDITIONAL MOBILE ROCKER LINK)

**Goal.** Kinetostatic study of a statically determined hinged spatial mechanism without redundant (passive) connection with an additional movable link – a rocker arm of a machine for processing parts, in which the working container performs complex spatial movement.

**Methodology.** The essence of the kinetostatic research was to determine the radial and axial components of the reactions in all rotational kinematic pairs of the hinged statically defined spatial mechanism of the machine for processing parts, when it is idling. The kinetostatic study was implemented using the SolidWorks 2016 computer-aided design system with preliminary 3D modeling of this machine design with an additional moving link – a rocker.

**Results.** In the course of the kinetostatic study, 3D modeling of a machine with an additional movable link – a rocker arm in the SolidWorks 2016 computer-aided design system was carried out, the maximum values of the radial and axial components of reactions in all rotational kinematic pairs of the machine for processing parts were determined, the effect of changing the center distance of the intermediate connecting rod (working capacity) on the increase in the maximum values of the reactions in all rotational kinematic pairs.

**Scientific novelty.** The relationship between the center distance of the intermediate connecting rod (working capacity) and the change in the maximum values of the reactions in all rotational kinematic pairs of the machine for processing parts is determined. As a result, it becomes possible to determine the maximum permissible center distance of the intermediate connecting rod to ensure the durable operation of the machine.

**Practical significance.** It is determined that the nature of the change in the maximum values of the radial and axial components of the reactions in each rotational kinematic pair of the spatial mechanism depends on the value of the coefficient characterizing the ratio of the center-to-center length of the intermediate connecting rod (working capacity) to the center-to-center length of the driving or driven connecting rods of the machine. The range of variation of this coefficient has been determined, within which it is rational to design this machine design. The results obtained can be used in the corresponding design bureaus of machine-building enterprises at the stage of designing tumbling equipment with a complex spatial movement of working containers.

**Keywords:** kinematic pairs; maximum reaction values; connecting rod; complex spatial motion.

УДК 65.011.56

ТЕРЕНТЬЄВ В. А.

Херсонська державна морська академія, Україна

## РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ЗАГАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИБОРУ КУРСУ УХИЛЕННЯ СУДНА

**Анотація.** При маневруванні суден, основною причиною аварійності є те, що судноводії не завжди об'єктивно оцінюють ситуацію, що склалася і неправильно приймають рішення по розходженню при ситуації небезпечного зближення і виникнення небезпеки зіткнення. Розглядається автоматизація вибору курсу ухилення, як автоматизації процесу розходження.

**Мета.** В статті висвітлюються завдання формалізації курсу ухилення, як величини автоматичного керування, та пропонується розробка алгоритму стратегії зміни курсу.

**Методика.** Провели обробку практичних даних власного судна. Проаналізували існуючі моделі руху судна, а також системи автоматичної стабілізації судна. Для побудови алгоритму провели декомпозицію МПЗЗС–72 відносно приналежності початкової ситуації суден до однієї з областей взаємних обов'язків.

**Результат.** За результатами дослідження даної теми був розроблений алгоритм загальної стратегії вибору курсу ухилення судна, з урахуванням вимог правил МПЗЗС–72. Розглянуто типи управління автоматичними регуляторами та їх обмеження в початковий та кінцевий моменти повороту судна. Було виявлено, що для побудови моделі інтегрованої системи керування необхідно скласти багаторівневий математичний опис, що включатиме підсистеми різних рівнів.

**Наукова новизна.** Визначено ефективність використання принципу виконання поворотів методом спостереження за заданим впливом проаналізувавши існуючі моделі руху судна. Запропоновано використання областей допустимих значень курсів під час розробки моделі процесу автоматизації розходження суден.

**Практична значимість.** Розроблено алгоритм загальної стратегії автоматизації вибору курсу ухилення.

**Ключові слова:** управління курсом судна; курс ухилення судна; область значень; область взаємних обов'язків.

**Вступ.** Висока щільність трафіку суден, що працюють в морі, а також у вузкостях і портових водах, високі швидкості, що розвиваються сучасними судами, зробило негативний вплив на безпеку судноплавства. Оскільки скоротився час, наявний у судноводія, на оцінку ситуації зближення суден, вироблення правильного маневру розходження і прийнятті рішення про початок виконання маневру і, як наслідок, неправильний вибір маневру розходження, що вимагає додаткової зміни курсу або зміни швидкості.

При маневруванні суден в групі, основною причиною аварійності є те, що судноводії різних суден, які є учасниками одного і того ж маневру, не завжди об'єктивно оцінюють ситуацію, що склалася і неправильно приймають рішення по розходженню при ситуації небезпечного зближення і виникнення небезпеки зіткнення.

Автоматизація процесу вибору маневру розходження суден, і як частина цього процесу, автоматизація вибору курсу ухилення є актуальною темою дослідження.

Так проведене дослідження маневрування власного судна для запобігання зіткнення зведено в табл. 1. Як видно з табл. 1, у випадках 1, 3, 6, 7, 9 знадобилася велика зміна первісного курсу судна, а повернення на програмну траєкторію зайняло від 40 до 60 хвилин, що в свою чергу впливає на загальну кількість часу, витраченого на виконання маневрів протягом морського переходу та складе час затримки судна в рейсі. Також це вказує на те, що була велика зміна курсу власного судна, що є ознакою несвоєчасності початку маневру або невірної вибору курсу ухилення і як наслідок додаткова зміна курсу у бік збільшення дистанції найкоротшого зближення. Все зазначене вище вказує на невірну оцінку ситуації



моменту часу початку зниження швидкості активним гальмуванням і швидкість розходження з другої ціллю.

В роботі [5] досліджуються особливості виникнення інформаційного дисбалансу між членами вахтової служби під час переходу судна та у аварійних ситуаціях, що дозволить наблизитися до вирішення проблеми попередження негативного впливу людського фактору на морському транспорті та поліпшити функціональність Систем Підтримки Прийняття Рішень (далі – СППР) судноводіння, що розробляється.

В роботі [6] запропонована інформаційна технологія оцінки вірогідності прийняття релевантних рішень Особою, що приймає рішення (далі ОПР) – судноводієм, при керуванні судном у реальному часі, що дозволить в складі СППР інтерфейсу користувача, пропонувати найбільш релевантні альтернативи прийняття рішення, у зручному для нього форматі у відповідності до психологічних та ергометричних нормативам роботи в людино-машинних системах.

В роботі [7] розглядається простіша система попередження зіткнення суден, для якої були розроблені алгоритми взаємодії суден, в процесі розходження, у відповідності з вимогами Міжнародних Правил Запобігання Зіткненню Суден у морі (далі – МПЗЗС-72), формалізація якого наведена у [12].

В роботі [8] розглядаються етапи ухвалення рішення по вибору стратегії розходження, що характеризуються загальною вірогідністю відсутності небезпеки зіткнення за умови, що дистанція найкоротшого зближення рівна заданій гранично - допустимій дистанції зближення. Для визначення згаданої вірогідності розглянута похибка дистанції найкоротшого зближення і одержано вираз для щільності її розподілу. З цією метою одержана залежність похибки дистанції найкоротшого зближення від похибок вимірювання дистанції і пеленга.

За допомогою одержаного виразу для щільності розподілу похибки дистанції найкоротшого зближення визначена вірогідність того, що при рівності дистанції найкоротшого зближення з гранично-допустимою дистанцією зближення не виникне зіткнення.

В роботі [9] розглядається процедура оцінки небезпеки зближення судна с ціллю і, у випадку необхідності, вибір судном маневру розходження зміною курсу за допомогою області недопустимих параметрів руху судна. Для ситуації, коли швидкість судна менша за швидкість цілі, то запропонована процедура вибору курсу ухилення судна для попередження зіткнення з ціллю, використовуючи підмножини небезпечних відносних курсів з урахуванням відношення швидкостей судна та ціллю. Запропонований комп'ютерний варіант реалізації розглянутої процедури доцільно використовувати в перспективних навігаційних інформаційних системах.

В роботі [10] розглядається встановлена наявність розподілу суден, які являються суднами-цілями, відносно базового судна, ці судна-цілі можуть бути небезпечні, безпечні, безпечні, які можуть бути небезпечними за певних умов. В свою чергу, небезпечні для розходження, з якими слід виконати маневр стандартного розходження, а також цілі для розходження, з якими потребується маневр екстреного розходження. Доведено, що зазначений розподіл суден можливо провести використовуючи відносність суден-цілей до різних підмножин які залежать від їх відносних параметрів руху до базового судна. Завдяки цьому стало можливим розглядати групу із кількох суден як множину цілей.

В роботі [11] досліджується рішення задачі моделювання та розробки методу оптимального управління вантажними операціями з важкими великогабаритними вантажами на морських судах з урахуванням впливу маси вантажу.

В роботі [12] досліджується маневрування базового (оперуючого) судна у групі суден, при одночасному небезпечному зближенні з декількома суднами, для підвищення безпеки судноводіння. Проведено аналіз зближення суден, при маневруванні у групі, розглянута

взаємодія виникаюча між двома суднами, та роль МПЗЗС–72, як зовнішнього координатора, при послідовному розходженні базового судна з судном ціллю. Розглянуто одночасне зближення трьох суден. Запропоновано розглядати одночасне зближення декількох суден, як сукупність подій для оцінки, як можливості послідовного розходження і вибору черговості розходження, так і в розробці алгоритму оптимального вибору типу маневру.

**Мета.** З урахуванням вище зазначеного, автоматизація вибору курсу ухилення, як складової повної автоматизації процесу розходження, залишається актуальною темою наукового дослідження, тому в статті поставлені наступні задачі:

- Розробка алгоритму стратегії зміни курсу.
- Формалізація курсу ухилення як величини автоматичного керування.

**Рішення задачі.** Ситуаційне збурення  $\omega_{ij}$  виявляє прийдешню небезпечну позицію завчасно, виходячи з прогнозу зміни відносної позиції пари суден [13–16].

При появі ситуаційного збурення  $\omega_{ij}$  виникає взаємодія  $V_z$ , яке має погоджувати маневри суден, що зближуються і передбачає вироблення узгоджених стратегій кожному з взаємодіючих суден [13–16].

Взаємодія  $V_z$ , як механізм узгодження по досягненню спільної мети попередження небезпечного зближення, визначаюча поведінку кожного з суден в процесі розходження.

Таким чином, процес розходження є процесом компенсації ситуаційного збурення, тобто переведення підмножини збурених ситуацій  $S_\omega$  в підмножину безпечних ситуацій  $S_s$  [13–16].

Як показав аналіз МПЗЗС–72, правила містять дві незалежні системи координації: для хорошої і поганої видимості. У свою чергу, в разі хорошої видимості, підмножина збурених ситуацій  $S_\omega$  відповідно до Правила 17 можливо декомпонувати на три області взаємних обов'язків  $S_{\omega_1} \dots S_{\omega_3}$  [13–16].

З кожної із зазначених областей  $S_{\omega_i}$  пов'язані різні типи взаємодії, регламентовані МПЗЗС–72 в частині маневрування при виникненні загрози зіткнення:

1. Перша область  $S_{\omega_1}$ , для якої пропонується стандартна взаємодія, коли привілейоване судно зобов'язане зберігати параметри руху, а судно мета виконує маневр розходження [13–16].
2. Друга область  $S_{\omega_2}$  характеризується активізованою взаємодією, коли привілейоване судно отримує право змінювати параметри руху на свій розсуд [13–16].
3. Третя область  $S_{\omega_3}$  відповідає випадку екстремної взаємодії, коли обидва судна зобов'язані маневрувати для попередження зіткнення [13–16].

Основним принципом координації, який покладено в основу МПЗЗС–72, є встановлення відносин пріоритету на парі взаємодіючих суден. При цьому взаємини пріоритету можуть бути жорстким, як у першому типі взаємодії (перша область взаємних обов'язків суден), коли жорстко регламентується однозначна поведінка кожного з взаємодіючих суден, або напівжорстке, в другому типі координації, коли однозначно регламентується поведінка тільки судна, позбавленого пріоритету [13–16]. З урахуванням цього в разі екстремної взаємодії характерна відсутність пріоритетів, однак на відміну від першого типу взаємодії є жорстка вимога однозначної активної поведінки обох суден, причому відсутня координація їх дій.

Для встановлення відносин пріоритету в МПЗЗС–72 введені дві системи, одна з яких призначає пріоритет судам, які взаємодіють в разі обгону (правило 13 МПЗЗС–72), а друга у всіх інших ситуаціях, причому вона містить сім рівнів, упорядкованих відносин пріоритету: малі судна, судна з механічним двигуном, парусні судна, рибальські судна, судна стисненні осадкою, судна, які обмежені в можливості маневрувати і, нарешті, судна, які не можуть управлятися (правила 9, 10 і 18) [13–16].

У разі якщо судна належать одному рівню, то призначення пріоритетів передбачено тільки для рівнів: суден з механічним двигуном і вітрильних суден (правила 12, 14 і 15), причому тільки в цьому випадку є вимоги і рекомендації по вибору сторони ухилення при розходженні [13–16].

Отже, в залежності від приналежності початкової ситуації суден до однієї з областей взаємних обов'язків, Правилами пропонується тип взаємодії і координації, які в разі потреби визначають ставлення пріоритету і ступінь його жорсткості, враховуючи при цьому приналежність кожного із взаємодіючих суден одному з раніше перерахованих семи рівнів [13–16].

Спираючись на вище зазначене, можна побудувати алгоритм загальної стратегії вибору курсу ухилення (рис. 1) для запобігання зіткнення суден, або небезпечного зближення, яке буде полягати в наступному: власне судно, далі базове судно, з параметрами руху  $K_c$  та  $V_c$  та судно ціль з параметрами руху  $K_i$  та  $V_i$  мають також сумісні параметри руху – відстані  $l_{ij}$  та пеленгу  $a_{ij}$  або параметри відносного руху  $K_{0ij}$  та  $V_{0ij}$ . За результатом аналізу ситуації зближення визначається належність маневруючих суден до підмножин збурених ситуацій  $S_\omega$  або до підмножини безпечних ситуацій  $S_s$ . В залежності від належності до певних підмножин буде визначена наявність ситуаційного збурення  $\omega_{ij}$  та виникнення необхідної взаємодії  $V_z$  для переведення в підмножину безпечних ситуацій  $S_s$ .

Якщо ситуаційне збурення  $\omega_{ij}$  існує і виникла необхідність взаємодії  $V_z$ , то по-перше необхідно визначити до якої області взаємних обов'язків належить судно  $S_{\omega 1}$ ,  $S_{\omega 2}$  або  $S_{\omega 3}$ . У тому разі коли судно належить до області взаємних обов'язків  $S_{\omega 1}$  судно повинно зберігати параметри руху, тобто необхідності в виборі курсу ухилення  $K_y$  не виникає. При цьому повинна контролюватися дистанція найкоротшого зближення  $d_{min}$ , яка в свою чергу поділяється на гранично-допустиму дистанцію  $d_{dop}$ , при досягненні якої судно переходить в область  $S_{\omega 2}$ , та  $d_{mindop}$ , при якій судно переходить в область  $S_{\omega 3}$ .

Якщо власне (оперуюче) судно повинно поступитися дорогою, то виникає необхідність вибору курсу ухилення  $K_y$ .

При знаходженні оперуючого судна в області взаємних обов'язків, судно повинно власним маневром запобігти зіткненню або небезпечному зближенню і виникає необхідність визначення курсу ухилення  $K_y$ .

При знаходженні оперуючого судна в області взаємних обов'язків  $S_{\omega 3}$ , області екстреного маневрування, також виникає необхідність вибору курсу ухилення  $K_y$ .

У випадку, знаходження оперуючого судна у області взаємних обов'язків  $S_{\omega 2}$ , після вибору курсу ухилення  $K_y$  необхідно провести аналіз чи є зміна курсу оперуючого судна достатньою, для запобігання зіткненню або небезпечного зближення. Так само, як і у випадку потрапляння оперуючого судна в область взаємних обов'язків  $S_{\omega 3}$ , коли обидва судна повинні власними маневрами запобігти зіткненню або небезпечному зближенню, виникає необхідність вибору курсу ухилення  $K_y$  і аналізу достатності зміни курсу. Курс ухилення  $K_y$ , так як ми розглядаємо маневрування двох суден, потребує аналіз на достатність. Якщо зміни курсу судна  $K_c$  на  $K_y$  достатньо за для запобігання зіткненню або небезпечного зближення, то в додатковій зміні курсу немає необхідності.

У тому випадку коли в результаті маневрування двох суден, зміна поточного курсу судна  $K_c$  на курс ухилення  $K_y$  є недостатньою для запобігання зіткненню або небезпечного зближення, то виникає необхідність визначення додаткового вибору курсу ухилення  $K_{y_{i+1}} = K_y + \Delta K_y$ . В останньому виразі  $\Delta K_y$  – деяка величина на яку потрібно змінити початковий курс ухилення  $K_y$ , у разі коли зближення суден залишається небезпечним, в кінці маневру.

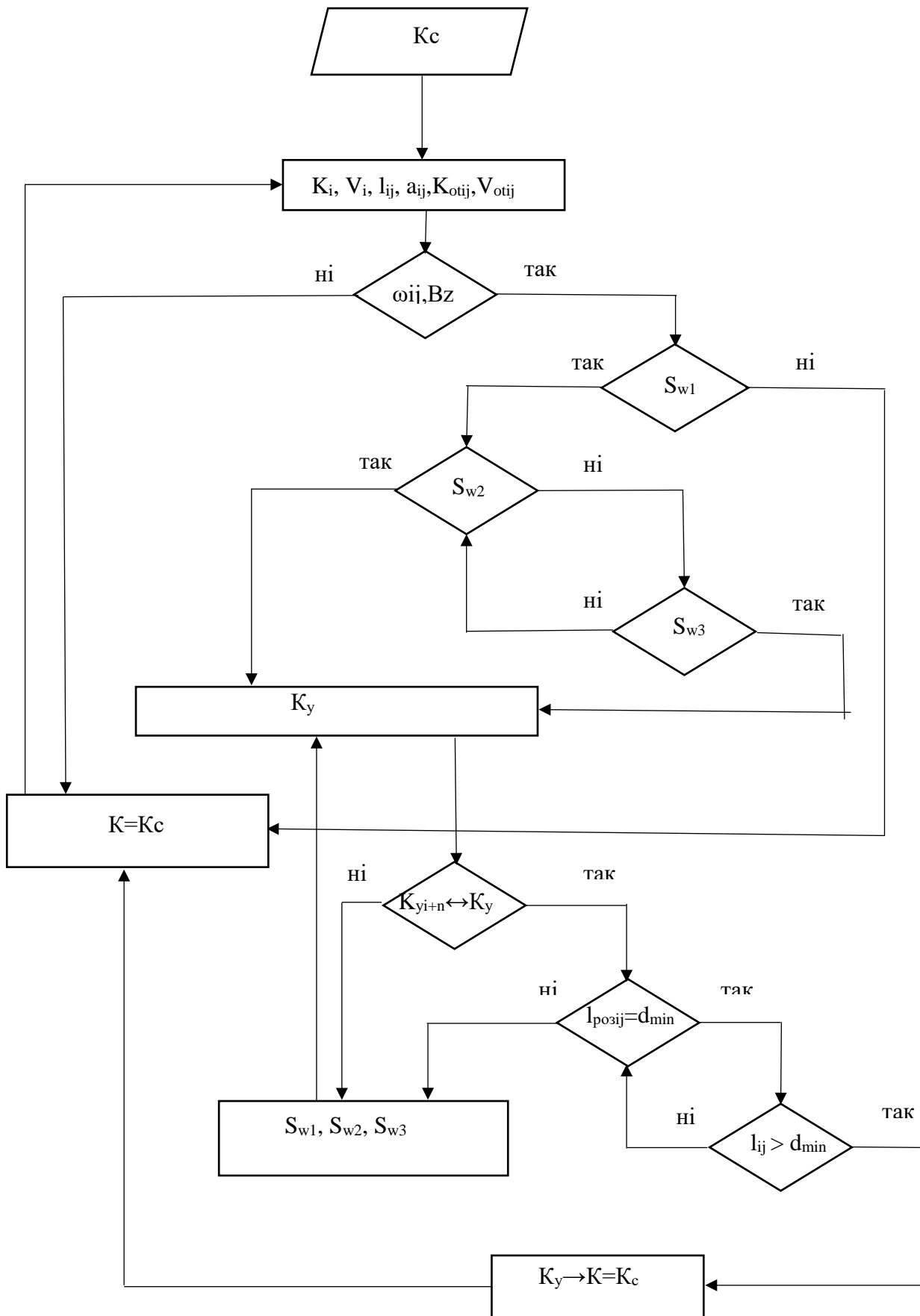


Рис. 1. Алгоритм загальної стратегії вибору курсу ухилення

Цей процес повинен повторюватися до моменту  $K_{y_{i+n}} \leftrightarrow K_y$ , коли дистанція між власним судном і судном ціллю перестане зменшуватися і буде дорівнювати  $l_{розіі} = d_{\min}$  та далі судно ціль буде пройдено і оставлене позаду.

Ознакою достатності курсу ухилення  $K_y$  буде збільшення дистанції між власним (оперуючим) судном та судном ціллю, тобто буде виконуватися умова, коли дистанція розходження  $l_{розіі} = d_{\min}$ , при цьому кінцем маневру розходження можна вважати момент, коли дистанція, між суднами, почне збільшуватися і  $l_{ij} > d_{\min}$ .

Наступним кроком є повернення до траєкторії програмного руху, тобто новим значенням заданого курсу  $K_3$  буде курс  $K$ , яким прямувало судно до початку виконання маневру і по досягненню якого задачу можна вважати виконаною.

Побудова моделі полягає в отриманні математичного опису системи, що дозволяє виробляти її аналіз і синтез. Спроби опису Інтегрованої Системи Керування (далі ІСК) однією «загальною моделлю», складеною з моделей всіх підсистем, починаючи з нижніх, неможливо з позиції прийняття рішень з кількох причин. У ряді випадків загальну модель ІСК взагалі неможливо отримати. В інших випадках вона виявляється надзвичайно складною, так як до неї включаються параметри та зв'язки підсистем всіх рівнів. А головне – з такою моделлю дуже важко шукати рішення. Хоча, ніхто не говорить, що загальна модель ІСК взагалі марна. Ефективна модель ІСК – багаторівневий математичний опис, що включає комплекс моделей локальних підсистем різних рівнів, що виділяються в ІСК [17].

Управління надводним судном стосується його переміщення в горизонтальній площині, де будь-який маневр може бути представлений поступальними і обертальними рухами. Зазвичай вони розглядаються в жорсткопов'язаній ( $IGb$ ) і в незв'язаній ( $хоу$ ) з судном координатних системах [17].

Початок системи координат (рис. 2) пов'язано з Центром Мас судна (ЦМ), а осі орієнтовані по осях симетрії корпусу (нижче корпус вважається симетричним як щодо Діаметральної площини (далі ДП), так і площині мідель-шпангоута). Розташована в ДП вісь спрямована до носа судна і називається поздовжньою. Інша поперечна (бічна) вісь лежить в площині мідель-шпангоута і спрямована в бік правого борта. Вибір координатної системи обумовлений наступним. По-перше, в цій системі вимірюють елементи руху, датчики навігаційної інформації, такі як курс покажчики і лаги. А по-друге, в системі опис динаміки судна виходить найбільш простим, так як її початок знаходиться в ЦМ, а осі збігаються з осями симетрії корпусу  $IGb$  [17].

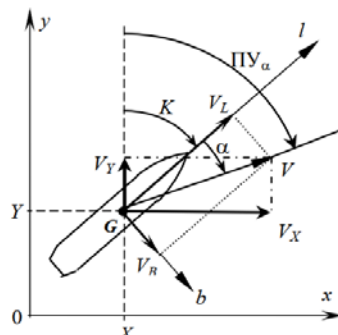


Рис. 2. Параметри руху судна

Система координат  $хоу$  (рис. 3) служить для обліку руху судна щодо місцевості. Вона орієнтується по меридіану: вісь  $оу$  спрямована на північ, а вісь  $ох$  – на схід. Початок системи пов'язується з тією чи іншою точкою поверхні Землі. Переміщення судна може представлятися також і в інших системах координат [17].

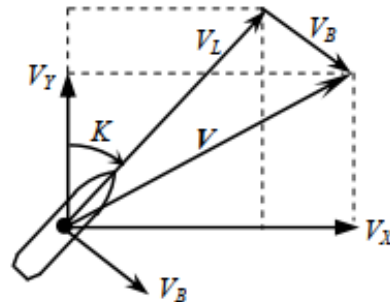


Рис. 3. Параметри судна в системі  $хоу$

При дослідженні руху судна, у системі координат, розглянутого вище, поточний курс судна отримуємо, як суму початкового значення курсу та результату інтегрування кутової швидкості судна [17],

$$K = K_0 + \int \omega dt,$$

якщо в цьому виразі, поточний курс судна  $K$  замінити на курс ухилення  $K_u$ , то можна стверджувати, що курс ухилення  $K_u$  буде дорівнювати додаванням до початкового курсу величини  $\Delta K$ , на яку необхідно змінити поточний курс судна для запобігання зіткнення. В свою чергу поточне значення курсу ухилення буде дорівнювати сумі значення початкового курсу і інтегрованому значенню кутової швидкості судна і лежати в межах від початкового значення  $K_0$  до значення  $K_0 + \Delta K$ , значення курсу судна, якого необхідно досягти, для запобігання зіткнення або небезпечного зближення.

Завдання управління курсом відноситься до регулювання, що полягає в зміні керованої величини відповідно до функції, що задається. Торкаючись визначення цієї функції для даної задачі, зазначимо таке. Прямолінійні відрізки маршруту характеризуються постійністю курсу. Тобто в цьому випадку задаюча курс судна функція має вигляд [17]

$$K_3(t) = K_C,$$

де  $K_C$  – постійне значення.

На повороті, щоб його радіус був  $R_3$ , швидкість повороту повинна бути постійною:

$$\omega_C = V_C / R_3,$$

так само, при автоматизації процесу вибору курсу ухилення, стає питання визначення не тільки курсу ухилення, а також параметрів зміни курсу. Одним з таких параметрів є радіус повороту та швидкість повороту, які повинні бути задані виходячи по-перше з безпечності повороту, для самого судна, і по-друге з ефективності повороту. Тобто виконуючи поворот судно не повинно потрапити в область взаємних обов'язків  $S_{\omega_3}$ , коли обидва судна повинні власними маневрами запобігти зіткненню або небезпечному зближенню. Параметри повороту мають бути передрозраховані і задані системі вибору курсу ухилення як складової частини системи автоматичного керування рухом судна.

Функції які задають кутову швидкість і курс тут такі [17]:

$$\omega_3(t) = \omega_C, K_3(t) = K_0 + \omega_3(t) \cdot t,$$

де  $K_0$  – курс перед поворотом.

Керуюча функція  $\omega_3(t)$  не враховує, що судно в момент початку повороту не може відразу змінити кутову швидкість від нуля до  $\omega_3$ , а в його кінці – від  $\omega_3$  до нуля, що буде однією з причин помилки управління курсом. У такому випадку, функція, що задає параметри руху судна при виконанні повороту з поточного курсу  $K_0$  на курс ухилення  $K_y$ , повинна враховувати маневрові характеристики судна. Така функція буде враховувати час від початку перекладки пера керма, при якому здійснюється кутове прискорення, час при якому кутова швидкість має постійне значення, а також час уповільнення кутової швидкості. Функція, що задає параметри руху судна, при виконанні повороту на курс ухилення, також має запобігати перерегулюванню і «закиду» значення курсу ухиленню  $K_y$  як параметру, що є задаючим в автоматичному керуванні.

Кутова швидкість  $\omega_3(t)$  має бути вибрана так, щоб врахувати кутове прискорення судна на початку повороту і уповільнення в його кінці [17].

За аналогією задачі автоматичного утримання курсу, що задана  $K_3$ , в нашому випадку курс ухилення  $K_y$  виконує ті ж самі функції за призначенням, тому можна записати, що

$$K_3(t) = K_y(t),$$

а в виразі

$$\omega_3(t) = f_{\omega}(t), K_3(t) = K_0 + \int \omega_3(t) dt$$

провести відповідні заміни курсу заданого  $K_3$  на курс ухилення  $K_y$ , таким чином попередній вираз прийме вигляд:

$$\omega_3(t) = f_{\omega}(t), K_y(t) = K_0 + \int \omega_3(t) dt$$

і задача зміни поточного курсу  $K$  на курс ухилення  $K_y$  стає задачею забезпечення відповідності поточних значень швидкості повороту і порівняння поточного курсу  $K$  і курсу ухилення  $K_y$ , функції, що їх задають  $\epsilon$ : [17]:

$$\omega = \omega_3(t), K = K_y(t).$$

Таким чином, автоматизація вибору курсу ухилення є спорідненою із задачею управління курсом і полягає в регулюванні курсу (зміна поточного курсу  $K$  на курс ухилення  $K_y$ ), і швидкості повороту судна. Відповідно помилка цього управління включає помилку курсу ( $\psi$ ) і кутової швидкості ( $\epsilon$ ) [17]:

$$\epsilon = \omega_3(t) - \omega(t), \psi = K_3(t) - K(t),$$

а так як заданим курсом  $K_3$  є курс ухилення, то відповідно отримаємо:

$$\epsilon = \omega_3(t) - \omega(t), \psi = K_y(t) - K(t).$$

Мета управління курсом полягає в зведенні цих помилок до нуля.

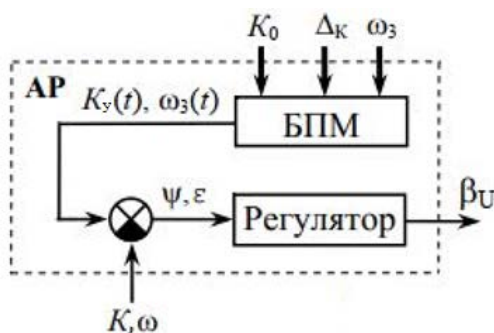


Рис. 4. Блок – схема АР

На рис. 4 представлений АР (автоматичний регулятор), блок програм маневрів (далі БПМ) якого генерує значення [17]:

$$K_3(t), \omega_3(t) = K_3(t),$$

відповідно до яких повинні змінюватися курс і кутова швидкість судна при повороті. Регулятор в залежності від  $\psi$  і  $\varepsilon$  (виробляє сигнал:  $\beta_U = f(\psi, \varepsilon)$ ), що забезпечує поворот відповідно до значень, що задаються функціями.

У деяких АР для поворотів та інших маневрів курсом використовується комбіноване управління  $\beta_U = \beta_P + \beta_R$ , що включає пряме управління (сигнал, отриманий розрахунковим методом для зміни курсу, як потрібно при маневрі) і сигнал управління по відхиленню  $\beta_R = f(\psi, \varepsilon)$  для компенсації похибок прямого управління, викликаних дією збурень. Блок-схема такого АР, в якому передбачено автоматичне виконання поворотів з  $\omega_3$ , показана на рис. 5, де  $\Delta K$  – кут повороту;  $K_0$  – курс до повороту.

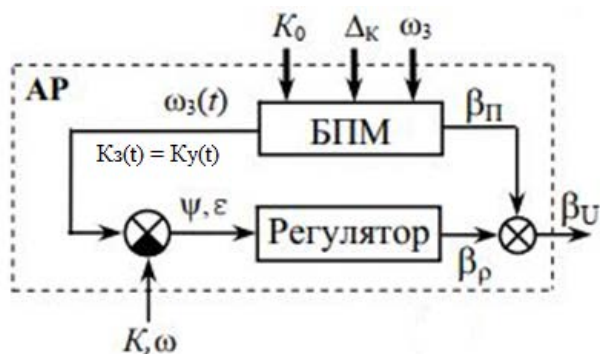


Рис. 5. Блок – схема АР

В даний час є вимога, щоб АР змінювали курс із заданим значенням кутової швидкості ( $\omega_3$ ) або з заданим радіусом ( $R_3$ ).

Для зміни курсу на необхідний кут  $\Delta K$  із заданою кутовою швидкістю і з заданим радіусом запропоновано досить багато алгоритмів. З них нижче розглядається алгоритм, який використовує метод спостереження за значеннями курсу, що генеруються для повороту, який відповідає функції, що задає  $K_3(t)$  або як в нашому випадку  $K_U$ ; і алгоритм, заснований на отриманні по математичній моделі САКК (Системи Автоматичного Керування) сигналу  $\beta_U(t)$  прямого управління, що визначає поворот судна.

Поворот стеження за  $K_3(t)$ , а в нашому випадку  $K_U$ . Принцип виконання поворотів методом спостереження за заданою дією в спрощеному вигляді пояснюється рис. 6.

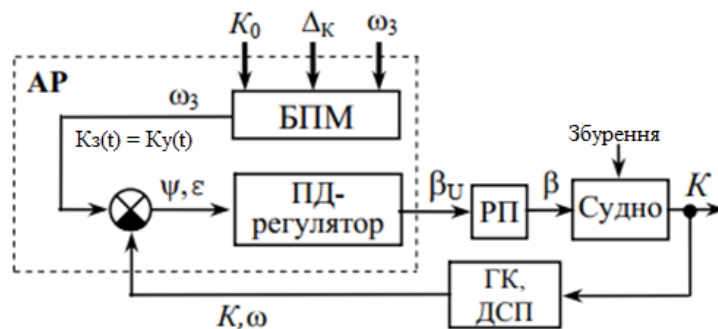


Рис. 6. САКК при поворотах стеження за  $K_3(t)$  та  $\omega_3$

Для повороту з  $\omega_3$  на кут  $\Delta K$  зазвичай використовується лінійна задаюча функція [17]:

$$K_3(t) = K_0 + \omega_3 t,$$

де  $K_0$  – початковий курс.

З моменту початку повороту БПМ генерує за вказаною формулою значення, що надходять на порівняння з поточним курсом. Стеження за  $K_3(t)$  забезпечує ПД-регулятор, формуючи кладки керма по закону, до досягнення заданого курсу, що в нашому випадку дорівнює курсу ухилення  $K_u$ .

Значення кута перекладки керма для зміни курсу і досягнення  $K_3 = K_u$

$$\beta = k_1 \psi + k_2 \varepsilon$$

повинно враховувати різні значення кутової швидкості на початку повороту і наприкінці, по досягненню заданого курсу ухилення  $K_u$ .

Судно не може миттєво змінити кутову швидкість на початку повороту від нуля до  $\omega_3$  і в кінці повороту від  $\omega_3$  до нуля. Наявність цих стрибків у задаючій функції призводить на початку повороту до надмірної перекладки керма, а в кінці його - до істотного ризику.

Значення курсу  $K_3$ , або як в нашому випадку  $K_u$ , повинно бути таким, щоб забезпечити безпечно розходження суден. Існує декілька моделей, запропонованих науковцями [13-16], з визначення безпечного курсу ухилення. Одна з них полягає в використанні небезпечних областей, при знаходженні в яких виникає загроза зіткнення або небезпечного зближення. Відповідно до зазначеного, безпечний курс, курс ухилення  $K_u$ , для автоматизації процесу керування, буде поза межами небезпечних областей, значення кордонів яких можуть бути визначені використовуючи вирази наведені нижче.

Так як небезпека зіткнення виникає при зближенні суден, то рівняння кордонів небезпечних областей, при зближенні суден, визначається рівнянням [16]:

$$K_i = \gamma_{ij} + \arcsin \{ \rho_{ij} [\sin (K_j - \gamma_{ij})] \}.$$

Вираз вище характеризує межу між небезпечною і допустимою областями курсів  $K_i$  і  $K_j$ , а область значень змінної  $K_j$  визначається виразом [16]:

$$K_j \in \{S_1 \cup S_2\}.$$

У цьому виразі, області  $S_1$  і  $S_2$  можливих значень курсу  $K_j$  аналітично визначаються наступним чином [16]:

$$S_1 = [\gamma_{ij} + 2\pi - \arcsin(\rho_{ij}^{-1}), \gamma_{ij} + \arcsin(\rho_{ij}^{-1})],$$

$$S_2 = [\gamma_{ij} + \pi - \arcsin(\rho_{ij}^{-1}), \gamma_{ij} + \pi + \arcsin(\rho_{ij}^{-1})].$$

Таким чином значення курсу ухилення  $K_u$ , яке в автоматизованій системі буде заданим курсом  $K_3$ , може бути визначене за допомогою наведених виразів і належати до областей можливих значень курсу.

#### **Висновки:**

1. Аналіз процесу вибору курсу ухилення показав, що в ході аналізу ситуації зближення суден, виникає питання поділу пари судів на оперуюче судно і судно ціль, а також класифікація ситуації надмірного зближення згідно правил МПЗЗС-72, згідно з якими визначається послідовність виконання маневрів, судами учасниками, для запобігання зіткнення або надмірного зближення.

2. Був проведений аналіз існуючих моделей руху судна, в обраній системі координат, а також систем автоматичної стабілізації судна на курсі, який показав ефективність використання принципу виконання поворотів методом спостереження за заданим впливом.

3. Для подальших розробок алгоритму і формалізації процесу автоматичного вибору курсу ухилення судна пропонується використання даного принципу виконання поворотів.

4. Розроблено алгоритм загальної стратегії автоматизації вибору курсу ухилення, з урахуванням вимог правил МПЗЗС–72, що дозволяє визначити послідовність виявлення ситуації небезпечного зближення і критерії необхідності зміни курсу з курсу утримання на курс ухилення.

5. Пропонується для подальшої розробки моделі процесу автоматизації розходження суден, в ситуації небезпечного зближення, використати область допустимих значень курсів, для визначення курсу ухилення.

6. Для побудови ефективної моделі ІСК пропонується використати багаторівневий математичний опис, що складався б з підсистеми різних рівнів.

### References

1. Zinchenko, S. N., Liashenko, V. G. (2017). Raskhozhdenie s manevriruiushchimi tseliami [Discrepancy with maneuvering targets]. *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii = Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Academy*, № 2 (17), P. 36–43 [in Russian].
2. Nosov, P. S., Voloshynov, S. A., Ben, A. P., Novykov, A. V. (2017). Modeliuvannia intelektualnoi diialnosti osoby shcho pryimaie rishennia v umovakh pozashatnykh sytuatsii pry upravlinni sudnom [Modeling of intellectual activity of the decision-maker in the conditions of extraordinary situations at management of the vessel]. *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii = Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Academy*, № 2 (17), P. 238–243 [in Ukrainian].
3. Krasnousova, O. Yu. (2020). Probabilistic method of acceptance control of the fifth-level automatic driving system under nonhomogeneous operating conditions. *Elektronika i sistemy upravleniia = Electronics and control systems*. 2020. Vol. 3, No 65. С. 18–21.
4. Piatakov, V. E., Petrichenko, O. A., Kaliuzhnyi, V. V. (2018). Sposob posledovatel'nogo raskhozhdeniia sudna s dvumia opasnymi tseliami [Method of sequential divergence of a vessel with two dangerous targets]. *Avtomatizatsiia sudovykh tekhnicheskikh sredstv = Automation of ship technical equipment: nauchno-tekhnicheskii sbornik NU "Odessaia morskaiia akademiia"*, Vol. 24, P. 81–87 [in Russian].
5. Ben, A. P., Nosov, P. S., Palamarchuk, I. V. (2019). Stvorennia system pidtrymkypryiniattia rishen sudnovodiia z urakhuvanniam liudskoho faktoru pid chas pozashatnykh umov [Establishment of decision support systems for the driver taking into account the human factor during freelance conditions]. *Materialy XI Mizhnarodnoi naukovo praktychnoi konferentsii "Suchasni informatsiini ta innovatsiini tekhnologii na transporti"* (MINT-2019). Kherson. P. 9–10 [in Ukrainian].

### Література

1. Зинченко С. Н., Ляшенко В. Г. Расхождение с маневрирующими целями. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2017. № 2 (17). С. 36–43.
2. Носов П. С., Волошинов С. А., Бень А. П., Новиков А. В. Моделирование интеллектуальной діяльності особи що приймає рішення в умовах позаштатних ситуацій при управлінні судном. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2017. № 2 (17). С. 238–243.
3. Krasnousova O. Yu. Probabilistic method of acceptance control of the fifth-level automatic driving system under nonhomogeneous operating conditions. *Електроніка і системи управління*. 2020. Vol. 3, No 65. С. 18–21.
4. Пятаков В. Э., Петриченко О. А., Калюжный В. В. Способ последовательного расхождения судна с двумя опасными целями. *Автоматизация судовых технических средств: научно-технический сборник НУ "Одесская морская академия"*. Вып. 24. Одесса, 2018. С. 81–87.
5. Бень А. П., Носов П. С., Паламарчук І. В. Створення систем підтримки прийняття рішень судноводія з урахуванням людського фактору під час позаштатних умов. *Матеріали XI Міжнародної науково практичної конференції "Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті"* (MINT-2019). Херсон, 2019. С. 9–10.

6. Perederii, V. I., Borchik, E. Iu., Zdrok, E. V. (2019). Informatcionnaia tekhnologija otcenki veroiatnosti priniatija relevantnykh reshenii pri upravlenii sudnom v realnom vremeni [Information technology for assessing the probability of making relevant decisions when navigating a ship in real time]. *Materialy XI Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii "Suchasni informatsiini ta innovatsiini tekhnologii na transporti"* (MINT-2019), Kherson, P. 116–119 [in Russian].

7. Petrichenko, E. A., Kozachenko, A. Iu. (2019). Analiz vozmozhnosti razrobotki informatcionnoi sistemi preduprezhdeniia stolknoveniia sudov [Analysis of the possibility of developing an information system for preventing collisions of ships]. *Materialy XI Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii "Suchasni informatsiini ta innovatsiini tekhnologii na transporti"* (MINT-2019), Kherson, 2019. C. 192–195 [in Russian].

8. Burmaka, I. A., Ianchetkii, A. V. (2020). Otcenka veroiatnosti stepeni opasnosti sblizhenniia sudov [Assessment of the likelihood of the degree of danger of approaching ships]. *Sudovozhdenie = Navigation: Sb. nauchn. trudov / NU "OMA". Vol. 30. Odessa: IzdatInform. P. 27–33* [in Russian].

9. Volkov, Ye. L. (2018). Sposib vyboru kursu ukhlyennia sudna dlia bezpechnoho rozkhodzhennia [The method of choosing the course of evasion of the vessel for safe separation]. *Suchasni informatsiini ta innovatsiini tekhnologii na transporti (MINTT-2018): materialy X Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii* (m. Kherson, 29–31 travnia, 2018 r.). Kherson: Khersonska derzhavna morskakademiia. P. 103–106 [in Ukrainian].

10. Volkov, Y. L. (2019). A study of decomposition of a group of ships for preliminary forecasting of dangerous approaching. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. PC "Technology Center" Ukrainian State University of Railway Transport, No. 3/3 (99), P. 6–12. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.165684>.

11. Solovey, O., Ben, A., Dudchenko, S., Nosov, P. (2020). Development of control model for loading operations on Heavy Lift vessels based on inverse algorithm. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, No. 5/2 (107), P. 48–56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214856>.

12. Volkov, Ye. L. (2020). Analiz manevruvaniia suden u hrupi pry zblyzhenni dekilka suden [Analysis of maneuvering of vessels in a group when several vessels approach]. *Materialy KhII Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii "Suchasni informatsiini ta innovatsiini*

6. Передерий В. И., Борчик Е. Ю., Здрок Е. В. Информационная технология оценки вероятности принятия релевантных решений при управлении судном в реальном времени. *Матеріали XI Міжнародної науково практичної конференції "Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті"* (MINT-2019), Херсон, 2019. С. 116–119.

7. Петриченко Е. А., Козаченко А. Ю. Анализ возможности разработки информационной системы предупреждения столкновения судов. *Матеріали XI Міжнародної науково практичної конференції "Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті"* (MINT-2019), Херсон, 2019. С. 192–195.

8. Бурмака И. А., Янчецкий А. В. Оценка вероятности степени опасности сближения судов. *Судовождение: Сб. научн. трудов / НУ «ОМА». Вып. 30. Одесса: ИздатИнформ, 2020. С. 27–33.*

9. Волков Є. Л. Спосіб вибору курсу ухилення судна для безпечного розходження. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018): матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Херсон, 29–31 травня, 2018 р.). Херсон: Херсонська державна морська академія, 2018. С. 103–106.

10. Volkov Y. L. A study of decomposition of a group of ships for preliminary forecasting of dangerous approaching. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. PC "Technology Center" Ukrainian State University of Railway Transport. 2019. No. 3/3 (99). P. 6–12. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.165684>.

11. Solovey O., Ben A., Dudchenko S., Nosov P. Development of control model for loading operations on Heavy Lift vessels based on inverse algorithm. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. No. 5/2 (107). P. 48–56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214856>.

12. Волков Э. Л. Анализ маневрування суден у групі при зближенні декілька суден. *Матеріали XII Міжнародної науково практичної конференції "Сучасні інформаційні та інноваційні технології на*

tekhnologii na transporti" (MINT-2020), Kherson, P. 192–195 [in Ukrainian].

13. Burmaka, I. A., Piatakov, E. N., Bulgakov, A. Iu. (2016). Upravlenie sudami v situatsii opasnogo sblizheniia [Management of ships in a situation of dangerous proximity]. LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken (Germaniia). 585 p. [in Russian].

14. Maltcev, A. S., Tiupikov, E. E., Vorokhobin, I. I. (2013). Manevrirovaniye sudov pri raskhozhdenii [Maneuvering vessels when diverging]. Odessa: Morskoi trenazhernyi tcentr. 304 p. [in Russian].

15. Tsybal, N. N., Burmaka, I. A., Tiupikov, E. E. (2007). Gibkie strategii raskhozhdeniia sudov [Flexible ship divergence strategies]. Odessa: KP OGT. 424 p. [in Russian].

16. Piatakov, E. N., Buzhbetkii, R. Iu., Burmaka, I. A., Bulgakov, A. Iu. (2015). Vzaimodeistvie sudov pri raskhozhdenii dlia preduprezhdeniia stolknoveniia [Interaction of vessels in case of divergence to prevent collision]. Kherson: Grin D.S., 2015. 312 s. [in Russian].

17. Vagushchenko, L. L., Tsybal, N. N. (2007). Sistemy avtomaticheskogo upravleniia dvizheniem sudna [Automatic ship traffic control systems. 3rd ed., Rev. and add.]. 3-e izd., pererab. i dop. Odessa: Feniks. 328 p. [in Russian].

транспорті" (МІНТ-2020), Херсон, 2020. С. 192–195.

13. Бурмака І. А., Пятаков Э. Н., Булгаков А. Ю. Управление судами в ситуации опасного сближения. LAP LAMBERT Academic Publishing, Саарбрюккен (Германия), 2016. 585 с.

14. Мальцев А. С., Тюпиков Е. Е., Ворохобин И. И. Маневрирование судов при расхождении. Одесса: Морской тренажерный центр, 2013. 304 с.

15. Цымбал Н. Н., Бурмака И. А., Тюпиков Е. Е. Гибкие стратегии расхождения судов. Одесса: КП ОГТ, 2007. 424 с.

16. Пятаков Э. Н., Бужбецкий Р. Ю., Бурмака И. А., Булгаков А. Ю. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения. Херсон: Гринь Д.С., 2015. 312 с.

17. Вагущенко Л. Л., Цымбал Н. Н. Системы автоматического управления движением судна. 3-е изд., перераб. и доп. Одесса: Фенікс, 2007. 328 с.

**TERENTYEV VLADYSLAV**

Department of Ship Electrical Equipment and  
Automatic Devices Operation,  
Kherson State Maritime Academy, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-9798-678X>  
E-mail: [terentyevBlackthorn@gmail.com](mailto:terentyevBlackthorn@gmail.com)

**ТЕРЕНТЬЕВ В. А.**

Херсонская государственная морская академия, Украина  
**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБЩЕЙ СТРАТЕГИИ  
АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫБОРА КУРСА**

**Аннотация.** При маневрировании судов, основной причиной аварийности является то, что судоводители не всегда объективно оценивают ситуацию и неправильно принимают решения по расхождению при ситуации опасного сближения или возникновения опасности столкновения. Рассматривается автоматизация выбора курса уклонения, как автоматизации процесса расхождения.

**Цель.** В статье освещаются задачи формализации курса уклонения, как величины автоматического управления, и предлагается разработка алгоритма стратегии изменения курса.

**Методика.** Провели обработку практических данных собственного судна. Проанализировали существующие модели движения судна, а также системы автоматической стабилизации судна. Для построения алгоритма провели декомпозицию МПЗС–72 относительно принадлежности начальной ситуации судов к одной из областей взаимных обязанностей.

**Результат.** По результатам исследования данной темы был разработан алгоритм общей стратегии выбора курса уклонения судна, с учетом требований правил МППСС–72. Рассмотрены типы управления автоматическими регуляторами и их ограничения в начальный и конечный моменты поворота судна. Было обнаружено, что для построения модели интегрированной системы управления

необходимо составить многоуровневое математическое описание, включающее подсистемы различных уровней.

**Научная новизна.** Определена эффективность использования принципа выполнения поворотов методом наблюдения за заданным воздействием проанализировав существующие модели движения судна. Предложено использование областей допустимых значений курсов при разработке модели процесса автоматизации расхождения судов.

**Практическая значимость.** Разработан алгоритм общей стратегии автоматизации выбора курса уклонения.

**Ключевые слова:** управления курсом судна; курс уклонения судна; область значений; область взаимных обязанностей.

TERENTYEV V. A.

Kherson State Maritime Academy, Ukraine

### DEVELOPMENT OF GENERAL STRATEGY ALGORITHM OF COURSE SELECTION AUTOMATION

**Annotation.** During ships maneuvering, the main cause of accidents is that navigators do not always objectively assess the situation and may make wrong decisions on the identification situation of a dangerous approach and a collision hazard. The automation of the deviation course choice is considered as the automation avoidance process.

**Purpose.** The article highlights the tasks of formalizing the deviation course as a value of automatic control, and proposes the development of an algorithm for the strategy of changing the course.

**Methodology.** Conducted processing of practical data of own vessel. The existing models of the ship's movement were analyzed, as well as the systems for the automatic stabilization of the ship. To construct the algorithm, the COLREGs-72 was decomposed with respect to the belonging of the initial situation of the vessels to one of the areas of mutual obligations.

**Findings.** According to the results of the given theme, an algorithm of the general strategy of choosing the course of evasion of the vessel was developed, considering the requirements of COLREG-72 rules. It was considered the types of control of automatic regulators and their limitations at the initial and final moments of the ship's turn. It was found out. It is necessary to create a multilevel mathematical description, which will include subsystems of different levels, to build a model of an integrated control system.

**Originality.** It was determined the efficiency of using the principle of execution of ship's turns by the method of observation with a given influence by analyzing the existing models of ship's movement. It was offered to use the range of acceptable values of courses during the development of the model of automation ship avoidance process.

**Practical value.** An algorithm for the general strategy of automation of the avoidance course selection was developed.

**Keywords:** ship's course handling; ship's avoidance course; range of values; range of mutual obligations.

УДК 628.977.9

ЦИБУЛЯ М. В., ОЛЕЙНИКОВА І. В.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

## ОСВІТЛЕННЯ ВХІДНОЇ ГРУПИ З ЕЛЕМЕНТОМ РЕЖИМУ ОЧІКУВАННЯ ДЛЯ ЗАКЛАДІВ ЦІЛОДОВОВОЇ РОБОТИ

**Мета.** Головною метою дослідження є створення енергоефективних рішень при проектуванні освітлення вхідної групи для випадку коли об'єкт має забезпечувати цілодобове функціонування

**Методика.** Для досягнення поставленої мети розроблена методика багаторівневого підключення джерел світла різної інтенсивності. Керування процесами регулювання рівнів здійснюється за допомогою датчиків руху.

**Результати.** Сучасний рівень LED продукції дозволяє використовувати світлодіодні джерела освітлення в якості універсальних, що дозволяють реалізувати будь-яке проектне рішення. Впровадження датчиків руху в якості елементів регулювання інтенсивності світла дозволяє отримати більш ніж 50 відсотків економії електроенергії. Цікаві дизайнерські рішення допомагають створити світлові акценти без створення занадто великого освітлення на певних об'єктах.

**Наукова новизна.** В роботі поєднані системи багаторівневого освітлення з використанням датчиків руху, в якості перемикачів, що працюють в темну пору доби. Авторами запропоновано послідовність підключення рівнів системи для створення найбільш комфортного перебування та гарного першого враження про заклад. Така система дозволяє використовувати освітлення не тільки для практичних цілей, а і максимально привабливого візуального вигляду.

**Практична значимість.** Універсальність даної методології дозволяє застосовувати її для об'єктів різного призначення, в тому числі цілодобового обслуговування. Проте важливо планувати подібну систему освітлення ще на етапі проектування будівлі, щоб отримати максимальну економічну вигоду.

**Ключові слова:** енергоефективність; енергозбереження; вхідна група; багаторівнева система освітлення; датчики руху; LED технології.

**Вступ.** Деякі заклади змушені працювати цілодобово для надання повного спектра послуг. Прикладами таких закладів можуть бути готелі, які повинні приймати своїх відвідувачів в будь-який час доби. У зв'язку з чим, вони стають об'єктами підвищених енерговитрат.

З іншого боку, недостатнє освітлення буде створювати дискомфорт для відвідувачів, що буде зменшувати попит на даний об'єкт. Ця проблема також буде негативно впливати й на персонал, знижуючи працездатність та погіршуючи їх емоційний стан. Підвищення енергоефективності таких закладів може бути досягнуто здебільшого завдяки організаційним змінам у системі управління освітлення.

Вхідна група створює перше враження, яке відвідувач отримує при відвідуванні закладу, тому доцільно організоване освітлення є однією із найважливіших складових дизайну. Деякі спеціалісти намагаючись досягти привабливого візуального вигляду керуються принципом «чим більше – тим краще». При цьому вони не звертають увагу на надмірне споживання електроенергії, що спричиняє ще і дуже великі матеріальні витрати. У вирішенні цього питання може допомогти створення автоматичного регулювання та вчасного вмикання світла за допомогою спеціалізованих пристроїв. Це допоможе суттєво знизити витрати на електроенергію та підвищити термін експлуатації світлового обладнання.

**Постановка завдання.** Для створення сприятливих умов, які покращуватимуть емоційний стан відвідувачів та працівників закладів, пропонується ряд рішень в освітленні вхідних груп, які будуть значно мінімізувати енерговитрати. Керування буде здійснюватися за допомогою датчиків руху та багаторівневого підключення світлодіодних джерел освітлення.

Така система підключення дає змогу зробити акценти на певних об'єктах, а також поліпшує естетичну складову та атмосферу в цілому.

**Результати дослідження.** На сьогодні актуальність енергоефективності та енергозбереження в пріоритеті. Разом з підвищенням необхідності в споживанні електроенергії в сучасному світі зростає і світлове забруднення, а також погіршення екології та зміни клімату. У таких умовах енергоефективність та енергозбереження є важливим аспектом для конкурентоспроможності будь-якого підприємства.

В результаті підвищення енергетичної ефективності та енергозбереження може виникнути хвильовий ефект у всій економіці, що позитивно вплине на її розвиток в цілому. У країні вже введено проведення політики енергозбереження, але далеко не всі механізми та фактори її реалізації знаходять своє відображення в існуючому законодавчо-нормативному забезпеченні, що відповідно позначається на їх ефективності, отже результат залежить від внеску кожного з нас.

Для визначення основних тепловитрат в будівлі, а згодом і впровадження енергозберігаючих заходів визначаються чинники, які негативно впливають на експлуатаційну надійність будівлі, а також роботу її інженерних систем. На основі цього аналізу визначається необхідні заходи з підвищення енергоефективності конкретної будівлі та вказуються терміни впровадження, витрати реалізацію і термін їх окупності.

Значний потенціал енергозбереження залежить від сфери освітлення, який відкриває для нас розвиток світлотехнічних галузей. Це стало можливим завдяки світлодіодним LED технологіям, які належать до енергозберігаючого освітлення. Вони дають можливість покращити рівень комфорту для очей людини вночі, в короткий світловий день, коли темніє раніше або в будівлях, в яких є недостатність природного освітлення. Також дозволяє мінімізувати витрати на обслуговування систем, так як світлодіодні світильники майже ніколи не перегорають, з часом просто знижується їх продуктивність. У порівнянні зі звичайними світильниками споживання електрики скорочується в кілька разів. Перехід компанії на цей вид освітлення окупається протягом 1–3 років. Аналіз компаній, що є виробниками світлодіодної продукції показав такі переваги останньої:

- Надійність. Такі пристрої мають високу міцність – лампи стійкі до вібрацій та механічних впливів. Останнім часом для підвищення надійності використовують спеціальні запобіжники, які захищають світлодіод від різкої зміни напруги.

- Безпечність. *Світлодіодні світильники* цілком безпечні для здоров'я та життєдіяльності людини, а також не шкодять довкіллю. Тому що вони не мають радіоактивного випромінювання. Крім того, відсутність ртуті та інших шкідливих речовин знижує витрати на утилізацію.

- Довго строковість. Термін служби *LED ламп* – до 50 тисяч годин безперервної роботи, що означає їх не часту заміну. Виходячи з цього можна сказати, що світлодіодні лампи більш вигідні за інші види ламп.

- Високий рівень кольоропередачі і освітленості. Світлодіоди гарантують контрастність та чітку передачу кольору (рис. 1).

- Велика еквівалентна потужність. Використання ламп малої потужності гарантує достатнє освітлення навіть для роботи з дрібними деталями.

- Висока ефективність роботи при будь яких зовнішніх факторах, що забезпечує їх універсальність, що дозволяє застосовувати їх в таких сферах, як внутрішнє освітлення (житлові, торгові або промислові приміщення), зовнішнє (освітлення вулиці та транспортних доріг), декоративне освітлення (екстер'єр, інтер'єр, ландшафт).

- 100% освітлення з першої секунди роботи. *LED лампи* характеризуються без інерційним включенням.

Важливою характеристикою всіх с LED світильників є колірна температура (рис. 1). Проектуючи вхідну групу для певного закладу ми можемо варіювати значення цієї температури в залежності від функціонального призначення та географічного розташування об'єкту. Діапазон зміни колірної температури представлена на рис. 1. Для прикладу візьмемо проект вхідної групи готелю що розташований в одному з гірськолижних курортів. Для освітлення фойє в такому випадку доцільно використати температуру 2700 Кельвінів.



Рис. 1. Колірна температура в Кельвінах

При освітленні вхідної групи в першу чергу потрібно розуміти для яких цілей буде використовуватись будівля. Виходячи з цього будуть розставлятись світлові акценти в потрібних місцях для створення необхідної атмосфери.

Також є загальні правила для освітлення внутрішньої вхідної групи. В першу чергу для досягнення максимальної енергоефективності рекомендується використовувати якнайбільше природного (сонячного) світла. Для цього часто використовують різного виду скло, в якості як окремих елементів (вікон) так і замість деяких стін. Новітні технології дозволяють створювати «розумне» скло, яке може, шляхом перемикавання, перетворюватись з прозорого на непрозоре.

Зауважимо, економічно доведено, що проектування освітлення слід проводити паралельно з розробкою проекту самої будівлі, оскільки будь які зміни у вже зробленому освітленні будуть вимагати набагато більше матеріальних витрат. Такі параметри, як географічне розташування, природні кліматичні умови, ландшафтний дизайн місцевості суттєво впливають на правильне освітлення інтер'єру.

Наступним важливим правилом, з метою акцентування уваги на важливих елементах, таких як ресепшн, вхід, коридори та інше використовують спеціальні світлові акценти, що привертають до себе увагу. Дизайнерське оформлення ресепшн включає в себе підбір незвичних матеріалів для стійки. Зараз особливо популярні екологічні матеріали, матеріали із вторинної сировини або матеріали які піддаються переробці. На еко хвилі дизайнери пропонують оформляти стіл рослинністю наприклад мохом (рис. 2).

Освітлення грає важливу роль, як з практичної сторони, так і для декоративного оформлення (рис. 3). При цьому основна задача не зробити перезасвічення цих зон, щоб задовольнити концепцію енергозбереження. Тому задачею дизайнера є створення освітлення, яке привертає увагу відвідувача з мінімальною кількістю енергетичних витрат.



Рис. 2. Ресепшн зі справжнім мохом



Рис. 3. Декоративне оформлення ресепшн

Використання різнокольорової підсвітки є також цікавим методом виділення даного об'єкту від оточуючого інтер'єру. Вирішити це питання зможе лише спеціаліст зі світло дизайну якій буде розглядати цю проблему у комплексі.

Як згадувалося раніше, деякі вхідні групи мають працювати цілодобово, але залишатись в режимі очікування. Такий режим передбачає що при відсутності відвідувачів світло має мінімальну інтенсивність або вимикається зовсім, та при появі клієнтів освітленість має підвищуватись до значень що відповідають нормам ДБН (від 150 до 200 Лк).

Розв'язати задачу поступової зміни освітленості можна двома способами. Перший з них полягає у використанні димірування. Цей метод полягає у використанні декількох режимів включення однієї лінії світла, але основним його недоліком є те, що не всі освітлювальні джерела є підходящими для цього. Деякі з них при зміні режиму можуть просто вимикатися, що призводить до нестабільності світлової системи.

В даній роботі пропонується інший метод. Якщо створити декілька паралельних ліній підключення, що спрацьовують завдяки датчиками руху можна використовувати лампи різної

якості та функціональності. Така система надасть можливість не витратити лишні кошти на придбання джерел світла, а користуватись більш дешевими аналогами.

Датчики руху бувають:

- Інфрачервоні датчики руху (рис. 4). Працюють на основі інфрачервоних сенсорів, які відчують температури предметів (інфрачервоне випромінювання). Їх недоліком є помилкова реакція на елементи системи опалення або лампи розжарювання.



Рис. 4. Інфрачервоні датчики руху

- Ультразвукові датчики руху (рис. 5). Досліджуючи навколишнє середовище за допомогою звукових хвиль, відчують зміну частоти, так як стикаючись з перешкодою, ультразвук відбивається і повертається до приймача. Після цього датчик запускає сирену.

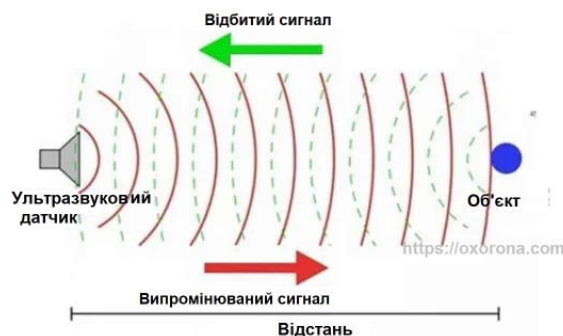


Рис. 5. Ультразвукові датчики

- Мікрохвильові датчики руху (рис. 6) випромінюють високочастотні електромагнітні хвилі, які відбиваючись від оточуючих об'єктів реєструються сенсором. Якщо датчик відчує зміну в відбитих електромагнітних хвилях, включиться сирена. На сьогодні це найчутливіші та найдорожчі моделі для включення світла, працездатність якого не залежить від температури навколо та об'єктів, а також має більш компактні розміри.

- Лазерні датчики руху або фотодатчики мають лазерний світлодіод і фотодіод, що вмонтовуються в контрольованій області. Світлодіод випромінює сигнал, який поширюється в навколишній простір. Як тільки в області дії виникає об'єкт, що перепиняє світловий потік, він відбивається і сприймається фотодіодом. З фотодіода сигнал подається на виконавчий пристрій датчика руху (реле).

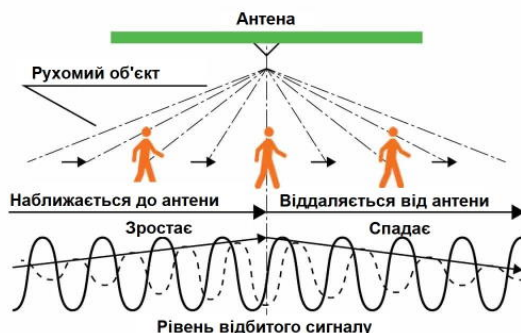


Рис. 6. Мікрохвильові датчики

- Томографічні датчики руху використовують радіохвилі. На відміну від інших моделей такі датчики здатні проникати за стіни і інші перешкоди. Вони використовуються для ввімкнення освітлення на великих площах, в торгових центрах і т.д.

Регулювати рівень освітлення в приміщеннях цілодобової роботи можна різними методами. Інколи для цього використовують демірування, що поєднується з датчиками руху, але таке регулювання накладає певні вимоги на вибір самих джерел світла. Це пов'язано з тим, що не всі види ламп можуть бути включені в мережу з димером. В роботі пропонується використання іншого методу – багаторівнева система освітлення.

Багаторівнева система освітлення – це набір освітлювальних приладів, які розташовуються на різній висоті. Комбінація приладів дає можливість змінювати інтенсивність та висоту освітлення, виходячи з потреб. Розрізняють 4 типи такого освітлення:

1. Верхнє – основне призначення якого робити кімнату в цілому світлішою.
2. Середнє або робоче освітлення. Його основна мета освітити робочі зони, які потребують найбільшої концентрації уваги. Таке світло додає об'єму кімнаті і за рахунок того що використовується для декоративного підкреслення інтер'єру.
3. Нижнє освітлення тому що освітлювальні прилади розташовані нижче рівня очей людини.
4. Внутрішнє світло використовується для підсвітки шаф та полицок.

В дизайні вхідної групи перший рівень підключення освітлення можна також розташувати нижче рівня очей, але розташувати його по периметру приміщення, щоб відвідувач міг отримати уявлення про його розмір та завдяки прозорим стінам побачити його зовні, навіть не потрапляючи в приміщення. В нашому випадку це буде основне освітлення при відсутності відвідувачів. Потужність такого освітлення має бути невеликою і температуру бажано підбирати теплого кольору для створення привітної та затишної атмосфери.

При потраплянні людини в середину приміщення, завдяки датчикам руху буде вмикатися акцентне освітлення. Це освітлення має привертати увагу до таких зон обслуговування як ресепшн. В цьому випадку доцільно використовувати біле світло, яке за проектом дизайнера може змінюватись на кольорове. Це світло має таку потужність аби створювати достатню освітленість для заповнення будь-якої документації.

В якості третього рівня ми використовуємо верхнє світло. Це світло має таку потужність аби створювати достатню освітленість для заповнення будь-якої документації.

Система може не обмежуватись трьома рівнями освітленості і містити їх більшу кількість, оскільки існує додаткове освітлення прихованих зон, коридорів та сходів.

**Висновки:** Розглянуто основні особливості освітлення вхідної групи для приміщень сфери обслуговування, які працюють цілодобово. Проаналізована доцільність використання світлодіодних (LED) джерел в якості основних систем для створення світлового простору. Для

забезпечення максимального енергозбереження запропоновано багаторівневу систему освітлення, керування якої відбувається за допомогою датчиків руху. Світловий акцент в проектуванні вхідної групи досягається за допомогою оригінальних світло дизайнерських рішень.

### References

1. Nazarov, M. I. (2015). Enerhoefektyvnist ta enerhozberezhennia yak efektyvni instrumenty pidvyshchennia konkurentospromozhnosti rehionu [Energy efficiency and energy saving as effective tools to increase the competitiveness of the region]. *Naukovyi visnyk Mizhnarodnoho humanitarnoho universytetu = Scientific Bulletin of the International Humanities University*, No. 10. URL: <http://www.vestnik-econom.mgu.od.ua/journal/2015/10-2015/19.pdf> [in Ukrainian].
2. Official website of the Ministry of Development of Communities and Territories of Ukraine. URL: <https://www.minregion.gov.ua/press/news/> [in Ukrainian].
3. Kushlyk, R. V., Kushlyk, R. R. (2020). Rozrobka elektroakustychnoi systemy dlia obrobky sumishevoho biopalnoho v kavitatsiinomu rezhymi [Development of electroacoustic system for processing mixed biofuel in cavitation mode]. *Suchasni problemy innovatsiinoho rozvytku elektrychnoi inzhenerii = Modern problems of innovative development of electrical engineering: materialy I Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii* (Melitopol, 8–26 chervnia 2020 r.). TDATU: Ed. V. M. Kiurchev, V. T. Nadykto, I. P. Nazarenko et al. Melitopol: TDATU. P. 14. [in Ukrainian].
4. Haidym, T. S. Proekt vkhidnoi hrupy ta klasnoho prymishchennia dlia dytiachoi khudozhnoi shkoly [The project of the entrance group and classroom for children's art school]. URL: <http://elibrary.kdpu.edu.ua/bitstream/123456789/3814/1/%D0%93%D0%B0%D0%B9%D0%B4%D0%B8%D0%BC%20%D0%A2.%D0%A1..pdf> [in Ukrainian].
5. Zhemerov, H. H., Tuhai, D. V. (2018). Enerhoefektyvnist system elektropostachannia z napivprovodnykovymy peretvoriuvachamy elektroenerhii: monohrafiia [Energy efficiency of power supply systems with semiconductor power converters: monograph]. Kharkiv: KhNUMH im. O. M. Beketova. 272 p. [in Ukrainian].
6. Zapashchuk, L. V. Enerhozberezhennia yak napriam pidvyshchennia efektyvnosti vyrobnychoi diialnosti. URL: [https://economyandsociety.in.ua/journals/9\\_ukr/74.pdf](https://economyandsociety.in.ua/journals/9_ukr/74.pdf) [in Ukrainian].
7. Hulei, O. V. (2016). Vyrobnyche osvittleniia: klasyfikatsiia ta pryznachennia [Industrial lighting: classification and purpose]. URL: <http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2016/11/167.pdf> [in Ukrainian].

### Література

1. Назаров М. І. Енергоефективність та енергозбереження як ефективні інструменти підвищення конкурентоспроможності регіону. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету*. 2015. № 10. URL: <http://www.vestnik-econom.mgu.od.ua/journal/2015/10-2015/19.pdf>.
2. Офіційний веб сайт Міністерства розвитку громад та територій України. URL: <https://www.minregion.gov.ua/press/news/>
3. Кушлик Р. В., Кушлик Р. Р. Розробка електроакустичної системи для обробки сумішевого біопального в кавітаційному режимі. *Сучасні проблеми інноваційного розвитку електричної інженерії: матеріали I Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції* (Мелітополь, 8–26 червня 2020 р.). ТДАТУ: ред. кол. В. М. Кюрчев, В. Т. Надикто, І. П. Назаренко та ін. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 14.
4. Гайдим Т. С. Проект вхідної групи та класного приміщення для дитячої художньої школи. URL: <http://elibrary.kdpu.edu.ua/bitstream/123456789/3814/1/%D0%93%D0%B0%D0%B9%D0%B4%D0%B8%D0%BC%20%D0%A2.%D0%A1..pdf>.
5. Жемеров Г. Г., Тугай Д. В. Енергоефективність систем електропостачання з напівпровідниковими перетворювачами електроенергії: монографія. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 272 с.
6. Запашук Л. В. Енергозбереження як напрям підвищення ефективності виробничої діяльності. URL: [https://economyandsociety.in.ua/journals/9\\_ukr/74.pdf](https://economyandsociety.in.ua/journals/9_ukr/74.pdf).
7. Гулей О. В. Виробниче освітлення: класифікація та призначення. URL: <http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2016/11/167.pdf>.

8. Dymiruiemi lampy – shcho tse? [Dimmable lamps - what is it?]. URL: <https://milight.com.ua/ua/dimmiruemye-lampy-chto-eto/> [in Ukrainian].
9. Pavlov, M., Kruhliakov, K. Osnovni kharakterystyky datchykyv rukhu. URL: <http://ukrbukva.net/78390-Osnovnye-harakteristiki-datchikov-dvizheniya.html> [in Ukrainian].
10. Dmytrenko, A. A. Svetoyzluchaiushchye diody. Svitlodiodne osvittennia. URL: [http://8ref.com/19/referat\\_197119.html](http://8ref.com/19/referat_197119.html) [in Ukrainian].
11. Da Wang (2014). Hotel Lobby Lighting Design: A Cross-Cultural Comparison. Master of Interior Design University of Florida. URL: <https://ufdc.ufl.edu/UFE0046754/00001>.
12. Machete, F., Hongoro, C., Nhamo, G. & Mearns, K. (2015). Influence of energy saving on the quality of lighting services on selected hotels in Mpumalanga, Republic of South Africa. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, Vol. 7, Iss. 4, P. 301–305. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/20421338.2015.1082369?journalCode=rajs20>.
8. Диміруємі лампи – що це? URL: <https://milight.com.ua/ua/dimmiruemye-lampy-chto-eto/>
9. Павлов М., Кругліяков К. Основні характеристики датчиків руху. URL: <http://ukrbukva.net/78390-Osnovnye-harakteristiki-datchikov-dvizheniya.html>.
10. Дмитренко А. А. Светоизлучающие диоды. Світлодіодне освітлення. URL: [http://8ref.com/19/referat\\_197119.html](http://8ref.com/19/referat_197119.html).
11. Da Wang. Hotel Lobby Lighting Design: A Cross-Cultural Comparison. Master of Interior Design University of Florida. 2014. URL: <https://ufdc.ufl.edu/UFE0046754/00001>.
12. Machete F., Hongoro C., Nhamo G. & Mearns K. Influence of energy saving on the quality of lighting services on selected hotels in Mpumalanga, Republic of South Africa. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*. 2015. Vol. 7, Iss. 4. P. 301–305. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/20421338.2015.1082369?journalCode=rajs20>.

**TSYBULYA MILANA**  
Kyiv National University of  
Technologies and Design, Ukraine  
E-mail: [milana.ts@ukr.com](mailto:milana.ts@ukr.com)

**OLEINIKOVA IRYNA**  
PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor,  
Department of Applied Physics and Higher Mathematics,  
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-1756-5203>  
Scopus Author ID: 57191975872  
E-mail: [olejnikova.iv@knutd.com.ua](mailto:olejnikova.iv@knutd.com.ua)

## ЦИБУЛЯ М. В., ОЛЕЙНИКОВА И. В.

### Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина ОСВЕЩЕНИЕ ВХОДНОЙ ГРУППЫ С ЭЛЕМЕНТАМИ РЕЖИМА ОЖИДАНИЯ ДЛЯ УЧРЕЖДЕНИЙ КРУГЛОСУТОЧНОЙ РАБОТЫ

**Цель.** Главной целью исследования является создание энергоэффективных решений при проектировании освещения входной группы для случая когда объект должен обеспечивать круглосуточное функционирование

**Методика.** Для достижения поставленной цели разработана методика многоуровневого подключения источников света разной интенсивности. Управление процессами регулирования уровней осуществляется с помощью датчиков движения.

**Результаты.** Современный уровень LED продукции позволяет использовать светодиодные источники освещения в качестве универсальных, позволяющие реализовать любое проектное решение. Внедрение датчиков движения в качестве элементов регулирования интенсивности света позволяет получить более 50 % экономии электроэнергии. Интересные дизайнерские решения помогают создать световые акценты без создания слишком большого освещения на определенных объектах.

**Научная новизна.** В работе объединены системы многоуровневого освещения с использованием датчиков движения, в качестве переключателей, работающих в темное время суток. Авторами предложена последовательность подключения уровней системы для создания наиболее комфортного пребывания и хорошего первого впечатления о заведении. Такая система позволяет

использовать освещение не только для практических целей, а и максимально привлекательного визуального вида.

**Практическая значимость.** Универсальность данной методологии позволяет применять ее для объектов различного назначения, в том числе круглосуточного обслуживания. Однако важно планировать подобную систему освещения еще на этапе проектирования здания, чтобы получить максимальную экономическую выгоду.

**Ключевые слова:** энергоэффективность; энергосбережение; входная группа; многоуровневая система освещения; датчики движения; LED технологии.

**TSYBULYA M. V., OLEYNIKOVA I. V.**

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

### **LIGHTING OF THE ENTRANCE GROUP WITH ELEMENTS OF THE STANDBY MODE FOR ESTABLISHMENTS OF ROUND-THE-CLOCK WORK**

**Purpose.** The main purpose of the study is to create energy-efficient solutions when designing the lighting of the entrance group for the case when the object must provide round-the-clock operation

**Methodology.** To achieve this goal, a method for multi-level connection of light sources of different intensities has been developed. The control of the processes of level regulation is carried out using motion sensors.

**Results.** The modern level of LED products makes it possible to use LED lighting sources as universal ones, allowing you to implement any design solution. The introduction of motion sensors as elements for regulating the intensity of light allows to obtain more than 50% energy savings. Interesting design solutions help create light accents without creating too much lighting on certain objects.

**Scientific novelty.** The work combines multilevel lighting systems using motion sensors as switches operating at night. The authors proposed a sequence of connecting the levels of the system to create the most comfortable stay and a good first impression of the institution. Such a system makes it possible to use lighting not only for practical purposes, but also for the most attractive visual appearance.

**Practical significance.** The versatility of this methodology allows it to be applied to objects of various purposes, including round-the-clock service. However, it is important to plan for such a lighting system even at the design stage of the building in order to obtain the maximum economic benefit.

**Keywords:** energy efficiency; energy saving; entrance lobby; multi-level lighting system; motion sensors; LED technologies.

УДК 677.075.3:  
620.17

ЄЛІНА Т. В., ГАЛАВСЬКА Л. Є., ЩЕРБАНЬ В. Ю.,  
КОЛИСКО О. З., БОБРОВА С. Ю.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

### КАРКАСНА МОДЕЛЬ ОДНООСНОГО РОЗТЯГУВАННЯ КУЛІРНОГО ТРИКОТАЖУ ВЗДОВЖ ПЕТЕЛЬНИХ СТОВПЧИКІВ

**Мета.** Метою даного дослідження є розробка каркасної моделі розтягування кулірного трикотажу вздовж петельних стовпчиків, придатної для подальшої інтеграції у алгоритм побудови тривимірної моделі трикотажу у стані розтягу та моделювання інтерактивної динаміки деформацій.

**Методика.** У процесі дослідження використано методи теоретичного аналізу, основні положення теорії в'язання, топологічна модель трикотажу, методи геометричного моделювання та параметризації.

**Результати.** Моделювання фізико-механічної поведінки трикотажу у комп'ютерному середовищі є одним з перспективних шляхів підвищення рівня відповідності трикотажних виробів вимогам комфортності та функціональності. Однак складність внутрішньої будови, анізотропія властивостей та нестабільність параметрів петельної структури обумовлюють необхідність пошуку нетривіальних шляхів вирішення задачі математичного опису тривимірної моделі нитки, пров'язаної у трикотаж, з урахуванням деформацій розтягування.

У ході дослідження розроблено каркасну модель одноосного розтягу трикотажу вздовж петельних стовпчиків. В основу каркасної моделі покладено уявлення про трикотаж як логічно-впорядкований набір елементів, кожен з яких пов'язаний з іншими елементами відповідно до топології переплетення. Каркас фрагмента трикотажу описується як набір стержнів та шарнірів. Шарніри розташовані у точках переплетення голкових та платинних дуг петель, а кожен стержень у моделі є уявним елементом, який репрезентує комплекс силових факторів, що перешкоджають зміні відстані між шарнірами, з'єднаними даним стержнем.

У процесі деформування геометричні характеристики елементів змінюються, тоді як логічні зв'язки залишаються незмінними. Каркасна модель дозволяє визначити координати точок переплетення у системі координат зразка, відносно розташування систем координат кожного елементарного фрагменту, що відповідають окремим петлям, координат характерних точок петлі для переходу до тривимірної моделі структури трикотажу.

**Наукова новизна.** Вперше розроблено каркасну модель деформування трикотажу, придатну для тривимірного моделювання його структури з урахуванням деформацій розтягу.

**Практична значимість.** Розроблена модель може бути використана у якості математичного забезпечення систем автоматизованого проектування трикотажу.

**Ключові слова:** трикотаж; каркасна модель; шарнірно-стержньова модель; деформації поздовжнього розтягування.

**Вступ.** Забезпечення комфортності одягу в значній мірі визначається його пружно-еластичними властивостями. Розтяжність трикотажного виробу залежить від його конструкції, структури переплетення, властивостей ниток та інших факторів. Застосування сучасних програмно-аналітичних комплексів розширює можливості вивчення фізико-механічних процесів та властивостей матеріалів шляхом тривимірного моделювання та симуляції. Проте більшість моделей трикотажу описують його структуру в умовно-рівноважному стані.

Порівняно з іншими текстильними матеріалами трикотаж має легкорухому структуру. Процеси деформування трикотажу досліджувались у роботах О.І. Коблякова [1], І.І. Шалова та Л.О. Кудрявіна [2], О.І. Далідовича [3] та ін. У роботах Г. Ліфа [4], О.В. Труєвцева [5], В.П. Щербакова та Н.С. Скуланової [6] знайшло відображення застосування теорії гнучких

пружних стержнів у задачах опису геометрії нитки. Встановлення зв'язку між геометричними характеристиками структури трикотажу та фізико-механічними властивостями трикотажних полотен та виробів є складною багатокомпонентною задачею. З наукових публікацій останніх років відомо про досвід застосування різних підходів до її вирішення. Так, С. Пуанклу зі співавторами [7] досліджують характер розповсюдження деформацій (елементарних переміщень) всередині зразка трикотажу переплетення гладь з нейлонової мононитки під час однобічного розтягування вздовж петельних стовпчиків. Автори аналізують зміну положення геометричного центру кожної петлі на обраному етапі розтягування за фотографічними зображеннями, зробленими через заданий мінімальний інтервал видовження. Автори роботи [8] досліджують способи моделювання сферичної деформації трикотажу переплетення ластик 1x1 з двома системами уткових ниток, розташованих у взаємно перпендикулярних напрямках. Результати роботи свідчать, що інтегровані прямі ділянки армуючих уткових ниток сприймають основне навантаження при розтягуванні. У роботі [9] досліджено захисні властивості 3D тканин з параарамідою сировини з метою вивчення перспектив використання тканин панелей для гнучких і м'яких конструкцій бронежилетів. У процесі моделювання деформацій армувальної тканини у складі композиційного матеріалу [10] розглядають 4 типи моделей: гіпоеластична і гіпереластична суцільні, дискретна (з відображенням окремих ниток) та напівдискретна (semi-discrete) моделі. У дискретній моделі кожна нитка моделюється кінцевими елементами оболонки, враховується контакт з тертям і можливе ковзання між нитками. Напівдискретний підхід характеризується тим, що внутрішня віртуальна робота отримується як сума напруженості, зсуву в площині та згинання всіх сплетених елементарних осередків всередині елемента. Ряд важливих розробок реалізовано дослідниками у сфері комп'ютерної графіки [11–14]. Алгоритм моделювання, запропонований у роботі [11], побудовано на встановленні необхідної форми поверхні трикотажу з вибором виду та конфігурації окремих елементів структури трикотажу та переході від опису поверхні виробу до опису конфігурації нитки у кожному з елементів з урахуванням їх деформації. Сама ж нитка вважається при цьому нерозтяжною та гнучкою і описується як трубка з використанням математики В-сплайнів. У роботі [12] запропоновано ефективний метод моделювання візерункових переплетень. Наукові розробки, що поєднують фізику, комп'ютерну графіку та технологію текстильних матеріалів, виконуються сьогодні з урахуванням того, що незважаючи на потужні можливості технічних та програмних засобів, розрахункові ресурси комп'ютерів не безмежні. Текстильні матеріали мають складну внутрішню структуру, де кожен елемент – свої геометричні характеристики та зв'язки з іншими елементами [13]. З одного боку, детальний опис геометрії ниток та волокон у структурі трикотажу надає можливість точного автоматичного визначення співвідношення об'ємів повітря та волокнистого матеріалу в об'ємі трикотажу, площі поверхні ниток і багато інших показників. З іншого боку – будь-яке ускладнення геометрії призводить до значного збільшення розрахункового часу комп'ютера. Під гомогенізацією розуміють заміну моделі, що містить компоненти з різними властивостями (нитка та повітря), умовно-однорідною моделлю, фізичні характеристики якої співпадають з характеристиками реального матеріалу. Методи гомогенізації властивостей дозволяють також створити деталізовану модель певного елементарного об'єму, наприклад, однієї петлі, або одного рапорту з деталізацією на рівні ниток (мезомодель), визначити на його фізичні характеристики (наприклад, тепловий опір) з урахуванням різномірності компонентів, та передати отриманий показник в модель більш високого рівня (макромодель), яка репрезентує об'єм трикотажу як тривимірного об'єкту, яке має висоту, ширину і довжину та гомогенізовані (умовно-однорідні) фізичні властивості. Відомо також про існування підходів до тривимірного моделювання деформацій трикотажу [14] з урахуванням зміщення точок контакту ниток, що дозволяє описати динаміку

деформації на рівні пряжі, досягаючи складних, нелінійних та пластичних ефектів у макроскопічному масштабі. Авторами статті [15] представлено теоретичну модель, засновану на теорії пружності, яку використовують для прогнозування властивостей на розтяжність трикотажних полотен, виготовлених зі скловолокна. У роботі [16] досліджено відмінності балістичних характеристик 3D та 2D тканих полотен з параарамідних ниток для вивчення ефекту Z-деформацій. Під час проникнення снаряда у полотна з блокуючими нитками Z-основи і без них оцінюється поглинання енергії, деформації і розподіл напруги. За результатами дослідження автори роботи свідчать, що 3D-тканини мають більш широкий діапазон розподілу напружень у площині. Властивості трикотажу утокових переплетень, виготовлених на модифікованій плосков'язальній машині Aries 3D (Steiger Participations sa., Vionnaz, Швейцарія) розглянуто у роботі [17]. За даними публікації, моделювання проводилося за допомогою програмного забезпечення LS-DYNA (Livermore Software Technology Corporation, Лівермор, Каліфорнія, США). Автором роботи [18] встановлено залежність властивостей армованих полімерних композитів від природи матеріалу, геометричних розмірів підсилюючих конструкційних елементів, хімічної сумісності і способів формування.

**Постановка завдання.** Розвиток універсальних програмно-аналітичних комплексів, що базуються на таких методах як метод скінченних елементів та метод скінченних об'ємів – сприяє пошуку алгоритмів використання таких систем у прогнозуванні показників комфортності текстильного одягу шляхом симуляції гідро-газодинамічних процесів, що мають місце у підодяговому просторі та у навколишньому середовищі. Враховуючи те, що конфігурація нитки та параметри петель є визначальними факторами, що впливають на розмір та форму міжниткових проміжків (пор), такі характеристики як повітропроникність, гігроскопічність, теплозахисні властивості, на пряму залежать від стану деформування кожного елементу структури трикотажу в межах досліджуваного фрагменту полотна. Незважаючи на значні досягнення у моделюванні трикотажу, багато питань залишаються ще відкритими. Питання вивчення особливостей зміни геометрії нитки під дією розтягуючих зусиль з метою оцінки фізико-механічної поведінки в контексті комп'ютерної симуляції властивостей раніше не розглядалося. Ідея застосування загально-інженерних програмно-аналітичних комплексів, побудованих на алгоритмах методів скінченних елементів, скінченних об'ємів, апарату лінійної та нелінійної теорії деформування до трикотажних полотен обговорюється вже давно. Але якщо вивчення деформацій твердих тіл відбувається з використанням законів прикладної механіки, апарат дослідження процесів деформування трикотажу ще не відпрацьовано.

**Результати досліджень.** У процесі розтягування трикотажу топологія нитки залишається незмінною. Зміна лінійних розмірів трикотажу та його окремих ділянок відбувається завдяки ряду процесів залежно від виду переплетення та властивостей ниток. До таких процесів можна віднести зменшення кривизни ділянок нитки, орієнтованих у напрямку розтягування, зміну відстані між точками контакту, що відбувається за рахунок проковзування ниток, видовження нитки. Припустимо, що зразок трикотажу у недеформованому стані має прямокутну форму та складається з  $m \times n$  елементарних прямокутних ділянок. Причому  $m$  – кількість петельних стовпчиків зразка, а  $n$  – кількість петельних рядів. Тоді номер петельного ряду  $i$ , якому належить петля трикотажу  $S_{ij}$ , змінюється від  $1$  до  $n$ , а номер петельного стовпчика,  $j$  – від  $1$  до  $m$ . На рис. 1 елементарна ділянка полотна, обмежена прямокутником з вершинами у точках  $P_1, P_2, P_3$  та  $P_4$ , відповідає петлі  $S_{ij}$ .

У процесі деформування нерівномірність розтягування призводить до того, що геометрія границь елементарної ділянки змінюється та може відрізнятись від прямокутника. Назвемо чотирикутник  $P_1, P_2, P_3, P_4$  обмежувальним контуром петлі  $S_{ij}$ . Коли полотно

знаходиться у вільному стані, ширина прямокутника дорівнює петельному кроку трикотажу, а його висота – висоті петельного ряду. Кожна петля має чотири уявні точки у місцях переплетення ниток з ділянками нитки, що належать іншим петлям. Для зручності будемо далі називати їх точками переплетення. На рис. 1 це точки  $u_{i,j}$  і  $v_{i,j}$ , у яких голкова дуга (3) переплітається з платинними дугами петлі наступного ( $i+1$ -го) петельного ряду, та точки  $u_{i-1,j}$  і  $v_{i-1,j}$ , у яких платинні дуги даної петлі (1) переплітаються з голковою дугою петлі попереднього ( $i-1$ -го) петельного ряду. *Внутрішнім контуром* будемо називати чотирикутник, з вершинами у точках  $u_{i,j}$ ,  $v_{i,j}$ ,  $u_{i-1,j}$  і  $v_{i-1,j}$ . Під час розтягування вздовж петельного стовпчика відбувається розпрямлення паличок остова (2), перетягування нитки з голкових (3) та платинних дуг (1) у палички остова (2), розтяг матеріалу нитки на ділянках паличок остова (2).

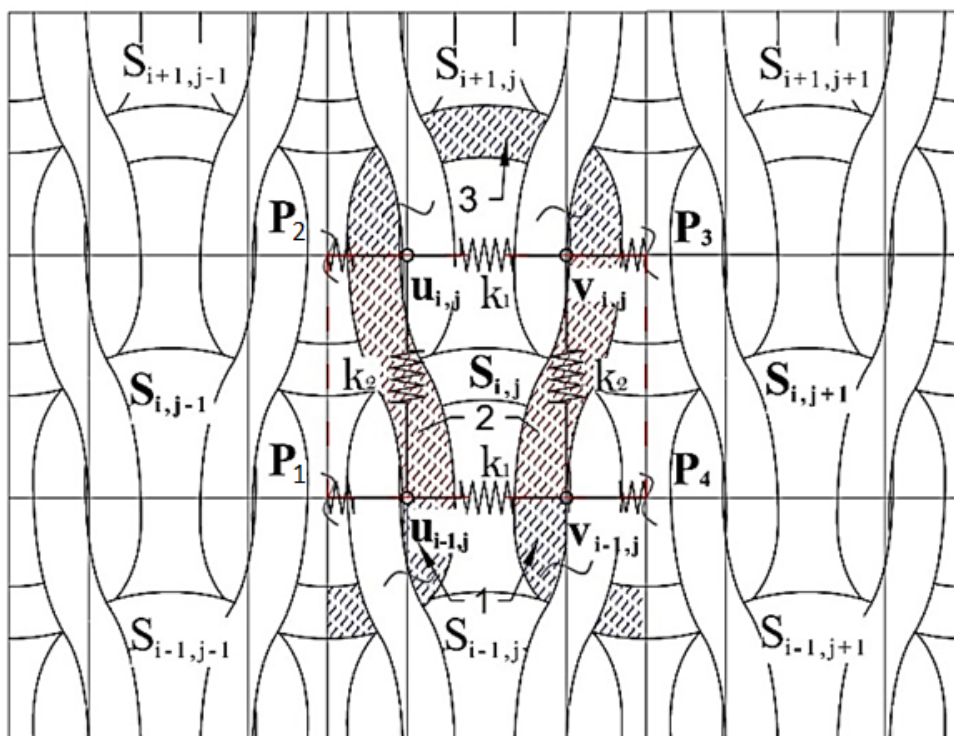
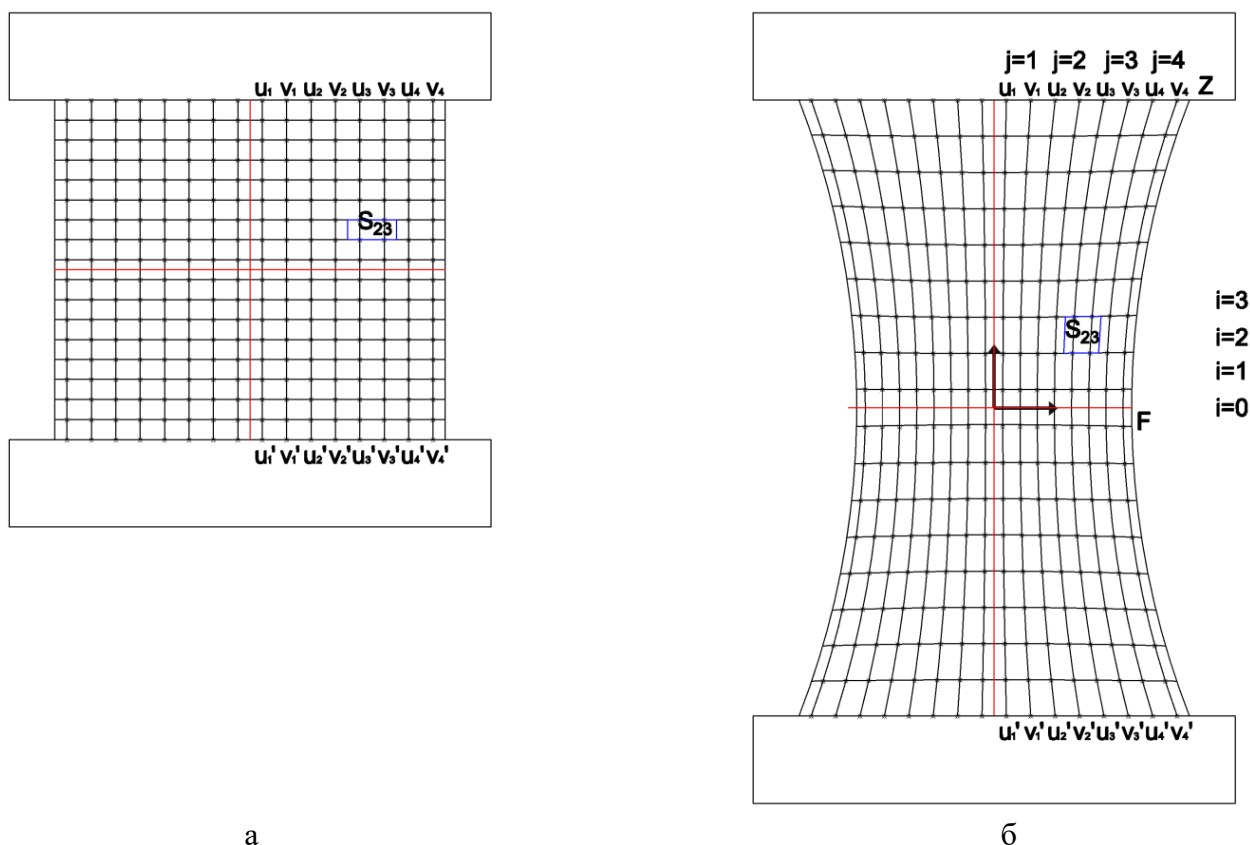


Рис. 1. Каркасна модель петлі трикотажу переплетення гладь

Моделювання трикотажу, що знаходиться у деформованому стані, може бути реалізовано на підставі топологічної моделі [19, 20], та відомостей про розташування точок переплетення кожної петлі ( $u_{ij}$ ,  $v_{ij}$ ). Положення точок переплетення окремої петлі та характеру деформування обмежувального контуру залежить не тільки від властивостей матеріалів, але й від місця розташування елементарної чарунки у системі координат зразка: відстань від крамок зразка, деформації сусідніх чарунок і т. ін. Особливість розтягування трикотажу полягає у тому, що його слід розглядати скоріш як конструкцію, аніж як матеріал. Цю думку неодноразово висловлювали автори публікацій, присвячених вивченню деформаційних властивостей трикотажу [1, 5]. Деформація розтягу трикотажу пов'язана з подоланням низки силових факторів, до яких відносяться сила тертя нитки об нитку, пружність матеріалу нитки, жорсткість нитки на згин та кручення. Нехай  $k_1$  – умовний коефіцієнт пружності, що характеризує комплексну дію силових факторів, що перешкоджають розтягуванню елементарної чарунки трикотажу вздовж петельних рядів, а  $k_2$  – аналогічний показник для розтягу чарунки вздовж петельних стовпчиків (рис. 1). Оскільки на різних стадіях розтягування значущість силових факторів змінюється, значення цих коефіцієнтів також буде

різним для різних етапів розтягу. Припустимо, що розтяг елементарної чарунки по довжині  $t_w$  (у напрямку петельних стовпчиків) можна розділити на 3 етапи. На першому етапі  $0 < t_w < R_{w1}$ , де  $R_{w1}$  – значення видовження, при якому починається перетягування нитки з голкових та платинних дуг (3 та 1 на рис. 1) у палички остова (2 на рис. 1) та зростає вагомість сили тертя у загальному комплексі силових факторів. На другому етапі  $R_{w1} < t_w < R_{w2}$ , де  $R_{w2}$  – значення видовження, %, при якому припиняється процес перетягування, і починається змінання матеріалу нитки у зонах переплетення та його розтяг на вільних ділянках, орієнтованих у напрямку розтягування. На третьому етапі  $R_{w2} < t_w < R_{wmax}$ , де  $R_{wmax}$  – максимальне видовження даного елемента.

Розглянемо алгоритм побудови геометричного опису розтягування сітки-каркасу. Оскільки нитка може бути представлена у механічних моделях як гнучкий пружний стержень, її жорсткість на розтяг вздовж власної осі набагато перевищує жорсткість на згин та кручення, зменшення відстані між окремими точками переплетення відбувається в основному за рахунок перетягування ниток і не супроводжується зменшенням довжини ділянок нитки, орієнтованих перпендикулярно до напрямку розтягування. Нехай зразок трикотажу, що складається з  $n$  петельних стовпчиків та  $m$  петельних рядів закріплено у затискачах як показано на рис. 2а. Після прикладання зусилля розтягу зразок розтягується так, як показано на рис. 2б.



а б  
 Рис. 2. Побудова сітки-каркасу у розтягнутому стані

Причому форма та розміри елементарних контурів змінюються нерівномірно по площі зразка. Ширина зразка на рівні затискачів залишається незмінною та дорівнює  $W_0$ . А ширина зразка на рівні центрального петельного ряду (максимально віддаленого від затискачів) дорівнює  $W_{min}$ . Якщо коефіцієнт звуження позначити як  $K_n$ ,

$$W_{min} = W_0 \cdot K_n. \quad (1)$$

Приймаємо припущення, що зміна розмірів та конфігурації елементарних контурів відбувається симетрично відносно центральних осей у системі координат зразка, ширина елементарних контурів, що знаходяться на горизонтальній осі однакова та дорівнюють  $Ar_{min}$ , причому

$$Ar_{min} = \frac{W_{min}}{n_g}. \quad (2)$$

Приймаємо також, що горизонтальні ділянки елементарних обмежувальних контурів, що перетинають вертикальну вісь симетрії зразка (ОУ у системі координат зразка), залишаються горизонтальними.

Точки переплетення  $u_{ij}$  та  $v_{ij}$  кожного петельного стовпчика лежать на однойменних вертикальних лініях  $u_j$  та  $v_j$  до моменту прикладання зусиль. Після розтягування на задану величину  $r$  вони розташовуються на дугах, що проходять через точки переплетення, що належать даному петельному стовпчику та петельним рядам, що закріплені у затискачах. Радіуси цих дуг збільшуються від бокових кромek до центру зразка та можуть бути знайдені за формулою

$$r = \frac{(h^*)^2 + \Delta w^2}{2 \cdot \Delta w}, \quad (3)$$

де  $h^*$  – половина довжини зразка у стані розтягу (рис. 3б);

$\Delta w$  – висота дугового сегменту (рис. 3б).

Слід також зазначити, що точки центрів дуг знаходяться на продовженні осі  $OX$ , тому центральний кут дуги  $G$ , або кут  $FCZ$  (рис. 3) може бути визначений як

$$\alpha = \arctg \left( \frac{Yz - Yc}{Xc - Xz} \right). \quad (4)$$

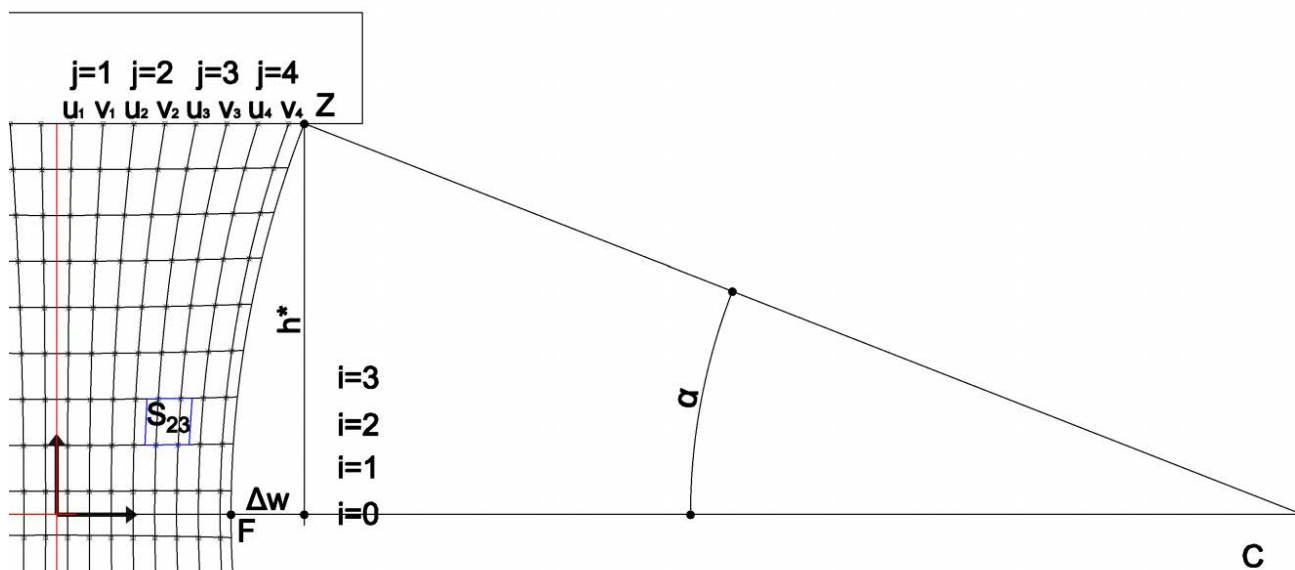


Рис. 3. Центральний кут дугового сегмента G

Відповідно до прийнятих припущень, кожен внутрішній контур остова окремої петлі  $S_{ij}$  обмежено дуговими сегментами з вершинами у точках  $u_{ij}$   $v_{ij}$   $u_{i-1,j}$   $v_{i-1,j}$ . Точки переплетення остовів петель певного петельного стовпчика розташовуються на дугах  $u_j u_j'$ , та  $v_j v_j'$ . Причому, можемо записати, що для кожного петельного ряду  $j$  довжина дуги  $G_{uj}$

$$\check{G}_{uj} = (\pi \cdot r_{uj} \cdot \alpha_{uj}) / 180^\circ, \quad (5)$$

де  $r_{uj}$  – радіус дуги  $u_j u_j'$ , а  $\alpha_{uj}$  – її центральний кут.

Тоді можемо записати:

$$u_{ij} \overline{u_{i-1,j}} = 2\check{G}_{uj} / n_h. \quad (6)$$

Вирази для точок  $v_{ij}$  та  $v_{i-1,j}$  приймають вигляд

$$\check{G}_{vj} = (\pi \cdot r_{vj} \cdot \alpha_{vj}) / 180^\circ, \quad (7)$$

де  $r_{vj}$  – радіус дуги  $v_j v_j'$ , а  $\alpha_{vj}$  – її центральний кут.

Відповідно, дугова відстань для окремого ряду

$$v_{ij} \overline{v_{i-1,j}} = 2\check{G}_{vj} / n_h. \quad (8)$$

Для даної моделі також прийнято припущення, що довжина елементарних дуг, що відповідають кожному петельному ряду, залишається незмінною для окремих геодезичних ліній та може бути знайдена як

$$\check{e} = 2 * \frac{\overline{FZ}}{n_v}. \quad (9)$$

Даний алгоритм визначення геометричних розмірів кожного елемента каркасної моделі дозволяє також перейти до шарнірно-стержньової моделі, шляхом підключення операторів визначення відстаней між точками переплетення (вершинами чотирикутника, що репрезентує внутрішній контур петлі) через умовні коефіцієнти пружності  $k_1$  та  $k_2$  (рис. 1).

**Висновок:** У ході дослідження запропоновано каркасну модель розтягування трикотажу вздовж петельних стовпчиків, що базується на уявленні про трикотаж як про впорядковану сукупність елементів, кожен з яких належить певному петельному ряду та петельному стовпчику та має зв'язки з іншими елементами. Каркас фрагмента трикотажу описується як набір стержнів та шарнірів. Шарніри розташовані в уявних точках, у яких ділянки нитки однієї петлі переплетені з ділянками ниток інших петель, а кожен стержень у моделі є уявним елементом, який репрезентує комплекс силових факторів, що перешкоджають зміні відстані між шарнірами, з'єднаними даним стержнем. Запропоновано математичне забезпечення для автоматизації розрахунку координат точок переплетення у процесі розтягування.

**Подяка.** Робота виконувалась у рамках 16.04.73 ДБ «Розробка багатфункціональних трикотажних полотен та виробів для формування речового майна та тактичного спорядження військовослужбовців» (державний реєстраційний номер 0121U109756) за підтримки Міністерства освіти і науки України.

## References

1. Koblyakov, A. I. (1973). *Struktura i mekhanicheskie svoystva trikotazha* [Structure and mechanical properties of knitwear]. Moscow: Legkaya industriya. 240 p. [in Russian].
2. Shalov, I. I., Kudryavin, L. A. (1989). *Osnovy proektirovaniya trikotazhnogo proizvodstva s elementami SAPR: ucheb. dlya vuzov* [Basics of designing knitwear production with CAD elements: textbook for universities]. 2nd ed., rev. and add. Moscow: Legprombytizdat. 288 p. [in Russian].
3. Dalidovich, A. S. (1970). *Osnovy teorii vyazaniya* [Knitting Theory Basics]. Moscow: Legkaya industriya. 432 p. [in Russian].
4. Leaf, G. A. V. (1958). A property of a buckled elastic rod. *British Journal of Applied Physics*, Vol. 9, No. 2, P. 71–72.
5. Truevtsev, A. V. (2001). *Prikladnaya mekhanika trikotazha: uchebnoe posobie* [Applied knitwear mechanics]. St. Petersburg: SPGUTD [in Russian].
6. Shcherbakov, V. P., Skulanova, N. S. (2008). *Osnovy teorii deformirovaniya i prochnosti tekstil'nykh materialov* [Fundamentals of the theory of deformation and strength of textile materials]. Moscow: MGTU im. A.N. Kosygina. 268 p.
7. Poincloux, S., Adda-Bedia, M., Lechenault, F. (2018). Crackling dynamics in the mechanical response of knitted fabrics. *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 121, No. 5, 058002.
8. Abghary, M. J., Nadoushan, R. J., Hasani, H. (2016). Simulation of the Spherical Deformation of Biaxial Weft-Knitted Fabrics Using Meso and Macro Models. *Fibers and Polymers*, 17(10): 1702–1708.
9. Abteu, M. A., Boussu, F., Bruniaux, P., Hong, Y. (2021). Dynamic Impact Surface Damage Analysis of 3D Woven Para-Aramid Armour Panels Using NDI Technique. *Polymers*, 13: 877.
10. Boisse, P., Aimène, Y., Dogui, A. (2010). Hypoelastic, hyperelastic, discrete and semi-discrete approaches for textile composite reinforcement forming. *Int J Mater Form*, 3 (2): 1229–1240.
11. Kaldor, J., James, D. L., Marshner, S. (2008). Simulating knitted cloth at the yarn level. *Proceedings of SIGGRAPH*, Los Angeles, California, Vol. 27, P. 65.
12. Jonathan Leaf, Rundong Wu, Eston Schweickart, Doug L. James, and Steve Marschner (2018). Interactive Design of Periodic Yarn-Level Cloth Patterns. *ACM Transactions on Graphic*, 37, 6, Article 202 (November 2018), 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1145/3272127.3275105>.

## Література

1. Кобляков А. И. Структура и механические свойства трикотажа. М.: Легкая индустрия, 1973. 240 с.
2. Шалов И. И., Кудрявин Л. А. Основы проектирования трикотажного производства с элементами САПР: учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Легпромбытиздат, 1989. 288 с.
3. Далидович А. С. Основы теории вязания. М.: Легкая индустрия, 1970. 432 с.
4. Leaf G. A. V. A property of a buckled elastic rod. *British Journal of Applied Physics*. 1958. Vol. 9. № 2. P. 71–72.
5. Труевцев А. В. Прикладная механика трикотажа: учебное пособие. СПб.: СПГУТД, 2001.
6. Щербаков В. П., Скуланова Н. С. Основы теории деформирования и прочности текстильных материалов. М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2008. 268 с.
7. Poincloux S., Adda-Bedia M. and Lechenault F. Crackling dynamics in the mechanical response of knitted fabrics. *Phys. Rev. Lett.* 2018. Vol. 121, № 5, 058002.
8. Abghary M. J., Nedoushan R. J., Hasani H. Simulation of the spherical deformation of biaxial weft-knitted fabrics using meso and macro models. *Fibers and Polymers*. 2016. 17(10), 1702–1708.
9. Abteu M. A., Boussu F., Bruniaux P., Hong Y. Dynamic Impact Surface Damage Analysis of 3D Woven Para-Aramid Armour Panels Using NDI Technique. *Polymers*. 2021. 13. 877.
10. Boisse P., Aimène Y., Dogui A. Hypoelastic, hyperelastic, discrete and semi-discrete approaches for textile composite reinforcement forming. *Int J Mater Form*. 2010. No. 3 (2). P. 1229–1240.
11. Kaldor J., James D. L., Marshner S. Simulating knitted cloth at the yarn level. *Proceedings of SIGGRAPH*, Los Angeles, California. 2008. Vol. 27. P. 65.
12. Jonathan Leaf, Rundong Wu, Eston Schweickart, Doug L. James, and Steve Marschner. Interactive design of periodic yarn-level cloth patterns. *ACM Transactions on Graphics*. November 2018. Vol. 37. Is. 6.

13. Sperl, G., Narain, R., Wojtan, Ch. (2020). Homogenized yarn-level cloth. *ACM Transactions on Graphic*, 39, 4, Article 48 (July 2020), p. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.1145/3386569.3392412>.
14. Cirio, G., Lopez-Moreno, J., Otaduy, M. A. (2015). Efficient simulation of knitted cloth using persistent contacts. In: *Proceedings of the 14th ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*. 2015, P. 55–61.
15. de Araújo, M., Figueiro, R., Hong, H. (2003). Modelling and simulation of the mechanical behaviour Of weft-knitted fabrics for technical applications. Part II: 3D model based on the elastica theory. *AUTEX Research Journal*, Vol. 3, No. 4, December 2003.
16. Yang, Y., Zhang, X., Chen, X., Min, S. (2021). Numerical Study on the Effect of Z-Warps on the Ballistic Responses of Para-Aramid 3D Angle-Interlock Fabrics. *Materials*, 14 (3): 479.
17. Pham, M.Q., Döbrich, O., Trümper, W., Gereke, T., Cherif, C. (2019). Numerical Modelling of the Mechanical Behaviour of Biaxial Weft-Knitted Fabrics on Different Length Scales. *Materials*, 12 (22): 3693.
18. Rakhimov, F. (2013). Osnovy razrabotki konstruktsiy i tekhnologiy trikotazhno-armirovannykh polifunktsionalnykh kompozitov [Fundamentals of development of structures and technologies of knitted-reinforced multifunctional composites]. *Yangi asr avlodi* [in Russian].
19. Halavska, L. Ye., Yelina, T. V. (2012). Rozrobka systemy koduvannia nytok u strukturi kulirnoho trykotazhu [Development of a thread encoding system in a weft-knitted structure]. *Visnyk KhNU*, No. 3, P. 222–227 [in Ukrainian].
20. Yelina, T. V., Halavska, L. Ye. (2013). Rozrobka alhorytmu analizu danykh topologichnoi modeli nytky v strukturi trykotazhu [Development of an algorithm for analyzing the data of the topological model of the thread in the knitwear structure]. *Visnyk KhNU*, No. 3, P. 69–73 [in Ukrainian].
- Article 202. P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1145/3272127.3275105>.
13. Sperl G., Narain R., Wojtan Ch. 2020. Homogenized yarn-level cloth. *ACM Transactions on Graphics*. July 2020. Vol. 39. Is. 4. Article 48. P. 1-16. DOI: <https://doi.org/10.1145/3386569.3392412>.
14. Cirio G., Lopez-Moreno J., Otaduy M. A. Efficient simulation of knitted cloth using persistent contacts. In: *Proceedings of the 14th ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*. 2015. P. 55–61.
15. de Araújo M., Figueiro R., and Hong H. Modelling and simulation of the mechanical behaviour Of weft-knitted fabrics for technical applications. Part II: 3D model based on the elastica theory. *AUTEX Research Journal*. December 2003. Vol. 3. No. 4. P. 166–172.
16. Yang Y., Zhang X., Chen X., Min S. Numerical Study on the Effect of Z-Warps on the Ballistic Responses of Para-Aramid 3D Angle-Interlock Fabrics. *Materials*. 2021. 14 (3): 479.
17. Pham M. Q., Döbrich O., Trümper W., Gereke T., Cherif C. Numerical Modelling of the Mechanical Behaviour of Biaxial Weft-Knitted Fabrics on Different Length Scales. *Materials*. 2019. 12 (22): 3693.
18. Рахимов Ф. Основы разработки конструкций и технологий трикотажно-армированных полифункциональных композитов. *Янги аср авлоди*, 2013.
19. Галавська Л. Є., Єліна Т. В. Розробка системи кодування ниток у структурі кулірного трикотажу. *Вісник ХНУ*. 2012. № 3. С. 222–227.
20. Єліна Т. В., Галавська Л. Є. Розробка алгоритму аналізу даних топологічної моделі нитки в структурі трикотажу. *Вісник ХНУ*. 2013. № 3. С. 69–73.

**YELINA TETIANA**

Candidate of Technical Science, Associate Professor  
Department of Textile Technology and Design,  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-9310-0582>  
Scopus Author ID: 57203861122  
E-mail: [yelina.tv@knutd.edu.ua](mailto:yelina.tv@knutd.edu.ua)

**SHCHERBAN VOLODYMYR**

Doctor of Technical Science, Professor  
Department of Computer Science and Technologies  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-4274-4425>  
Scopus Author ID: 57203866200  
E-mail: [shherban.vy@knutd.com.ua](mailto:shherban.vy@knutd.com.ua)

**HALAVSKA LIUDMYLA**

Doctor of Technical Science, Professor  
Department of Textile Technology and Design,  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-6994-6641>  
Scopus Author ID: 57191413261  
ResearcherID: O-1750-2018  
E-mail: [galavska.ly@knutd.edu.ua](mailto:galavska.ly@knutd.edu.ua)

**KOLISKO OKSANA**

Candidate of Technical Science, Associate Professor  
Department of Computer Science and Technologies  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-4043-1238>  
Scopus Author ID: 57204469977  
E-mail: [kityp@knutd.com.ua](mailto:kityp@knutd.com.ua)

**BOBROVA SVITLANA**

Candidate of Technical Science, Associate Professor  
Department of Textile Technology and Design,  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-3381-9915>  
Scopus Author ID: 57203865072  
E-mail: [bobrova.sy@knutd.com.ua](mailto:bobrova.sy@knutd.com.ua)

**ЕЛИНА Т. В., ГАЛАВСКАЯ Л. Е., ЩЕРБАНЬ В. Ю., КОЛЫСКО О. З., БОБРОВА С. Ю.**

Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

**КАРКАСНАЯ МОДЕЛЬ ОДНООСНОГО РАСТЯЖЕНИЯ  
КУЛИРНОГО ТРИКОТАЖА ВДОЛЬ ПЕТЕЛЬНОГО СТОЛБИКА**

**Цель.** Целью данного исследования является разработка каркасной модели растяжения кулирного трикотажа вдоль петельных столбиков, с возможностью дальнейшей интеграции в алгоритм построения трехмерной модели трикотажа в состоянии растяжения и моделирования интерактивной динамики деформации.

**Методика.** В процессе исследования использовались методы теоретического анализа, основные положения теории вязания, топологическая модель трикотажа, методы геометрического моделирования и параметризации.

**Результаты.** Моделирование физико-механического поведения трикотажа в компьютерной среде является одним из перспективных способов повышения уровня соответствия трикотажных изделий требованиям комфорта и функциональности. Однако сложность внутреннего строения, анизотропия свойств и неустойчивость параметров петельной структуры определяют необходимость поиска нетривиальных путей решения задачи математического описания трехмерной модели нити, провязанной в трикотаж, с учетом деформаций растяжения.

В ходе исследования разработана каркасная модель одноосного растяжения трикотажа вдоль петельных столбиков. В основе каркасной модели лежит представление о трикотаже как логически упорядоченном наборе элементов, каждый из которых связан с другими элементами в соответствии с топологией плетения. Каркас фрагмента трикотажа описывается как набор стержней и шарниров. Шарниры расположены в точках переплетения и игольной и платинной дуг, а каждый стержень в модели представляет собой воображаемый элемент, представляющий собой

комплекс силовых факторов, препятствующих изменению расстояния между петлями, соединенными этим стержнем.

**Научная новизна.** Впервые разработана каркасная модель деформации трикотажа, подходящая для трехмерного моделирования его структуры с учетом деформаций растяжения.

**Практическая значимость.** Разработанная модель может быть использована в качестве математического обеспечения автоматизированных систем проектирования трикотажных изделий.

**Ключевые слова:** трикотаж; каркасная модель; шарнирно-стержневая модель; деформации продольного растяжения.

YELINA T. V., HALAVSKA L. Ye., SHCHERBAN V. Yu., KOLISKO O. Z., BOBROVA S. Yu.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

### FRAME MODEL OF UNIAXIAL STRETCHING OF WEFT-KNITTED STRUCTURES IN THE WALE DIRECTION

**Purpose.** The purpose of this study is to develop a frame model for stretching the weft-knits in the wale direction, suitable for further integration into the algorithm for building a three-dimensional knitwear model in a stretched state and modeling of interactive deformation dynamics.

**Methodology.** Methods of theoretical analysis, basics of knitting theory, topological model of knitwear, methods of geometric modeling and parameterization were used in the research process.

**Findings.** Modeling the physical and mechanical behavior of knitwear in a computer environment is one of the promising ways to increase the level of conformity of knitted products with the requirements of comfort and functionality. However, the complexity of the internal structure, the anisotropy of properties and the instability of the parameters of the loop structure determine the need to find non-trivial ways to solve the problem of mathematical description of the three-dimensional model of the thread, knitted in the knitwear, considering the stretching deformations.

During the study, a frame model of a uniaxial stretching of knitwear in the wale direction was developed. The basis of the frame model is the idea of a knitted structure, represented as a logically organized set of elements, each of which is interlaces with other elements in accordance with the topology of knit. The frame of the jersey fragment is described as a set of bars and hinges. The hinges are located at the interlacing points of the loop heads and loop feet, and each rod in the model is an imaginary element representing a complex of force factors that prevent the change of distance between the hinges connected to the given rod.

In the process of stretching, the geometrical characteristics of the elements change, while the logical connections remain unchanged. The wireframe model allows to define coordinates of interlacement points in the coordinate system of the sample, relative position of coordinate systems of each elementary fragment, which correspond to given loops, coordinates of characteristic points of a loop for transition to a three-dimensional model of a knitted structure.

**Scientific novelty.** For the first time, a frame model of deformation of the knit, suitable for three-dimensional modeling of its structure, considering deformation of the thrust, was developed.

**Practical value.** The developed model can be used as mathematical support of systems of automated designing of knits.

**Keywords:** knitwear; frame model; hinge-rod model; tensile deformations.

УДК  
543.55:628.4

КИСЛОВА О. В.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

## ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У СТІЧНИХ ВОДАХ

**Мета.** Порівняти ефективність різних сучасних електрохімічних методів дослідження, які застосовуються для визначення концентрації важких металів у стічних водах, використовуючи дані літературних джерел.

**Методика.** Аналіз даних літератури щодо можливостей, переваг та недоліків вольтамперометричних, потенціометричних, кулонометричних та кондуктометричних методів дослідження вмісту важких металів у стічних водах.

**Результати.** Електрохімічні методи є одними з найпоширеніших сучасних методів аналізу складу стічних вод. Їх перевагами є висока селективність, низька межа реєстрації концентрацій (до  $10^{-10}$  М для інверсійних вольтамперометричних методів), простота у виконанні, відсутність попередньої тривалої підготовки проб для аналізу, можливість проведення вимірів в мікрооб'ємах без руйнування зразків та автоматизації процесу для безперервного визначення концентрацій металів в процесі очищення стічних вод, відносно недороге обладнання, здатність визначення концентрацій декількох іонів металів в суміші.

**Наукова новизна.** Проведені дослідження показали, що серед електрохімічних методів дослідження найчастіше для визначення концентрації важких металів в стічних водах використовують різні варіанти вольтамперометричних методів дослідження (полярографію та різновиди інверсійної вольтамперометрії) та потенціометричних методів дослідження, зокрема з високочутливими та специфічними іоноселективними індикаторними електродами.

**Практична значимість.** Узагальнено теоретичний матеріал по електрохімічним методам визначення вмісту йонів важких металів у стічних водах.

**Ключові слова:** стічні води; важкі метали; електрохімічні методи дослідження.

**Вступ.** Одними з найбільш небезпечних забруднювачів природних вод є важкі метали, які містяться в значній кількості в промислових стічних водах підприємств чорної та кольорової металургії, машинобудування, електрохімічного виробництва, гірничодобувної та харчової галузі, сільського господарства [1].

Хімічний аналіз стічних вод на вміст важких металів передбачає визначення як високих концентрацій металів, так і залишкових на рівні гранично допустимих. Для цього широко застосовуються різні хімічні та інструментальні методи: тест-методи з візуальним контролем рівня концентрації металів, хроматографічні, титриметричні та гравіметричні методи, спектрофотометрія, атомно-адсорбційна та атомно-емісійна спектроскопія, рентгенофлуоресцентний аналіз. Вибір відповідного методу визначення концентрації важких металів передбачає попередній аналіз таких критеріїв, як чутливість, точність, селективність, відтворюваність, вартість [2, 3].

Окремою групою фізико-хімічних методів визначення концентрації металів в стічних водах є електрохімічні, в основі яких лежать наступні класичні методи: вольтамперометрія, потенціометрія, кулонометрія, кондуктометрія. Їх перевагами є простота у виконанні, відсутність попередньої тривалої та кропіткої підготовки проб для аналізу, можливість проведення вимірів у мікрооб'ємах та автоматизації процесу для безперервного визначення концентрацій металів в процесі очищення стічних вод, відносно недороге обладнання, можливість визначення концентрацій декількох іонів металів в суміші [1, 2].

**Постановка завдання.** Узагальнити та систематизувати літературні дані по застосуванню різних електрохімічних методів визначення концентрації важких металів в складі стічних вод промислових виробництв щодо їх ефективності, чутливості, селективності.

**Результати дослідження.** Йони важких металів є одними з основних забруднювачів вод різного типу, в першу чергу промислових стічних вод. Як свідчать дані літератури, на сьогоднішній день для визначення концентрації важких металів з електрохімічних методів найчастіше використовуються різновиди полярографії та вольтамперометрії, потенціометричні методи, кондуктометрія та кулонометрія [1–3].

Раніше для контролю вмісту іонів важких металів в широкому інтервалі концентрацій застосовувались полярографічні методи аналізу, засновані на визначенні граничного струму електровідновлення іонів до вільного стану на крапаючому ртутному електроді. Класичний метод дає можливість визначати концентрації металів в межах до  $10^{-5}$  моль/л з похибкою до 2% та в об'ємі проби до 1 мл. Чутливість, точність і селективність методу зростають за рахунок застосування спеціальних форм напруги, що подається на полярографічний датчик, та електронних методів індикації струму. Це призвело до появи нових варіантів полярографії - осцилографічних, змінно-струмових, радіочастотних. Вони дозволяють визначати дуже малі концентрації елементів - до  $10^{-8}$  моль/л з помилкою від 1 до 5%.

Модифікованими методами полярографії визначають низькі концентрації свинцю, цинку, міді, кадмію, нікелю (табл. 1).

Таблиця 1

**Вольтамперометричні методи визначення вмісту металів в стічних водах**

Електрохімічний метод	Індикаторний електрод	Перелік металів	Чутливість методу
Класична полярографія	Крапаючий ртутний	Cd(II), Co(II), Cu(II), Ni(II), Pb(II), Sb(III), Zn(II)	$10^{-5}$ М
Різновиди вольтамперометрії (в тому числі інверсійна вольтамперометрія)	Тверді мікроелектроди, що обертаються, платиновий (від -0,1 В до +1,3 В), золотий, срібний, графітовий, амальгамований плівковий	Cu(II), Ni(II), Mn(II), Cd(II), Co(II), Pb(II), Sb(III), Cr(III), Mo(II), Bi(III), Fe(III), Zn(II), Cr(III), Hg(II)	до $10^{-9}$ М
Амперометричне титрування	Тверді електроди з платини, золота, вуглецевих матеріалів (графіту, скловуглецю)	Cu(II), Ni(II), Cd(II), Co(II), Pb(II), Sb(III), Cr(III), Zn(II)	$10^{-5} - 10^{-6}$ М

Проте через токсичність ртуті ширше застосування знаходять вольтамперометричні методи з використанням твердих обертових електродів: скловуглецевих, графітових, платинових. Також для проведення електрохімічних реакцій можна використовувати одноразові короткоживучі електроди, поверхні яких виготовлені з металів і напівпровідникових матеріалів, вкритих плівками оксидів або інших сполук. Як електроди порівняння замість донної ртуті ефективними є електроди другого роду – каломельний або хлоридсрібний [4].

Широкого застосування набули інверсійні вольтамперометричні методи аналізу, які передбачають попереднє концентрування елемента на стаціонарному електроді з подальшою реєстрацією аналітичного сигналу в одному і тому ж розчині. Це підвищує чутливість визначення до  $10^{-8}$ – $10^{-9}$  моль/л, проте значно знижує швидкість проведення аналізу [5].

Аналіз багатокомпонентних систем можна здійснити за один цикл вимірювання, якщо різниця потенціалів напівхвиль елементів становить 0,2–0,3 В. Тому значна відмінність в потенціалах іонізації більшості металів дає можливість їх селективного визначення. У

більшості приладів закладено методики визначення таких металів, як мідь, свинець, кадмій, цинк, срібло, нікель, вісмут, олово та деяких інших елементів.

Метод інверсійної вольтамперометрії дає можливість визначати вміст йонів в різноманітних існуючих формах елементів, декількох компонентів одночасно в широкому інтервалі концентрацій, автоматизувати процес аналізу, є чутливим, експресним, недорогим, відносно простим [5]. Так, для йонів деяких елементів (Cd, Bi, Tl, Pb, Sb, Ni) нижня межа становить  $10^{-9}$ – $10^{-10}$  М (табл.1).

Недоліками інверсійних електрохімічних методів є тривалість методик; неможливість використання для безперервного аналізу через здійснення послідовних стадій накопичення і розчинення; можлива втрата частини речовини в процесі концентрування або ж внесення додаткових забруднень.

Іншим різновидом вольтамперометрії є амперометричне титрування з реєстрацією граничного дифузійного струму, який протікає через розчин при електрохімічній реакції. Використання різних типів хімічних реакцій (осадження, комплексоутворення, окисно-відновні) для проведення титрування, вибір оптимального значення потенціалу, можливість регулювання рН, використання маскуючих агентів підвищують селективність даного методу та розширюють його межі застосування. Також перевагами є швидкість проведення аналізу, дороге обладнання, здатність визначення електронеактивних речовин [3].

Потенціометричні методи аналізу базуються на вимірюванні різниці потенціалів між двома електродами (індикаторним та електродом порівняння), зануреними в досліджуваний розчин. Для оперативного аналізу іонного складу стічних вод застосовують потенціометричні методи аналізу з рН-чутливими скляними та іоноселективними індикаторними електродами (табл.2). Вони мають суттєву перевагу порівнянно з іншими методами аналізу при проведенні безперервних вимірювань концентрації металів не тільки в стічних водах, але і для контролю протікання технологічних процесів, складу промивних вод в спеціально створених проточних модулях-осередках [6].

Таблиця 2

**Потенціометричні методи визначення вмісту металів в стічних водах**

Електрохімічний метод	Індикаторний електрод	Перелік металів	Чутливість методу
Пряма потенціометрія	Іоноселективні електроди	V(IV) в складі $VO^{2+}$ , Mo(VI), Zn(II), Cu(II), Ni(II), Pb(II), Cd(II)	$10^{-2}$ – $10^{-7}$ М
Пряма потенціометрія	Ферментативні, бактеріальні	Au(II), Co(II), Mn(II), Cu(II), Zn(II)	0,05–0,2 мг/л
Потенціометричне титрування	Металічні, іоноселективні електроди	Co(II), Fe(II), Ni(II), Mn(II), Al(II)	$10^{-6}$ М
Хронопотенціометрія, інверсійна хронопотенціометрія	Ртутний, графітовий, платиновий	Fe(II), Cd(II), Pb(II), Zn(II), Cu(II), Au(II), Pt(II)	0,4–800 мкг/л

Потенціометричні методи з використанням іоноселективних електродів дозволяють проводити як безпосереднє визначення значної кількості катіонів, так і непрямий аналіз шляхом титрування з реєстрацією зміни потенціалу в реакції досліджуваного компонента з відповідним титрантом. В даний час широко використовуються промислові іоноселективні електроди для іонів  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $La^{3+}$ . Вони характеризуються високою швидкістю (зазвичай секунди-десятки секунд) і широким діапазоном вимірюваних концентрацій ( $10^{-1}$ – $10^{-5}$  моль/л), є простими в користуванні і недорогими, можуть

використовуватись в забарвлених, каламутних і агресивних рідинах; придатні для створення автоматизованих систем; портативні [7, 8].

Поява великої кількості нових електродів значно розширила інструментальну базу потенціометричного методу [9]. Проте недоліками іоноселективних електродів є необхідність постійного калібрування приладів, труднощі стандартизації вимірювань, відносно низька селективність ряду електродів.

Іншим електрохімічним методом дослідження вмісту йонів металів є кулонометрія, принцип дії якої полягає в вимірюванні кількості електрики, витраченої на проведення електрохімічної реакції відповідно до законів Фарадея. Найпростішим варіантом кулонометрії є електрогравиметрія, в основі якої лежить зважування електроосажденного досліджуваного елемента. Це безеталонний, проте тривалий метод, який за точністю і відтворюваністю результатів перевершує інші методи при визначенні таких металів, як Cu, Sn, Pb, Cd, Zn [1].

Перспективним є різновид кулонометричного методу аналізу з проведенням електролізу при постійному, характерному для досліджуваного йона значенні потенціалу. Концентрацію розраховують по абсолютній кількості електрики, яку отримали в результаті інтегрування струму. Особливістю методу є відсутність стандарту для проведення аналізу, що дає можливість проводити хімічну стандартизацію. Метод характеризується високою селективністю та точністю (з відносною помилкою 0,001%) та інтенсивно розвивається завдяки досягненням електроніки. Його вже використовували для визначення близько 50 електрохімічно активних елементів. Іншим сучасним різновидом методу є кулонометрія при постійному струмі для визначення малих концентрацій речовин з невеликою помилкою.

В основі кондуктометричного методу дослідження лежить вимірювання електропровідності розчинів металів, яка залежить від концентрації компонента. Перспективним методом є високочастотне титрування, що має ряд переваг, зокрема, безконтактність, оскільки електроди прикладаються до зовнішньої поверхні комірки, що дає можливість аналізувати суспензії, емульсії, каламутні розчини. Перевагами методу є висока чутливість (до  $10^{-4}$  мг/дм<sup>3</sup>), простота і достатня точність (2 %), проте мала селективність є основним недоліком [10].

**Висновок.** Таким чином, для аналізу вмісту важких металів у стічних водах промислових виробництв можуть бути успішно використані різноманітні інструментальні методи. Найбільш перспективними є електрохімічні методи аналізу, які дозволяють швидко і точно визначати як високі, так і низькі концентрації важких металів. Актуальним завданням сьогодення є подальше вдосконалення електрохімічних методик визначення вмісту важких металів у воді на рівні гранично допустимих концентрацій.

### References

1. Mourya, A., Mazumdar, B., Sinha, S. (2019). Determination and quantification of heavy metal ion by electrochemical method. *J. of Environmental Chem. Engineering*, 7(6): 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103459>.
2. Pujol, L., Evrard, D., Groenen-Serrano, K., Freyssinier, M., Ruffien-Cizsak, A., Gros, P. (2014). Electrochemical sensors and devices for heavy metals assay in water. *Front. Chem.* <https://doi.org/10.3389/fchem.2014.00019>.
3. Companys, E., Galceran, E., Pinheiro, J., Puy, J., Salaun, P. (2017). A review on electrochemical methods for trace metal speciation in environmental media. *Current Opinion in Electrochem*, 3(1): 144–162.

### Література

1. Mourya A., Mazumdar B., Sinha S. Determination and quantification of heavy metal ion by electrochemical method. *J. of Environmental Chem. Engineering*. 2019. 7(6). P. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103459>.
2. Pujol L., Evrard D., Groenen-Serrano K., Freyssinier M., Ruffien-Cizsak A., Gros P. Electrochemical sensors and devices for heavy metals assay in water. *Front. Chem.* 2014. <https://doi.org/10.3389/fchem.2014.00019>.
3. Companys E., Galceran E., Pinheiro J., Puy J., Salaun P. A review on electrochemical methods for trace metal speciation in environmental media. *Current Opinion in Electrochem*. 2017. No. 3(1). P. 144–162.

4. Lu, Y., Liang, X., Niyungeko, C., Zhou, J., Xu, J., Tian, G. (2018). A review of the identification and detection of heavy metal ions in the environment by voltammetry. *Talanta*, 178: 324–338.
5. Alves, G., Rocha, L., Soares, H. (2017). Multi-element determination of metals and metalloids in waters and wastewaters, at trace concentration level, using electroanalytical stripping methods with environmentally friendly mercury free-electrodes: A review. *Talanta*, 175: 53–68.
6. Dai, X., Wu, S., Li, S. (2018). Progress on electrochemical sensors for the determination of heavy metal ions from contaminated water. *J. Chin. Adv. Mater. Soc.*, 6: 91–111.
7. March, G., Nguyen, T., Piro, B. (2015). Modified electrodes used for electrochemical detection of metal ions in environmental analysis. *Biosensors*, 5: 241–275.
8. Koirala, K., Santos, J., Tan, A., Ali, M., Mirza, A. (2016). Chemically modified carbon paste electrode for the detection of lead, cadmium and zinc ions. *Sens. Rev.*, 36, 339–346.
9. Zhang, R., Zou, H., Zhang, X., Wang, X. (2019). Advances in Electrochemical Methods for Heavy Metal Determination Sensors. *DEStech Transactions on Engineering and Technol. Res.* DOI: [10.12783/dtetr/icaen201/28982](https://doi.org/10.12783/dtetr/icaen201/28982).
10. Soldatkin, O., Kucherenko, I., Pyeshkova, V., Kukla, A. et al. (2012). Novel conductometric biosensor based on three-enzyme system for selective determination of heavy metal ions. *Bioelectrochem*, 83: 25–30. doi: 10.1016/j.bioelechem.2011.08.001.
4. Lu Y., Liang X., Niyungeko C., Zhou J., Xu J., Tian G. A review of the identification and detection of heavy metal ions in the environment by voltammetry. *Talanta*. 2018. No. 178. P. 324–338.
5. Alves G., Rocha L., Soares H. Multi-element determination of metals and metalloids in waters and wastewaters, at trace concentration level, using electroanalytical stripping methods with environmentally friendly mercury free-electrodes. *Talanta*. 2017. No. 175. P. 53–68.
6. Dai X., Wu S., Li S. Progress on electrochemical sensors for the determination of heavy metal ions from contaminated water. *J. Chin. Adv. Mater. Soc.* 2018. No. 6. P. 91–111.
7. March G., Nguyen T., Piro B. Modified electrodes used for electrochemical detection of metal ions in environmental analysis. *Biosensors*. 2015. No. 5. P. 241–275.
8. Koirala K., Santos J., Tan A., Ali M., Mirza A. Chemically modified carbon paste electrode for the detection of lead, cadmium and zinc ions. *Sens. Rev.* 2016. No. 36. P. 339–346.
9. Zhang R., Zou H., Zhang X., Wang X. Advances in Electrochemical Methods for Heavy Metal Determination Sensors. *DEStech Transactions on Engineering and Technol. Res.* 2019. DOI: [10.12783/dtetr/icaen201/28982](https://doi.org/10.12783/dtetr/icaen201/28982).
10. Soldatkin O., Kucherenko I., Pyeshkova V., Kukla A. et al. Novel conductometric biosensor based on three-enzyme system for selective determination of heavy metal ions. *Bioelectrochem*. 2012. No. 83. P. 25–30. doi: 10.1016/j.bioelechem.2011.08.001.

**KYSLOVA OLHA**

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department  
of department of Chemistry and Electrochemical Energy,  
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine  
<http://orcid.org/0000-0002-0223-1860>  
Scopus Author ID: 22034723000  
E-mail: [kievkislova@gmail.com](mailto:kievkislova@gmail.com)

**КИСЛОВА О. В.**

Київський національний університет технологій і дизайну, Україна  
**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ  
СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ**

**Цель.** Сравнить эффективность различных электрохимических методов исследования, применяемых для определения концентрации тяжелых металлов в сточных водах, используя данные литературных источников

**Методика.** Анализ данных литературы о возможностях, преимуществах и недостатках вольтамперометрических, потенциометрических, кулонометрических и кондуктометрических методов исследования содержания тяжелых металлов в сточных водах.

**Результаты.** Электрохимические методы являются одними из самых распространенных для анализа состава сточных вод. Среди их преимуществ следует отметить высокую селективность, низкий предел регистрации концентраций (до  $10^{-10}$  М для инверсионных вольтамперометрических методов), простоту в исполнении, отсутствие предварительной длительной подготовки проб для анализа, возможность измерения в микрообъемах без разрушения образцов и автоматизации процесса для непрерывного определения концентраций металлов при очистке сточных вод, относительно недорогое оборудование, способность определения концентраций нескольких ионов металлов в смеси.

**Научная новизна.** Проведенные исследования показали, что для определения концентрации тяжелых металлов в сточных водах с наибольшей эффективностью используют различные варианты вольтамперометрических методов исследования (полярография и разновидности инверсионной вольтамперометрии) и потенциометрических методов исследования, в частности с высокочувствительными и специфическими ионоселективными индикаторными электродами.

**Практическая значимость.** Обобщен теоретический материал по современным электрохимическим методам определения содержания ионов тяжелых металлов в сточных водах.

**Ключевые слова:** сточные воды, тяжелые металлы, электрохимические методы.

**KYSLOVA O. V.**

*Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine*

### **COMPARATIVE CHARACTERISTIC OF THE ELECTROCHEMICAL METHODS EFFICIENCY FOR THE HEAVY METALS CONTENT STUDYING IN WASTE WATER**

**Purpose.** Compare the various modern electrochemical research methods effectiveness used to determine the heavy metals concentration in waste water, based on the literature data.

**Methodology.** Analysis of literature data on the possibilities, advantages and disadvantages of voltammetric, potentiometric, coulometric and conductometric methods for the heavy metals content studying in waste water.

**Findings.** The electrochemical methods are the most common methods for analyzing the composition of waste water. Among their advantages, it should be noted high selectivity, low concentration registration limit (up to  $10^{-10}$  M for stripping voltammetric methods), simplicity in execution, absence of preliminary long-term samples preparation for analysis, the ability to microvolumes measure without samples destroying and automation of the process for continuous metals concentrations determination in waste water treatment, relatively inexpensive equipment, the ability to determine the concentration of several metal ions in a mixture.

**Originality.** The studies have shown that most often the concentration of heavy metals in waste water determine with the using of the different modifications of voltammetric research methods (polarography and varieties of stripping voltammetry) and potentiometric research methods in particular with highly sensitive and specific ion-selective indicator electrodes.

**Practical value.** The theoretical material on modern electrochemical methods for the heavy metal ions content determining in waste water is generalized.

**Keywords:** waste water, heavy metals, electrochemical research methods.