

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ТЕХНОЛОГІЇ
ТА
ІНЖИНІРИНГ**

№ 3, 2021

DOI:10.30857/2786-5371.2021.3

Наукове фахове видання

Періодичність виходу: 6 разів на рік

Дата заснування: грудень 1999 р.

Київ 2021

Засновником видання «Технології та інжиніринг» є

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Науковий фаховий журнал є правонаступником видання «Вісник Київського національного університету технологій та дизайну», який у свою чергу був правонаступником видання «Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности», який видавався з березня 1958 року у Київському технологічному інституті легкої промисловості (СРСР).

№ 3, 2021

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: серія КВ №24822–14762 ПР від 19.04.2021р.

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

Журнал входить до переліку наукових фахових видань України.

Наказ МОН України від 29.06.2021 №735 (додаток 3). Категорія Б. Технічні науки. Спеціальності: 122, 131, 133, 151, 161, 132, 182, 141, 144, 171 (2018, 2020).

ISSN 2786-5371 print

ISSN 2786-538X 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, 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:**

Кривонос О. О.

Тематична спрямованість журналу «Технології та інжиніринг»: 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. 1-331а

тел./факс: +38 (044) 256-84-27

e-mail: vistnuk@knu.edu.ua; <http://vistnyk.knu.edu.ua/>

Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну, протокол № 11 від 30.06.2021 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

**TECHNOLOGIES
AND
ENGINEERING**

Issue 3, 2021

DOI:10.30857/2786-5371.2021.3

Scientific Specialized Edition

Issued: 6 times a year

Founded: December, 1999

Kyiv 2021

The owner of «Technologies and Engineering» is

KYIV NATIONAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGIES AND DESIGN

This Scientific Specialized Journal is the successor of the edition "Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design", which in turn was the legal 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).

№ 3, 2021

The state registration of print media is KB № 24822-14762 ПП, originating date 19.04.2021

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

The journal is listed & reregistered in Higher Attestation Commission of Ukraine: №735 dated 29.06.2021 “Technologies and Engineering” in the list of professional publications: cat. B, technical specialties – 122, 131, 133, 151, 161, 132, 182, 141, 144, 171 (from 2018, 2020).

ISSN 2786-5371 print
ISSN 2786-538X online

The journal is registered in ISSN International Centre, Paris.

The journal is abstracted and indexed by Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost, WorldCat, 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:

Olena O. Kryvonos

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 1-331a

Tel./fax: +38 (044) 256-84-27

e-mail: vistnuk@knuvd.edu.ua; <http://vistnyk.knuvd.edu.ua/>

Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 11, originating date 30.06.2021.

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.

**ВІДОМОСТІ ПРО ЧЛЕНІВ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ
наукового фахового журналу
«ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖИНІРИНГ»
"TECHNOLOGIES AND ENGINEERING"**

Панасюк Ігор Васильович – доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту інженерії та інформаційних технологій, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *головний редактор*.

Злотенко Борис Миколайович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник головного редактора*.

**СЕКЦІЯ: МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ. РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ
ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ**

Шведчикова Ірина Олексіївна – доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *відповідальний редактор секції*.

Осипенко Володимир Васильович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*.

Білоус Інна Юріївна – кандидат технічних наук, кафедра теплотехніки та енергозбереження, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Вельченко Ганна Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електроприводу та автоматизації промислових установок і технологічних комплексів, Білоруський національний технічний університет (Мінськ), Білорусь.

Денисюк Сергій Петрович – доктор технічних наук, професор, директор інституту енергозбереження та енергоменеджменту, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна.

Жуйков Валерій Якович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри промислової електроніки, декан факультету електроніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна.

Мілих Володимир Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електричних машин, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна.

Стаценко Володимир Володимирович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Суходуб Ірина Олегівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплотехніки та енергозбереження, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Хоменко Володимир Григорович – доктор технічних наук, доцент кафедри електрохімічної енергетики та хімії, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Чорний Олексій Петрович – доктор технічних наук, професор, директор навчально-наукового інституту електричної інженерії та інформаційних технологій, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Україна.

Шавьолкін Олександр Олексійович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Atef Saleh Almashakbeh, Doctor of Engineering The Department of Electrical Engineering, Tafila Technical University, Aţ Ţafilah, Jordan.

Jasim Mohmed, Docent, PhD The Department of Electrical Power Engineering Techniques, Al-Furat Al-Awsat Technical University – Al-Musssaib Technical college, Kufa, Iraq.

**СЕКЦІЯ: МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ІНДУСТРІЇ МОДИ, ТЕХНОЛОГІЇ
ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ, ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ**

Березненко Сергій Миколайович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології та конструювання швейних виробів, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *відповідальний редактор секції*.

Галавська Людмила Євгенівна – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри технології та дизайну текстильних матеріалів, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*.

Арабулі Світлана Іванівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології та дизайну текстильних матеріалів, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Гараніна Ольга Олександрівна – доктор технічних наук, завідувачка кафедри конструювання і технології виробів із шкіри, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Кизимчук Олена Павлівна – доктор технічних наук, професор кафедри технології та дизайну текстильних матеріалів, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Очеретна Лариса – PhD, доцент, кафедра оцінки текстилю, Люберецький технічний університет, Чеська республіка.

Славінська Алла Людвигівна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології та конструювання швейних виробів, Хмельницький національний університет, Україна.

Хімичева Анна Іванівна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та виміральної техніки, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

СЕКЦІЯ: ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Барсуков В'ячеслав Зіновійович – доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри електрохімічної енергетики та хімії, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *відповідальний редактор секції*.

Плаван Вікторія Петрівна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної екології, технології полімерів та хімічних волокон, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*.

Баула Ольга Петрівна – кандидат хімічних наук, професор, декан факультету хімічних та біофармацевтичних технологій, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Бессарабов Володимир Іванович, кандидат хімічних наук, доцент кафедри промислової фармації, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Будаш Юрій Олександрович – доктор технічних наук, професор кафедри прикладної екології, технології полімерів та хімічних волокон, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Данилкович Анатолій Григорович – доктор технічних наук, професор кафедри біотехнології, шкіри та хутра, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Картель Микола Тимофійович – доктор хімічних наук, професор, академік НАН України.

Касьян Едуард Євгенович – доктор технічних наук, професор кафедри біотехнології, шкіри та хутра, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Кузьмінський Євген Васильович – доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри екобіотехнології та біоенергетики Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна.

Левицький Володимир Євстахович – доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», Україна.

Савченко Богдан Михайлович – доктор технічних наук, професор кафедри прикладної екології, технології полімерів та хімічних волокон, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Скорохода Володимир Йосипович – доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», Україна.

Страшний Владислав Володимирович – доктор фармацевтичних наук, професор, завідувач кафедри промислової фармації, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Jaskula Marian – professor, Faculty of Chemistry, Jagiellonian University, Cracow, Poland.

Valeika Virgilijus – professor, PhD, Department of Physical and Inorganic Chemistry, Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania.

ЗМІСТ

МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ. РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

1. **Іванова М. С., Олейнікова І. В.**
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ В ОСВІТЛЕННІ ПІШОХІДНИХ ПЕРЕХОДІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ 9
2. **Ничеглод В. В., Бурмістенков О. П., Стаценко В. В.**
ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДОЗУВАЛЬНИМ ОБЛАДНАННЯМ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ З «ПІ» ТА «ПІД» РЕГУЛЯТОРАМИ 18
3. **Шавьолкін О. О., Становський Є. Ю., Підгайний М. О., Марченко Р. М., Кругляк Г. В.**
МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ГІБРИДНІЙ ФОТОЕЛЕКТРИЧНІЙ СИСТЕМІ З АКУМУЛЯТОРОМ ДЛЯ ПОТРЕБ ЛОКАЛЬНОГО ОБ'ЄКТУ 28
4. **Шведчикова І. О., Солошич І. О., Солошич С.**
НАУКОВА ПРОЄКТНА ДІЯЛЬНІСТЬ ЯК ПЕРЕДУМОВА ФОРМУВАННЯ ФАХОВИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ З ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ 39
5. **Шовкалюк М. М., Ващишин Р. Л.**
АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУДІВЛІ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ СКЛАДНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ ІЗ РОЗРОБКОЮ ПРОПОЗИЦІЙ ПО ПІДВИЩЕННЮ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ 49

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ІНДУСТРІЇ МОДИ, ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ, ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ

6. **Боброва С. Ю., Єліна Т. В., Галавська Л. Є., Щербань В. Ю., Колиско О. З.**
КАРКАСНА МОДЕЛЬ РОЗТЯГУВАННЯ КУЛІРНОГО ТРИКОТАЖУ ВЗДОВЖ ПЕТЕЛЬНИХ РЯДІВ 60

ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

7. **Тарасенко Н. В., Плаван В. П., Будащ Ю. О., Ткаченко І. М.**
ДОСЛІДЖЕННЯ СОРБЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ, МОДИФІКОВАНИХ ГЛІНИСТИМИ МІНЕРАЛАМИ 70

TABLE OF CONTENTS

MECHATRONIC SYSTEMS. RESOURCE SAVING & ENERGY EFFICIENCY

1. **Ivanova M. S., Oleynikova I. V.**
USE OF INTELLIGENT CONTROL SYSTEM IN LIGHTING OF PEDESTRIAN CROSSINGS TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY 9
2. **Nicheglod V. V., Burmistenkov O. P., Statsenko V. V.**
RESEARCH OF OPERATIONS OF CONTROL SYSTEMS OF CONTINUOUS ACTIVE DOSING EQUIPMENT WITH "PI" AND "PID" REGULATORS 18
3. **Shavolkin O. O., Stanovskyi Ye. Yu., Pidhainyi M. O., Marchenko R. M., Kruhliak H. V.**
MODELING OF ENERGY PROCESSES IN A HYBRID PHOTOELECTRIC SYSTEM WITH A BATTERY FOR THE NEEDS OF A LOCAL OBJECT 28
4. **Shvedchykova I., Soloshych I., Soloshych S.**
SCIENTIFIC PROJECT ACTIVITY AS A BACKGROUND FOR THE FORMATION OF PROFESSIONAL COMPETENCIES OF APPLICANTS OF HIGHER EDUCATION IN ELECTRICAL ENGINEERING 39
5. **Shovkaliuk M. M., Vashchyshyn R. L.**
ANALYSIS OF ENERGY CHARACTERISTICS OF THE STUDY BUILDING OF THE COMPLEX CONFIGURATION WITH THE DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY 49

MATERIAL SCIENCE IN THE TEXTILE, CLOTHING AND FOOTWEAR MANUFACTURING INDUSTRIES

6. **Bobrova S. Yu. Yelina T. V., Halavska L. Ye., Shcherban V. Yu., Kolisko O.Z.**
FRAME MODEL OF STRETCHING OF WEFT-KNITTED FABRICS IN THE COURSEWISE DIRECTION 60

CHEMICAL AND BIOPHARMACEUTICAL TECHNOLOGIES

7. **Tarasenko N. V., Plavan V. P., Budash Yu. O., Tkachenko I. M.**
RESEARCH OF SORPTION PROPERTIES OF FIBROUS MATERIALS MODIFIED WITH CLAY MINERALS 70

УДК 628.971.6

ІВАНОВА М. С., ОЛЕЙНІКОВА І. В.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ В ОСВІТЛЕННІ ПІШОХІДНИХ ПЕРЕХОДІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Мета. Розробка концепції інтелектуальної системи управління для впровадження в схему освітлення пішохідних переходів та створення дизайну вуличного світильника задля зменшення витрат на електроенергію та збільшення терміну експлуатації вуличних ліхтарів, використовуючи такі технічні прилади як димер та спеціальні датчики руху.

Методика. У процесі дослідження використано методи теоретичного аналізу, моделювання зовнішнього вигляду та створення схеми комплексу інтелектуального керування, основні положення про освітлення пішохідних переходів та дизайн вуличного освітлення, аналіз можливостей датчиків руху та димірування при використанні в освітленні.

Результати. Проаналізовано технології застосування димерів та різноманітних датчиків руху в освітленні та виділено сучасні технологічні переваги їх використання. Виявивши проблему в сплаті за електроенергію вуличного освітлення для багатьох місцевих бюджетів було розроблено інтелектуальну систему керування освітленням пішохідних переходів. Система дозволяє отримати значний економічний ефект, знизивши використання електроенергії максимум на 70%. Дана економія досягається застосуванням димірування ламп та спеціальних вузьконаправлених датчиків руху, що мають кут огляду 6° по горизонталі. В стані спокою система тримає потужність ламп на 50%, доки людина не потрапляє в зону дії датчика, й освітленість підіймається до 100% на певно встановлений час. Спеціально підібрані датчики та їх правильне розміщення дозволяє системі спрацювати лише тоді, коли людина підходить до пішохідного переходу, та вилучити випадкові непередбачувані включення. Проаналізувавши сучасний ринок вуличного освітлення, було створено та запропоновано дизайн дорожнього світильника.

Наукова новизна. Запропоновано використання інтелектуальної системи управління в освітленні пішохідних переходів, адже наразі вона широко застосовується лише як складова частина комплексу «розумний дім». Застосування в схемі освітлення пішохідних переходів димірування та спеціальних вузьконаправлених датчиків руху з кутом огляду 6° по горизонталі, що дозволить вилучити випадкове спрацювання, як від людей та автомобілів, так і від собак та котів. Розроблений новий дизайн дорожнього ліхтаря, на основі проаналізованих положень про правильне освітлення пішохідних переходів.

Практична значимість. Освітлення пішохідних переходів наразі є проблемою в нашій країні, адже стається багато аварій, а для хорошого освітлення потрібно витратити багато коштів на електроенергію з місцевих бюджетів. Дана інтелектуальна система управління освітленням пішохідних переходів спеціально розроблена так що, використання електроенергії можна знизити на 70%, а термін служби світильників значно збільшити, наприклад у 1,5 рази, але більш точне значення можна отримати лише після введення першого експериментального зразка. Використання такої системи можливе по всій території України на кожному переході, на відміну від багатьох інших проектів по освітленню дорожніх переходів.

Ключові слова: інтелектуальна система управління; пішохідні переходи; димірування; датчики руху; дизайн вуличного світильника.

Вступ. Освітлення пішохідних переходів є важливою та невід'ємною складовою інфраструктури міста. Якісно спроектоване освітлення слугує не лише комфорту людей та естетичності навколишнього простору, а й значно зменшує кількість дорожньо-транспортних пригод.

Організація дорожнього руху це достатньо гостра проблема в Україні, адже за останній рік кількість аварій зросла майже на 20%, до 168 107 ДТП, а загинула 3 541 людина, з яких аж

1 198 – пішоходи [1]. Висока освітленість особливо небезпечних та найбільш аварійних ділянок значною мірою вирішує цю проблему, але з іншого боку створює іншу. Вуличне освітлення споживає достатньо багато електроенергії, навіть при використанні світлодіодних світильників. До того ж далеко не завжди використовуються економічні джерела світла В Україні постійне підняття цін на електроенергію створює додаткове навантаження на місцеві бюджети, які й так не надто наповнені [2].

Останнім часом з'являються різні креативні рішення по освітленню дорожніх переходів. В запропонованих проектах міститься: додаткове декоративне підсвічування з використанням світла декількох кольорів, різноманітні вбудовані дорожні маркери та світильники-аплайти. Хоча дані методи підвищують безпеку відповідних зон, але затрати на електроенергію значно зростають. Водночас, вони не пристосовані для широкого впровадження по всій території України та діють лише у великих містах або закордоном [3; 4].

Нині інтелектуальна система управління освітленням існує лише, як частина комплексу роботи «розумного дому». Хоча при її використанні в схемі вуличного освітлення можна зменшити споживання електроенергії до 70%, в залежності від інтенсивності руху пішоходів.

Постановка завдання. Мета роботи – обґрунтування доцільності використання інтелектуальної системи управління в схемі освітлення пішохідних переходів. Впровадження даного комплексу, який включає димірування та датчики руху, дозволить регулювати потужність в залежності від наявності пішоходів, що зменшить споживання електроенергії по всій території України. Спеціально розроблений дизайн та правильно встановлені світильники підвищують безпеку всього дорожнього простору включаючи небезпечні та неосвітлені фарами автомобілів ділянки.

Результати дослідження. Орієнтуючись на енергоефективність при освітленні пішохідних переходів, перш за все, важлива правильність встановлення освітлювальної техніки.

Під час проектування освітлення для дорожніх переходів важливо, щоб водіям було добре видно пішоходів та їх не засліплювало. Це досягається шляхом створення видимого контрасту між пішохідним переходом і площиною дороги. Для цього замість того, щоб розміщувати світильник прямо над переходом варто використовувати асиметричний розподіл світла, що створює високий вертикальний рівень освітленості пішохода. Створюється чудовий огляд для проїжджого водія транспорту як з малих, так і з великих дистанцій завдяки високому горизонтальному рівню освітленості.

В українському ДБН В.2.5-28:2018 нормується освітлення наземних пішохідних переходів (табл. 1) [5].

Таблиця 1

Величини середньої і мінімальної освітленості для наземних пішохідних переходів

-	$E_{\text{сер}}$, не менше ніж	$E_{\text{мін}}$, не менше ніж
Комерційні й промислові зони	30 лк	15 лк
Житлові зони	20 лк	6 лк

Якщо спиратися на українські та міжнародні стандарти і рекомендації, можна виділити такі мінімальні вимоги для становища, в якому яскравість дороги знаходиться в межах від 1 до 2 кд/м²:

- середня вертикальна освітленість на осі пішохідного переходу на висоті 1 м повинна становити не менше 40 люкс;
- однорідність вертикальної освітленості на смузї дороги перед водієм автотранспорту повинна дорівнювати 0,20;

- середня горизонтальна освітленість на пішохідному переході по поверхні землі – не менше 80 люкс;

- однорідність горизонтальної освітленості – 0,30 [6].

Між освітленням пішохідних переходів та загальним вуличним повинна бути різниця в кольоровій температурі спектру. Зазвичай дороги освітлюються світильниками з газорозрядними натрієвими лампами, які мають жовте світло або світлодіодними з теплим світлом (колірна температура близько 2800–3500 К) [7]. При цьому пішохідні переходи потрібно освітлювати нейтральним білим або ж ледь холодним білим кольором (від 4000 та не більше 4500 К, щоб не створювати світлового забруднення та не порушувати життєвий цикл людей і тварин [8]), створюючи кольоровий контраст на дорозі. Використовуючи біле світло та його асиметричний розподіл, значно збільшується ефективність освітлення.

Коефіцієнт передачі кольору повинен бути не менше 65, а рівень захисту IP 65 та вище, тобто герметичність корпусу, що дозволяє якомога довше користуватися світильником з початковою продуктивністю. Для візуального комфорту учасників дорожнього руху варто використовувати оптичні системи з виділеними асиметричними розподілами світла. Якісно облаштоване освітлення на пішохідних переходах знижує кількість ДТП, особливо в аварійних зонах та складних ділянках.

Вуличні ліхтарі повинні знаходитися на відстані 1 м від дороги та пішохідного переходу. Висота світильника повинна бути в діапазоні 5–6 м. Кількість ліхтарів на одному переході залежить від напрямків руху та кількості смуг дороги. Якщо це односторонній рух з двома смугами достатньо одного світильника (рис. 1 а), якщо дорога має двосторонній рух, то завжди потрібно мінімум два ліхтарі, для забезпечення контрасту в обох напрямках руху (рис. 1 б). Для освітлення дороги з більше ніж двома смугами по одному напрямку руху, наприклад з трьома, то потрібно два світильники, тобто один з кожного боку (рис. 1 в).

Проаналізувавши ринок ламп для вуличного освітлення та використовуючи сучасні елементи створення промислового продукту, пропонується спеціально розроблений сучасний дизайн ліхтаря для освітлення дорожнього переходу (рис. 2).

Використання світлодіодних джерел світла у вуличному освітленні є енергозбережним в порівнянні з іншими видами ламп, але вдосконаливши їх диміруванням, датчиками руху та інтелектуальною системою управління можна значно зменшити витрати електроенергії та місцевих бюджетів.

Димер – це спеціальний прилад, який слугує для регулювання світла (рис. 3). Пристрій плавно змінює яскравість різноманітних ламп, обмежуючи силу електричного струму і, відповідно, потужність. Даний процес має назву «димірування». Димер може від самого початку бути вбудованим в лампу або ж приєднуватися як окремий пристрій. Встановлюючи його окремо, варто перевірити чи сумісний даний світильник з димером, і на скільки він здатний максимально знизити потужність залежно від джерела світла. Наприклад метало галогенні лампи – на 50%, натрієві газорозрядні та люмінесцентні лампи – на 85%, а світлодіоди – на 97% [9].

Зараз на ринку є різноманітні димери, але електронні користуються великою популярністю. В них як силовий елемент використовується напівпровідниковий транзисторний або симісторний ключ. За час свого існування димери добре розвинулися і на сьогодні можуть не лише регулювати яскравість лампи, знижуючи потужність, а й мають інші корисні функції. Серед них:

- можливість регулювати яскравість дистанційно;
- наявність голосового керування;
- імітація присутності;
- вбудовані режими миготіння та затемнення;

- автоматичне вмикання та вимикання димера по заданому налаштуванню таймера [10].

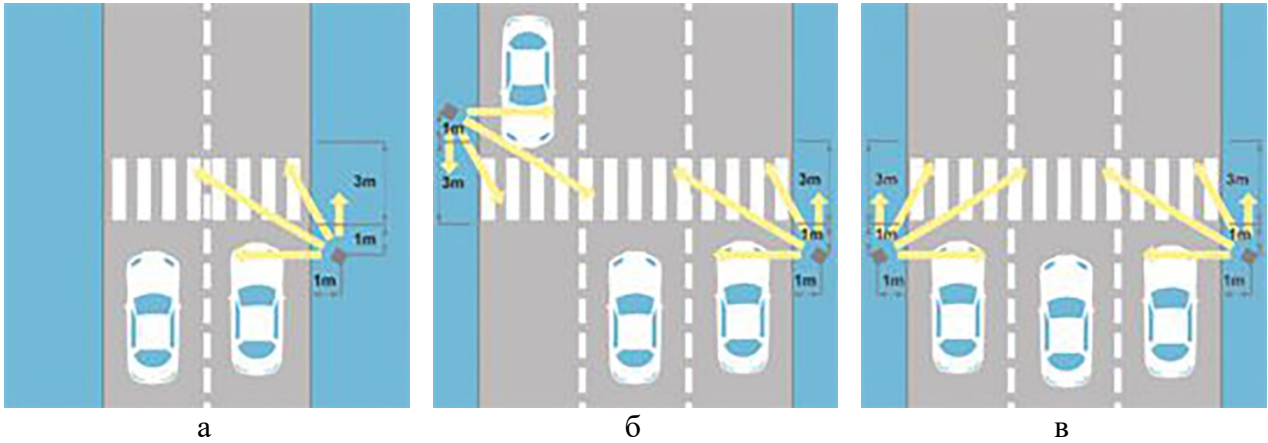


Рис. 1. Освітлення: а) 2-смугової дороги одностороннього руху; б) дороги двостороннього руху; в) 3-смугової дороги одностороннього руху



Рис. 2. Розроблений дизайн вуличного світильника



Рис. 3. Димірування настільної LED-лампи

Димірування може бути, як автоматичний процес. Він регулюється завдяки датчикам освітленості, тобто встановлюється певний рівень освітленості прилеглої території. Димер буде вмикатися та вимикатися за сигналами датчика, тобто світильник в певний час матиме встановлену потужність. Зміна яскравості світла безпечна для людей, що знаходяться поряд, не лише завдяки плавності, а й функції попередження. В додачу, автоматичне димірування розв'язує проблему енергоефективності, істотно зменшуючи витрати електроенергії.

Датчики руху – це пристрої, які автоматично вмикають відповідну приєднану систему на заданий проміжок часу, коли певний рухомий об'єкт потрапляє в зону їх контролю. Сьогодні на ринку є різноманітні датчики для зовнішнього і внутрішнього застосування, різної дальності визначення руху та інших характеристик.

Проаналізувавши сучасні можливості наведених вище пристроїв, пропонується залучення в схему освітлення пішохідного переходу бездротового вуличного вузьконаправленого датчика руху та димірування ламп. При цьому димер може приєднуватися окремо при встановленні системи або ж бути вбудованим у світильник при їх заміні. В даній системі він працює таким чином, що під час стану спокою тримає потужність на 50% (щоб освітленість не була нижчою 20–30 лк в залежності від різновиду зони) до моменту появи людини. Коли спрацьовує один із двох датчиків руху, що знаходяться по одному з кожного боку переходу, димер збільшує потужність ламп до 100%. Таким чином, можна знизити використання електроенергії максимум на 70%. Ефективність даної системи залежить від місця розташування даного переходу і, відповідно, від кількості пішоходів у різні години.

В даній системі використовуються вузьконаправлені датчики, які визначають рух на відстані до 10 метрів та мають кути огляду: по горизонталі – 6°, по вертикалі – 90°. Датчики розміщені на опорах вуличних ліхтарів (рис. 4).

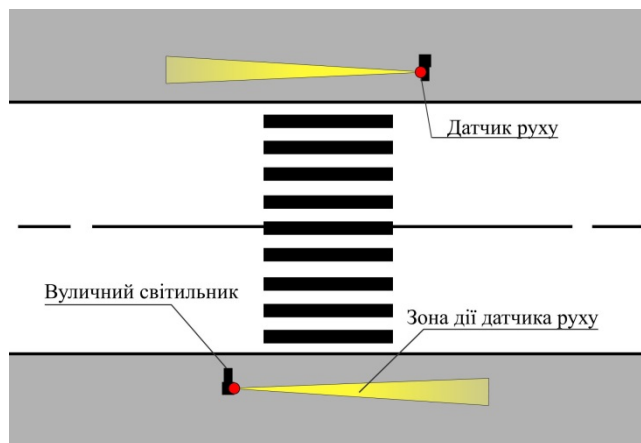


Рис. 4. Схема розміщення датчиків руху

Такі датчики мають вагомні переваги, а саме:

- Завдяки вузько направленості вони не реагують на автотранспорт та пішоходів, які проходять повз.
- При наявності інтелектуального алгоритму ZOE (Zero Operations Evaluations) не реагують на собак, котів та птахів.
- Оснащені двома PIR-сенсорами для виключення помилкових спрацювань.
- Можуть керуватися дистанційно.

Встановлені світильники на одному пішохідному переході будуть програмуватися в групу, яка буде повністю регулюватися при спрацюванні будь-якого датчика руху на цій території. Організація роботи пристроїв керується автоматичною системою управління

освітленням. Технічне рішення даної системи передбачає, що сигнали про зміну стану надходять від датчиків руху до блоку управління в якому генеруються сигнали, призначені групам світильників або окремим освітлювальним приладам. Якщо управління роботою СД (джерел світла) відбувається дистанційно, все керування зосереджене в одному або декількох місцях, наприклад на центральному диспетчерському пункті (ЦДП) [11].

Універсальність та технологічна простота дозволяє використовувати дану систему якомога ширше по всіх містах.

Використання даної системи управління має ряд технологічних та споживчих переваг:

- при появі людини яскравість світильника збільшується не різко, а плавно, що надасть водію та пішоходу час для адаптації на зміну світла та вбереже їх від засліплення;
- широкі можливості управління дозволяють керувати як окремими світильниками, так і зонувати їх на групи з різною кількістю [12];
- керувати такою системою можна дистанційно, вивівши пункт управління на зручне місце;
- при потребі чи надзвичайній ситуації світильники можна легко перепрограмувати;
- відсутність додаткових ліній передач та їх прокладання;
- при монтажу такої системи можна не замінювати освітлювальні прилади, а використовувати вже дієві, додавши інші елементи та пристрої;
- при наявності на дорозі різних джерел освітлення можливе їх сполучення;
- можлива комбінація регульованих і нерегульованих світильників, що є невід'ємною можливістю для зовнішнього освітлення міст, адже всі ліхтарі знаходяться в одній схемі живлення, але понижувати та підвищувати потужність потрібно лише в тих, що направлені на пішохідні переходи;
- при впровадженні можна вибрати найзручнішу та найбільш підхожу модель керування;
- при переформуванні чи добудові чинної схеми освітлення можливе і калібрування системи;
- в пункті управління надається інформація не лише про потужність світильника, а і про його розташування, що може бути корисним при різних обставинах;
- збільшується термін експлуатації освітлювальних джерел світла, що своєю чергою дозволяє підтримувати початкову продуктивність якомога довше;
- значно зменшується витрати на електроенергію та на обладнання і демонтаж, тобто заміну світильників, адже це доведеться робити в рази рідше.

Дані переваги дозволяють з впевненістю рекомендувати інтелектуальну систему управління з використанням димірування та датчиків руху для широкого запровадження в освітленні пішохідних переходів по всій території України. Дана система буде ефективною на більшості територій, окрім місць з великою кількістю пішоходів щоденно.

Висновки. Запропоновано використання інтелектуальної системи в освітленні пішохідних переходів, як важливої складової інфраструктури міста. Розглянуто технологію димірування та датчиків руху в освітленні. Використовуючи димери та спеціальні бездротові вуличні вузьконаправлені датчики руху, розроблено концепцію автоматичної інтелектуальної системи управління для освітлення вуличних переходів. Проаналізувавши ринок вуличних ліхтарів, був розроблений дизайн світильника для дорожнього освітлення.

У роботі обґрунтовано доцільність використання даного комплексу. Він значно знизить витрати на електроенергію та збільшить термін експлуатації світильників з їх початковою ефективністю, що дозволить рідше замінювати освітлювальну техніку. Використання електроенергії можна знизити максимум на 70%, в залежності від трафіку пішоходів на конкретній території в різний час.

В подальшому розвитку даний комплекс можна вдосконалити сонячними панелями, що дозволить світильникам перейти на автономне забезпечення електроенергією і значно підвищити енергоефективність.

References

1. ДТП в Україні: скільки людей травмується і гине на дорогах [Road accidents in Ukraine: how many people are injured and die on the roads]. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2021/07/21/infografika/suspilstvo/dtp-ukrayini-skilky-lyudej-travmuyetsya-hyne-dorohax> [in Ukrainian].
2. Чому Україна дуже темна країна? [Why is Ukraine a very dark country?]. URL: <https://slavuta-mvk.gov.ua/archives/17490> [in Ukrainian].
3. У Вінниці тестують перший в країні проєкційний пішохідний перехід, влаштований на вулиці з інтенсивним трафіком [Vinnytsia tests the country's first projection pedestrian crossing, arranged on a street with heavy traffic]. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-yakisne-zhyttia/3331561-persij-v-kraini-proekcijnij-pisohidnij-perehid-testuut-u-vinnici.html> [in Ukrainian].
4. Світлофори автоматично штрафуватимуть порушників ПДР [Traffic lights will automatically fine traffic offenders]. URL: <https://lexinform.com.ua/v-sviti/svitlofory-avtomatychno-shtrafuvatymut-porushnykiv-pdr/> [in Ukrainian].
5. ДБН В.2.5-28:2018 ПРИРОДНЕ І ШТУЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ [DBN B.2.5-28: 2018 NATURAL AND ARTIFICIAL LIGHTING]. P. 36 [in Ukrainian].
6. Офіційний сайт компанії ПОЛІГОНАЛЬ. Освітлення пішохідних переходів [Official site of the company POLYGONAL. Lighting of pedestrian crossings]. URL: https://polygonal.com.ua/osvItlennya_pIshohIdnih_perehodIv.php [in Ukrainian].
7. Мисиук, Ю. П. (2013). Зовнішнє освітлення міст та безпека дорожнього руху [Exterior lighting of cities and road safety]. *Світлотехніка та електроенергетика = Lighting and electricity*, № 3–4, P. 33–39 [in Ukrainian].
8. Назаренко, Л. А., Чернець, В. С. (2016). Проблеми світлового забруднення [Problems of light pollution]. *Світлотехніка та електроенергетика = Lighting and electricity*, № 2, P. 6–17 [in Ukrainian].
9. Литовченко, С. Н., Назаренко, Л. А. (2016). Принципи побудови і вибору елементної бази світлодіодних світильників та їх систем управління (продовження) [Principles of construction and selection of the element base of LED lamps and their control systems (continued)]. *Світлотехніка та електроенергетика = Lighting and electricity*, № 1, P. 30–33 [in Ukrainian].
10. Диміруємі лампи – що це? [Dimmable lamps - what is it?]. URL: <https://milight.com.ua/ua/dimmiruemye-lampy-chto-eto/> [in Ukrainian].

Література

1. ДТП в Україні: скільки людей травмується і гине на дорогах. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2021/07/21/infografika/suspilstvo/dtp-ukrayini-skilky-lyudej-travmuyetsya-hyne-dorohax>.
2. Чому Україна дуже темна країна? URL: <https://slavuta-mvk.gov.ua/archives/17490>.
3. У Вінниці тестують перший в країні проєкційний пішохідний перехід, влаштований на вулиці з інтенсивним трафіком. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-yakisne-zhyttia/3331561-persij-v-kraini-proekcijnij-pisohidnij-perehid-testuut-u-vinnici.html>.
4. Світлофори автоматично штрафуватимуть порушників ПДР. URL: <https://lexinform.com.ua/v-sviti/svitlofory-avtomatychno-shtrafuvatymut-porushnykiv-pdr/>
5. ДБН В.2.5-28:2018 ПРИРОДНЕ І ШТУЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ. С. 36.
6. Офіційний сайт компанії ПОЛІГОНАЛЬ. Освітлення пішохідних переходів. URL: https://polygonal.com.ua/osvItlennya_pIshohIdnih_perehodIv.php.
7. Мисиук Ю. П. Зовнішнє освітлення міст та безпека дорожнього руху. *Світлотехніка та електроенергетика*. 2013. № 3–4. С. 33–39.
8. Назаренко Л. А., Чернець В. С. Проблеми світлового забруднення. *Світлотехніка та електроенергетика*. 2016. № 2. С. 6–17.
9. Литовченко С. Н., Назаренко Л. А. Принципи побудови і вибору елементної бази світлодіодних світильників та їх систем управління (продовження). *Світлотехніка та електроенергетика*. 2016. № 1. С. 30–33.
10. Диміруємі лампи – що це? URL: <https://milight.com.ua/ua/dimmiruemye-lampy-chto-eto/>
11. Вінце Р. Ж. Розробка систем керування роботою світлодіодних джерел світла:

11. Vintse, R. Zh. (2019). Rozrobka system keruvannia robotoiu svitlodiodnykh dzherel svitla: diplomna robota mahistra za spetsialnistiu 141 – elektroenerhetyka, elektrotehnika ta elektromekhanika [Development of control systems for LED light sources: master's thesis in specialty 141 - electric power, electrical engineering and electromechanics]. Ternopil: TNTU. 112 p. [in Ukrainian].
12. Интеллектуальная система управления уличным и внутренним освещением на основе диммирования. URL: <http://www.energsovet.ru/entech.php?idd=149> [in Russian].
11. дипломна робота магістра за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопіль: ТНТУ, 2019. 112 с.
12. Интеллектуальная система управления уличным и внутренним освещением на основе диммирования. URL: <http://www.energsovet.ru/entech.php?idd=149>.

IVANOVA MARHARYTA

Department of Design, Kyiv National University of
Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7484-7317>
E-mail: ukrainianpaintress@gmail.com

OLENIKOVA 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

ИВАНОВА М. С., ОЛЕЙНИКОВА И. В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ОСВЕЩЕНИИ ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Цель. Разработка концепции интеллектуальной системы управления для внедрения в схему освещения пешеходных переходов и создания дизайна уличного светильника для уменьшения затрат на электроэнергию и увеличения срока эксплуатации уличных фонарей, используя такие технические приборы, как димер и специальные датчики движения.

Методика. В процессе исследования использованы методы теоретического анализа, моделирования внешнего вида и создания схемы комплекса интеллектуального управления, основные положения об освещении пешеходных переходов и дизайне уличного освещения, анализ возможностей датчиков движения и диммирования при использовании в освещении.

Результаты. Проанализированы технологии применения диммеров и различных датчиков движения в освещении и выделены современные технологические преимущества их использования. Обнаружив проблему в оплате за электроэнергию уличного освещения для многих местных бюджетов, была разработана интеллектуальная система управления освещением пешеходных переходов. Система позволяет получить значительный экономический эффект, снизив потребление электроэнергии максимум на 70%. Данная экономия достигается применением диммирования ламп и специальных узконаправленных датчиков движения, которые имеют угол обзора 6° по горизонтали. В состоянии покоя система держит мощность ламп на 50%, пока человек не попадает в зону действия датчика и освещенность поднимается до 100% на установленное время. Специально подобранные датчики и их правильное размещение позволяет системе срабатывать только когда человек подходит к пешеходному переходу, и изъять случайные непредсказуемые включения. Проанализировав современный рынок уличного освещения, было создано и предложено дизайн дорожного светильника.

Научная новизна. Предложено использование интеллектуальной системы управления в освещении пешеходных переходов, ведь сейчас она широко применяется лишь как составная часть комплекса «умный дом». Применение в схеме освещения пешеходных переходов диммирования и

спеціальних узконаправлених датчиків руху з кутом огляду 6° по горизонталі, що дозволить виключити випадкове спрацювання, як від людей і автомобілів, так і від собак і котів. Розроблено новий дизайн дорожнього фонаря, на основі проаналізованих положень про правильне освітлення пішохідних переходів.

Практична значимість. Освітлення пішохідних переходів зараз проблема в нашій країні, бо відбувається багато аварій, а для хорошого освітлення потрібно витрачати багато грошей на електроенергію з місцевих бюджетів. Ця інтелектуальна система управління освітленням пішохідних переходів спеціально розроблена так, щоб використання електроенергії можна було знизити на 70%, а термін служби світильників значно збільшити, наприклад в 1,5 рази, але більш точне значення можна отримати тільки після введення першого експериментального зразка. Використання такої системи можливо на всій території України на кожному переході, в порівнянні з багатьма іншими проектами по освітленню дорожніх переходів.

Ключові слова: інтелектуальна система управління; пішохідні переходи; диммер; датчики руху; дизайн вуличного світильника.

IVANOVA M. S., OLEJNIKOVA I. V.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

USE OF INTELLIGENT CONTROL SYSTEM IN LIGHTING OF PEDESTRIAN CROSSINGS TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY

Purpose. Development of the concept of an intelligent control system for implementation in the scheme of pedestrian crossing lighting and design of a street lamp to reduce electricity costs and increase the service life of street lights, using technical devices such as dimmers and special motion sensors.

Method. The research methods of theoretical analysis, modeling of appearance and creation of the scheme of intellectual control complex, basic provisions on lighting of pedestrian crossings and design of street lighting, analysis of possibilities of motion sensors and dimming at use in lighting are used.

Results. Technologies of application of dimmers and various motion sensors in lighting are analyzed and modern technological advantages of their use are allocated. Having identified a problem in the payment for electricity for street lighting for many local budgets, an intelligent control system for pedestrian crossing lighting was developed. The system allows obtaining of significant economic effect, reducing electricity consumption by a maximum of 70%. This saving is achieved by using dimming lamps and special narrow motion sensors, which have a viewing angle of 6° horizontally. At rest, the system keeps the lamp power at 50% until the person falls within the range of the sensor and the illumination rises to 100% for the set time. Specially selected sensors and their correct placement allow the system to work only when a person approaches a pedestrian crossing, and to remove accidental unpredictable inclusions. After analyzing the modern street lighting market, the design of a street lamp was created and proposed.

Scientific novelty. It is proposed to use an intelligent control system in the lighting of pedestrian crossings, because now it is widely used only as part of the complex "smart home". Application in the scheme of lighting of pedestrian crossings of dimming and special narrowly directed motion sensors with a viewing angle of 6° horizontally that will allow to exclude accidental operation, both from people and cars, and from dogs and cats. A new design of the road lamp has been developed, based on the analyzed provisions on the correct lighting of pedestrian crossings.

Practical significance. Lighting of pedestrian crossings is currently a problem in our country, because there are many accidents, and for good lighting you need to spend a lot of money on electricity from local budgets. This intelligent pedestrian crossing lighting control system is specially designed so that the use of electricity can be reduced by 70% and the service life of lamps can be significantly increased, for example by 1.5 times, but a more accurate value can be obtained only after the introduction of the first experimental sample. The use of such a system is possible throughout Ukraine at each crossing, unlike many other projects for lighting road crossings.

Keywords: intelligent control system; pedestrian crossings; dimming; motion sensors; street lamp design.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.3.2>

УДК 621.316.
71

НИЧЕГЛОД В. В., БУРМІСТЕНКОВ О. П., СТАЦЕНКО В. В.
Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДОЗУВАЛЬНИМ ОБЛАДНАННЯМ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ З «ПІ» ТА «ПІД» РЕГУЛЯТОРАМИ

Мета. Дослідження перехідних процесів в системі керування дозувальним обладнанням безперервної дії для сипких матеріалів з використанням ПІ та ПІД регуляторів та оцінка їх впливу на якість роботи робочих елементів.

Методика. Використання програмного середовища Mathlab:Simulink для розробки математичної моделі, проведення експериментальних досліджень та оцінки впливу на робочі органи системи керування дозувальним обладнанням безперервної дії.

Результати досліджень. Керування параметрами електродвигуна (характеристиками двигуна) за допомогою типових регуляторів їх порівняння переваг та недоліків. описані в багатьох стандартах і наукових працях. Однак моделювання процесу роботи двигуна в системах дозування значно ускладнюється у зв'язку з інертністю та злипанням сипкого матеріалу що дозується в активній зоні бункера, це може суттєво вплинути на кінцевий результат готової суміші. В роботі розроблено математичну модель для дослідження перехідних процесів в системі керування дозувальним обладнанням безперервної дії з використанням ПІ- та ПІД- регуляторів, проведено експеримент на математичній моделі з використанням ПІ- та ПІД- регуляторів для оцінки їх впливу на систему керування тарілчастим живильником безперервної дії. Результати проведеного моделювання можна використати для прийняття рішень щодо вибору типу регулятора для керування перехідними характеристиками двигуна, при розробці системи керування тарілчастими живильниками в змішувальних комплексах безперервної дії.

Наукова новизна. Визначено параметри, що впливають на частоту з якою обертається двигун тарілчастого живильника безперервної дії. Визначено час перехідного процесу роботи двигуна та величину максимального динамічного відхилення. Доведено доцільність використання регуляторів того чи іншого типу для певних режимів роботи живильників.

Практична значимість. Отримані результати дозволять зменшити час перехідного процесу в роботі двигуна живильника та збільшити час напрацювання до відмови всієї системи. Запропоновано конструктивні зміни, які дозволять зменшити величину пульсацій та покращити продуктивність дозувального обладнання безперервної дії.

Ключові слова: сипкі матеріали; система керування; математична модель; дозування; перехідний процес; диференціальне рівняння; регулятори; ПІ- та ПІД-регулятори; живильник; перехідна характеристика; Mathlab:Simulink.

Вступ. Сипкі матеріали використовуються практично у всіх галузях промисловості та в сільському господарстві. Процес змішування є однією з ключових операцій багатьох технологічних процесів. Змішування завжди супроводжується процесом дозування компонентів, тому ці два процеси доцільно розглядати разом. Інтенсивність процесу змішування і якість готової суміші істотно залежать від фізико-механічних властивостей компонентів і характеру їх руху в робочому середовищі змішувача. Таким чином, при змішуванні необхідно також розглядати дослідження фізико-механічних властивостей сипких матеріалів і їх рух в робочому середовищі змішувача.

ПІ- та ПІД-регулятори досить широко використовуються для роботи на стійких та нейтральних об'єктах, коли статичне відхилення має дорівнювати нулю. Показники якості перехідного процесу покращують, збільшуючи коефіцієнт підсилення регулятора.

Актуальність дослідження полягає в інтегруванні регуляторів такого типу в систему керування дозувального обладнання без перервної дії, а саме в вузли де використовуються

двигуни. Це дозволить зменшити кількість пульсацій в системі дозування та покращити якість перехідних процесів за рахунок якісного зворотного зв'язку, який позитивно вплине кінцеву якість продукту.

Постановка завдання. Дослідження перехідних процесів в системі керування дозувальним обладнанням безперервної дії з використанням ПІ та ПІД регуляторів та оцінити їх вплив на якість роботи робочих елементів.

Результати досліджень. Для проведення досліджень була обрана структурна схема рис. 1, яка містить: бункер – тарілчастий живильник – формувач та елементи системи керування.

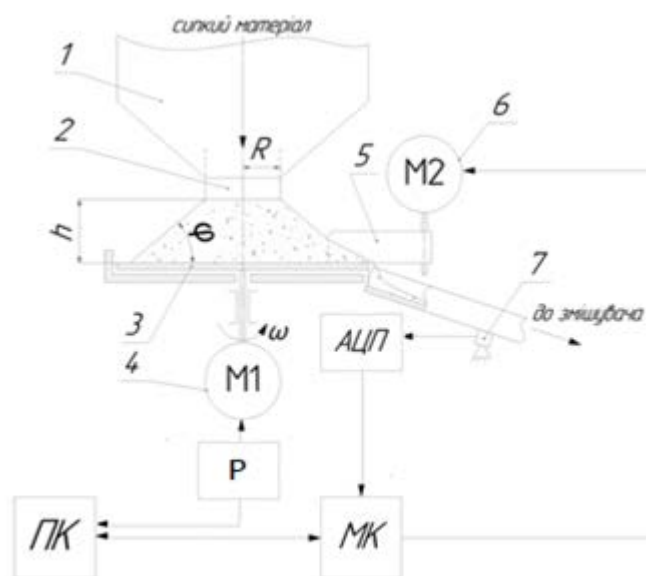


Рис. 1. Структурна схема системи керування тарілчастим живильником безперервної дії

Тарілчастий живильник складається з бункера (1) в який завантажується сипкий матеріал, далі проходячи через патрубок (2) сипкий матеріал потрапляє на тарель (3) що обертається за допомогою двигуна (4) та форма утримуючим конусом. Під час обертання тарелі частину сипкого матеріалу зрізає ніж (5) з сервоприводом (6) і перенаправляє його до формо утворювача з тензодатчиком (7), сигнал якого використовується в якості зворотного зв'язку. На продуктивність живильника впливає швидкість з якою обертається тарель а також кут ножа який відводить певний сектор сипкого матеріалу з тарелі на формувач потоку.

На сьогоднішній день широке застосування в промисловості отримали ПІ та ПІД-регулятори. Тож метою даної роботи є оцінка впливу регуляторів та доцільність їх використання в даній системі керування дозувальним обладнанням.

На рис. 2 представлена структурна схема типового пропорційно – інтегрального (ПІ) регулятора, який переміщає виконавчий орган відповідно до рівняння 1.

$$Y(t) = K_p \cdot e + \frac{1}{T_i} \int e dt \quad (1)$$

Регулятори, які працюють за даним законом, виконують переміщення регулюючого органу пропорційно сумі відхилення та інтеграла від відхилення регульованої величини, тобто здійснюють П- та І- вплив.

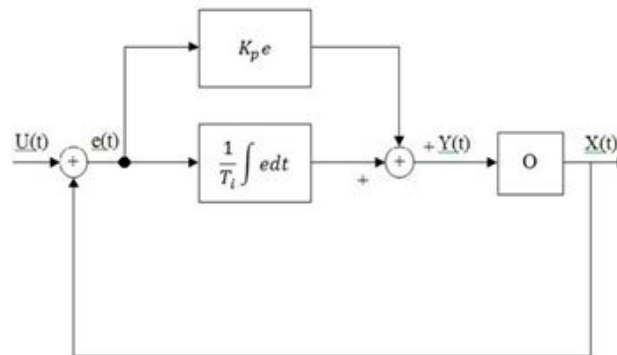


Рис. 2. Диференціальне рівняння та математична модель ПІ-регулятора

Структурну схему пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора зображено на рис. 3.

$$Y(t) = K_p e + \frac{1}{T_i} \int edt + T_d \frac{de}{dt} \quad (2)$$

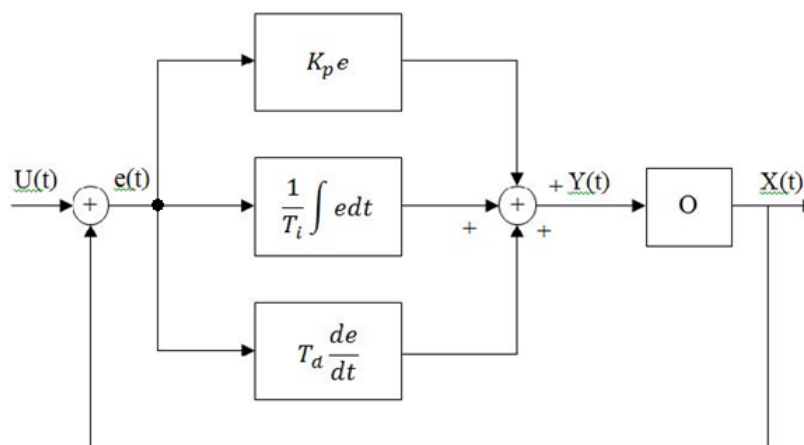


Рис. 3. Диференціальне рівняння та математична модель ПІД-регулятора

Пропорційно-інтегральний-диференціальний ПІД-регулятор формує керуючий сигнал, який є сумою трьох доданків, перший з яких пропорційний різниці вхідного сигналу і сигналу зворотного зв'язку (П) сигнал неузгодженості, другий – інтеграл (І) сигналу неузгодженості, третя – (Д) похідна сигналу неузгодженості.

В якості об'єкта керування та дослідження в системі виступає двигун постійного струму. Переваги використання такого двигуна:

- 1) Простота будови та управління.
- 2) Практично лінійні механічна і регульовальна характеристики двигуна.
- 3) Легко регулювати частоту обертання
- 4) Хороші пускові властивості (великий пусковий момент).

Для проведення досліджень використано двигун постійного струму, типову математична модель[4], до якої додано регулятор, та диференціальне рівняння двигуна зображені на рис. 4. ПІ та ПІД регулятори використані для керування продуктивністю та кутовою швидкістю двигуна.

$$w(p) = (\omega_{зд}(p) \cdot \left(-(P + U_{зд}) \left(\left(\left(\frac{1}{T_{я \cdot p + 1}} \cdot K_{ем} - M_c \right) \cdot \left(\frac{1}{J \cdot p} \right) \right) \cdot K_{ем} \right) + \left(\left(\frac{1}{T_{я \cdot p + 1}} \cdot K_{ем} - M_c \right) \cdot \left(\frac{1}{J \cdot p} \right) \right) \right) \right) \quad (3)$$

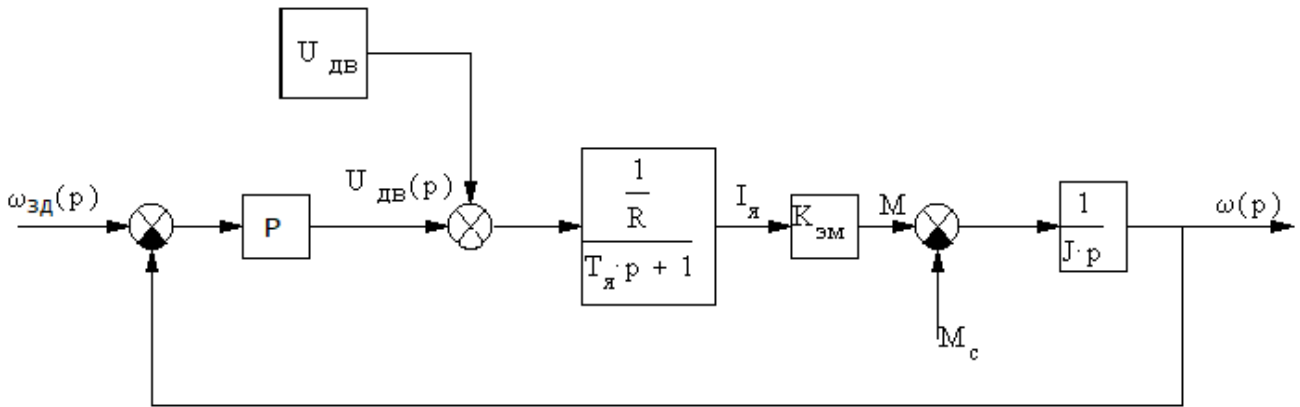


Рис. 4. Диференціальне рівняння та математична модель двигуна постійного струму

Вузол керування продуктивністю живильника був заміщений ПІ-регулятором для спрощення експерименту. В ньому пропорційна та інтегральна складові виступають в ролі мікроконтролера, в якому задана відсоткова величина продуктивності живильника, та сервоприводу. Тензодатчик в даній схемі виступає в якості сигналу для зворотного зв'язку. На рис. 5 зображено математичну модель вузла керування продуктивністю.

$$P(w) = K_p \cdot e + \frac{1}{T_i} \int edt \quad (4)$$

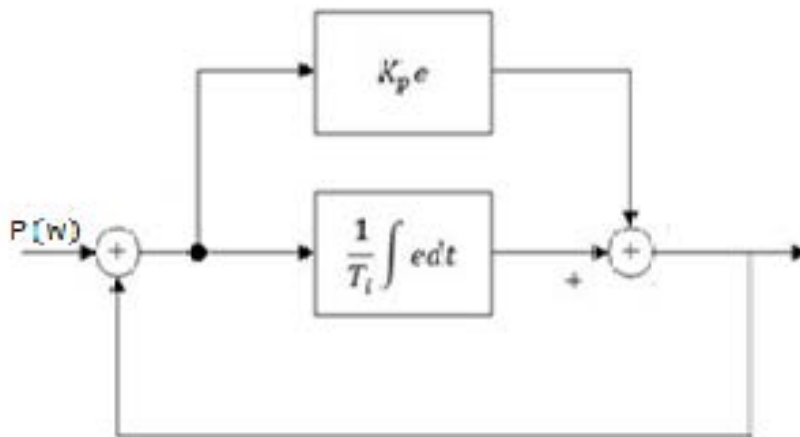


Рис. 5. Матиматична модель вузла керування продуктивністю живильника

На основі приведених раніше математичних моделей була зібрана модель в середовищі Simulunk рис. 6. До її складу входять математичні моделі: ПІ та ПІД-регуляторів; двигуна постійного струму; вузла керування продуктивністю живильника.

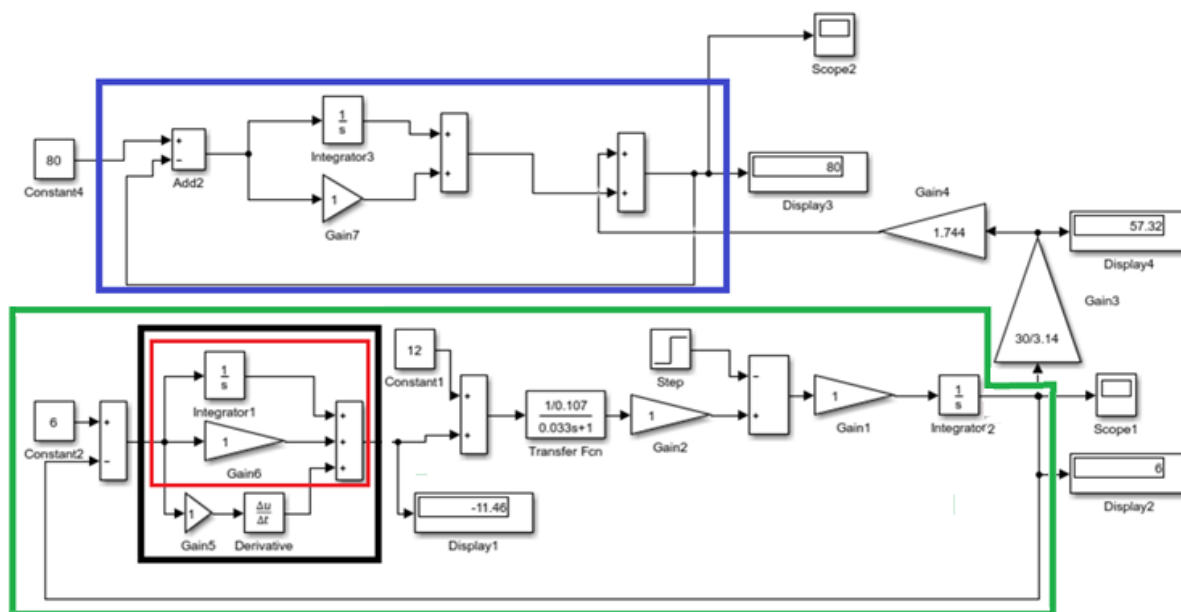


Рис. 6. Математична модель системи керування тарілчастим живильником безперервної дії в системі Simulink

Диференціальне рівняння загального виду складається з рівняння ПІД-регулятора для керування двигуном, рівняння самого двигуна та рівняння ПІ- регулятора який відповідає за продуктивність системи.

$$\begin{aligned}
 P_{вих}(p) = & (\omega_{зд}(p) \cdot \left(- \left((K_{pe} + \frac{1}{T_e} \cdot \int ed + T_d \cdot \frac{de}{dt}) + U_{зд} \right) \left(\left(\left(\frac{1}{T_{я \cdot p+1}} \cdot K_{ем} - M_c \right) \cdot \left(\frac{1}{J \cdot p} \right) \right) \cdot K_{ем} \right) + \left(\left(\frac{1}{T_{я \cdot p+1}} \cdot K_{ем} - \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. M_c \right) \times \left(\frac{1}{J \cdot p} \right) \right) \right) + K_1 + K_2) + ((P_{зад} + (K_{pe} + \frac{1}{T_i} \int edt) - \omega_{зд}(p) \cdot \left(- \left((K_{pe} + \frac{1}{T_e} \cdot \int ed + T_d \cdot \frac{de}{dt}) + \right. \right. \\
 & \left. \left. U_{зд} \right) \left(\left(\left(\frac{1}{T_{я \cdot p+1}} \cdot K_{ем} - M_c \right) \left(\frac{1}{J \cdot p} \right) \right) \times K_{ем} \right) + \left(\left(\frac{1}{T_{я \cdot p+1}} \cdot K_{ем} - M_c \right) \cdot \left(\frac{1}{J \cdot p} \right) \right) \right) + K_1 + K_2) + (K_{pe} + 1/T_i \int edt)) \quad (4)
 \end{aligned}$$

де $\omega_{зд}$ – задана кутова швидкість;

K_{pe} – пропорційна складова регулятора;

$\frac{1}{T_e} \cdot \int ed$ – інтегральна складова регулятора;

$T_d \cdot \frac{de}{dt}$ – диференціальна складова регулятора;

$U_{зд}$ – задана напруга двигуна;

$\frac{1}{T_{я \cdot p+1}}$ – складова рівняння яка відповідає за загальний опір двигуна;

$K_{ем}$ – номінальний магнітний потік;

M_c – статичний момент опору на валу двигуна;

$\left(\frac{1}{J \cdot p} \right)$ – інтеграл для отримання кутової швидкості;

K_1, K_2 – коефіцієнти трансформації сигналу.

Модель Simulink складається з моделі двигуна який знаходиться в області зеленого кольору, до нього входить блок Constant1 який відображає робочу напругу двигуна, блок

Transfer fcn відповідає за моделювання струму якоря двигуна а блок Integrator використано для отримання на виході кутової швидкості яка буде виступати в якості зворотного зв'язку для регуляторів. Частота обертів двигуна контролюється одним з двох регуляторів ПІ-регулятором який виділено червоним квадратом який складається з блоків: Integrator (інтегральна складова); Gain 6(пропорційна складова) та ПД-регулятором який в своїй структурі має додаткову диференціальну ланку яка складається з двох послідовно ввімкнених блоків Gain та Derivative, його виділено чорним квадратом на рис. 3. На вхід регуляторів подається різниця між заданою кутовою швидкістю в блоці Constant 2 та кутовою швидкістю на виході з двигуна.

В блоці Display 2 зображено поточну величину кутової швидкості . В Score 1 можна бачити криві перехідного процесу старту двигуна .Блок Step зображує величину навантаження на двигун яке виникає коли кількість сипкого матеріалу збільшується на тарелі.

Верхня частина моделі яка знаходиться в області синього прямокутника відповідає за продуктивність живильника за допомогою блоку Constant 4 у відсотках. Вона складається з ПІ-регулятора, зворотній зв'язок якого здійснюється за допомогою різниці між сигналом з тензодатчика та заданою величиною продуктивності, величина якого буде залежати від кількості сипкого матеріалу який потрапляє з тарелі живильника на формувач потоку та заданим сигналом з пристрою керування. Блоки Display 3 та 4 відображають поточні значення продуктивності живильника у відсотках ,та кількості обертів двигуна за хвилину відповідно. Блок Score 2 криву потоку сипкого матеріалу у відсотках.

Для визначення величини впливу регуляторів на систему проведено експериментальне дослідження на моделі в середовищі Simulink.Першою частиною експерименту є дослідження впливу регуляторів на криву перехідної характеристики при роботі системи в холостому режимі тобто без навантаження . Наступним кроком є фіксування часу перехідного процесу і подачі додаткового навантаження на вал , в стенді цим навантаженням виступає сипкий матеріал. Дослід повторювався для двох заданих регуляторів. Результати досліджень зображено на рис. 7.

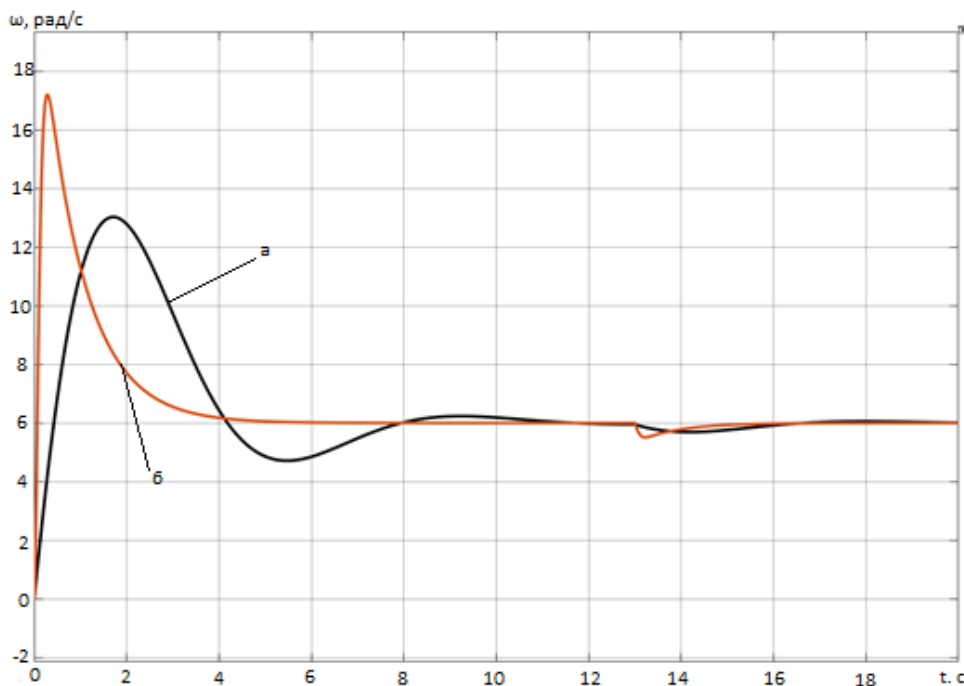


Рис. 7. Перехідна характеристика кутової швидкості двигуна:
а) Крива перехідного процесу з використанням ПД-регулятора;
б) Крива перехідного процесу з використанням ПІ-регулятора

З отриманих кривих можна оцінити як диференціальна ланка впливає на перехідну характеристику ПІД-регулятора, максимальне відхилення від заданого значення менше ніж при використанні ПІ-регулятора але час перехідного процесу більше майже в два рази. Це пов'язано з тим що ідеальну диференціюючу ланку реалізувати неможливо, оскільки величина сплеску вихідної величини при подачі на вхід одиничного ступінчастого впливу завжди обмежена. На практиці використовують реальні диференціюючі ланки, що здійснюють наближене диференціювання вхідного сигналу.

При використанні ПІ-регулятора

Час перехідного процесу при старті двигуна $T_{пер} = 6$ с.

Максимальне динамічне відхилення від заданого значення $\omega_{від} = 17$ рад/с.

Час перехідного процесу експерименту $t_{екс} = 2.5$ с.

Максимальне відхилення від заданого значення $\omega_{екс} = 0.48$ рад/с.

При використанні ПІД-регулятора

Час перехідного процесу при старті двигуна $T_{пер} = 11$ с.

Максимальне динамічне відхилення від заданого значення $\omega_{від} = 13$ рад/с.

Час перехідного процесу експерименту $t_{екс} = 7$ с.

Максимальне відхилення від заданого значення $\omega_{екс} = 0.31$ рад/с.

Висновок. При використанні ПІ-регулятора час перехідного процесу пуску та зміни динамічного моменту інерції на валу менше в два рази. Це означає що двигун швидше перейде в заданий режим роботи при використанні ПІ-регулятора. Кращий лінійно-інтегральний критерій якості кривої що означає менше пульсацій сипкого матеріалу на виході з живильника.

В свою чергу перевагами використання ПІД-регулятора є менше динамічне відхилення та більш плавна крива перехідного процесу, що всвою чергу збільшує час напрацювання до відмови я двигуна так і усієї системи вцілому.

References

1. Statsenko, V. V., Burmistenkov, O. P., Bila, T. Ya. (2017). Avtomatyzovani kompleksi bezperervnoho pryhotuvannia kompozytsii sypkykh materialiv: monohrafiia [Automated complexes of continuous preparation of compositions of bulk materials: monograph]. Kyiv: KNUTD. 220 p. [in Ukrainian].
2. Globin, A. N., Krasnov, I. N. (2016). Dozatory: monografiia [Dispensers: monograph]. Moscow-Berlin: Direkt-Media. 384 p. [in Russian].
3. Bila, T. Ya., Statsenko, V. V. (2010). Modeliuvannia avtomatyzovanoi systemy keruvannia pryvodom tarilchastoho dozatora sypkykh materialiv [Modeling of the automated control system of the drive of the plate batcher of loose materials]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dizainu = Bulletin of Kyiv National University of Technology and Design*, № 6, P. 11–15 [in Ukrainian].
4. Postroenie matematicheskoi modeli dvigatel'ia postoiannogo toka i systemy testirovaniia [Building a mathematical model of a DC motor and testing system]. URL: <https://studfile.net/preview/6365744/page:11> [in Russian].
5. Dushin, C. E., Zotov, N. S., Imaev, D. X. et al. (2003). Teoriia avtomaticheskogo upravleniia: ucheb. dlia vuzov [Automatic control theory: textbook. for universities]. Ed.

Література

1. Стаценко В. В., Бурмістенков О. П., Біла Т. Я. Автоматизовані комплекси безперервного приготування композицій сипких матеріалів: монографія. Київ: КНУТД, 2017. 220 с.
2. Глобин А. Н., Краснов И. Н. Дозаторы: монография. М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. 384 с.
3. Біла Т. Я., Стаценко В. В. Моделювання автоматизованої системи керування приводом тарілчастого дозатора сипких матеріалів. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2010. № 6. С. 11–15.
4. Построение математической модели двигателя постоянного тока и системы тестирования. URL: <https://studfile.net/preview/6365744/page:11>.
5. Душин С. Е., Зотов Н. С., Имаев Д. Х. и др. Теория автоматического управления:

- V. B. Iakovlev. Moscow: Vysshaia shkola. 567 p. [in Russian].
6. Belaia, T. Ia. (1985). Razrabotka tcentrobezhnykh ustroystv nepreryvnogo deistviia dlia smesheniia sypuchikh materialov: avtoref. diss. k-ta tekhn. nauk [Development of continuous centrifugal devices for mixing bulk materials: author. diss. to-that tech. sciences]. Kyiv [in Russian].
7. Bakin, I. A., Sablinskii, A. I., Belousov, G. N. (2003). Kompleksnoe modelirovanie protsessov nepreryvnogo smeseprigotovleniia [Integrated modeling of continuous mixing processes]. *Tekhnologiia i tekhnika pishchevykh proizvodstv: sbornik nauchnykh rabot* [Technology and technology of food production: collection of scientific papers]. Kemerovo: KemTIPP. P. 137–141 [in Russian].
8. Burmistenkov, O. P., Statsenko, V. V. (2019). Doslidzhennia roboty systemy keruvannia produktyvnistiu tarilchastoho zhyvylnyka bezpererвної dii [Research of work of control system of productivity of a plate feeder of continuous action]. *VIII Ukrainko-Polski naukovy dialogy* [VIII Ukrainian-Polish scientific dialogues]: materialy mizhnar. konf. (16–19 zhovtnia 2019 r.). Khmelnytskyi; Kamianets-Podilskyi [in Ukrainian].
9. Burmistenkov, O. P., Bila, T. Ya., Statsenko, V. V. (2017). Osnovni napriamky avtomatyzatsii zmishuvalnykh kompleksiv bezpererвної dii dlia sypkykhmaterialiv [The main directions of automation of mixing complexes of continuous action for bulk materials]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky = Bulletin of Khmelnytsky National University. Technical sciences*, № 6, P. 28–31 [in Ukrainian].
10. Burmistenkov, O. P., Bila, T. Ya., Statsenko, V. V. (2019). Doslidzhennia enerhoefektyvnosti obladnannia dlia zmishuvannia sypkykh materialiv [Study of energy efficiency of equipment for mixing bulk materials]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu. Tekhnichni nauky = Bulletin of Kyiv National University of Technology and Design. Technical sciences*. 2019. № 4. S. 42–48 [in Ukrainian].
11. Vidineev, Iu. D. (1988). Sovremennye metody otcenki kachestva nepreryvnogo dozirovaniia [Modern methods for assessing the quality of continuous dosing]. *Vsesoiuz. khim. obshch-va im. D. I. Mendeleeva = All-Union. chem. Society for them. D. I. Mendeleeva*, Vol. 33, № 4, P. 397–404 [in Russian].
12. Havva, O. M., Derenivska, A. V. (2014). Liniini vahovi dozuvalni prystroi dyskretnoi dii dlia sypkoi produktsii (obgruntuvannia ratsionalnykh parametriv) [Linear weighing dosing devices of discrete action for bulk products (substantiation of rational parameters)]. *Upakovka = Packaging*, № 1, P. 30–34 [in Ukrainian].
- учеб. для вузов. Под ред. В. Б. Яковлева. М.: Высшая школа, 2003. 567 с.
6. Белая Т. Я. Разработка центробежных устройств непрерывного действия для смешения сыпучих материалов: автореф. дисс. к-та техн. наук. Киев, 1985.
7. Бакин И. А., Саблинский А. И., Белоусов Г. Н. Комплексное моделирование процессов непрерывного смешеприготовления. *Технология и техника пищевых производств: сборник научных работ*. Кемерово: КемТИПП, 2003. С. 137–141.
8. Бурмістенков О. П., Стаценко В. В. Дослідження роботи системи керування продуктивністю тарілчастого живильника безперервної дії. *VIII Українсько-Польські наукові діалоги: матеріали міжнар. конф.* (16–19 жовтня 2019 р.). Хмельницький; Кам'янець-Подільський, 2019.
9. Бурмістенков О. П., Біла Т. Я., Стаценко В. В. Основні напрямки автоматизації змішувальних комплексів безперервної дії для сипких матеріалів. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2017. № 6. С. 28–31.
10. Бурмістенков О. П., Біла Т. Я., Стаценко В. В. Дослідження енергоефективності обладнання для змішування сипких матеріалів. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Технічні науки*. 2019. № 4. С. 42–48.
11. Видинеев Ю. Д. Современные методы оценки качества непрерывного дозирования. *Всесоюз. хим. общ-ва им. Д. И. Менделеева*. 1988. Т. 33, № 4. С. 397–404.
12. Гавва О. М., Деренівська А. В. Лінійні вагові дозувальні пристрої дискретної дії для сипкої продукції (обґрунтування раціональних параметрів). *Упаковка*. 2014. № 1. С. 30–34.

NICHEGLOD VOLODYMYR
Graduate Student
Department of Applied
Mechanics and Machines
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5252-5341>
E-mail: nicheglod.vv@knutd.edu.ua

BURMISTENKOV OLEKSANDR
Doctor of Technical Sciences, Professor
Department of Computer Engineering
and Electromechanics
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0001-4229>
Scopus Author ID: 57210341826
Researcher ID: T-5180-2018
E-mail: burmistenkov.op@knutd.edu.ua

STATSENKO VOLODYMYR
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Department of Computer Engineering
and Electromechanics
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3932-792X>
Scopus Author ID: 57210344190
Researcher ID: C-3646-2017
E-mail: statsenko.v@knutd.edu.ua

НИЧЕГЛОД В. В., БУРМИСТЕНКОВ О. П., СТАЦЕНКО В. В.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДОЗИРОВАНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ С «ПИ» И «ПИД» РЕГУЛЯТОРАМИ

Цель. Исследование переходных процессов в системе управления дозировочным оборудованием непрерывного действия для сыпучих материалов с использованием ПИ и ПИД регуляторов и оценка их влияния на качество работы рабочих элементов.

Методика. Использование программной среды Mathlab:Simulink для разработки математической модели, проведения экспериментальных исследований и оценки влияния на рабочие органы системы управления дозировочным оборудованием непрерывного действия.

Результаты исследований. Управление параметрами электродвигателя (характеристиками двигателя) с помощью типовых регуляторов их сравнения преимуществ и недостатков. описаны во многих стандартах и научных работах. Однако моделирование процесса работы двигателя в системах дозирования значительно усложняется в связи с инертностью и слипанием сыпучего материала дозируемого в активной зоне бункера, это может существенно повлиять на конечный результат готовой смеси. В работе разработана математическая модель для исследования переходных процессов в системе управления дозировочным оборудованием непрерывного действия с использованием ПИ- и ПИД-регуляторов, проведен эксперимент на математической модели с использованием ПИ- и ПИД-регуляторов для оценки их влияния на систему управления тарелчатым питателем непрерывного действия. Результаты проведенного моделирования можно использовать для принятия решений по выбору типа регулятора для управление переходными характеристиками двигателя, при разработке системы управления тарелчатыми питателями в смесительных комплексах непрерывного действия.

Научная новизна. Определены параметры, влияющие на частоту, с которой вращается двигатель тарелочного питателя непрерывного действия. Определены время переходного процесса работы двигателя и величина максимального динамического отклонения. Доказана целесообразность использования регуляторов того или иного типа для некоторых режимов работы питателей.

Практическая значимость. Полученные результаты позволят снизить время переходного процесса в работе двигателя питателя и увеличить время наработки до отказа всей системы.

Предложены конструктивные изменения, позволяющие уменьшить величину пульсаций и улучшить производительность дозирочного оборудования непрерывного действия.

Ключевые слова: сыпучие материалы; система управления; математическая модель; дозировка; переходный процесс; дифференциальное уравнение; регуляторы; ПИ- и ПОД-регуляторы; питатель; переходная характеристика; Matlab: Simulink.

NICHEGLOD V. V., BURMISTENKOV O. P., STATSENKO V. V.

Kyiv National University of Technology and Design, Ukraine

RESEARCH OF OPERATIONS OF CONTROL SYSTEMS OF CONTINUOUS ACTIVE DOSING EQUIPMENT WITH "PI" AND "PID" REGULATORS

Purpose. Investigation of transients in the control system of continuous dosing equipment for bulk materials using PI and PID regulators and evaluation of their impact on the quality of work elements.

Method. Using the Matlab: Simulink software environment to develop a mathematical model, conduct experimental research and assess the impact on the working bodies of the control system of continuous dosing equipment.

Research results. Control of motor parameters (motor characteristics) by means of standard regulators of their comparison of advantages and disadvantages. described in many standards and scientific papers. However, modeling the engine operation process in dosing systems is significantly complicated due to the inertness and adhesion of bulk material dosed in the core of the hopper, it can significantly affect the final result of the finished mixture. continuous operation equipment using PI and PID controllers, an experiment was performed on a mathematical model using PI and PID controllers to assess their impact on the control system of the plate feeder continuous action. The results of the simulation can be used to decide on the type of controller control of transient characteristics of the engine, at development of control system of plate feeders in mixing complexes of continuous action.

Scientific novelty. Scientific novelty. The parameters influencing the frequency with which the motor of the plate feeder of continuous action rotates are determined. The time of the transient process of engine operation and the value of the maximum dynamic deviation are determined. The expediency of using regulators of one or another type for certain modes of operation of feeders is proved.

Practical significance. The obtained results will reduce the transient time in the operation of the feeder motor and increase the operating time until the failure of the entire system. Design changes are proposed that will reduce the amount of ripple and improve the performance of continuous dosing equipment.

Keywords: bulk materials; control system; mathematical model; dosing; transient process; differential equation; regulators; PI and PID regulators; feeder; transient characteristic; Matlab: Simulink.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.3.3>

УДК 621.31:
535.215

¹ШАВЬОЛКІН О. О., ¹СТАНОВСЬКИЙ Є. Ю., ¹ПІДГАЙНИЙ М. О.,
¹МАРЧЕНКО Р. М., ²КРУГЛЯК Г. В.

¹Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

²Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ,
Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ГІБРИДНІЙ ФОТОЕЛЕКТРИЧНІЙ СИСТЕМІ З АКУМУЛЯТОРОМ ДЛЯ ПОТРЕБ ЛОКАЛЬНОГО ОБ'ЄКТУ

Мета. Підвищення ефективності гібридної фотоелектричної системи з акумуляторною батареєю для потреб локального об'єкту за рахунок удосконалення управління за прогнозом з імітаційним моделюванням енергетичних процесів в системі, розвиток принципів реалізації систем енергоменеджменту.

Методика. Аналіз енергетичних процесів у електричних колах фотоелектричної системи з формалізацією принципів переналаштування управління та використанням комп'ютерного моделювання за архівними даними генерації фотоелектричної батареї для оцінювання ефективності енергоменеджменту.

Результати. Розроблені структури блоків і загальна структура моделі енергетичних процесів в системі для добового циклу роботи з оцінкою витрат на електроенергію, що споживається з мережі. Формалізовані принципи управління режимами та енергоспоживання системи за даними прогнозу генерації фотоелектричної батареї.

Наукова новизна. Удосконалено принципи завдання струму акумуляторної батареї згідно прогнозу генерації енергії фотоелектричної батареї, ступеню заряду акумуляторної батареї та ліміту потужності, що споживається з мережі. Це сприятиме більш повному використанню енергії фотоелектричної батареї та зменшенню споживання електроенергії з мережі. Удосконалено математичну модель акумуляторної батареї, що побудована за каталожними даними виробника. Обґрунтовано формалізацію енергетичних процесів в системі з використанням додаткових змінних, що забезпечують переналаштування роботи з регулюванням генерації фотоелектричної батареї або струму акумуляторної батареї та врахуванням ліміту потужності, що споживається з мережі.

Практичне значення. Отримані рішення є основою для проектування систем управління фотоелектричних систем для забезпечення потреб локальних об'єктів.

Ключові слова: гібридна фотоелектрична система; прогноз генерації фотоелектричної батареї; формування ступеню заряду акумуляторної батареї; моделювання енергетичних процесів в добовому циклі.

Вступ. Із зростанням внеску відновлювальних джерел електроенергії (ВДЕ) в загальну генерацію електроенергії наявними стали проблеми з нерівномірністю генерації у часі. Найбільше розповсюдження зараз мають фотоелектричні системи (ФЕС). Це зумовлює нові підходи до реалізації ФЕС: зниження «зелених» тарифів [1], вирівнювання генерації електроенергії ФЕС в розподільчу мережу (РМ), локалізацію використання енергії в місцях генерації. В цих умовах для систем електроживлення локальних об'єктів ЛО (побутові комплекси, підприємства малого бізнесу і т.п.) перспективним є використання гібридних ФЕС з накопичувачами електроенергії та підключенням до РМ. Використання акумуляторних батарей (АКБ) обумовлює збільшення вартості і ставить актуальним питання зменшення витрат на електроенергію, споживану ЛО з РМ. Це пов'язано з удосконаленням управління генерацією, енергоспоживанням та перерозподілом енергії.

Аналіз попередніх досліджень. Актуальність питання локалізації споживання на місці генерації підтверджується широкою пропозицією в світовій практиці так званих, гібридних інверторів для ЛО з підключенням до РМ [2, 3]. Ефективним засобом перерозподілу

навантаження ЛО в часі є багатозонна тарифікація оплати. Питання перенесення енергії, що запасається в АКБ, в години нічного тарифу і надлишкової енергії фотоелектричної батареї (ФБ) в денні години з використанням в години пікових навантажень розглянуто в [4], що дозволяє виключити споживання енергії з РМ в години пікових тарифів і в більшу частину денного часу. Разом з тим, принципи управління в різних тарифних зонах є різними, що ускладнює задачу реалізації ефективного управління системою.

Удосконалення управління ФЕС досягається з використанням прогнозу генерації ФБ, що дає можливість планування і корегування роботи. Можливості отримання прогнозу для використання в процесі функціонування ФЕС надають відкриті веб-ресурси [5, 6].

Експериментальне дослідження рішень щодо реалізації системи енергоменеджменту ФЕС за різних погодних умов за сезонами року потребує значних матеріальних витрат і часу. Зручним інструментом виглядає імітаційне моделювання, зокрема, з використанням програмного пакету Matlab. До того ж, в бібліотеках Matlab надаються приклади деталізованих моделей для дослідження електромагнітних процесів у системах з ВДЕ з моделями АКБ і ФБ. Такі моделі є корисними для дослідження налаштування систем у сталих та перехідних режимах. Моделювання автономної ФЕС з АКБ в добовому циклі розглянуто в [7]. Реалізація моделей елементів, зокрема, АКБ потребує використання даних, які не є визначеними і відсутні в даних виробника. Моделювання енергетичних процесів для гібридної ФЕС за архівними даними розглянуто в [4, 8]. Запропоновані підходи опису енергетичних процесів з оцінкою витрат на оплату електроенергії виглядають перспективними щодо дослідження принципів енергоменеджменту ФЕС і їх ефективності.

Отже, удосконалення моделі для дослідження ефективності управління ФЕС з формуванням ступеню заряду АКБ згідно прогнозу генерації ФБ та врахуванням ліміту потужності, що споживається з РМ, вивчено недостатньо і потребує подальших досліджень.

Постановка завдання. Оцінювання ефективності рішень щодо управління процесами генерації та перерозподілу енергії в системі згідно прогнозу генерації ФБ на наступну добу і поточному прогнозу потребує визначення кінцевого результату на кінець доби. Система управління ФЕС має канали регулювання генерації ФБ, заряду АКБ і струму, що споживається з РМ. За цього доцільним є створення математичної моделі, що враховує енергетичні процеси з переналаштуванням роботи системи регулювання в добовому циклі функціонування.

Мета роботи полягає у розробленні моделі енергетичних процесів у гібридній ФЕС з АКБ для потреб ЛО для оцінки рішень щодо управління за прогнозом, розвиток принципів реалізації систем енергоменеджменту.

Завдання для вирішення:

- формалізувати опис енергетичних процесів в ФЕС з переналаштуванням роботи з регулюванням генерації фотоелектричної батареї або струму акумуляторної батареї та врахуванням ліміту потужності, що споживається з мережі;

- розробити модель енергетичних процесів в системі «мережа змінного струму – фотоелектрична батарея – акумулятор – перетворювальний агрегат – навантаження локального об'єкту» для добового циклу роботи з оцінкою ефективності;

- здійснити дослідження системи у різних погодних умовах за архівними даними.

Основні матеріали роботи. Розглядається управління генерацією, споживанням і перерозподілом енергії в ФЕС з використанням короткочасного прогнозу генерації ФБ $P_{PV}(t)$. Перетворювальний агрегат (ПА) ФЕС містить мережевий інвертор з двома перетворювачами постійної напруги на вході: для підключення ФБ (з вимірюванням струму КЗ ФБ [9]) і для АКБ (з двобічною провідністю). Навантаження і вихід ПА підключено до РМ. Система регулювання ПА побудована згідно [9] і передбачає можливість регулювання: струму i_l , що споживається ЛО з мережі, струму ФБ I_{PV} , струму АКБ I_B . За цього ФБ використовується в режимі максимальної потужності або з регулюванням потужності генерації P_{PV} .

Розглянуто використання ФЕС за тризонної тарифікації [10], що є характерним для побутових споживачів або непобутових за однозмінної роботи. За цього маємо зони пікових навантажень (влітку з $t_2=8.00$ до $t_3=11.00$ та $t_5=20.00$ до $t_6=23.00$), напівпікового (денного) навантаження (з $t_1=7.00$ до $t_2=8.00$, з $t_5=11.00$ до $t_6=20.00$ та з $t_6=23.00$ до $t_7=24.00$), нічне навантаження (з $t_7=24.00$ до $t_1=7.00$). Взимку зони дещо змінюються за часом [10].

Для ефективного використання ФЕС в похмурі дні номінальна потужність ФБ P_{PVR} обирається зі значним запасом. За $P_{PVR}=1$ кВт максимальна денна генерація ФБ влітку для м. Київ становить $W_{PVM} \approx 6$ кВт·год., відповідно, середнє значення P_{PV} вдень $P_{PVCP}=500$ Вт. Згідно [8] середнє значення потужності навантаження P_H обирається в межах $P_{HCP}=200 \div 250$ Вт. В разі виключення споживання електроенергії з РМ в вечірній пік (t_5, t_6) енергоемність АКБ $W_B = C_B U_B$ (C_B, U_B – ємність і напруга АКБ) обирається згідно P_{H56} і ступеню розряду АКБ $\Delta Q^*_{56} = Q^*_5 - Q^*_6$ ($Q^* = 100Q/Q_R$, $Q = Q_0 + \int I^*_B dt$, Q_0 - початкове значення, $I^*_B = I_B \eta_B$, якщо $I_B > 0$ (заряд АКБ) і $I^*_B = I_B / \eta_B$, якщо $I_B < 0$ (розряд АКБ), Q_R – номінальне значення, η_B – ККД АКБ) на інтервалі часу $\Delta t_{56} = (t_6 - t_5)$:

$$W_B = \frac{P_{H56} \Delta t_{56}}{0.01 \Delta Q^*_{56} \eta_C \eta_B},$$

де η_C – ККД перетворювального агрегату.

Загальний баланс потужності в системі з боку кола навантаження

$$P_I = P_H - P_{PV} \eta_C + P_{BH}, \quad (1)$$

де P_I – потужність, що споживається з РМ, $P_{BH} = U_B I_B / \eta_C$ - потужність, що споживається на заряд АКБ ($I_B > 0$), або $P_{BH} = U_B I_B \eta_C$ – потужність, що віддає АКБ за $I_B < 0$.

Здебільшого ФБ працює в режимі генерації максимальної за поточних умов потужності $P_{PVM}(t)$, що забезпечує МРРТ контролер. За виключенням споживання електроенергії з мережі $P_I = 0$ баланс (1) при певних поточних значеннях P_H і P_{PV} підтримується змінюванням P_{BH} . Проте, в разі заряду АКБ ($P_{PV} \eta_C > P_H$) до граничного значення Q_d подальший заряд здійснюється із суттєвим зменшенням значення I_B і АКБ не спроможна приймати достатню для забезпечення балансу енергію. За цього виникає потреба зменшувати P_{PV} , що здійснюється регулюванням струму ФБ із підтриманням

$$P_{PV\Phi} \eta_C = P_H + P_{BH}, \quad (2)$$

де $P_{PV\Phi}$ – потужність ФБ у разі регулювання.

$$\text{Введемо змінні: } p_v = \begin{cases} 1, & \text{if } P_{PV} \eta_C \geq P_H \\ 0, & \text{if } P_{PV} \eta_C < P_H \end{cases}, \quad q = \begin{cases} 1, & \text{if } Q^* \geq Q^*_d \\ 0, & \text{if } Q^* < Q^*_d \end{cases}.$$

Тоді поточна генерація ФБ

$$P_{PV} \eta_C = P_{PVM} \cdot \eta_C \cdot \bar{f} + (P_H + P_{BH}) f,$$

де $f = p_v \wedge q$.

Щодо зон роботи введемо однойменні змінні, що приймають значення 1 на відповідних інтервалах часу: n (t_7, t_1); d (t_1, t_2), d_2 (t_3, t_5), d_3 (t_6, t_7); p (t_2, t_3) і (t_5, t_6). Також введено змінну d_1

(t_3, t_4), де t_4 значення часу, коли сонячна активність, що к вечору знижується, ще достатньо велика. Влітку можна прийняти $t_4 = 16.00$, при переході до грудня це значення поступово зменшується до $t_4 = 14.00$.

Ключовим в управлінні ФЕС є формування Q^* протягом доби, що здійснюється завданням значення I_B . Розглядаємо використання літій-іонної АКБ з обмеженням ступеню розряду (DOD): взимку $Q^*_6 \geq 20\%$ (DOD $\leq 80\%$), влітку $Q^*_6 \geq 40\%$ (DOD $\leq 60\%$).

Ступінь заряду Q^*_2 на початок дня визначає споживання електроенергії на заряд АКБ з РМ в нічний період з урахуванням ліміту потужності P_{LIM} на споживання з РМ. Значення Q^*_2 визначається звечора на наступний день згідно прогнозу. Для визначення Q^*_2 оцінюємо згідно прогнозованому значенню W_{PV34} можливість заряду АКБ на інтервалі (t_3, t_4) до значення $Q^*_4 \approx 100\%$. Зміна заряду становить

$$\Delta Q^*_{34} = \frac{W_{PV34}\eta_C - P_{H34}\Delta t_{34}}{0.01W_B} \eta_C \eta_B.$$

Відповідно, значення $Q^*_3 = 100 - \Delta Q^*_{34}$ (обмеження — для літа $Q^*_3 \geq 40\%$, взимку $Q^*_3 \geq 60\%$). Зміна ΔQ^*_{23} на інтервалі (t_2, t_3) у разі $\Delta W_{B23} = W_{PV23}\eta_C - P_{H23}\Delta t_{23} \geq 0$ (заряд АКБ)

становить $\Delta Q^*_{23} = \frac{\Delta W_{B23}}{0.01W_B} \eta_C \eta_B$, якщо $\Delta W_{B23} < 0$ (АКБ розряджається) $\Delta Q^*_{23} = \frac{\Delta W_{B23}}{0.01W_B \eta_C \eta_B}$.

Значення $Q^*_2 = Q^*_3 - \Delta Q^*_{23}$ за умови $Q^*_2 \geq Q^*_6$.

Основний заряд АКБ здійснюється на інтервалі (t_3, t_4), що сприятиме зниженню споживання енергії з мережі ввечері (t_4, t_5), коли генерація ФБ є малою.

Розглядаємо можливість заряду АКБ:

- від мережі (I_{BM}) за відсутності генерації ФБ, що має місце ввечері та вночі;
- від ФБ (I_{BPV}), коли енергії ФБ достатньо для забезпечення навантаження ЛО і заряду АКБ без споживання енергії з мережі;
- від ФБ (I_{BPM}), коли енергії ФБ недостатньо для забезпечення навантаження ЛО та заряду АКБ і недостатня енергія споживається з мережі або буде рівноцінним вважати, що АКБ заряджається від мережі, а енергія ФБ передається в коло навантаження.

Розряджання АКБ використовується, щоб виключити споживання енергії з РМ, коли енергії ФБ недостатньо для забезпечення навантаження ЛО в пікові часи (змінна $p=1$).

Найбільш складна ситуація має місце при «провалах» генерації ФБ (змінна $p_v=0$), коли генерація ФБ різко зменшується, а потім відновлюється. За цього можливо три рішення:

- зберегти Q^* незмінним (за $I_B=0$) за споживанням з мережі недостатньої для живлення навантаження ЛО енергії. Це є доцільним, якщо на момент початку «провалу» t енергії ФБ, яка буде генерована до моменту t_4 W_{PVt4} (розраховане за прогнозом значення), буде достатньо для заряду АКБ до 90–100% або $\Delta Q^*_{t4} \geq 90 - Q^*_t$ (Q^*_t – вимірне значення)

$\Delta Q^*_{t4} = \eta_C \eta_B \frac{W_{PVt4}\eta_C - P_{H34}(t_4 - t)}{0.01W_B}$. Або $Q^*_t \geq 90\%$ є близьким до Q^*_d (змінна q);

- розряджати АКБ з отриманням недостатньої для навантаження енергії. Це може бути корисним, коли W_{PVt4} значно перевищує значення визначене вище і $\Delta Q^*_{t4} > 100 - Q^*_t$. За цього досягається більш повне використання енергії ФБ;

- здійснити заряд АКБ із споживанням недостатньої енергії з мережі при обмеженні потужності $P_I \leq P_{LIM}$. Це стосується малої генерації ФБ на інтервалі (t, t_4).

В моделі умова $\Delta Q^*_{t4} \geq (90 - Q^*_t)$ перевіряється в поточному режимі і відповідна змінна qt встановлюється в 1. За цього W_{PVt4} визначається згідно наперед розрахованому значенню W_{PV4} з початку генерації ФБ до моменту t_4 , як $W_{PVt4} = W_{PV4} - \int P_{PV} dt$. Якщо $\Delta Q^*_{t4} > 100 - Q^*_t$ відповідна змінна qr встановлюється в 1.

Отже струм АКБ можна визначити як

$$I_B = I_{BPV} \cdot p + I_{dB} \cdot d_2 + I_{BPM} \cdot d_2 + I_{BM},$$

де $I_{BPV} = \frac{P_{PV} \eta_C - P_H}{U_B}$ – струм АКБ за відсутності споживання з мережі,

$$I_{dB} = \begin{cases} I_{BPV}, & \text{if } p \vee (q \wedge \overline{p}) = 1 \\ 0, & \text{if } (q \wedge \overline{p}) \vee q = 1 \end{cases},$$

$I_{BPM} \leq \frac{(P_{LIM} + P_{PV} \eta_C - P_H) \eta_C}{U_B} \overline{p}$ – струм АКБ за обмеженням споживання з мережі.

$I_{BM} \leq \frac{(P_{LIM} - P_H) \eta_C}{U_B} (n_2 \vee (\overline{s} \wedge d_2))$ – значення струму заряду АКБ ввечері та вночі, де

$$n_2 = \begin{cases} 1, & \text{if } Q^* < Q^*_2 \\ 0, & \text{if } Q^* \geq Q^*_2 \end{cases} \quad s = \begin{cases} 1, & \text{if } P_{PV} > 0 \\ 0, & \text{if } P_{PV} = 0 \end{cases}.$$

Мова йде про визначення завдання I_B , а його фактичне значення визначається Q^* .

Потужність навантаження $P_H(t)$ і $P_{PV}(t)$ задаються в табличній формі.

Модель АКБ (рис. 1) побудована згідно каталожним характеристикам, що надаються виробником [11]: характеристики заряду $I_B(Q^*)$, $U_B(Q^*)_C$ за $I_B \geq 0$ та розряду $U_B(Q^*)_R$ за $I_B < 0$. За цього струм

$$I_B = \begin{cases} I_B, & \text{if } Q^* < Q^*_d \\ I_B(Q^*), & \text{if } Q^* \geq Q^*_d \end{cases}.$$

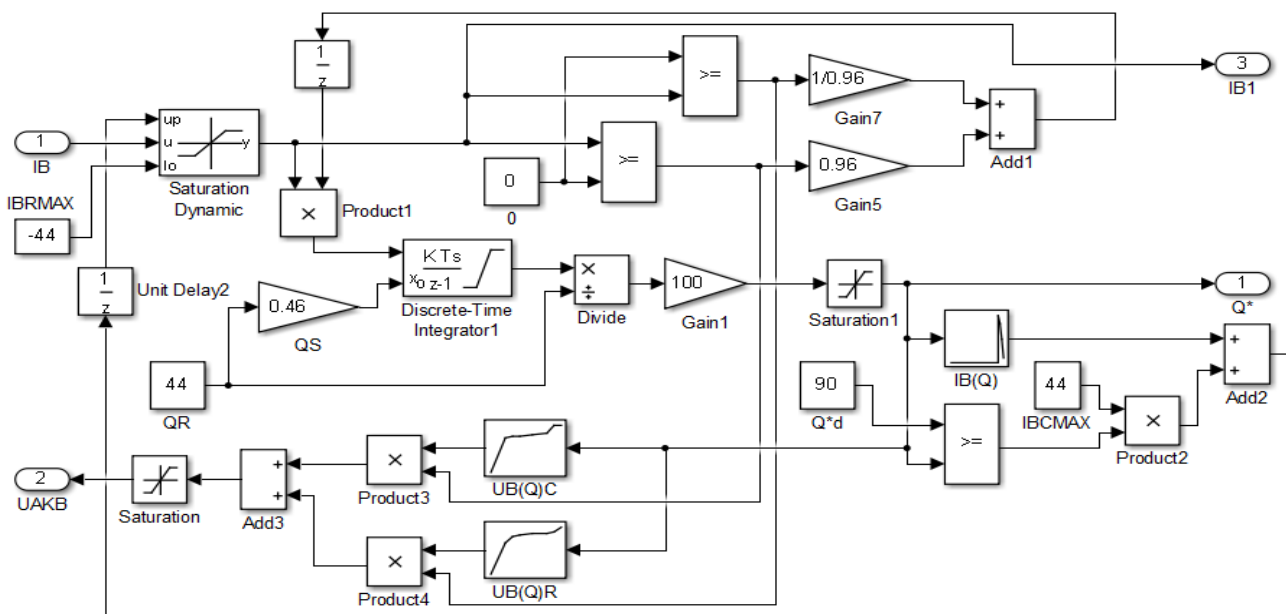


Рис. 1. Модель АКБ

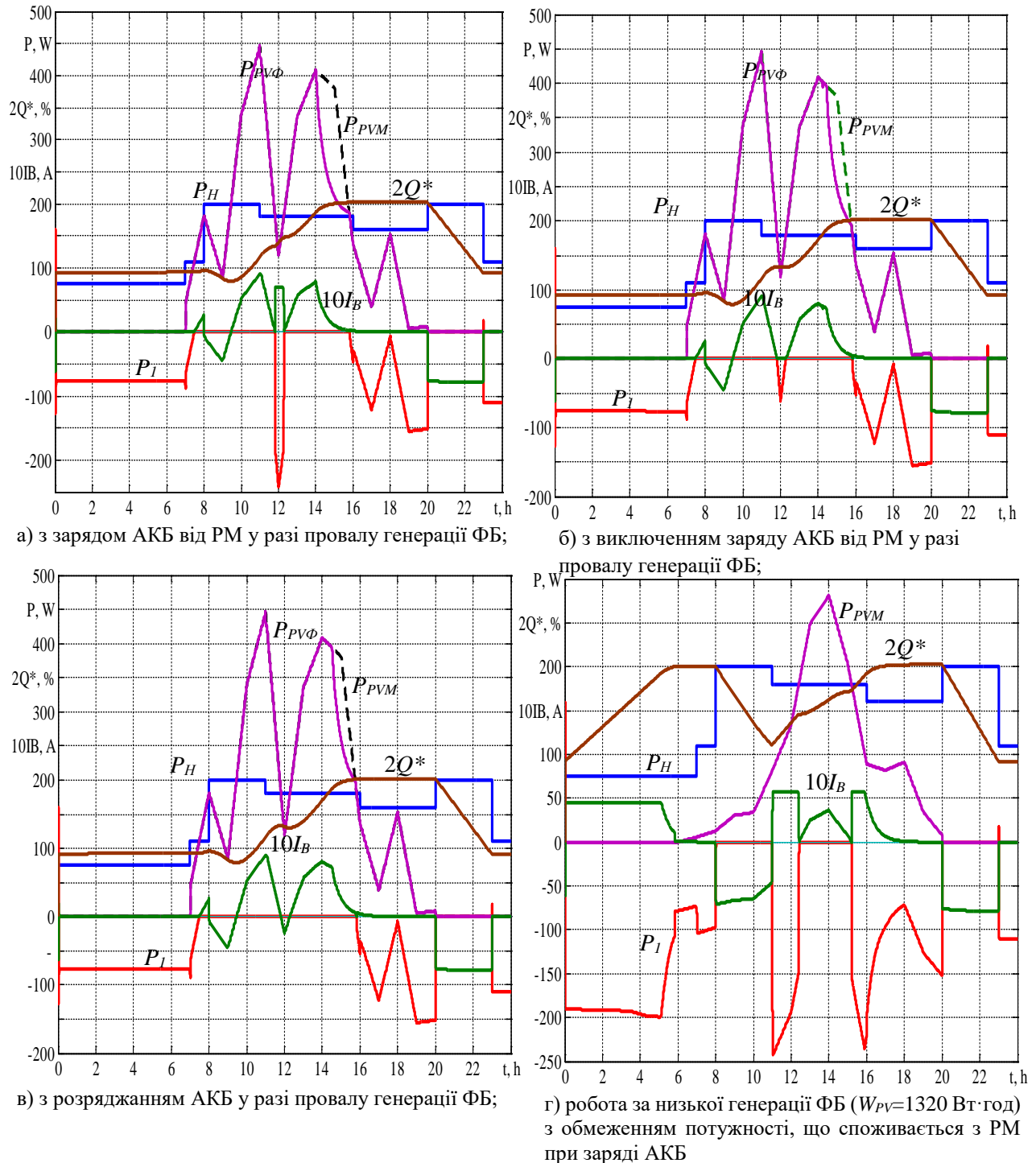


Рис. 2. Осцилограми роботи ФЕС

Модель системи також містить модуль визначення витрат на спожитую ЛО електроенергію для оцінки зменшення витрат. Використано коефіцієнт $k_E = C_1 / C_2$, де C_1 – вартість електроенергії, що споживається навантаженням ЛО, C_2 – вартість електроенергії, що споживається з мережі:

$$C_1 = T_n \cdot 0.001 \int (P_H \cdot n) \cdot dt + T_d \cdot 0.001 \int (P_H \cdot (d \vee d_2 \vee d_3)) \cdot dt + T_P \cdot 0.001 \int (P_H \cdot p) \cdot dt$$

$$C_2 = T_n \cdot 0.001 \int (P_1 \cdot n) \cdot dt + T_d \cdot 0.001 \int (P_1 \cdot (d \vee d_2 \vee d_3)) \cdot dt + T_p \cdot 0.001 \int (P_1 \cdot p) \cdot dt$$

де T_n, T_d, T_p – відносні значення тарифних ставок (за однієї ставки $T_n=T_d=T_p=1$, за двох $T_d=T_p=1, T_n=0.5$, за трьох $T_d=1, T_p=1.5, T_n=0.4$).

Результати моделювання. Розглянуто моделювання ФЕС з завданням генерації ФБ з $P_{PVR}=1$ кВт за архівними даними [12]. Базовий графік навантаження: $P_{17}=75$ Вт, $P_{127}=110$ Вт, $P_{23}=200$ Вт, $P_{34}=180$ Вт, $P_{45}=160$ Вт, $P_{56}=200$ Вт, $P_{67}=110$ Вт. Оцінювались значення k_{E1} (за однієї ставки тарифу), k_{E2} (за двох ставок тарифу), k_{E3} (за трьох ставок тарифу).

Розглянуто роботу ФЕС без генерації в РМ в різних погодних умовах за $W_B=1132$ Вт·год. Найбільш складними є випадки, коли денна генерація ФБ становить менше $0.6W_{PVMAX}$ (в умовах м. Київ $W_{PVMAX} \approx 6$ кВт·год). На рис. 2а, б, в наведено осцилограми роботи ФЕС за 20.07.15 при $W_{PV}=2856$ Вт·год ($0.476 W_{PVMAX}$) та завданням $Q^*_{2}=Q^*_{6}=46\%$. За використанням заряду АКБ від РМ у разі провалу генерації ФБ близько полудня (рис. 2, а) $k_{E1}=3.067, k_{E2}=3.71, k_{E3}=4.62$. За відсутності заряду у разі провалу генерації ФБ (рис. 2, б) $k_{E1}=3.3, k_{E2}=4.09, k_{E3}=5.13$. У разі розрядження АКБ для підтримання роботи навантаження у разі провалу генерації ФБ (рис. 2, в) $k_{E1}=3.35, k_{E2}=4.16, k_{E3}=5.23$. Збільшення k_E (зниження споживання енергії з РМ) в цих випадках обумовлено більш повним використанням енергії ФБ – крива $P_{PV\Phi}$ наближається до P_{PVM} (пунктир на рис. 2).

Осцилограми роботи за 27.07.15 при $W_{PV}=1320$ Вт·год ($0.22W_{PVMAX}$) наведені на рис. 2, г. За цього використано регулювання струму заряду АКБ для обмеження потужності, що споживається з РМ. Значення $k_{E1}=1.525, k_{E2}=1.9, k_{E3}=2.39$.

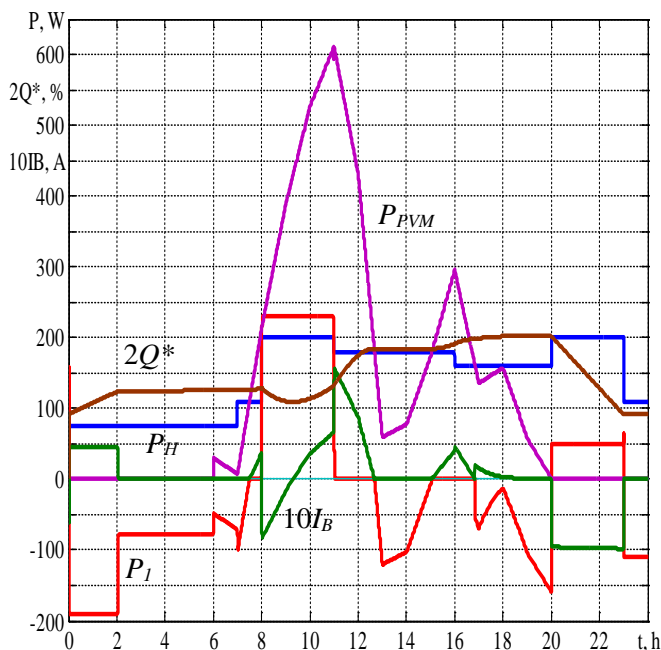


Рис. 3. Осцилограми роботи ФЕС із генерацією електроенергії в РМ

Висновки. Переналаштування роботи ФЕС в процесі моделювання роботи з регулюванням генерації фотоелектричної батареї або струму акумуляторної батареї та врахуванням ліміту потужності, що споживається з мережі, досягається введенням додаткових змінних з прив'язкою до заданого графіку ступеню заряду АКБ. За результатами моделювання підтверджено можливість більш повного використання енергії ФБ із зменшенням витрат на

Також розглянуто можливості керування струмом АКБ у разі реалізації генерації електроенергії в РМ. В даному разі для забезпечення гарантованої генерації в часи вечірнього піку значення $W_B=1414$ Вт·год. За того ж навантаження $P_{H56}=200$ Вт і $Q^*_{6}=20\%$ (взимку), це дає можливість генерувати $P_{I(56)}=50$ Вт. Значення потужності генерації $P_{I(23)}$ в ранковий пік залежить від значення W_{PV23} . На рис. 3 наведені осцилограми для 01.07.2015 р. при $W_{PV}=3367$ Вт·год (0.561 від W_{PVMAX}) та завданням $Q^*_{2}=62\%, Q^*_{3}=55\% Q^*_{6}=46\%$. За цього $P_{I(23)}=230$ Вт (в межах ліміту), $k_{E1}=7.37, k_{E2}=34.36$, за трьох ставок тарифу платить постачальник електроенергії. В цьому разі після 12.00 має тривалий провал генерації ФБ і оскільки $Q^*_{6} \approx 92\%$ за цього струм АКБ задається $I_B=0$, за рахунок чого повністю використовується енергія ФБ.

спожиту з мережі електроенергію у разі завдання струму АКБ з урахуванням ступеню заряду і енергії, яка генерується ФБ в денний час. Так, за однакових погодних умов за рахунок розряду АКБ під час «провалу» генерації ФБ досягнуто зниження витрат на 9–12%. Завдання струму АКБ з урахуванням ліміту потужності у разі низької генерації ФБ забезпечує обмеження споживання з мережі на цьому рівні. Розроблена модель є достатньо гнучкою щодо змінювання алгоритму, що забезпечує можливість дослідження додаткових функцій, наприклад, реалізації планованої генерації електроенергії в пікові часи. На даній стадії робіт вважалося, що генерація ФБ відповідає прогнозу, що є спрощенням. В реальності мають місце відхилення внаслідок дискретності і похибки. Подальшим напрямком роботи є удосконалення моделі з введенням поточних відхилень генерації відносно прогнозу і поточним корегуванням навантаження локального об'єкту в процесі моделювання.

References

Література

1. Pro vnesennia zmin do deiakykh zakoniv Ukrainy shchodo udoskonalennia umov pidtrymky vyrobnytstva elektrychnoi enerhii z alternatyvnykh dzherel enerhii: Zakon Ukrainy [About modification of some laws of Ukraine concerning improvement of conditions of support of production of electric energy from alternative energy sources: Law of Ukraine] from 21.07.2020 № 810-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/810-20#Text> [in Ukrainian].
2. Conex SW. Hybrid Inverter. URL: <https://www.se.com/ww/en/product-range-presentation/61645-conext-sw/>.
3. ABB solar inverters. Product manual REACT-3.6/4.6-TL (from 3.6 to 4.6 kW). URL: <https://www.abb.com/solarinverters>.
4. Shavolkin, O., Shvedchykova, I., Demishonkova, S. (2020). Simulation model of the photovoltaic system with a storage battery for a local object connected to a grid with multi-zone tariffication. *2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*, Kyiv, Ukraine, P. 368–372. doi: 10.1109/ESS50319.2020.9160112.
5. Forecast. Solar. URL: <https://forecast.solar/>.
6. Iyengar, S., Sharma, N., Irwin, D., Shenoy, P., Ramamritham, K. (2014). SolarCast – an open web service for predicting solar power generation in smart homes. *Proceedings of the 1st ACM Conference on Embedded Systems for Energy-Efficient Buildings*, November 2014, P. 174–175. doi: <https://doi.org/10.1145/2674061.2675020>.
7. Obuhov, S. G., Plotnikov, I. A. (2017). Imitatsionnaya model rejimov raboty avtonomnoy fotoelektricheskoy stantsii s uchetom realnykh usloviy ekspluatatsii [A simulation model of the operating modes of an autonomous photovoltaic power plant taking into account real operating conditions]. *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Injiniiring georesursov - Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources*, Vol. 328, No. 6, P. 38–51 [in Russian].
1. Про внесення змін до деяких законів України щодо удосконалення умов підтримки виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії: Закон України від 21.07.2020 № 810-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/810-20#Text>.
2. Conex SW. Hybrid Inverter. URL: <https://www.se.com/ww/en/product-range-presentation/61645-conext-sw/>.
3. ABB solar inverters. Product manual REACT-3.6/4.6-TL (from 3.6 to 4.6 kW). URL: <https://www.abb.com/solarinverters>.
4. Shavolkin O., Shvedchykova I., Demishonkova S. Simulation model of the photovoltaic system with a storage battery for a local object connected to a grid with multi-zone tariffication. *2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*, Kyiv, Ukraine, 2020, P. 368–372. doi: 10.1109/ESS50319.2020.9160112.
5. Forecast. Solar. URL: <https://forecast.solar/>.
6. Iyengar S., Sharma N., Irwin D., Shenoy P., Ramamritham K. SolarCast – an open web service for predicting solar power generation in smart homes. *Proceedings of the 1st ACM Conference on Embedded Systems for Energy-Efficient Buildings*. November 2014, P. 174–175. doi: <https://doi.org/10.1145/2674061.2675020>.
7. Обухов С. Г., Плотников И. А. Имитационная модель режимов работы автономной фотоэлектрической станции с учетом реальных условий эксплуатации. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2017. Т. 328, № 6. С. 38–51.

8. Shavolkin, O. O., Pidhainyi, M. O., Stanovskyi, Ye. Yu. (2021). Modeliuvannia hibrydnoi fotoelektrychnoi systemy z akumulatornoiu batareieiu dlia lokalnoho ob'iektu u razi enerhomenedzhmentu z vykorystanniam prohnozu [Modeling of a hybrid photovoltaic system with a rechargeable battery for a local object in the case of energy management using the forecast]. *Naukovi pratsi DonNTU. Elektrotehnika i enerhetyka – Scientific works of DonNTU. Electrical engineering and energy*, № 1 (24), P. 6–13. <https://doi.org/10.31474/2074-2630-2021-1-6-13> [in Ukrainian].
9. Shavolkin, O., Shvedchukova, I. (2020). Improvement of the multifunctional converter of the photoelectric system with a storage battery for a local object with connection to a grid. *2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, P. 287–292. doi: 10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250096.
10. Sotnyk, I., Zavdovyeva Y., Zavdovyev, O. (2014). Bahatostavkovi zonnii taryfy v systemi upravlinnia popytom na elektroenerhiiu [Multirate Tariffs in the Management of Electricity Demand]. *Mekhanizm rehuliuвання ekonomiky = Mechanism of Economic Regulation*, No. 2, P. 106–113 [in Ukrainian].
11. Data sheet. LITHIUM IRON PHOSPHATE (LIFEPO4) BATTERY 12.8V 150Ah. www.enix-energies.com. 2018/04/03. URL: <https://www.enix-energies.com>.
12. Photovoltaic geographical information system. URL: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#SA.

8. Шавьолькін О. О., Підгайний М. О., Становський Є. Ю. Моделювання гібридної фотоелектричної системи з акумуляторною батареєю для локального об'єкту у разі енергоменеджменту з використанням прогнозу. *Наукові праці ДонНТУ. Серія: Електротехніка і енергетика*. 2021. № 1 (24). С. 6–13. <https://doi.org/10.31474/2074-2630-2021-1-6-13>.
9. Shavolkin O., Shvedchukova I. Improvement of the multifunctional converter of the photoelectric system with a storage battery for a local object with connection to a grid. *2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. P. 287–292. doi: 10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250096.
10. Сотник І. М., Завдов'єва Ю. М., Завдов'єв О. І. Багатоставкові зонні тарифи в системі управління попиту на електроенергію. *Механізм регулювання економіки*. 2014. № 2. С. 106–113.
11. Data sheet. LITHIUM IRON PHOSPHATE (LIFEPO4) BATTERY 12.8V 150Ah. www.enix-energies.com. 2018/04/03. URL: <https://www.enix-energies.com>.
12. Photovoltaic geographical information system. URL: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#SA.

SHAVOLKIN OLEXANDER

Doctor of Technical Sciences, Professor
Department of Computer Engineering
and Electromechanics,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3914-0812>
Researcher ID: T-2652-2018
E-mail: shavolkin@gmail.com

PIDHAINYI MYKOLA

PhD student, Department of Computer
Engineering and Electromechanics,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4816-902X>
E-mail: pidhainyi.mykola@gmail.com

STANOVSKYI YEVHEN

PhD student
Department of Computer Engineering and
Electromechanics,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6693-5181>
E-mail: stanovskyi.yevhen@gmail.com

MARCHENKO RUSLAN

PhD student, Department of Computer
Engineering and Electromechanics,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0358-9722>
E-mail: r.marchenko@ukr.net

KRUHLIAK HENNADII

Lecturer, Department of Electrical Power Engineering,
Electrical Engineering and Electromechanics,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2634-3856>
E-mail: gvk1907@gmail.com

¹ШАВЁЛКИН А. А., ¹СТАНОВСКИЙ Е. Ю., ¹ПИДГАЙНЫЙ Н. О.,
¹МАРЧЕНКО Р. Н., ²КРУГЛЯК Г. В.

¹Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

²Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГИБРИДНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С АККУМУЛЯТОРОМ ДЛЯ НУЖД ЛОКАЛЬНОГО ОБЪЕКТА

Цель. Повышение эффективности гибридной фотоэлектрической системы с аккумуляторной батареей для нужд локального объекта за счет совершенствования управления по прогнозу с имитационным моделированием энергетических процессов в системе, развитие принципов реализации систем энергоменеджмента.

Методика. Анализ энергетических процессов в электрических цепях фотоэлектрической системы с формализацией принципов перенастройки управления и использованием компьютерного моделирования по архивным данным генерации фотоэлектрической батареи для оценки эффективности энергоменеджмента.

Результаты. Разработаны структуры блоков и общая структура модели энергетических процессов в системе для суточного цикла работы с оценкой затрат на электроэнергию, потребляемую из сети. Формализованы принципы управления режимами и энергопотребление системы по данным прогноза генерации фотоэлектрической батареи.

Научная новизна. Усовершенствованы принципы задания тока аккумуляторной батареи согласно прогнозу генерации энергии фотоэлектрической батареи, степени заряда аккумуляторной батареи и лимита потребляемой мощности из сети. Это будет способствовать более полному использованию энергии фотоэлектрической батареи и уменьшению потребления электроэнергии из сети. Усовершенствована математическую модель аккумуляторной батареи, которая построена по каталожным данным производителя. Обоснованно формализацию энергетических процессов в системе с использованием дополнительных переменных, обеспечивающих перенастройки работы с регулированием генерации фотоэлектрической батареи или тока аккумуляторной батареи и учетом лимита потребляемой мощности из сети.

Практическое значение. Полученные решения являются основой для проектирования систем управления фотоэлектрических систем для обеспечения потребностей локальных объектов.

Ключевые слова: гибридная фотоэлектрическая система; прогноз генерации фотоэлектрической батареи; формирование степени заряда аккумуляторной батареи; моделирование энергетических процессов в суточном цикле.

¹SHAVOLKIN O. O., ¹STANOVSKYI Ye. Yu., ¹PIDHAINYI M. O.,
¹MARCHENKO R. M., ²KRUHLIAK H. V.

¹Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

MODELING OF ENERGY PROCESSES IN A HYBRID PHOTOELECTRIC SYSTEM WITH A BATTERY FOR THE NEEDS OF A LOCAL OBJECT

Purpose. Improving the efficiency of a hybrid photoelectric system with a rechargeable battery for the needs of the local object by improving the management of the forecast with simulation of energy processes in the system, development of principles for the implementation of energy management systems.

Methodology. Analysis of energy processes in the electrical circuits of the photoelectric system with the formalization of the principles of control reconfiguration and the use of computer modeling based on archival data of photoelectric battery generation to evaluate the efficiency of energy management.

Findings. Block structures and the general structure of the model of energy processes in the system for the daily cycle of work with an estimation of the cost of electricity consumed from the grid have been developed. The principles of control modes and power consumption of the system according to the forecast of photoelectric battery generation were formalized.

Originality. The principles of setting the battery current according to the forecast of photoelectric energy generation, the state of battery charge and the power limit consumed from the grid have been improved. It will help to make better use of the energy of the photoelectric battery and reduce the consumption of electricity from the grid. The mathematical model of the rechargeable battery, built on the manufacturer's catalog data has been improved. The formalization of energy processes in the system with the use of additional variables, which provide reconfiguration of work with regulation of photoelectric battery generation or battery current and taking into account the power limit consumed from the grid is substantiated.

Practical value. The obtained solutions are the basis for designing photoelectric control systems to meet the needs of local objects.

Keywords: hybrid photoelectric system; forecast of photoelectric battery generation; formation of battery charge degree; modeling of energy processes in the daily cycle.

УДК 378.147

¹ШВЕДЧИКОВА І. О., ²СОЛОШИЧ І. О., ³СОЛОШИЧ С.

¹Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

²Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Україна

³Country garden school, Lanzhou, China

НАУКОВА ПРОЄКТНА ДІЯЛЬНІСТЬ ЯК ПЕРЕДУМОВА ФОРМУВАННЯ ФАХОВИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ З ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

Мета. Визначення ролі наукової проєктної діяльності у формуванні фахових компетентностей здобувачів вищої освіти в галузі електричної інженерії.

Методика. Використовується метод наукових проєктів для формування фахових компетентностей здобувачів вищої освіти зі спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Результати. Здійснення проєктної наукової діяльності з застосуванням бази інженерних та наукових проєктів для підвищення енергоефективності мотивує здобувачів вищої освіти на отримання нових знань, створює передумови для розроблення та впровадження сучасної освітньої програми у галузі електричної інженерії, сприяє інтеграції в систему університету нової структури – енерго-інноваційного хабу знань.

Наукова новизна. В роботі отримали подальший розвиток проєктні методи і технології навчання в галузі електричної інженерії, які передбачають використання університетської бази наукових та інженерних проєктів з енергоефективності та участь у виконанні проєктів здобувачів вищої освіти, що дозволяє сформуванню фахові (науково-дослідницькі) компетентності здобувачів та здійснити розроблення сучасної освітньої програми.

Практична значимість. Результати дослідження можуть бути використані при оновленні освітніх програм з електричної інженерії та для підтримки розвитку сфери енергоефективності в університеті при створенні енерго-інноваційного хабу знань, що дозволить організувати комплексну взаємодію складових «освіта – наука (інновації) – бізнес (підприємництво) – держава».

Ключові слова: наукова проєктна діяльність; освітня платформа проєктної діяльності у сфері енергоефективності; освітньо-професійна програма; фахові компетентності; енерго-інноваційний хаб знань.

Вступ. В сучасних умовах набувають все більшого загострення такі виклики, як вичерпаність традиційних видів енергоресурсів, кліматичні зміни та погіршення екології навколишнього середовища. Через кліматичні зміни зростає вразливість альтернативної енергетики, зокрема відновлювальних джерел. Так, в північній Європі, яка має значну долю вітрогенерації, багато тижнів цього року потрапили в найбезвітряніші 25% за всю історію спостережень, що призвело до недовироблення електроенергії, дефіциту та зростанню цін на енергоносії, зокрема, на вугілля та газ, які традиційно використовуються для покриття піків генерації [1]. Тому все більше країн світу приймають зобов'язання щодо відмови від викопного палива, зокрема вугілля. На конференції ООН зі зміни клімату 2021 р. (COP 26) понад 40 країн світу вперше погодилися відмовитися не тільки від будівництва нових вугільних електростанцій, але й від інвестування в них [2].

Тисячі підприємств в світі, у тому числі в Україні, запроваджують заходи з енергоефективності, використовують електроенергію з відновлювальних джерел, електрифікують виробничі процеси й транспорт. Змінюється поведінка споживачів у напрямку раціонального використання енергоресурсів для зменшення витрат на оплату електроенергії. Набувають поширення цифрові енергетичні мережі та інтелектуальні системи управління. В області малої енергетики спостерігається збільшення виробництва енергії з відновлювальних

джерел для власних потреб з можливістю постачання в енергомережу надлишкової енергії та формування сегменту проз'юмерів – одночасних виробників та споживачів електричної енергії.

Отже, динамічні та непередбачувані зміни в енергетичній сфері потребують швидкої реакції людини на ці зміни та розуміння суті процесів, що відбуваються. В цих умовах основною вимогою до фахівця в галузі електричної інженерії стає здатність аналітично та системно мислити, володіти когнітивними здібностями, вміти застосувати сучасні наукові розробки на практиці, що неможливо без оновлення підходів до професійної підготовки майбутніх фахівців. Важливою передумовою формування фахових компетентностей здобувачів вищої освіти з електричної інженерії стає наукова проєктна діяльність.

Аналіз попередніх досліджень. В сучасних умовах конкурентоздатною основою підготовки фахівців виступає компетентна парадигма освіти. Перехід на компетентні стандарти вищої освіти в Україні передбачає формування у здобувачів, перш за все, спеціальних або фахових компетентностей для успішної професійної діяльності. У той самий час в період швидких змін особливу цінність набувають компетентності, опанування якими дозволить майбутнім фахівцям почувати себе впевнено на ринку праці. Так, в [3] аналізуються так звані компетентності, що передаються. Для того, щоб стати стійким і компетентним для функціонування на ринку праці, який постійно змінюється, студент повинен розвинути мета-навички та компетентності, які можна передати. Основна ідея полягає в тому, що навички, отримані в одному контексті, можна досить легко перенести в інший [4]. Найбільш важливими визначено два кластери компетентностей, які характеризують здатність до комунікацій та співробітництва.

В [5] наведені результати, які включають кількісно оцінену важливість системного мислення та професійних навичок і знань як базових компетенцій випускника освітньої програми з альтернативної енергетики. Запропоновано структуру освітньої програми, яка містить екологічну, інженерну та економіко-управлінську складові. В [6] акцентується увага на когнітивній (пізнавальній) освіті, основною характеристикою якої є зосередженість на процесах систематичного логічного мислення, навчання та викрашення проблем. Пізнавальна освіта визначається у широкому розумінні як «стратегія викладання та навчання, основною метою якої є розвиток та заохочення» [7].

В [8] викладачі університету Адама Міцкевича в Познані (Польща) М. Січоń та І. Piotrowska пропонують формування ключових компетентностей студентів здійснювати за допомогою методу проєктів. На думку авторів, компетенції, що формуються шляхом індивідуального здобуття знань, мають доповнюватися методами засвоєння знань, а поєднання різних методів навчання збільшує можливість формування різноманітних компетенцій на вищому рівні. Метод проєктів використовується на всіх освітніх рівнях для формування економічних компетенцій, які будуть корисними при створенні та веденні власного бізнесу. Прикладом цього може бути грант Національного банку Польщі у 2002 році під назвою «Ти можеш стати бізнесменом» і орієнтований на студентів [9].

В роботі [10] акцентується увага на використанні результатів наукових досліджень в освітній діяльності та залученні до науково-дослідної роботи здобувачів. Наведені результати втілення проєкту, спрямованого на підвищення академічних результатів студентів (бакалаврів і магістрантів) шляхом проведення наукових досліджень з космічної техніки. Проєктна наукова діяльність розглядається як основа для розроблення кращих інноваційних освітніх програм у майбутньому.

У Швейцарському федеральному технологічному інституті Цюріха (Swiss Federal Institute of Technology Zurich. Study Programmes. Bachelor of Environmental Engineering) [11] також успішно використовують метод проєктів під час підготовки студентів, коли вони

співпрацюють з фахівцями безпосередньо на підприємствах, розв'язуючи нагальні проблеми регіонів, у тому числі екологічні (утилізація стічних вод, відходів, очищення забрудненого ґрунту та води тощо).

Таким чином, в сучасній освіті значна увага приділяється компетентностному підходу. В переважній більшості публікацій, які були проаналізовані, основний акцент робиться на необхідності формування професійних компетентностей здобувачів у поєднанні з навичками системного мислення, здатності до комунікації та співпраці тощо. Вирішальна роль у оволодінні ключовими компетентностями відводиться методу проєктів та залученню студентів до наукової проєктної діяльності. У той самий час, як свідчить аналіз публікацій та інформації з освітніх зарубіжних сайтів, використання проєктних методів і технологій навчання в галузі електричної інженерії ще не набуло широкого розповсюдження.

Постановка завдання. Метою роботи є визначення ролі наукової проєктної діяльності у формуванні фахових компетентностей здобувачів вищої освіти у галузі електричної інженерії.

Результати дослідження. Динамічні та непередбачувані зміни, що відбуваються в енергетичній сфері багатьох країн світу, у тому числі в Україні, потребують междисциплінарних фахівців та пов'язаного з цим перегляду підходів до їх професійної підготовки. Тому головним завданням університетської освіти в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки має стати створення таких умов до професійної підготовки майбутніх фахівців, за яких вони не просто оволодівають певною сумою знань, умінь і навичок, але й набувають компетентності на перспективу для успішного здійснення професійної діяльності в найближчому майбутньому. Однією з мотиваційних умов формування таких компетентностей є активна участь здобувачів вищої освіти у проєктній діяльності, яка розглядається як спосіб досягнення цілей у вигляді практико-орієнтованих результатів, отриманих з використанням традиційних та інноваційних знань. Проєктна діяльність налаштовує студента на творчу роботу по вирішенню задач нестандартними способами, на теоретичну та практичну реалізацію цих задач під керівництвом викладача.

Науковці розрізняють декілька типів проєктів [12]: наукові, творчі, ігрові, інформаційні, практико-орієнтовані. Науковий або науково-дослідний проєкт передбачає розвиток пізнавальних і науково-дослідницьких навичок, критичного мислення, вміння самостійного пошуку наукової інформації; науково-дослідницьку діяльність (індивідуальну, парну, групову); розв'язання професійної проблеми; презентацію висновків проєктів; співробітництво студентів та викладачів між собою [13]. Проєктна наукова діяльність формує у майбутнього фахівця такі якості, як здатність до комунікації, вміння вирішувати задачі колективно, аналізувати результати діяльності [14, 15].

Реалізаційним механізмом впровадження проєктної наукової діяльності в Київському національному університеті технологій та дизайну (КНУТД) служить концепція освітньої платформи проєктної діяльності у сфері енергоефективності [16]. Практична реалізація концепції передбачає використання технології навчання із застосуванням бази інженерних та наукових проєктів, у тому числі наукових проєктів фундаментальних та прикладних досліджень, а також проєктів науково-технічних (експериментальних) розробок у сфері енергоефективності. За період впровадження концепції освітньої платформи проєктної діяльності (2018-2021 рр.) до бази наукових проєктів увійшли такі роботи:

- науково-дослідна фундаментальна робота за державним фінансуванням «Принципи створення енергоефективних перетворювальних агрегатів комбінованих систем електроживлення з поновлювальними джерелами» (2017–2019 рр.), в якій отримала розвиток сучасна концепція створення багатофункціональних перетворювальних агрегатів для

комбінованих систем електроживлення за умов максимального використання їх обладнання з урахуванням інтересів енергосистеми і споживача;

- науково-дослідна прикладна робота за державним фінансуванням «Розроблення системи енергоефективного управління мікроенергетичними мережами локальних об'єктів з традиційними та понолюваними джерелами» (2018–2020 рр.), в якій запропонований підхід щодо інтелектуального управління мікроенергетичними системами локальних об'єктів на основі нейромережевого прогнозування генерації електроенергії відновлювальними джерелами з використання умовного динамічного тарифу;

- науково-технічна робота за державним замовленням «Розроблення програмно-технічного комплексу управління електроспоживанням у системах енергоменеджменту локальних об'єктів» (2019–2020 рр.), за результатами виконання якої розроблений програмно-технічний комплекс (ПТК) для управління електроспоживанням з метою підвищення ефективності функціонування системи енергоменеджменту локального об'єкту. ПТК здійснює управління процесами генерації, перерозподілу та споживання енергії за умови мінімізації витрат на споживання електроенергії з централізованої розподільчої мережі з багатозонною тарифікацією.

Слід зазначити, що у виконанні зазначених вище наукових проєктів приймали активну участь студенти та аспіранти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Метод проєктів став важливим інструментом у формуванні науково-дослідницької компетентності майбутніх фахівців з електричної інженерії. Під час участі у науково-дослідницьких проєктах студенти вчилися продумувати їх структуру, тему, мету, завдання, предмет, об'єкт та методи дослідження, аналізувати, оцінювати та презентувати отримані результати, робити висновки. Так, під час виконання науково-технічної роботи «Розроблення програмно-технічного комплексу управління електроспоживанням у системах енергоменеджменту локальних об'єктів» здобувачі приймали участь у підготовці окремих розділів проміжних і остаточного звітів, у складанні експериментальної установки для проведення випробувань ПТК управління електроспоживанням [17].

Результатом роботи студентів у проєктній науковій групі мають бути наукові публікації, заявки на винахід, доповіді на наукових і науково-практичних конференціях, участь у Всеукраїнських і Міжнародних конкурсах студентських наукових робіт. Під час виконання наукових проєктів за участю майбутніх фахівців опубліковані дев'ять статей у фахових виданнях та шість тез, отримано п'ять патентів на корисні моделі.

Наукові проєкти забезпечили також реалізацію принципу поєднання науково-дослідницької та освітньої діяльності. За тематикою наукових проєктів захищено сім магістерських робіт; чотири роботи стали переможцями Всеукраїнського та Міжнародного конкурсів студентських наукових робіт зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Для участі у конкурсах студентських наукових робіт студентам також були запропоновані міждисциплінарні науково-дослідницькі проєкти спільно зі студентами екологічних спеціальностей [18, 19]. Важливим результатом участі здобувачів у науковій проєктній діяльності стало опанування ними методології наукового дослідження та набуття досвіду вирішення фахових проблем у майбутній професійній області через раціональне поєднання теоретичних знань з їх практичним використанням.

Отримані наукові результати та позитивний досвід участі здобувачів вищої освіти у проєктній науковій діяльності створили передумови для розроблення освітньо-професійної програми (ОПП) «Інтелектуальні системи відновлювальної енергетики та електромобілів» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Особливістю цієї освітньої програми є інтеграція освітньої та пошуково-дослідницької діяльності. Метою ОПП

«Інтелектуальні системи відновлювальної енергетики та електромобілів» визначено підготовку фахівців, які володіють глибокими знаннями, а також базовими й професійними компетентностями в галузі електричної інженерії, що направлені на здобуття знань, вмінь і навичок для розв'язання спеціалізованих задач з розроблення, проектування, обслуговування інтелектуальних систем із використанням відновлювальних джерел та джерел живлення електромобілів, а також для вирішення практичних проблем у професійній діяльності з врахуванням сучасних тенденцій розвитку галузі. Основними цілями ОПП «Інтелектуальні системи відновлювальної енергетики та електромобілів» визначено: формування та розвиток загальних і професійних компетентностей у галузі електричної інженерії; забезпечення органічного поєднання в освітньому процесі освітньої, пошукової та інноваційної складових; задоволення потреб в базових знаннях сучасних технологій в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці. ОПП спрямована на розвиток теоретичної та практичної підготовки в області розроблення, проектування, обслуговування інтелектуальних систем в енергетиці та орієнтована на сферу відновлювальної, цифрової та інтелектуальної енергетики, розподілених електричних мереж, джерел живлення електромобілів.

При розробленні освітніх програм зазвичай дотримуються стандартного набору етапів, наведених на рис. 1 [20].

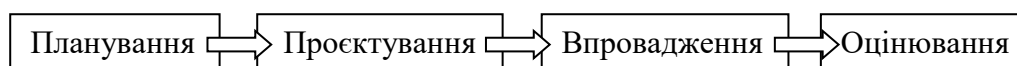


Рис. 1. Етапи розроблення освітньої програми

Планування, яке передбачає оцінювання передумов та доцільності складання програми, є першим етапом складання ОПП. На етапі проектування освітньої програми (етап 2, рис. 1) результати, отримані під час проєктної наукової діяльності, були враховані при формуванні обов'язкових компонентів освітньої програми з циклу професійної підготовки. Для прийняття інноваційних та нестандартних рішень майбутні фахівці мають володіти міждисциплінарними знаннями з застосуванням сучасних методів моделювання енергетичних процесів та інтелектуальних систем. Тому до ОПП були включені наступні освітні компоненти (ОК 20 – ОК 24): «Напівпровідникові перетворювачі енергії в енергетиці та електроприводі», «Аналогова та цифрова електроніка», «Інтелектуальні системи енергоефективного управління перерозподілом енергії», «Мікропроцесорні засоби інтелектуальних систем», «Відновлювальні джерела та накопичувачі енергії».

Результати виконання наукових проєктів також знайшли відображення у змісті окремих навчальних дисциплін з циклу професійної підготовки. Як приклад, розглянемо місце і роль отриманих дослідницьких результатів під час виконання наукових проєктів у підготовці здобувачів вищої освіти при викладанні навчальної дисципліни «Інтелектуальні системи енергоефективного управління перерозподілом енергії» (освітня компонента ОК 22). Загальна кількість годин, яка відводиться для викладання даної дисципліни в ОПП, складає 180 години, 6 кредитів (ECTS), шифри програмних результатів навчання – ПРН 10, ПРН 18.

Назви основних тем дисципліни «Інтелектуальні системи енергоефективного управління перерозподілом енергії»:

- сучасний стан і перспективи розвитку інтелектуальних систем відновлювальної енергетики та електромобілів;
- інтелектуальні системи управління перерозподілом енергії в фотоелектричних системах з акумуляторними накопичувачами: принципи побудови, переваги та недоліки, режими роботи, області застосування;

– інтелектуальні системи управління перерозподілом енергії в вітрогенерувальних системах з акумуляторними накопичувачами: принципи побудови, переваги та недоліки, режими роботи, області застосування;

– інтелектуальні системи управління електромобілів.

При викладанні тем навчальної дисципліни «Інтелектуальні системи енергоефективного управління перерозподілом енергії», наприклад, при формуванні понятійного базису дисципліни, визначенні принципів побудови інтелектуальних систем енергоефективного управління перерозподілом енергії у відновлювальній енергетиці та для джерел живлення електромобілів відбувається інтеграція знань з навчальної дисципліни з результатами наукової проектної діяльності.

Отже, отримані під час наукової проектної діяльності результати свідчать про перетворення університетської місії з «надання освіти» на «виробництво нового знання» шляхом проведення наукових досліджень в сфері електроенергетики та енергоефективності з подальшою комерціалізацією нових знань. Це, в свою чергу, передбачає інтеграцію в систему університету нової структури – університетського енерго-інноваційного хабу знань для використання у якості навчальної бази для підвищення рівня енергограмотності науково-педагогічних працівників, здобувачів вищої освіти, організації програмних заходів з енергонавчання, імплементації у енергоменеджмент університету міжнародних стандартів з енергоефективності.

Висновки. В результаті проведеного дослідження встановлено, що реалізаційним механізмом впровадження проектної наукової діяльності в Київському національному університеті технологій та дизайну служить концепція освітньої платформи проектної діяльності у сфері енергоефективності з базою наукових та інженерних проєктів. Це дозволило отримати не тільки наукові результати, але й мотивувати студентів до участі у проектній науковій діяльності, створити передумови для розроблення освітньо-професійної програми «Інтелектуальні системи відновлювальної енергетики та електромобілів» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», особливістю якої є інтеграція освітньої та пошуково-дослідницької діяльності.

Напрямок подальших досліджень є інтеграція в структуру університету енерго-інноваційного хабу знань, що дозволить організувати комплексну взаємодію інтерактивних інструментаріїв чотирикутника знань «освіта – наука (інновації) – бізнес (підприємництво) – держава».

References

1. The first big energy shock of the green era. *The Economist*. 2021. [Oct 16th 2021 edition](https://www.economist.com/leaders/2021/10/16/the-first-big-energy-shock-of-the-green-era). URL: <https://www.economist.com/leaders/2021/10/16/the-first-big-energy-shock-of-the-green-era>.
2. Harrabin, R. (2021). COP26 climate change summit: so far, so good-ish. URL: <https://www.bbc.com/news/science-environment-59150807>.
3. Smékalová, L., Sněhotová, J., Jordánová, B. (2021). Identification of Transferable Competencies and their Impact on the Paradigm Change in Higher Education in the 21st Century. *14th International Scientific Conference «Rural Environment. Education. Personality. (REEP)»*, 14, 311–319. doi: [10.22616/REEP.2021.14.034](https://doi.org/10.22616/REEP.2021.14.034).

Література

1. The first big energy shock of the green era. *The Economist*. 2021. [Oct 16th 2021 edition](https://www.economist.com/leaders/2021/10/16/the-first-big-energy-shock-of-the-green-era). URL: <https://www.economist.com/leaders/2021/10/16/the-first-big-energy-shock-of-the-green-era>.
2. Harrabin R. COP26 climate change summit: so far, so good-ish. 2021. URL: <https://www.bbc.com/news/science-environment-59150807>.
3. Smékalová L., Sněhotová J., Jordánová B. Identification of Transferable Competencies and their Impact on the Paradigm Change in Higher Education in the 21st Century. *14th International Scientific Conference "Rural Environment. Education. Personality. (REEP)"*,

4. Bogatskaia, E., Savela, S., Yarovaya, L. (2020). Fostering Responsibility and Teamwork Ability as Professionally Important Transferable Skills among Students at Higher Educational Institutions. *The Proceedings of International Conference Technology, Education and Development Conference (INTED2020)*, 14, 209–213. doi: 10.21125/inted.2020.0102.
5. Svirina, A., Shindor, O., Tatmyshevsky, K. (2014). Development of Educational Programs in Renewable and Alternative Energy Processing: the Case of Russia. *Environmental and Climate Technologies*, 13: 20–26. doi: 10.2478/rtuct-2014-0003.
6. Tzuriel, D. (2021). Cognitive Education Programs. *Mediated Learning and Cognitive Modifiability*. 413–459. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75692-5_15.
7. Haywood, C. H. (2013). What Is Cognitive Education? The View From 30,000 Feet. *Journal of Cognitive Education and Psychology*, 12, 1, 26–44. DOI: [10.1891/1945-8959.12.1.26](https://doi.org/10.1891/1945-8959.12.1.26).
8. Cichoń, M., Piotrowska, I. (2012). Forming the key competences among the students of geography through project method, geography-related essay and a review. *Prace Komisji Edukacji Geograficznej*, 2, 151–168.
9. Kołodziejski, M., Przybysz-Zaremba, M. (2017). Project method in educational practice. *University Review*, 11, 4, 26–32.
10. Pindado, S., Roibas, E., Cubas, J. (2021). PIRAMIDE: An Innovative Educational Program based on Research – Some Results and Lessons Learned. *Conference: 6th Annual International Conference on Engineering Education & Teaching (ENGEDU – ATINER)*? May 2021, Athens, Greece.
11. Swiss Federal Institute of Technology Zurich. Study programs. Bachelors of Environmental Engineering. URL: <https://baug.ethz.ch/en/studies/enviromental-engineering.html>.
12. Sysojeva, S. O. (2002). Osobystisno oriientovani pedahohichni tekhnolohii: metod proektiv [Personally oriented pedagogical technologies: project method]. *Neperervna prof. osvita: teorija i praktyka = Continuing professional education: theory and practice*, 1 (5), 73–79 [in Ukrainian].
- 7–8 May 2021, Jelgava, Latvia. 2021. Vol. 14. P. 311–319. doi: [10.22616/REEP.2021.14.034](https://doi.org/10.22616/REEP.2021.14.034).
4. Bogatskaia E., Savela S., Yarovaya L. Fostering Responsibility and Teamwork Ability as Professionally Important Transferable Skills among Students at Higher Educational Institutions. *The Proceedings of International Conference Technology, Education and Development Conference (INTED2020)*, 14, Valencia: IATED Academy, 2020. P. 209–213. doi: 10.21125/inted.2020.0102.
5. Svirina A., Shindor O., Tatmyshevsky K. Development of Educational Programs in Renewable and Alternative Energy Processing: the Case of Russia. *Environmental and Climate Technologies*. 2014. No. 13. P. 20–26. doi: 10.2478/rtuct-2014-0003.
6. Tzuriel D. Cognitive Education Programs. *Mediated Learning and Cognitive Modifiability*. 2021. P. 413–459. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75692-5_15.
7. Haywood Carl H. What Is Cognitive Education? The View From 30,000 Feet. *Journal of Cognitive Education and Psychology*. 2013. Vol. 12. No 1. P. 26–44. DOI: [10.1891/1945-8959.12.1.26](https://doi.org/10.1891/1945-8959.12.1.26).
8. Cichoń M., Piotrowska I. Kształtowanie kompetencji kluczowych wśród studentów geografii poprzez metodę projektu, esej geograficzny i recenzję. *Prace Komisji Edukacji Geograficznej*. 2012. Vol. 2. P. 151–168.
9. Kołodziejski M., Przybysz-Zaremba M. Project method in educational practice. *University Review*. 2017. Vol. 11. No. 4. P. 26–32.
10. Pindado S., Roibas E., Cubas J. PIRAMIDE: An Innovative Educational Program based on Research -Some Results and Lessons Learned. *Conference: 6th Annual International Conference on Engineering Education & Teaching (ENGEDU – ATINER)*, May 2021, Athens, Greece.
11. Swiss Federal Institute of Technology Zurich. Study programs. Bachelors of Environmental Engineering. URL: <https://baug.ethz.ch/en/studies/enviromental-engineering.html>.
12. Сисоєва С. О. Особистісно орієнтовані педагогічні технології: метод проєктів. *Неперервна проф. освіта: теорія і практика*. 2002. Вип. 1 (5). С. 73–79.

13. Kozlovskiy, Ju. M. (2012). Modeliuvannya naukovoї diialnosti vyshchoho navchalnoho zakladu: teoretyko-metodolohichni aspekt: monohrafiia [Modeling of scientific activity of a higher educational institution: theoretical and methodological aspect: monograph]. Lviv. 484 p. [in Ukrainian].
14. Drobysh, L. V., Karpenko, Ju. V. (2015). Doslidnytska diialnist studentiv yak zasib yakisnoi pidgotovky fakhivtsiv [Research activities of students as a means of quality training]. *Problemy formuvannja ta rozvytku innovacijnoi' infrastruktury: jevropejs'kyj vektor – novi vyklyky ta mozhyvosti = Problems of formation and development of innovation infrastructure: European vector – new challenges and opportunities*, Lviv. P. 635–636 [in Ukrainian].
15. Kosovych, O. V. (2011). Proektna diialnist yak odna z form innovatsiinykh metodychnykh tekhnolohii navchannja [Project activity as one of the forms of innovative methodical technologies of training]. *Naukovyj visnyk Uzhgorods'kogo nacional'nogo universytetu. Serija "Pedagogika, social'na robota" = Scientific Bulletin of Uzhhorod National University. Series "Pedagogy, social work"*, Vol. 22, 76–78 [in Ukrainian].
16. Kaplun, V. V., Shvedchykova, I. O., Kravchenko, O. P., Shevchenko, O. O. (2018). Proektna diialnist yak odna z form innovatsiinykh metodychnykh tekhnolohii navchannja [Comprehensive educational platform of project activity in the field of energy saving]. *Visnyk KNUTD = Bulletin of the KNUTD*. 4 (124), 34–48. DOI:10.30857/1813-6796.2018.4.4 [in Ukrainian].
17. Shavolkin, O. O., Shvedchykova, I. O., Krugljak, G. V., Marchenko, R. M., Piskoekyj, A. V. (2020). Rozroblennja eksperymentalnoi ustanovy dlia vyprobuvan prohramno-aparatnykh zasobiv upravlinnia mikroenerhetychnymy merezhamy lokalnykh ob'ektiv [Development of an experimental setup for testing software and hardware for managing microenergy networks of local facilities]. *Visnyk Kyivskogo nacionalnogo universytetu tehnologij ta dizajnu. Serija Tehnichni nauky = Bulletin of Kyiv National University of Technology and Design. Technical Sciences Series*. 4 (148), 14–24. <https://doi.org/10.30857/1813-6796.2020.4.1> [in Ukrainian].
18. Shvedchykova, I., Soloshych, I., Tytiuk, V. (2017). Creating a learning information retrieval system for selection of electromechanical devices for cleaning of gas emissions, wastewater and solid waste. *2017 International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*. 336–339. doi: <http://doi.org/10.1109/mees.2017.8248926>.
19. Soloshych, I., Shvedchykova, I. (2016). Development of systematics ranked structure of environmental protecting equipment for cleaning of gas emissions, wastewater and
13. Козловський Ю. М. Моделювання наукової діяльності вищого навчального закладу: теоретико-методологічний аспект: монографія. Львів: СПОЛОМ, 2012. 484 с.
14. Дробіш Л. В., Карпенко Ю. В. Дослідницька діяльність студентів як засіб якісної підготовки фахівців. *Проблеми формування та розвитку інноваційної інфраструктури: європейський вектор – нові виклики та можливості: тези доп. III Міжнародної науково-практичної конференції (м. Львів, 14–16 травня 2015 р.)*. Львів, 2015. С. 635–636.
15. Косович О.В. Проектна діяльність як одна з форм інноваційних методичних технологій навчання. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія "Педагогіка, соціальна робота"*. 2011. Вип. 22. С. 76–78.
16. Каплун В. В., Шведчикова І. О., Кравченко О. П., Шевченко О. О. Комплексна освітня платформа проектної діяльності в сфері енергозбереження. *Вісник КНУТД*. 2018. № 4 (124). С. 34–48. DOI:10.30857/1813-6796.2018.4.4.
17. Шавьолкін О. О., Шведчикова І. О., Кругляк Г. В., Марченко Р. М., Пісоцький А. В. Розроблення експериментальної установки для випробувань програмно-апаратних засобів управління мікроенергетичними мережами локальних об'єктів. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки*. 2020. № 4 (148). С. 14–24. <https://doi.org/10.30857/1813-6796.2020.4.1>.
18. Shvedchykova I., Soloshych I., Tytiuk V. Creating a learning information retrieval system for selection of electromechanical devices for cleaning of gas emissions, wastewater and solid waste. *2017 International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*. Kremenchuk, 2017. P. 336–339. doi: <http://doi.org/10.1109/mees.2017.8248926>.
19. Soloshych I., Shvedchykova I. Development of systematics ranked structure of environmental protecting equipment for

solid waste. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (84)), 17–23. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.86462>.

20. Tatum, Ch. (2019). Developing and Evaluating Educational Programs. *The Essence of Academic Performance*. DOI:10.5772/intechopen.89574. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/69579>.

cleaning of gas emissions, wastewater and solid waste. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. No. 6 (10 (84)), P. 17–23. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.86462>.

20. Tatum Ch. Developing and Evaluating Educational Programs. *The Essence of Academic Performance*. 2019. DOI: 10.5772/intechopen.89574. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/69579>.

SHVEDCHUKOVA IRYNA
Doctor of Technical Sciences, Professor
Department of Computer Engineering
and Electromechanics
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3005-7385>
Scopus ID: [6503887672](https://orcid.org/0000-0003-3005-7385)
Researcher ID: [O-2765-2018](https://orcid.org/0000-0003-3005-7385)
E-mail: shvedchukova.io@knuutd.edu.ua

SOLOSHYCH IRYNA
Doctor of Pedagogical Sciences
Department of Ecological Safety
and Natural Management
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi
National University, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8842-5120>
Scopus ID: [56437747500](https://orcid.org/0000-0002-8842-5120)
Researcher ID: [ABE-2607-2021](https://orcid.org/0000-0002-8842-5120)
E-mail: soloishych@gmail.com

SOLOSHYCH SERHII
Computer science teacher in Country Garden School, Lanzhou, China
<https://orcid.org/0000-0002-1453-0227>
E-mail: soloshych.serhii@icloud.com

¹ШВЕДЧИКОВА И. А., ²СОЛОШИЧ И. А., СОЛОШИЧ С.

¹Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

²Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, Украина

³Country garden school, Lanzhou, China

НАУЧНАЯ ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КАК ПРЕДПОСЫЛКА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ СОИСКАТЕЛЕЙ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Цель. Определение роли научной проектной деятельности в формировании профессиональных компетентностей соискателей высшего образования в области электрической инженерии.

Методика. Используется метод научных проектов для формирования профессиональных компетентностей соискателей высшего образования по специальности «Электроэнергетика, электротехника и электромеханика».

Результаты. Осуществление проектной научной деятельности с использованием базы инженерных и научных проектов для повышения энергоэффективности мотивирует соискателей высшего образования на получение новых знаний, создает предпосылки для разработки и внедрения современной образовательной программы в области электрической инженерии, способствует интеграции в систему университета новой структуры – энерго-инновационного хаба знаний.

Научная новизна. В работе получили дальнейшее развитие проектные методы и технологии обучения в области электрической инженерии, которые предусматривают использование университетской базы научных и инженерных проектов по энергоэффективности и участие в выполнении проектов соискателей высшего образования, что позволяет сформировать профессиональные (научно-исследовательские) компетентности соискателей и осуществить разработку современной образовательной программы.

Практическая значимость. Результаты исследования могут быть использованы при обновлении образовательных программ по электрической инженерии и для поддержки развития сферы энергоэффективности в университете при создании энерго-инновационного хаба знаний, который позволит организовать комплексное взаимодействие составляющих «образование – наука (инновации) – бизнес (предпринимательство) – государство».

Ключевые слова: научная проектная деятельность; образовательная платформа проектной деятельности в сфере энергоэффективности; образовательно-профессиональная программа; профессиональные компетентности; энерго-инновационный хаб знаний.

¹SHVEDCHKOVA I., ²SOLOSHYCH I., ³SOLOSHYCH S.

¹ Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

² Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine

³Country garden school, Lanzhou, China

SCIENTIFIC PROJECT ACTIVITY AS A BACKGROUND FOR THE FORMATION OF PROFESSIONAL COMPETENCIES OF APPLICANTS OF HIGHER EDUCATION IN ELECTRICAL ENGINEERING

Purpose. Determination of the role of scientific project activity in the formation of professional competencies of applicants for higher education in the field of electrical engineering.

Methodology. The method of scientific projects is used to form the professional competencies of applicants for higher education in the specialty “Electricity, electrical engineering and electromechanics”.

Findings. The implementation of project scientific activities using the base of engineering and scientific projects to improve energy efficiency motivates applicants for higher education to acquire new knowledge, creates the preconditions for the development and implementation of a modern educational program in the field of electrical engineering, contributes to the integration of a new structure into the university system – an energy-innovative hub of knowledge.

Originality. In the work design methods and teaching technologies in the field of electrical engineering were further developed, which provide the use of the university base of scientific and engineering projects on energy efficiency and participation in the implementation of projects of applicants for higher education, which allows to form professional (scientific-research) competencies of applicants and to develop modern educational program.

Practical value. The research results can be used to update educational programs in electrical engineering and to support the development of energy efficiency at the university when creating an energy-innovative knowledge hub that will allow organizing a complex interaction of the components “education – science (innovation) – business (entrepreneurship) – state”.

Keywords: scientific project activity; educational platform for project activities in the field of energy efficiency; educational and professional program; professional competencies; energy-innovative hub of knowledge.

УДК 620.91:
697.1

ШОВКАЛЮК М. М., ВАЩИШИН Р. Л.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУДІВЛІ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ СКЛАДНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ ІЗ РОЗРОБКОЮ ПРОПОЗИЦІЙ ПО ПІДВИЩЕННЮ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Існує багато підходів до оцінювання енергетичної ефективності будівель. В Україні раніше при розробці енергетичного паспорту будівель застосовувалася методика, що ґрунтувалася на стаціонарних розрахунках з використанням градусо-днів опалювального періоду. Потім для завдань енергетичної сертифікації будівель було запроваджено національну методику розрахунку на базі помісячного квазістаціонарного метода. Спрошений погодинний метод розрахунку дозволяє враховувати теплову інерційність огорожень. Останніми роками все більшої актуальності набувають методи динамічного енергетичного моделювання з використання програмних комплексів, адже це дозволяє ще на етапі попереднього проектування оцінювати енергетичні витрати на різні потреби будівлі до та після впровадження проєктів з підвищення енергоефективності та надає можливість створення 3D-моделі з урахуванням геометричних та теплотехнічних параметрів, завдання різних конфігурацій і типів інженерних системи будівлі. Для побудови енергетичної моделі був обраний учбовий корпус для визначення показників енергоспоживання та виявлення заходів, які мають найбільший вплив на енергетичні характеристики будівлі.

Мета. Оцінювання енергетичних характеристик навчального корпусу закладу вищої освіти із моделюванням енергоспоживання у спеціалізованому програмному забезпеченні, технічна та економічна оцінка можливостей підвищення рівня енергоефективності.

Методи дослідження. Виконано енергетичне обстеження об'єкту дослідження та техніко-економічний аналіз з використанням інженерних методик розрахунку, експериментальні вимірювання параметрів мікроклімату будівлі із застосуванням лабораторного обладнання. Застосовуються моделювання у спеціалізованих програмних продуктах RETScreen, EnergyPlus, DesignBuilder.

Результат. За допомогою розроблених моделей отримано структуру енергоспоживання навчального корпусу та проведено оцінювання потенціалу енергозбереження; у разі впровадження запропонованих заходів очікується зменшення споживання енергетичних ресурсів та грошових витрат на їх оплату, а також підвищення якості надання освітніх послуг. Дослідження проводилося в рамках роботи над магістерською дисертацією.

Наукова новизна. Розглянуто технічний потенціал зазначеного програмного забезпечення для моделювання енергетичних характеристик будівлі складної конфігурації на прикладі навчального корпусу закладу освіти, проаналізовано методи опрацювання вихідних даних для програм, наведено порівняльний аналіз результатів розрахунків для фактичного стану будівлі, базового рівня та після впровадження комплексу енергозберігаючих заходів.

Практична значимість. В результаті проведення дослідження визначено потенціал використання різних програмних комплексів для виконання прикладних досліджень магістерської дисертації та розроблено проєкт комплексної термомодернізації будівлі навчального корпусу №5.

Ключові слова. енергоспоживання; енергетична ефективність; термомодернізація; навчальний корпус; моделювання.

Вступ. Питання підвищення енергетичної ефективності закладів освіти та управління процесами енергоспоживання [1, 2] в умовах підвищення вартості енергоресурсів набуває все більшої актуальності. Теплотехнічні показники огорожень будівель не відповідають сучасним нормам [3], а енергоспоживання значно перевищує вимоги, що висуваються сьогодні під час нового будівництва та реконструкції [4, 5], хоча умови комфортності у них не дотримуються на належному рівні [6]. Розробка проєктів підвищення енергоефективності з виконанням

комплексної термомодернізації будівлі із модернізацією інженерних систем та автоматизації роботи обладнання з дотриманням норм [7] можлива за допомогою енергетичного моделювання [8]. Можливості застосування спеціалізованих програмних продуктів під час виконання наукових досліджень у закладах освіти показано в [9, 10]. В роботі [11] показано, що однією з проблем, з якими стикаються студенти під час створення моделей та проведення енергетичного моделювання, є калібрування моделі та її верифікація, проте навички з використання сучасних методів надає додаткові переваги при працевлаштуванні.

Завдання дослідження: поглиблення існуючих підходів до розробки проєктів підвищення енергетичної ефективності будівель навчальних закладів із застосування динамічного моделювання у спеціалізованому програмному продукті та виконання порівняльних розрахунків енергоспоживання для фактичного стану будівлі, що експлуатується, базового рівня та оцінювання потенціалу енергозбереження.

Загальна характеристика та опис об'єкта дослідження. Будівля навчального корпусу № 5 КПІ ім. Ігоря Сікорського 1974 року побудови розташована за адресою вул. Політехнічна, 6 і конструктивно складається з трьох частин: основна будівля має 9 основних поверхів та дві добудови – триповерхову та п'ятиповерхову (рис. 1). У будівлі, де навчається і працює близько 2000 людей (з них 1640 студентів), розташовані приміщення різного призначення: аудиторії, лабораторії, адміністративні приміщення, магазин, допоміжні приміщення. Об'єм за зовнішніми обмірами – 67860 м³.



Рис. 1. Загальний вигляд навчального корпусу

Теплопостачання – централізоване, наявний індивідуальний тепловий пункт (ІТП) у 9-поверховій будівлі з насосною схемою; у 3-поверховій – ІТП елеваторного типу. Проєктні параметри теплоносія для опалення – 95/70°C. Гаряче водопостачання відсутнє. Електроенергія постачається корпусу від ТП, яка розташована біля корпусу. Системи опалення: для 9-поверхової частини – однотрубна регульована проточна тупикова з верхнім розведенням; для 5-поверхової частини – однотрубна регульована проточна тупикова з нижнім розведенням; для 3-поверхової частини – однотрубна горизонтальна система із замикаючими ділянками.

В ході енергетичного обстеження було уточнено геометричні параметри будівлі, виконано розрахунки тепловтрат з урахуванням властивостей зовнішніх стін за [12] та річних витрат енергії, виконано експериментальні виміри рівня CO₂, внутрішніх температур та вологості у приміщеннях будівлі, проведено тепловізійну зйомку для оцінювання «проблемних місць». Було виявлено, що параметри мікроклімату не відповідають вимогам [6], температури в

приміщеннях низькі через недотримання температурного графіку подачі теплоносія, стан огорожень та підвищені втрати.

Побудова енергетичної моделі у програмному продукті DesignBuilder. Програмний продукт DesignBuilder дозволяє проводити динамічне моделювання енергоспоживання на потреби опалення, вентиляції, кондиціонування з виконанням 3D моделі будівель з складною конфігурацією (рис. 2). Джерелом для кліматичної інформації виступає IWEC файл з погодинними показниками погоди у місті Київ.

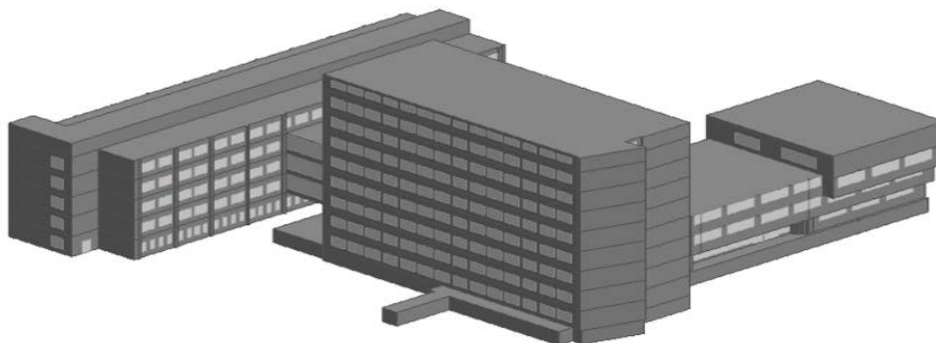


Рис. 2. Створена 3D модель навчального корпусу для проведення енергетичного моделювання

В спеціалізованому програмному продукті DesignBuilder було проведено серію розрахунків і виконано порівняльний аналіз.

Модель з реальними характеристиками будівлі (actual) було створено у 3D за допомогою існуючого 2D поверхового плану (формату «*.dxf») з фактичними конструктивними та теплотехнічними характеристиками об'єкту. Енергоспоживання моделі відповідає усередненому фактичному споживанню будівлі за три роки.

Окрім фактичної, було розроблено ще дві моделі будівлі:

- базова (baseline) – з приведенням будівлі до базового рівня споживання теплової енергії, охолодження та кондиціонування, що враховує нормативні умови експлуатації.
- запропонована (proposed) – з впровадженням заходів по утепленню стін та заміні світлопрозорих конструкцій на нові для доведення огорожувальних конструкцій до вимог згідно [3], а також впровадженням системи рекуперації.

Модель фактичного (actual) енергетичного використання. Будівлю поділено на три блоки (А – 9-ти поверхів, В – 5-ти поверхів та С – 3 поверхи), кожен блок розділений на зони. Зони поділені в залежності від приміщення, що використовуються (лабораторні, лекційні зали, аудиторії, вбиральні). Для кожної з зон в залежності від типу приміщення завдані параметри експлуатації (табл. 1).

Таблиця 1

Фактичні характеристики функціонування будівлі навчального корпусу

Показник	Значення
Заповнення будівлі людьми, людей/м ²	0,117
Фактична середня температура у середині будівлі, °С	17
Питома потужність електрообладнання, Вт/ м2	4,74
Інфільтрація повітря, л/с	0,35
Питома потужність системи освітлення, Вт/ м2	2,4

Також було задано характеристики будівлі у відповідних розділах програмного продукту. У розділі «construction» задано властивості огорожень, такі як товщину шарів стіни

та характеристики матеріалів. У розділі «openings» були задані опори теплопередачі для вікон та дверей. У розділі «HVAC system» було обрано тип системи опалення з прийнятими параметрами теплоносія постачальника теплової енергії. Схематичне зображення системи опалення наведено на рис. 3.

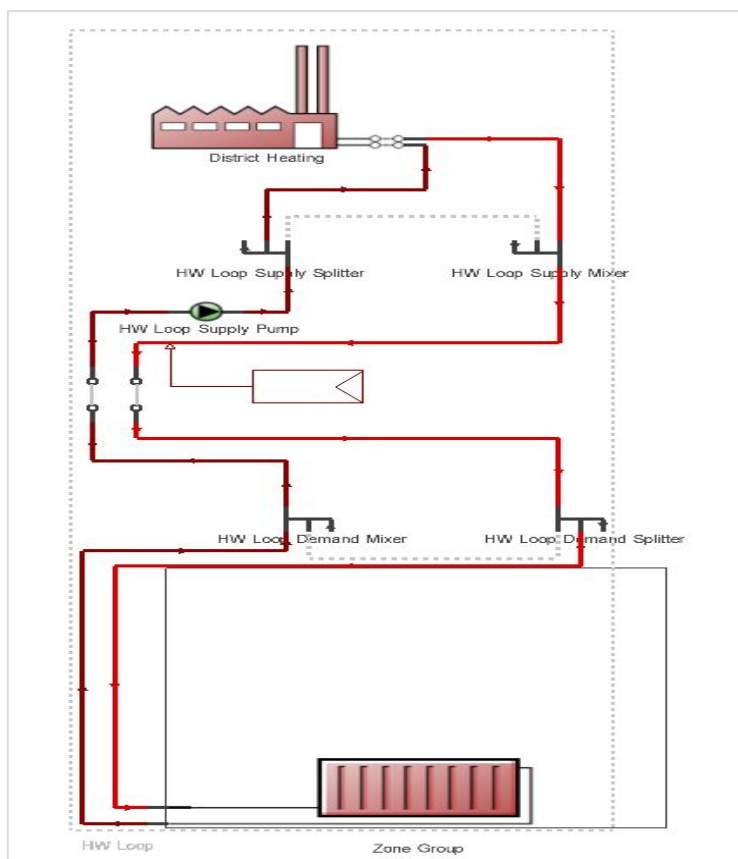


Рис. 3. Система опалення фактичної моделі будівлі

Споживання теплової енергії в результаті моделювання склало – 952042 кВт·год, споживання електроенергії – 303763 кВт·год (наведено у табл. 2).

Таблиця 2

Кінцеве споживання енергії (EndUses) фактичної моделі

Тип системи	Електроенергія, кВт·год
Система охолодження	0
Внутрішнє освітлення	172001,27
Внутрішнє обладнання	127727,43
Насоси	4034,23
Всього	303762,93

DesignBuilder дозволяє побудувати графіки основних характеристик (рис. 4) після проведеного моделювання, а саме таких як:

- приріст тепла, споживання енергії; витрати палива, навантаження;
- графіки температури, швидкості повітря, тиску, сонячної радіації моделей;
- оцінки комфортності: температур, вологості, CO₂;
- теплового балансу та припливної вентиляції.

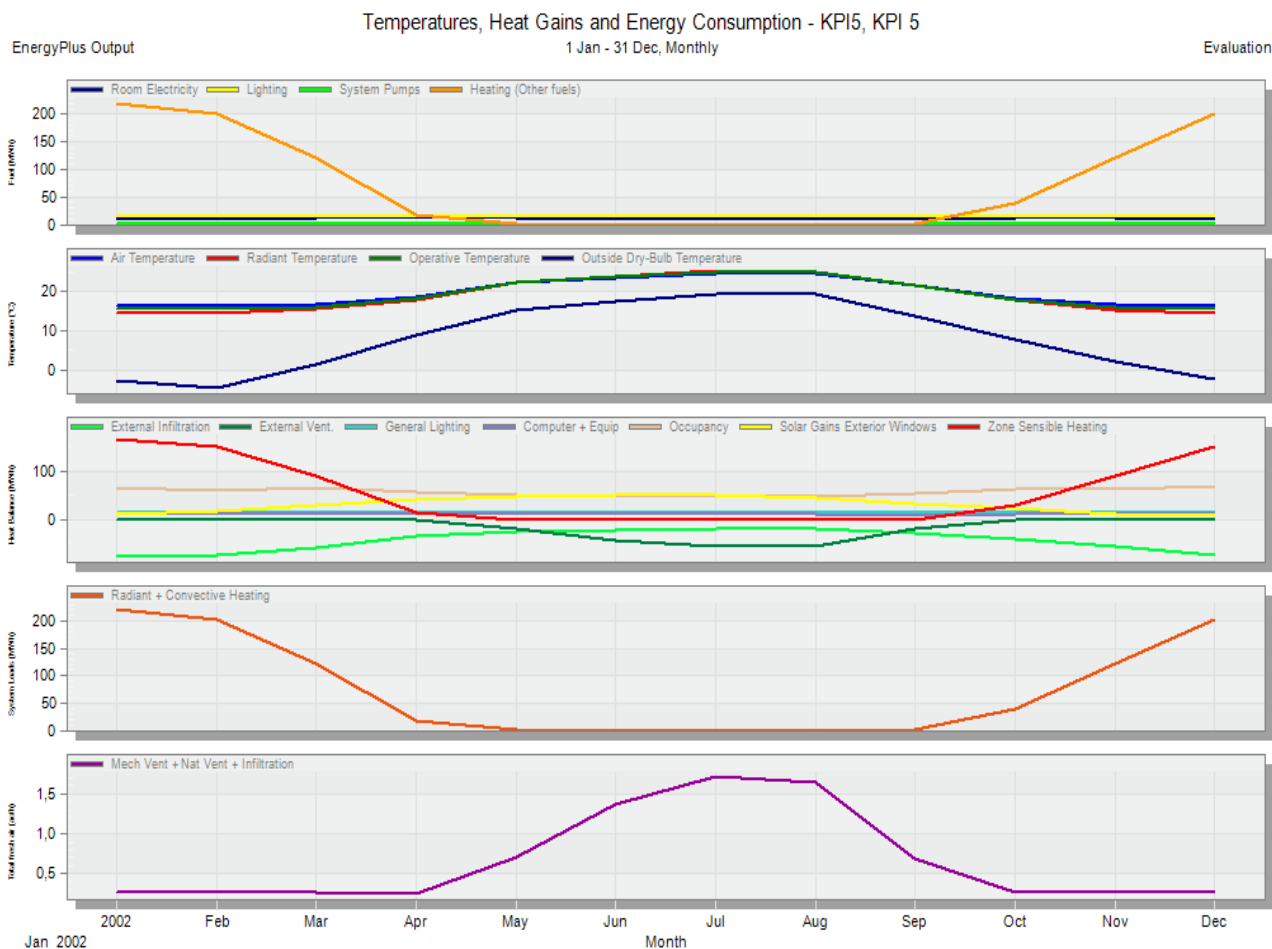


Рис. 4. Показники споживання енергії, приросту тепла, температурні дані

Від фактичних даних (за показами лічильників) у побудованій моделі споживання теплоенергії відрізняється на 2,5%, а електроенергії на 2,4%, тому можемо вважати, що модель досить точно передає фактичне споживання будівлі. Також можемо оцінити зміну комфортності мікроклімату в приміщеннях, вміст вуглекислого газу та вологості.

Модель базового (baseline) енерговикористання. Модель побудована з дотриманням умов температурних параметрів та умов мікроклімату згідно з нормативними вимогами: температура приміщень, де працюють люди 20°C з режимом зниження у нічний період та неробочі дні до 17 °C; подача припливного повітря в приміщення – 7 л/с на людину; кратність інфільтрації – 3,5. Також було завдано системи освітлення з дотриманням вимог по освітленості робочих зон (коефіцієнт природного освітлення 0,42), виставлено щільність потужності електрообладнання 2,4 Вт/м², враховано роботу механічної системи вентиляції з рекуперацію явної теплоти та роботу системи охолодження повітря «DX cooling coil». Отримані результати після симулювання показують ріст споживання енергоресурсів порівняно з фактичною моделлю. Спостерігається ріст споживання теплоти на 38%.

Модель запропонованого (proposed) енерговикористання. У моделі було впроваджено такі заходи, як: утеплення зовнішніх несучих конструкцій, утеплення горища до нормативних вимог [3], впровадження системи рекуперації в системі вентиляції, заміна на енергоефективні вікна, модернізація індивідуального тепlopункту тієї частини будівлі, де встановлено елеватор. Схематичне зображення системи опалення для запропонованої моделі на рис. 5.

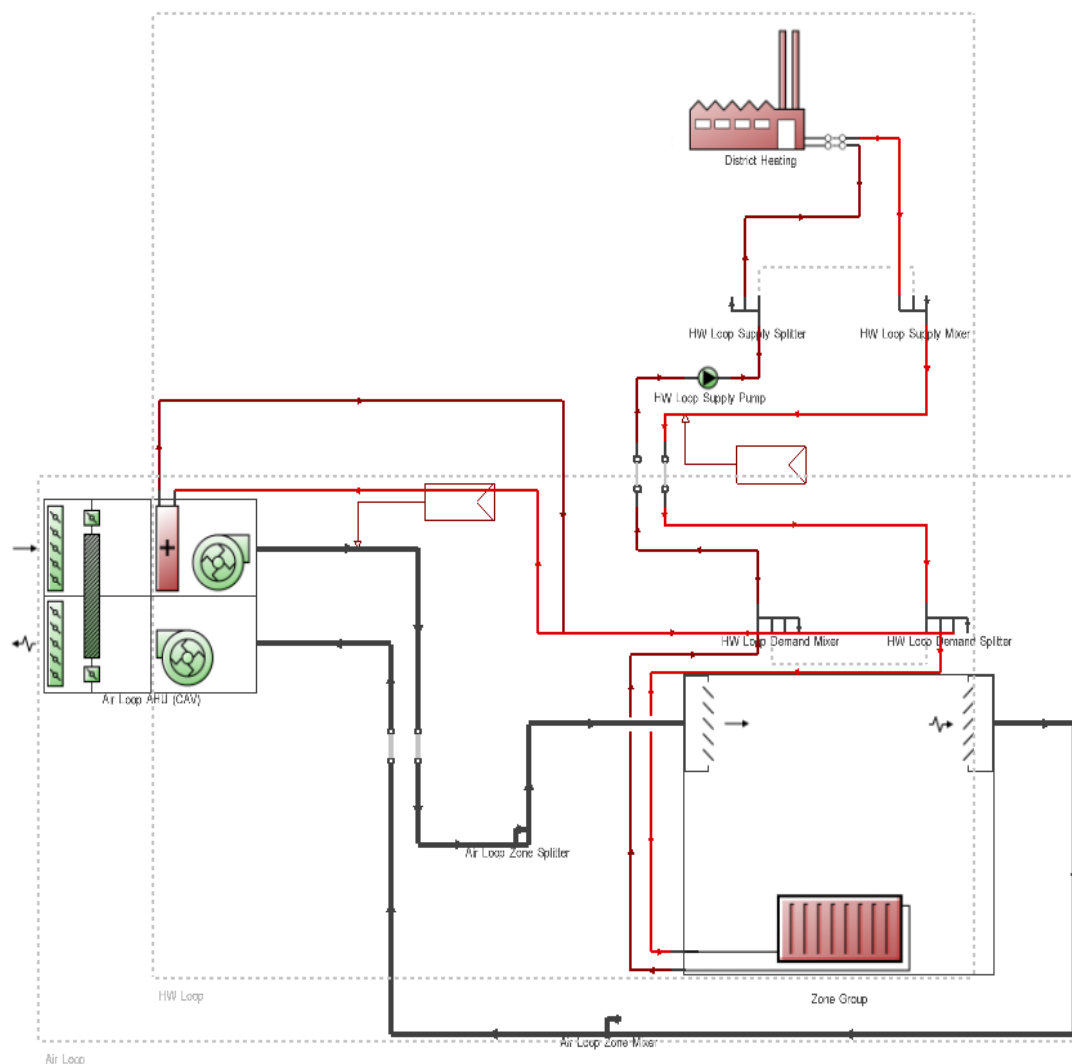


Рис. 5. Схематичне зображення системи опалення та вентиляції моделі (proposed) корпусу

Зменшення витрат теплової енергії від фактичних витрат склали 53%, а від базової на 72%. Споживання електроенергії склало 23% менше від фактичного та 15% менше від базової моделі. Такі властивості мікроклімату, як вологість, вміст вуглекислого газу, температура повітря є дуже важливими для навчальних корпусів. Порівнюючи графіки, що розраховує програмний продукт, виявлено, що найкращий варіант щодо комфортності показує запропонована модель.

Порівняльний аналіз результатів моделей DesignBuilder та RETScreen. Ще одним програмним продуктом для моделювання споживання енергії є RETScreen, що дозволяє оцінити життєздатність проектів з точки зору фінансових та технічних рішень. RETScreen прийнято та рекомендовано програмами для сприяння чистій енергетиці на всіх рівнях у всьому світі. Отже, було створено модель учбового корпусу у RETScreen (фактичний стан, що і прийнятий за базовий рівень, та споживання після впровадження пропозицій з підвищення енергоефективності). Витрата теплової енергії в запропонованому випадку знизилася на 53%, а електричної енергії на 26%. Отримані порівняльні результати є досить точними на моделі, що описує фактичний стан, проте у результатах після впровадження заходів відмінності є більш

суттєвими, адже економія енергії визначається відносно базового рівня. Також це пов'язано із іншими причинами.

Під час моделювання у RETScreen потрібно завдавати попередньо обчислені опори теплопередачі, натомість DesignBuilder проводить розрахунки енергопотребити будівлі, для якої конструктивні характеристики задаються по шарам, а обрахунки здійснюються з урахуванням теплопровідних включень. Динамічне енергетичне моделювання DesignBuilder дозволяє враховувати теплову інерційності масиву будівлі, погодинну зміни кліматичних параметрів та змінні режимів роботи інженерних систем, що значно підвищує точність оцінки. RETScreen проводить розрахунки на основі середньомісячних значень температури зовнішнього повітря [13], дозволяє виконувати порівняльний аналіз економії витрат енергії на потреби опалення в результаті термомодернізації з оцінюванням економічного ефекту, проте не має можливостей завдавати більш детально характеристики інженерних систем і обладнання до та після модернізації. Також потрібно зазначити, що великий відрив базового навантаження від фактичного стану пов'язаний із тим, що вона враховує додаткові витрати енергії на роботу систем механічної вентиляції та системи охолодження.

Зведені порівняльні результати наведено на рисунках 6, 7.

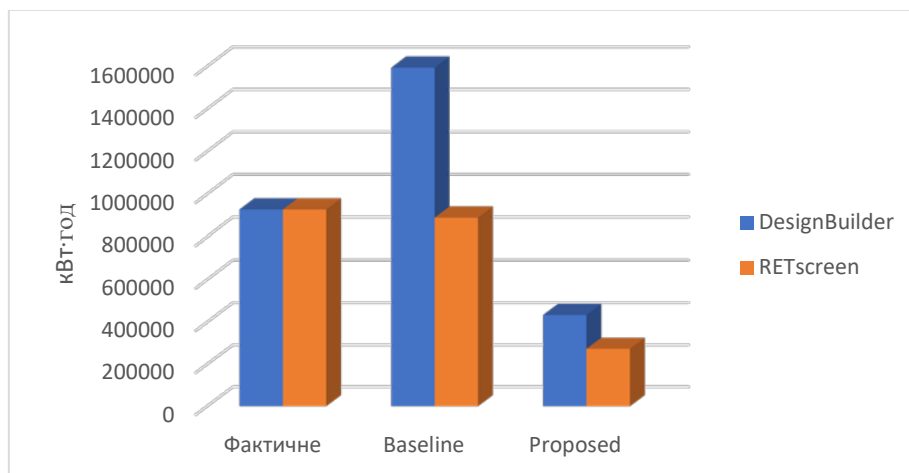


Рис. 6. Порівняння споживання теплової енергії в моделях

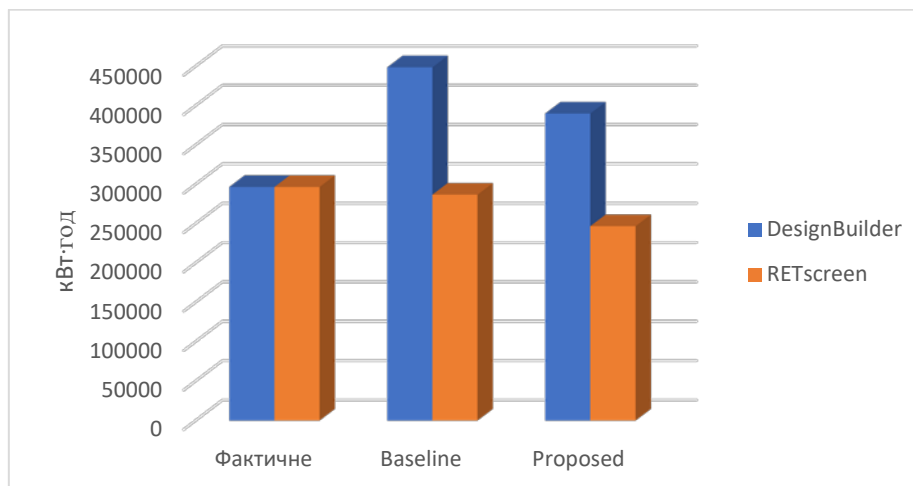


Рис. 7. Порівняння споживання електричної енергії в моделях

Програма DesignBuilder на основі побудованої 3D моделі автоматично виконує розрахунки геометричних та теплотехнічних характеристик будівлі і після проведення

симуляції створює кінцевий звіт (HTML) з погодинними значеннями та результатами розрахунків, будує графіки та гистограми для порівняння енергоспоживання, властивостей мікроклімату в розрахункових зонах будівлі, тощо. Недоліками програми можна назвати тривалий час симуляції, через який робота з іншими проектами неможлива, а також відсутність розподілення витрат енергії на енергопотребу і енергоспоживання, адже ці складові потрібно аналізувати під час оцінювання рівня енергоефективності під час виконання енергетичної сертифікації згідно вимог [14].

RETscreen програма, яка дозволяє швидко та інтуїтивно зробити розрахунок таких параметрів як: споживання теплової та електричної енергії, визначення втрат енергії, економічний розрахунок з визначенням дисконтованого терміну окупності пакету заходів з термомодернізації, підібрати сонячні панелі та вітрові станції, тощо. Проте цей програмний продукт має обмеження щодо урахування характеристик інженерних систем та обладнання. Також до недоліків можна віднести ручний розрахунок коефіцієнту опору теплопередачі зовнішніх стін без урахування неоднорідності конструкцій. Також потрібно зазначити на багатовіс меншу функціональність і обмеженість розрахованих параметрів в порівнянні з DesignBuilder.

Висновки. Застосування енергетичного моделювання при розробці проєктів з підвищення енергетичної ефективності будівлі навчального закладу дозволило визначити потенціал енергозбереження для різних вихідних умов, а саме відносно фактичного та базового рівня, що враховує нормативні умови експлуатації будівлі, її інженерних мереж і обладнання для забезпечення комфортних умов для якісного навчання студентів та роботи персоналу. В ході роботи оцінено переваги та недоліки застосування програмних продуктів DesignBuilder та RETscreen для будівлі навчального корпусу складної конфігурації та отримано практичний досвід їх застосування для розробки проєкту комплексної термомодернізації та модернізації інженерних систем.

References

Література

1. Bilous, I. Yu., Deshko, V. I., Sukhodub, I. O., Shevchenko, O. M., Shovkaliuk, M. M. (2015). *Upravlinnia efektyvnosti enerhovykorystannia u vyshchukh navchalnykh zakladakh: monohrafiia* [Energy efficiency management in higher education institutions: monograph]. Kyiv: Politehnika. 188 p. [in Ukrainian].
2. Efficiency of using energy in housing sector, under the general editorship of A. M. Pavlenko. Politehnika Świętokrzyska. Kielce, 2020. 155 p.
3. DBN V.2.6–31:2016 *Teplova izoliatsiia budivel* [Thermal insulation of buildings]. Kyiv: Minrehion Ukrainy. 33 p. [in Ukrainian].
4. Pro zatverdzhennia Minimalnykh vymoh do enerhetychnoi efektyvnosti budivel [On approval of the Minimum requirements for energy efficiency of buildings]: Order of the Minrehion Ukrainy dated 27.10.2020 № 260. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20> [in Ukrainian].
5. DSTU-N B A.2.2-12: 2015 *Enerhetychna efektyvnist budivel. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannia pry opalenni, okholodzhenni, ventyliatsii, osvittenni ta hariachomu vodopostachanni* [Energy performance of buildings. Method for calculation of energy use for space heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply]. Kyiv: Naціональний центр енергетичної ефективності будівель. 2015. 100 p.
1. Білоус І. Ю., Дешко В. І., Суходуб І. О., Шевченко О. М., Шовкалюк М. М. Управління ефективністю енерговикористання у вищих навчальних закладах: монографія. К.: Політехніка, 2015. 188 с.
2. Efficiency of using energy in housing sector, under the general editorship of A. M. Pavlenko. Politehnika Świętokrzyska. Kielce, 2020. 155 p.
3. ДБН В.2.6 – 31:2016 *Теплова ізоляція будівель*. Чинні від 2016–10–08, на заміну ДБН В.2.6–31:2006. Мінбуд України. К.: Укрархбудінформ, 2016. 33 с.
4. Про затвердження Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель: Наказ Мінрегіонбуду від 27.10.2020 № 260. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20>.
5. ДСТУ-Н Б А.2.2-12:2015 *Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні*. Національний

- heating, cooling, ventilation, lighting and domestic hot water]. Kyiv: Minrehion Ukrainy. 199 p. [in Ukrainian].
6. DSTU B EN 15251:2011 Rozrakhunkovi parametry mikroklimatu prymishchen dlia proektuvannia ta otsinky enerhetychnykh kharakterystyk budivel po vidnoshenniu do yakosti povitria, teplovoho komfortu, osvittlennia ta akustyky [Estimated parameters of the microclimate of the premises for the design and evaluation of energy performance of buildings in relation to air quality, thermal comfort, lighting and acoustics]. Kyiv: Minrehion Ukrainy. 71 p. [in Ukrainian].
7. EN 15232:2007 Energy performance of buildings – Impact of building Automation, Controls and Building Management. CEN. European Committee for Standardization.
8. Crawley, D. B., Lawrie, L. K. (2001). EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. *Energy and Buildings*, Vol. 33, P. 319–331.
9. Shevchenko, O. M., Shovkaliuk, M. M. (2019). Enerhoefektyvnyi kampus KPI: instrumenty ta metody doslidzhen [KPI energy efficient campus: tools and research methods]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu. Seriya Tekhnichni nauky = Bulletin of Kyiv National University of Technologies and Design. Technical Sciences Series*, No. 4 (136), P. 97–105 [in Ukrainian].
10. Deshko, V. I., Yevtukhov, V. Ia., Shevchenko, O. M., Shovkaliuk, M. M. (2019). Enerhetychna osvita: dosvid zaluchennia Sluzhby enerhetychnoho menedzhmentu KPI im. Ihoria Sikorskoho u navchalnyi protses [Energy education: experience of involving the Igor Sikorsky KPI Energy Management Service in the educational process]. *Novyny enerhetyky = Energy news*, № 12, P. 9–17 [in Ukrainian].
11. Deshko, V. I., Sukhodub, I. O., Serdechnyi, P. Yu. (2019). Vykorystannia enerhetychnoho modeliuvannia budivel pry rozrobtsti proektiv z pidvyshchennia enerhoefektyvnosti [The use of energy modeling of buildings in the development of projects to improve energy efficiency]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu. Seriya Tekhnichni nauky = Bulletin of Kyiv National University of Technologies and Design. Technical Sciences Series*, No. 4 (136), P. 86–96 [in Ukrainian].
12. DSTU B V.2.6-189:2013 Metody vyboru teploizolatsiinoho materialu dlia utepлення budivel [Methods for choosing of insulation material for insulation of buildings]. Kyiv: Minrehion Ukrainy. 55 p. [in Ukrainian].
13. DSTU-N B V.1.1–27:2010 Budivelna klimatohiia [Protection against the dangerous geological processes, harmful operational influences, against the fire. Building climatology]. Kyiv: Minrehion Ukrainy. 123 p. [in Ukrainian].
- стандарт України. К.: Мінрегіон України, 2015. 199 с.
6. ДСТУ Б EN 15251:2011 Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики. Національний стандарт України. К.: Мінрегіон України, 2011. 71 с.
7. EN 15232:2007. Energy performance of buildings – Impact of building Automation, Controls and Building Management. CEN. European Committee for Standardization, 2007.
8. Crawley D. B., Lawrie L. K. EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. *Energy and Buildings*. 2001. Vol. 33. P. 319–331.
9. Шевченко О. М., Шовкалюк М. М. Енергоефективний кампус КПІ: інструменти та методи досліджень. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки*. 2019. № 4 (136). С. 97–105.
10. Дешко В. І., Євтухов В. Я., Шевченко О. М., Шовкалюк М. М. Енергетична освіта: досвід залучення Служби енергетичного менеджменту КПІ ім. Ігоря Сікорського у навчальний процес. *Новини енергетики*, 2019. № 12. С. 9–17.
11. Дешко В. І., Суходуб І. О., Сердечний П. Ю. Використання енергетичного моделювання будівель при розробці проєктів з підвищення енергоефективності. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки*. 2019. № 4 (136). С. 86–96.
12. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Національний стандарт України. К.: Мінрегіон України, 2013. 55 с.
13. ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010 Будівельна кліматологія. Національний стандарт України. К.: Укрархбудінформ, 2011. 123 с.

14. Pro enerhetychnu efektyvnist budivel [On energy efficiency of buildings]: Law of Ukraine № 2118-VIII. Edited from 01.12.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>.

14. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України № 2118-VIII. Редакція від 01.12.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>.

SHOVKALIUK MARYNA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Department of Thermal Engineering and Energy Saving
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine
<http://orcid.org/0000-0002-1898-3493>
Scopus Author ID: 57219312472
E-mail: madam@online.ua

VASHCHYSHYN ROMAN

Student, Department of Thermal
Engineering and Energy Saving
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5564-9136>
E-mail: vashchyshyn.roman1@gmail.com

ШОВКАЛЮК М. М., ВАЩИШИН Р. Л.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Украина

**АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗДАНИЯ УЧЕБНОГО КОРПУСА
СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ С РАЗРАБОТКОЙ ПРЕДЛОЖЕНИЙ
ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

Существует много подходов к оценке энергетической эффективности зданий. В Украине ранее при разработке энергетического паспорта зданий применялась методика, которая основывалась на стационарных расчетах с использованием градусо-суток отопительного периода. Затем для задач энергетической сертификации зданий было введено национальную методику расчета на базе месячного квазистационарного метода. Упрощенный почасовой метод расчета позволяет учитывать тепловую инерционность ограждений. В последние годы все большую актуальность приобретают методы динамического энергетического моделирования с использованием программных комплексов, ведь это позволяет еще на этапе предварительного проектирования оценивать энергетические затраты на различные нужды здания до и после внедрения проектов по повышению энергоэффективности и предоставляет возможность создания 3D-модели с учетом геометрических и теплотехнических параметров, задачи различных конфигураций и типов инженерных системы здания. Для построения энергетической модели был выбран учебный корпус для определения показателей энергопотребления и выявления мероприятий, которые оказывают наибольшее влияние на энергетические характеристики здания.

Цель. Оценка энергетических характеристик учебного корпуса учреждения высшего образования с моделированием энергопотребления в специализированном программном обеспечении, техническая и экономическая оценка возможностей повышения уровня энергоэффективности.

Методы исследования. Выполнено энергетическое обследование объекта исследования и технико-экономический анализ с использованием инженерных методик расчета, экспериментальные измерения параметров микроклимата здания с применением лабораторного оборудования. Применяются моделирования в специализированных программных продуктах RETScreen, EnergyPlus, DesignBuilder.

Результат. С помощью разработанных моделей получено структуру энергопотребления учебного корпуса и проведена оценка потенциала энергосбережения; в случае внедрения предложенных мероприятий ожидается снижение потребления энергетических ресурсов и денежных затрат на их оплату, а также повышение качества предоставления образовательных услуг. Исследование проводилось в рамках работы над магистерской диссертацией.

Научная новизна. Рассмотрены технический потенциал указанного программного обеспечения для моделирования энергетических характеристик зданий сложной конфигурации на примере учебного корпуса учебного заведения, проанализированы методы обработки исходных данных для программ,

приведен сравнительный анализ результатов расчетов для фактического состояния здания, базового уровня и после внедрения комплекса энергосберегающих мероприятий.

Практическая значимость. В результате проведения исследования определены потенциал использования различных программных комплексов для выполнения прикладных исследований магистерской диссертации и разработаны проект комплексной термомодернизации здания учебного корпуса №5.

Ключевые слова: энергопотребление; энергетическая эффективность; термомодернизация; учебный корпус; моделирование.

SHOVKALIUK M. M., VASHCHYSHYN R. L.

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine

ANALYSIS OF ENERGY CHARACTERISTICS OF THE STUDY BUILDING OF THE COMPLEX CONFIGURATION WITH THE DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY

There are many approaches to assessing the energy performance of buildings. In Ukraine, previously, when developing the energy passport of buildings, a method based on stationary calculations using degree-days of the heating period was used. Then, for the tasks of energy certification of buildings, a national calculation method based on the monthly quasi-stationary method was introduced. The simplified hourly method of calculation allows to consider thermal inertia of protections. In recent years, the methods of dynamic energy modeling using software packages have become increasingly relevant, because it allows at the preliminary design stage to estimate energy costs for different building needs before and after the implementation of energy efficiency projects and provides the ability to create 3D models based on geometric and thermal parameters, tasks of different configurations and types of engineering systems of the building. To build an energy model, a training building was chosen to determine energy consumption indicators and identify measures that have the greatest impact on the energy performance of the building.

Purpose. Evaluation of energy characteristics of the educational building of a higher education institution with modeling of energy consumption in specialized software, technical and economic evaluation of opportunities to increase energy efficiency.

Research methods. Energy inspection of the object of research and technical and economic analysis with the use of engineering methods of calculation, experimental measurements of the parameters of the microclimate of the building with the use of laboratory equipment were performed. Simulations are used in specialized software products RETScreen, EnergyPlus, DesignBuilder.

Result. With the help of the developed models the structure of energy consumption of the educational building is obtained and the assessment of energy saving potential is carried out; in case of implementation of the proposed measures it is expected to reduce the consumption of energy resources and monetary costs for their payment, as well as improve the quality of educational services. The research was conducted as part of a master's thesis.

Scientific novelty. The technical potential of this software for modeling the energy performance of a building of complex configuration on the example of the educational building of the educational institution, analyzed the methods of processing initial data for programs, comparative analysis of calculation results for the actual condition of the building, baseline and after implementing energy saving measures.

Practical significance. As a result of the research, the potential of using different software packages to perform applied research of the master's dissertation was determined and a project of complex thermal modernization of the building of the educational building was developed.

Keywords: energy consumption; energy efficiency; thermal modernization; educational building; modeling.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.3.6>

УДК 677.075.3:
620.17

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

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

КАРКАСНА МОДЕЛЬ РОЗТЯГУВАННЯ КУЛІРНОГО ТРИКОТАЖУ ВЗДОВЖ ПЕТЕЛЬНИХ РЯДІВ

Мета. Метою даного дослідження є розробка математичного забезпечення процесу трансформування каркасної моделі кулірного трикотажу під дією розтягуючих зусиль, орієнтованих вздовж петельних рядів, для подальшого тривимірного моделювання його структури.

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

Результати. Урахування деформування структури трикотажу при експлуатації одягу є одним з визначальних факторів забезпечення якості проектних рішень. При розтягуванні кулірного трикотажу вздовж петельних рядів відбувається зміна конфігурації його окремих ділянок, а також зміна поперечних розмірів самої нитки внаслідок силової взаємодії між суміжними елементами структури. Для моделювання поведінки трикотажу під дією розтягуючих зусиль пропонується використовувати комплексну модель деформування трикотажу, частиною якої є запропонована каркасна модель одновісного розтягування. У роботі представлено алгоритм побудови каркасної моделі розтягнення зразка трикотажу вздовж лінії петельного ряду. Основою для алгоритму є набір вихідних даних, що включає петельний крок та висоту петельного ряду в умовно-рівноважному стані, відносне видовження зразка на момент моделювання, кількість петельних стовпчиків та рядів на ділянці зразка, коефіцієнт звуження петельних рядів.

Наукова новизна. У роботі досліджено особливості трансформування структури трикотажу у процесі розтягування вздовж петельних рядів та запропоновано алгоритмічне та математичне забезпечення для автоматизованої побудови сітки-каркасу у контексті тривимірного моделювання, що є необхідним для забезпечення можливості відображення динаміки деформування трикотажу під дією розтягуючих зусиль.

Практична значимість. Каркасна модель деформування трикотажу та запропонований у роботі алгоритм побудови сітки-каркасу формують основу для визначення координат характерних точок елементів структури трикотажу у стані одновісного розтягування для побудови тривимірної моделі нитки у структурі деформованого трикотажу.

Ключові слова: кулірний трикотаж; моделювання деформацій; петельний ряд; каркасна модель; одновісне розтягування; процес деформування.

Вступ. Незважаючи на те, що історія одягу налічує багато століть, саме за останні 100 років ми стали свідками великого вибуху у створенні нових технологій виготовлення текстильних матеріалів та виробів з них. У різних ситуаціях одяг повинен виконувати функції захисту від спеки, холоду, радіоактивних впливів, виробничих та спортивних травм, полум'я, вогнепальної та холодної зброї. Вчені постійно працюють над проектуванням та створенням нових матеріалів з різними функціональними властивостями. Хоча відповідність призначенню є визначальним фактором високоякісного одягу, він також має бути зручним, тобто має бути розроблений з урахуванням вимог комфорту та практичності. Конструктивні особливості готових виробів з трикотажу визначаються насамперед видом використовуваної сировини та структурою переплетення, оскільки їх особливістю є значно вища розтяжність та еластичність порівняно з одягом з тканин. Тому врахування особливостей розтягування трикотажу при експлуатації одягу різного призначення є одним з визначальних факторів, що є надзвичайно важливим при проектуванні нових моделей. Застосування при цьому сучасних автоматизованих систем тривимірного моделювання дає можливість не тільки оцінити зовнішній вигляд, найбільш наближений до реальності, до початку виробництва, але й

моделювати поведінку трикотажу, а при введенні фізико-механічних характеристик сировини, одержувати інформацію про інші властивості готового виробу.

Особливості фізико-механічних процесів та властивостей текстильних матеріалів насамперед можна розглядати, використовуючи програмно-аналітичні комплекси, що дають можливість описати об'єкт проектування шляхом тривимірного моделювання та симуляції. Більшість відомих моделей трикотажу, що існують, описують його структуру в умовно-рівноважному стані. Але у моделюванні слід враховувати той факт, що при експлуатаційних навантаженнях розташування елементів структури трикотажу значно змінюється, адже трикотаж, порівняно з іншими текстильними матеріалами, має легкорухому структуру.

Процеси деформування трикотажу відображені у ряді робіт відомих вчених О.І. Коблякова [1], І.І. Шалова та Л.О. Кудрявіна [2], О.І. Далідовича [3] та ін. Визначення параметрів структури трикотажу з використанням теорії гнучких пружних стержнів розглядалася у роботах Г. Ліфа [4], О.В. Труєвцева [5], В.П. Щербакова та Н.С. Скуланової [6]. Встановлення зв'язку між геометричними параметрами структури трикотажу та його фізико-механічними властивостями є складною багатокомпонентною задачею і для її вирішення застосовуються різні підходи. Дослідження фізичної основи деформаційних процесів трикотажу та їх графічного відображення, що проводяться останнім часом у сфері комп'ютерних наук та технологій [7–9] дозволяють говорити про високий рівень візуальної подібності полігональних моделей. Перехід від вузлів полігональної поверхні виробу до побудови моделей елементів з деталізацією на рівні нитки з урахуванням їхнього деформаційного стану [7] формує основу ефективних алгоритмів візуалізації деформаційних процесів трикотажу. Метод моделювання візерункових переплетень запропоновано у роботі [8]. Автори роботи [9] досліджують способи моделювання сферичної деформації трикотажу переплетення ластик 1x1, виготовленого з введенням утокових ниток, розташованих у двох взаємно перпендикулярних напрямках.

Сучасні наукові розробки в текстильній галузі поєднують знання ряду суміжних наук – фізики та комп'ютерних технологій. Слід зауважити, що незважаючи на високий рівень сучасних технічних та програмних засобів, інтелектуальний людський потенціал на сьогодні залишається одним з найвагоміших факторів для впровадження нових технологій. Опис складної внутрішньої структури текстильних матеріалів з особливостями кожного вхідного елементу з певними геометричними і фізичними характеристиками, потребує значних ресурсів часу та технічних можливостей. З одного боку, детальний опис геометрії ниток у структурі трикотажу надає можливість точного автоматичного визначення їх лінійних розмірів і розподілу об'єму поліфазної гетерогенної суміші, якою є трикотажний матеріал, між твердою та газовою фазами [10]. З іншого боку, будь-яке ускладнення геометрії призводить до значного збільшення розрахункового навантаження на систему. Відомо про застосування методу гомогенізації, де модель, що містить компоненти з різними властивостями (нитка та повітря), замінюють умовно-однорідною моделлю, фізичні характеристики якої співпадають з характеристиками реального матеріалу. Такий метод дозволяє також створити модель певного елементарного об'єму, наприклад, однієї петлі, з деталізацією на рівні ниток, визначити його фізичні характеристики з урахуванням різномірності компонентів, та передати отриманий показник в модель більш високого рівня, яка репрезентує об'єм трикотажу як тривимірного об'єкту порівняно простої форми з визначеними лінійними розмірами та гомогенізовані (умовно-однорідні) фізичні властивості [11]. Існують також підходи до тривимірного моделювання деформацій трикотажу [12] з урахуванням зміщення точок контакту ниток, що дозволяє описати динаміку деформації на рівні пряжі. Авторами статті [13] представлено теоретичну модель, засновану на теорії пружності, яку використовують для прогнозування властивостей при розтягуванні трикотажних полотен переплетення гладь,

виготовлених зі скловолокна. У результаті експериментальних досліджень було знайдено достатньо високу відповідність між теоретичними та емпіричними значеннями. Такий підхід може призвести до зменшення кількості руйнівних випробувань, а отже, буде більш ефективним при використанні ресурсів. Ця модель також може бути застосована для прогнозування властивостей як при одновісному, так і при двовісному розтягуванні трикотажних полотен.

У роботі [14] досліджено балістичні характеристики та створено 3D та 2D моделі тканих полотен з параарамідних ниток для вивчення ефекту Z-деформацій з метою досягнення ефективного балістичного захисту при малій вазі. Встановлено, що при попаданні снаряду у тканинній панелі зі з'єднувальними нитками Z-основи, вони більш здатні перетворювати кінетичну енергію удару снаряда в енергію пружної деформації, що вказує на більшу участь з'єднувальних ниток в поглинанні енергії 3D тканин. Таким чином, структура 3D полотна більш ефективно буде поглинати енергію та мати кращу стійкість до проникнення. У роботі [15] автори досліджують механічні властивості кулірного трикотажу утокових переплетень. Механічна поведінка трикотажних полотен моделюється з використанням макро- та мезомасштабних моделей методом скінченних елементів (FEM). Незважаючи на значні досягнення у сфері тривимірного моделювання структури трикотажу, питання удосконалення методики моделювання деформацій трикотажу залишається відкритим. У роботі [16] запропоновано методику побудови каркасної моделі трикотажу, що знаходиться у стані одновісного розтягу, орієнтованого вздовж петельних стовпчиків. Однак, характер деформування петельної структури вздовж петельних стовпчиків і рядів суттєво відрізняється та потребує окремого вивчення.

Постановка завдання. На теперішній час характерною тенденцією у проектуванні об'єктів промисловості та прогнозуванні їх властивостей є використання універсальних автоматизованих програмно-аналітичних комплексів, які належать до найбільш складних сучасних програмних систем, включаючи засоби комп'ютерної графіки, математичного моделювання, програмування мовами високого рівня, системи управління базами даних та ін. Пошук алгоритмів використання таких систем у прогнозуванні показників комфортності текстильного одягу шляхом симуляції гідрогазодинамічних процесів, що мають місце у підодяговому просторі та у навколишньому середовищі є надзвичайно актуальною задачею у сфері текстильних технологій. Такі характеристики трикотажу як гігроскопічність, повітропроникність, теплозахисні властивості, залежать від стану деформування кожного елемента структури в межах досліджуваного фрагменту трикотажного полотна, що в свою чергу залежать від конфігурації нитки та параметрів структури трикотажу. Питання моделювання поведінки трикотажу під дією розтягуючих зусиль складно реалізувати за допомогою універсальних систем інженерного аналізу без застосування засобів адаптації, адже загально-прийняті закони прикладної механіки, що їх використовують для вивчення процесів деформації твердих тіл, не передбачають можливості їх застосування для опису геометрії пружних ниток, і потребують побудови нових алгоритмів з урахуванням ряду додаткових факторів.

Результати досліджень. При розтягуванні кулірного трикотажу вздовж петельних рядів відбувається зміна конфігурації його окремих ділянок, а також зміна поперечних розмірів самої нитки внаслідок її пружних властивостей. Каркасна модель одновісного розтягування трикотажу вздовж петельних стовпчиків [16], побудована на основі запропонованої авторами комплексної моделі деформування трикотажу. При цьому для опису моделі введено такі поняття як точка переплетення, каркасна модель розтягування, сітка-каркас, внутрішній елементарний та обмежувальний контури петлі. *Точкою переплетення* запропоновано вважати уявну точку, яка знаходиться у центрі взаємодії взаємно переплетених

ділянок нитки. Каркасна модель розтягування трикотажу – система графічного опису структури [17], що дозволяє визначити координати точок переплетення структуроутворюючих елементів трикотажу (зазвичай це петлі, але можуть бути поєднання петель з іншими елементами, наприклад, петля та накид) у системі координат ділянки трикотажу, що моделюється. Сітка-каркас – частина каркасної моделі, що включає власне результат геометричних побудов без математичних розрахунків координат характерних точок геометричних примітивів, з яких складається сітка-каркас.

Моделювання трикотажу, що знаходиться у деформованому стані, може бути реалізовано на підставі топологічної моделіта відомостей про розташування точок переплетення кожної петлі. Алгоритм побудови каркасної моделі розтягування зразка трикотажу вздовж лінії петельного ряду по основним моментам співпадає з алгоритмом побудови моделі розтягнення зразка трикотажу вздовж петельного стовпчика та у загальному вигляді для ортогональних випадків одновісного розтягування може бути схематично описано так, як показано на рис. 1.

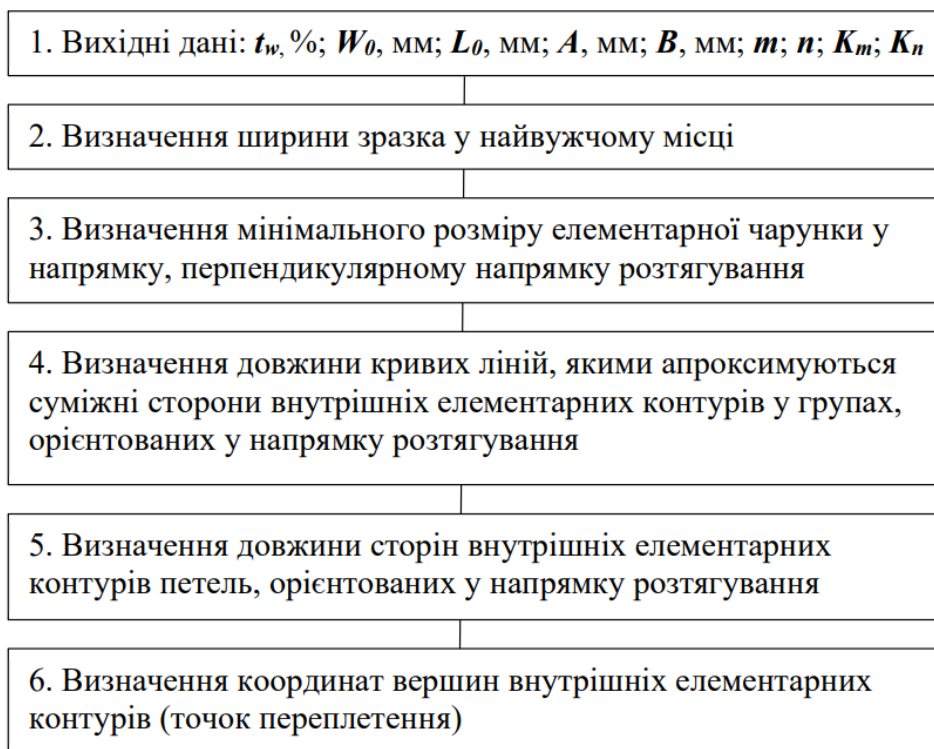


Рис. 1. Алгоритм побудови каркасної моделі розтягування зразка трикотажу

Основою для застосування алгоритму є набір вихідних даних, що включає петельний крок A та висоту петельного ряду B , мм в умовно-рівноважному стані, відносне видовження зразка на момент моделювання $t_w, \%$; кількість петельних стовпчиків m та петельних рядів n на ділянці зразка, зафіксованій між затискачами, коефіцієнт звуження петельних рядів, K_n (розтягнення вздовж петельних стовпчиків) та коефіцієнт звуження петельних стовпчиків K_m (розтягнення вздовж петельних рядів). Коефіцієнт звуження петельних стовпчиків та коефіцієнт звуження петельних рядів є відношенням ширини зразка у найвужчій ділянці при заданому значенні відносного видовження зразка до вихідної ширини зразка. Ці коефіцієнти є емпіричними.

З використанням коефіцієнта звуження [17] розраховується мінімальна ширина внутрішнього елементарного контуру петельної структури. Крок, який передбачає визначення довжини кривих ліній, яким належать вершини внутрішніх елементарних контурів та сторони контурів, орієнтовані у напрямку розтягування, відрізняється для випадків розтягнення вздовж петельних стовпчиків та рядів. У першому випадку для опису цих ліній пропонується використати дуги кіл, а у другому – криві Без'є другого порядку. На останньому кроці визначається довжина елементарних дугових сегментів, яка припадає на одну петлю.

Як показано на рис. 2 система координат зразка розташована таким чином, що вісь абсцис залишається орієнтованою вздовж петельних рядів, а вісь ординат – вздовж петельних стовпчиків. Але поступальний рух затискачів здійснюється у даному випадку вздовж осі OX системи координат зразка. Ширина зразка на рівні центрального петельного стовпчика W_{min} може бути розрахована за допомогою виразу (1).

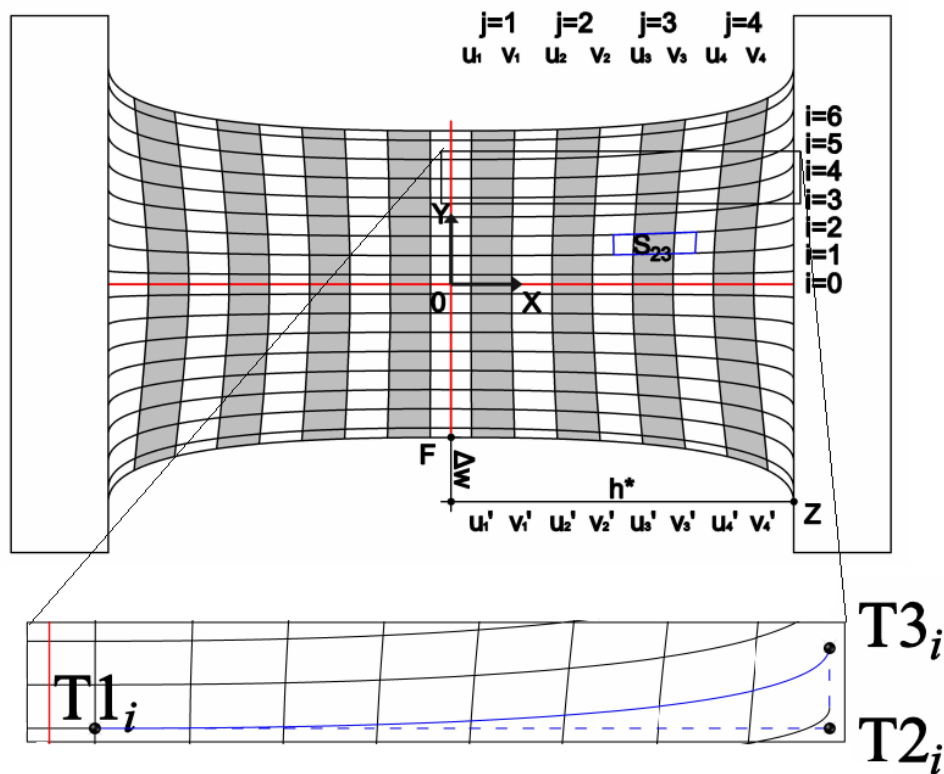


Рис. 2. Побудова сітки-каркасу зразка трикотажу під час розтягнення вздовж лінії петельного ряду

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

Приймаємо, що висота всіх внутрішніх елементарних контурів, які перетинаються віссю симетрії, що проходить посередині центрального петельного стовпчика, є однаковою та дорівнює $B_{r_{min}}$:

$$B_{r_{min}} = W_{min} / n. \quad (2)$$

Оскільки контур зразка при розтягуванні трикотажу вздовж петельних рядів відрізняється від форми дуги кола, та його кривизна помітно змінюється вздовж довжини зразка, для опису границь петельних рядів з урахуванням зміни кривизни пропонується обрати

математичну базу кривих Без'є другого порядку. Крива Без'є будується по вершинам полігона, які повинні бути спряжені поліномом Бернштейна [18].

$$B_{i,q}(u) = \binom{q}{i} u^i (1-u)^{q-i}, \quad (3)$$

де

$$\binom{q}{i} = \frac{q!}{i!(q-i)!}. \quad (4)$$

Рівняння кривої Без'є має вигляд

$$P(u) = \sum_{i=0}^q \binom{q}{i} u^i (1-u)^{q-i} P_i. \quad (5)$$

Для побудови набору квадратичних кривих Без'є для кожного петельного ряду необхідно знайти координати вершин трикутників, що задають форму потрібної кривої лінії.

У системі координат зразка для кожного ряду $i \in [0 \dots n/2]$ існують точки $T1_i (x1_i, y1_i)$, $T2_i (x2_i, y2_i)$, $T3_i (x3_i, y3_i)$, що задають криву (рис.2), яка обмежує зони кожного петельного ряду. Розрахунок координат цих точок пропонується провести з використанням наступних математичних виразів:

$$x1_i = \frac{A_{max}}{2}; y1_i = i \cdot Br_{min} + \frac{Br_{min}}{2}; \quad (6)$$

$$x2_i = h^*; y2_i = i \cdot Br_{min} + \frac{Br_{min}}{2}; \quad (7)$$

$$x3_i = h^*; y3_i = i \cdot B + \frac{B}{2}. \quad (8)$$

Довжина кожної кривої G_i може бути визначена з використанням спеціальних алгоритмів, які закладено в універсальні системи автоматизованого проектування.

Тоді можемо записати:

$$\check{G}_i = 2\check{G}_i/m. \quad (9)$$

Далі, для кожної точки переплетення, що лежить на кривій, що обробляється на поточному кроці алгоритму, виконується перехід від її параметрів до координат за допомогою спеціальних функцій. Мова програмування AutoLisp, вбудована у систему AutoCAD, на якій написано більшість спеціалізованих додатків, розроблених у ході даного дослідження, має для цього такі спеціальні функції:

(vlax-curve-getParamAtDistcurve-objdist) – дозволяє отримати значення параметру кривої на певній відстані від її початку;

(vlax-curve-getPointAtParamcurve-objparam) – використовує значення параметру для переходу до декартових координат точки.

Функції побудови кривої Без'є немає серед стандартних графічних інструментів AutoCAD, але ту саму форму кривої можна отримати з використанням B-сплайну другого порядку, побудованого за 3-ма вершинами $T1_i$ $T2_i$ $T3_i$.

Використання вищевикладеного алгоритму дозволяє урахувати особливості трансформування структури трикотажу у процесі розтягнення вздовж петельних рядів з метою впровадження у системи тривимірного моделювання, що передбачають можливість

відображення динаміки деформування трикотажу під дією розтягуючих зусиль. Розроблена каркасна модель деформування трикотажу та запропонований у роботі алгоритм побудови сітки-каркасу формують основу для визначення координат характерних точок елементів структури трикотажу, що знаходиться у стані однонаправленого розтягування, що, у свою чергу, є вихідними даними для побудови тривимірної моделі нитки у структурі деформованого трикотажу, придатна для побудови тривимірних моделей його структури з урахуванням деформацій розтягування.

Висновок: У ході дослідження розроблено каркасну модель розтягування трикотажу вздовж петельних рядів. Розрахунок конфігурації петельних рядів запропоновано описувати за допомогою квадратичних кривих Без'є та B-сплайну другого порядку. Положення кожного елемента структури визначається за координатами опорних точок в автоматизованому режимі, що забезпечує можливість побудови тривимірних моделей деформованого трикотажу для симуляції його фізико-механічної поведінки.

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

References

Література

1. Koblyakov, A. I. (1973). *Struktura i mekhanicheskie svoystva trikotazha* [Structure and mechanical properties of knitwear]. Moscow: Legkaya industriya. 240 p. [in Russian].
1. Кобляков А. И. Структура и механические свойства трикотажа. М.: Легкая индустрия, 1973. 240 с.
2. Shalov, I. I., Kudryavin, L. A. (1989). *Osnovy proektirovaniya trikotazhnogo proizvodstva s elementami SAPR: ucheb. dlyavuzov* [Basics of designing knitwear production with CAD elements: textbook for universities]. 2nd ed., rev. and add. Moscow: Legprombytizdat. 288 p. [in Russian].
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. Dalidovich, A. S. (1970). *Osnovy teorii vyazaniya* [Knitting Theory Basics]. Moscow: Legkaya industriya. 432 p. [in Russian].
3. Далидович А. С. Основы теории вязания. М.: Легкая индустрия, 1970. 432 с.
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.
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. Truevtsev, A. V. (2001). *Prikladnaya mekhanika trikotazha: uchebnoe posobie* [Applied knitwear mechanics]. St. Petersburg: SPGUTD [in Russian].
5. Труевцев А. В. Прикладная механика трикотажа: учебное пособие. СПб.: СПГУТД, 2001.
6. Shcherbakov, V. P., Skulanova, N. S. (2008). *Osnovy teorii deformirovaniyai prochnosti tekstil'nykh materialov* [Fundamentals of the theory of deformation and strength of textile materials]. Moscow: MGTU im. A.N. Kosygina. 268 p. [in Russian].
6. Щербakov В. П., Скуланова Н. С. Основы теории деформирования и прочности текстильных материалов. М.: МГТУим. А.Н.Косыгина, 2008. 268 с.
7. 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.
7. 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.
8. Leaf, J., WuR., Schweickart, E., James, D. L., and S. Marschner. (2018). Interactive design of periodic yarn-level cloth patterns. *ACM Transactions on Graphics*. November. Vol. 37. Is. 6. Article 202.P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1145/3272127.3275105>
8. Leaf J., Wu R., Schweickart E., James D. L., Marschner S. Interactive design of periodic yarn-level cloth patterns. *ACM Transactions on Graphics*. November 2018. Vol. 37. Is. 6.

9. 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.
10. Broyko, A.P. (2003). Razrabotka metoda prognozirovaniya teploprovodnosti trikotazhnykh poloten na osnove chislenogo modelirovaniya teploperedachi [Development of a method for forecasting the heat conductivity of knitted towels based on numerical heat transfer simulation.]. Diss...k.t.n. S-Pb, 331s [in Russian].
11. Sperl, G., Narain, R., Wojtan, Ch. (2020). Homogenized yarn-level cloth. *ACM Transactions on Graphics*, 39, 4, Article 48 (July 2020), p. 1–16. DOI:<https://doi.org/10.1145/3386569.3392412>.
12. 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.
13. Araújo, M., Figueiro, R., Hong, H. (2003). Modelling and simulation of the mechanical behavior 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.
14. 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.
15. Pham, M.Q., Dцbrich, O., Тгмper, 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.
16. Yelina, T.V., Halavska, L. Ye, Shcherban, V. Yu., Kolisko, O. Z., Bobrova, S. Yu. (2021). Karkasna model odnoosnoho roztyahuvannia kulirnoho trykotazhu v zdovzh petelnykh stovpchykiv [Framemodel of uniaxial stretching of weft-knitted structures in the wale direction]. *Visnyk KNUTD*, No. 1, P. 43–53. <https://doi.org/10.30857/1813-6796.2021.1.4> [in Ukrainian].
17. Yelina, T. V. (2021). Rozvytok naukovykh osnov prohozuvannia strukturnykh kharakterystyk trykotazhu u protsesi yoho deformuvannia. Diss... dokt. tekhn. nauk. Kyiv, KNUTD [in Ukrainian].
18. Li, K. (2004). *Osnovy SAPR (CAD/CAM/CAE)*. S-Pb.: Piter. 560 p. [in Russian].
- Article 202. P. 1–15. DOI:
<https://doi.org/10.1145/3272127.3275105>.
9. 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.
10. Бройко А. П. Разработка метода прогнозирования теплопроводности трикотажных полотен на основе численного моделирования теплопередачи: дисс... к.т.н. С-Пб, 2003. 331 с.
11. Sperl G., Narain R., Wojtan Ch. 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>.
12. 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.
13. Araújo M., Figueiro R., Hong H. Part II: 3D model based on the elastica theory. *AUTEX Research Journal*. December 2003. Vol. 3. No. 4. P. 166–172.
14. 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.
15. Pham M. Q., Dцbrich O., Тгмper 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.
16. Єліна Т. В., Галавська Л. Є., Щербань В. Ю., Колиско О. З., Боброва С. Ю. Каркасна модель одноосного розтягування кулірного трикотажу вздовж петельних стовпчиків. *Вісник КНУТД*. 2021. № 1 (154). С. 43–53. <https://doi.org/10.30857/1813-6796.2021.1.4>.
17. Єліна Т. В. Розвиток наукових основ прогнозування структурних характеристик трикотажу у процесі його деформування: дис... д.т.н. Київ, КНУТД, 2021.
18. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE). С-Пб.: Питер, 2004. 560 с.

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@knuutd.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@knuutd.edu.ua

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@knuutd.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@knuutd.com.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: kntp@knuutd.com.ua

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

Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

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

Цель. Целью данного исследования является разработка математического обеспечения процесса трансформирования каркасной модели кулирного трикотажа под действием растягивающих усилий вдоль петельных рядов для дальнейшего трехмерного моделирования структуры трикотажа.

Методика. В процессе исследования использованы методы теоретического анализа и синтеза, основные положения теории вязания, методы геометрического моделирования и параметризации.

Результаты. Учёт деформации трикотажа при эксплуатации одежды является одним из определяющих факторов обеспечения качества проектных решений. При растяжении кулирного трикотажа вдоль петельных рядов происходит изменение конфигурации его отдельных участков, а также изменение поперечных размеров самой нити вследствие силового взаимодействия между смежными элементами структуры. Для моделирования физико-механического поведения трикотажа, находящегося под действием растягивающих усилий, предлагается использовать комплексную модель деформирования трикотажа, частью которой является предложенная каркасная модель одноосного растяжения. В работе представлен алгоритм построения каркасной модели растяжения образца трикотажа вдоль линии петельного ряда. Основой для алгоритма является набор исходных данных, включающий петельный шаг и высоту петельного ряда в условно равновесном состоянии, относительное удлинение образца на момент моделирования, количество петельных столбиков и петельных рядов на участке образца, коэффициент сужения петельных рядов.

Научная новизна. В работе исследованы особенности трансформирования структуры трикотажа в процессе растяжения вдоль петельных рядов и предложено алгоритмическое и

математическое обеспечение автоматизированного построения сетки-каркаса в контексте трехмерного моделирования, являющееся необходимым для обеспечения возможности отображения динамики деформирования трикотажа под действием растягивающих усилий.

Практическая значимость. Каркасная модель деформирования трикотажа и предложенный в работе алгоритм построения сетки-каркаса формируют основу для определения координат характерных точек элементов структуры трикотажа, находящегося в состоянии одноосного растяжения, для построения трехмерной модели нити в структуре деформированного трикотажа.

Ключевые слова: кулирный трикотаж; моделирование деформаций; петельный ряд; каркасная модель; одноосное растяжение; процесс деформирования.

BOBROVA S. Yu., YELINA T. V., HALAVSKA L. Ye., SHCHERBAN V. Yu., KOLISKO O.Z.
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

FRAME MODEL OF STRETCHING OF WEFT-KNITTED FABRICS IN THE COURSEWISE DIRECTION

Purpose. The purpose of this study is to develop a mathematical description of the transformation of the frame model of weft-knits under the action of tensile forces in the coursewise direction for further three-dimensional modeling of the knited structure.

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

Findings. Considering the knitwear stretching during the use of the clothing is one of the determining factors of the quality of design decisions. When stretching the weft-knitted fabrics in the coursewise direction, the configuration of its individual stitches' changes, as well as the thread's cross-section due to the force interaction between the adjacent structure elements. To simulate the physical and mechanical behavior of knitwear under the stretching, it is suggested using a complex model of knitwear deformation, that includes the suggested frame model of uniaxial coursewise stretching of knitted fabrics. An algorithm for constructing a frame model of stretching a sample of knitted fabric in the coursewise direction is described in the paper. The algorithm is based on the structure parameters, including the wale spacing and course spacing in a dry relaxed state, the relative elongation of the sample at the time of modeling, number of wales and courses in the sample, the coefficient of courses narrowing.

Scientific novelty. The paper investigates the features of the transformation of the knitting structure during stretching in the coursewise direction and offers algorithmic and mathematical support for the automated generation of the mesh frame in the context of three-dimensional modeling, which provides for the possibility of considering the dynamics of deformation of knitted fabric undergoing tensile deformations.

Practical value. Frame model of the weft-knits deformation and algorithm of mesh-frame construction suggested in the paper, form the basis for determination of coordinates of characteristic points of the structural elements of the knit in a state of uniaxial tension for construction of a three-dimensional model of thread a deformed knitted fabric.

Keywords: weft-knits; simulation of deformation; course; frame model; uniaxial stretching; deformation process.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.3.7>

УДК 677.494

^{1,2}ТАРАСЕНКО Н. В., ¹ПЛАВАН В. П.,
¹БУДАШ Ю. О., ¹ТКАЧЕНКО І. М.

¹ Київський національний університет технологій і дизайну, Україна

² Національний технічний університет КПІ ім. І. Сікорського, Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ СОРБЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ, МОДИФІКОВАНИХ ГЛИНИСТИМИ МІНЕРАЛАМИ

Анотація. Представлені результати визначення сорбційних властивостей модифікованих глинистими мінералами нетканних матеріалів, отриманих на основі волокнистих відходів, по відношенню до барвника метиленового синього для визначення можливості застосування створених матеріалів при очищенні стічних вод легкої промисловості від барвників та іонів важких металів.

Мета. Визначення кінетичних закономірностей сорбції (за метиленовим синім) волокнистих нетканних матеріалів, модифікованих різними типами та кількістю глинистих адсорбентів.

Методика. Як основи в роботі були використані неткані матеріали, отримані з еластичних волокнистих відходів текстильної промисловості. Вони склалися з комплексних волокон Lycra 162 C (ПУ), та волокон Nylon 6.6 f20/1 (ПА-6,6) у співвідношенні 70/30 мас. %. Для скріплення нетканого матеріалу до вихідного складу додавалися клейові бікомпонентні волокна Acebon 4/51 black (4 den) (БВЧ) (20мас.%). Для підсилення сорбційної здатності до полотна ПУ/ПА/БВ 80/20 вводились порошки глини монтморилітового (глина марки ПБА-18) та палигорськітового (глина марки ПП-5) типу в кількості до 40% від маси нетканого матеріалу. Оцінка сорбційних властивостей модифікованих волокнистих матеріалів з різними глинистими адсорбентами проводилась шляхом визначення зміни оптичної густини розчинів метиленового синього (МС) заданої концентрації.

Наукова новизна. Встановлено, що волокнисті матеріали, модифіковані дослідженими зразками глини монтморилітового і палигорськітового типу, демонструють високу поглинальну здатність відносно барвника метиленового синього, за рахунок його багаточислової сорбції. Після 24 годин обробки ступінь поглинання становить 70% при використанні глини марки ПБА-18 у кількості 40% від маси волокнистого матеріалу, що вище, ніж у разі використання глини марки ПП-5 (45%) за однакових умов.

Практична значимість. Сорбційні матеріали, модифіковані глинистими мінералами, можуть бути в подальшому використані для очистки стічних вод підприємств легкої і хімічної промисловості від іонів важких металів.

Ключові слова: волокнисті матеріали; сорбція; глинисті породи; модифікація; метиловий синій; водоочищення.

Вступ. Стічні води шкіропереробних заводів, хімічних підприємств відносяться до висококонцентрованих, токсичних та агресивних. Серйозну небезпеку для гідросфери представляють іони важких металів, так як вони мають кумулятивні властивості, можуть передаватися по трофічних ланцюгах і накопичуватися в донних відкладеннях [1].

Для очищення стічних вод від іонів важких металів широко використовується реагентний метод, заснований на переводі іонів важких металів в малорозчинні сполуки: гідроксиди, сульфідні і фосфати. Реагентний метод набув найширшого поширення в промисловості як найбільш універсальний, простий в експлуатації і дешевий. Основними недоліками даного методу є порівняно низький економічний ефект очищення від іонів важких металів, велика витрата реагентів і як наслідок значне збільшення загального солемісту [2]. Все це обумовлює необхідність розробки і реалізації сучасних технологій очищення стоків від важких металів, які дозволяють забезпечити високу ефективність процесів очищення, а також можливість створення на їх основі комплексних технологій із замкнутим циклом водоспоживання.

Сорбційне вилучення металів є одним з ефективних методів доочищення стоків промислових підприємств. Ефективність сорбційної очистки в залежності від застосовуваного сорбенту становить 80–95%. Активоване вугілля, силікагель, алюмогелі, гідрати оксидів металів [3] мають широке використання як сорбенти. Для очищення від катіонів металів все більшого застосування знаходять сорбенти природного походження (глинисті породи, цеоліти, пісок), які характеризуються значною поглинальною здатністю без додаткової обробки, що є їх перевагою перед штучними сорбентами [4, 5].

Сорбційні процеси в залежності від механізму взаємодії сорбенту з сорбатом поділяються на наступні типи: адсорбція, екстракція, іонний обмін та осадження [6]. В процесі адсорбції важливу роль відіграють як хімічні, так і фізичні взаємодії між адсорбентом і речовиною, що сорбується. В процесі фізичної взаємодії токсиканти утримуються на поверхні сорбенту за рахунок слабких Ван-дер-Вальсових сил притягання. Видалення шкідливих речовин при хімічній взаємодії відбувається в результаті утворення міцного зв'язку між сорбентом і сорбатом [7].

Ефективність сорбенту залежить від питомої поверхні та наявності активних центрів та цій поверхні по відношенню до забруднених вод. На швидкість адсорбції впливають розмір частинок сорбенту, швидкість потоку рідини через сорбційне завантаження, концентрація забруднення, температура, рН середовища та величини константи взаємодії між адсорбентом і аналітичним розчином.

Для пористих адсорбентів швидкість адсорбції залежить від розміру пор та питомої поверхні. Чим менше пори адсорбенту, тим повільніше відбувається адсорбція. Речовини, що мають менше значення розчинності, адсорбуються швидше [8]. При адсорбції з розчинів може відбуватися не тільки адсорбція нейтральних молекул, але й іонів. При цьому іон, що заряджений позитивно адсорбується на сорбентах з негативно зарядженою поверхнею і навпаки. Ці процеси супроводжуються іонним обміном між адсорбентом та розчином за рахунок іонообмінної адсорбції [9].

На даний час зростає інтерес дослідників до необхідності модифікації полімерних волокнистих матеріалів з метою надання їм додаткових експлуатаційних властивостей [10]. Модифікацію волокон проводять на різних етапах виробництва: під час синтезу волокнистого полімеру; в процесі переробки полімеру в волокно або нитку; на стадії заключної обробки сформованого волокна або безпосередньо перед використанням готового волокна. Вибір методу модифікації залежить від структури полімеру, економічних аспектів і призначення готового продукту. Найбільш перспективними з точки зору вимог до очищення стічних вод, є метод фізичної (структурної) модифікації за допомогою введення в волокнисту основу різних типів твердих адсорбентів.

Авторами [11] розроблений спосіб модифікації полімерного композиційного матеріалу із сорбційними властивостями з волокнистих відходів текстильної промисловості на основі високооб'ємних комбінованих петельних ниток, що склалися з двох компонентів: волокон поліуретану 162С (лінійна густина 4,4 текс), та текстурованих волокон поліаміду 6.6 f20/1 (лінійна густина 3,3 текс).

Дослідження були спрямовані на вдосконалення сорбційних властивостей волокнистих матеріалів за допомогою модифікації глинистими мінералами, які мають вирішальне значення для ефективної сорбції, розділення та очищення стічних вод промислових підприємств.

Постановка завдання. Визначення сорбційної здатності волокнистих сорбентів, модифікованих глинистими мінералами, для визначення можливості застосування створених матеріалів при очищенні стічних вод легкої промисловості від іонів важких металів, зокрема металовмісних барвників.

Методологія досліджень. В якості основи в роботі були використані неткані матеріали, отримані з еластичних волокнистих відходів текстильної промисловості. Вони склалися з

комплексних волокон Lусга 162С (лінійна густина 4,4 текс) (ПУ), та волокон Nylon 6.6 f20/1 (лінійна густина 3,3 текс) (ПА-6,6) у співвідношенні 70/30 мас. %.

До вихідного складу додавалися клейові бікомпонентні волокна Acebon 4/51 black (0.44 текс) (БВЧ) (20 мас. %). БВЧ волокна це клейовий вид волокон типу «ядро – оболонка», яке складається з поліетилентерефталату (ядро, $T_{пл} = 265^{\circ}\text{C}$) та верхнього легкоплавкого компоненту (соПЕТ) ($T_{пл} = 110^{\circ}\text{C}$). На рис 1. наведена мікрофотографія поверхні нетканого матеріалу у відбитому світлі після процесу термоскріплення. Як можна бачити, термічна обробка нетканого полотна призводить до плавлення поверхневого шару бікомпонентних волокон. При цьому в місцях перетину таких волокон утворюються когезійні зв'язки, позначені на мікрофотографіях червоними стрілками. Поряд з тим добре видно, що в місцях контакту бікомпонентних волокон з основним волокнистим матеріалом (ПУ/ПА-6,6) (позначено на мікрофотографіях зеленими стрілками) відбувається утворення адгезійних зв'язків між ними.

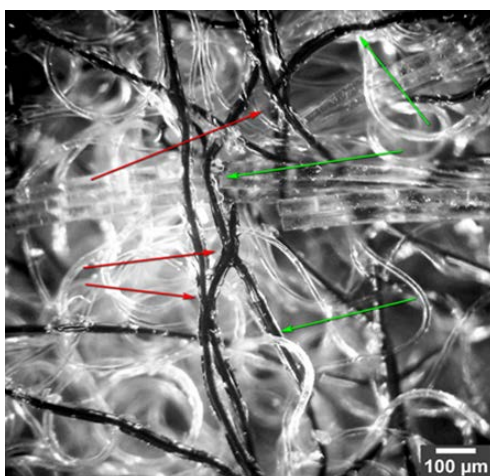


Рис. 1. Мікрофотографія структури поверхні нетканого матеріалу ПУ/ПА-6,6)/БВЧ 80/20 у відбитому світлі після процесу термоскріплення

Таким чином, в результаті термообробки нетканих матеріалів, що вміщують бікомпонентні волокна, має місце утворення достатньо стійкої просторової сітки адгезійно-когезійних зчеплень, що може сприяти реалізації високих фізико-механічних характеристик матеріалу в цілому.

Для підсилення сорбційної здатності до полотна ПУ/ПА/БВ 80/20 вводились порошки глини монтморилонітового (ПБА-18) та палигорськітового (ПП-5) типу в кількості до 40% від маси нетканого матеріалу.

Глина М-3 (Монтморилоніт) – це шаруватий силікат із загальною формулою $(\text{Ca},\text{Na})(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_2(\text{OH})_2[(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}] \times n\text{H}_2\text{O}$. Хімічний склад мінералу: SiO_2 – 51,9%, Al_2O_3 – 17,10%, Fe_2O_3 – 7,92 %, MgO – 1,18%, Na_2O , K_2O і CaO до 2% і H_2O – 8,78%.

Глина П-1 (Палигорськіт) – шарувато-стрічковий силікат із загальною формулою $(\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_2(\text{OH}_2)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Хімічний склад мінералу: SiO_2 – 55,03%; Al_2O_3 – 10,24%; Fe_2O_3 – 3,53%; MgO – 10,49%; K_2O – 0,47%; H_2O – 19,86%.

Основні характеристики використаних зразків глинопорошків наведені в таблиці 1.

Порошок глини рівномірно наносили на всю поверхню нетканого матеріалу способом просипання через дрібну металеву сітку. Для рівномірного проникнення адсорбенту в структуру нетканого матеріалу використовували ракельний ніж, що рухався паралельно та перпендикулярно поверхні нетканого матеріалу.

В подальшому зразки обробляли катіоактивною ПАР способом розпилення. Як зв'язуюче використовували водну дисперсію акрилових смол. Готовий зразок висушували у сушильній шафі (~ 60 хв; $t=100^{\circ}\text{C}$) до постійної маси. На заключному етапі отримання

волокнистого сорбційного матеріалу проводили процес термоскріплення за температури поверхні пресу – 170°C, час пресування – 10 сек., відносне навантаження – 0,21 кг/см².

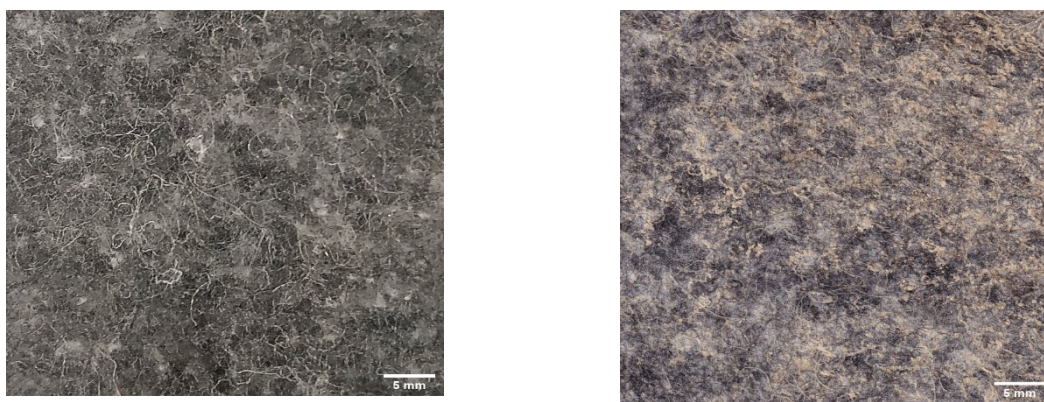
Таблиця 1

Основні характеристики досліджених зразків глинопорошків

Номер зразка	Промислова марка	Масова частка води, %	Залишок на ситі №0071, %*	Вміст Na ₂ CO ₃ , мас. %
МЗ	ПБА-18	11,1	3,0	2,5
П1	ПП-5	17,6	2,0	-

*Примітка: Згідно ДСТУ Б В.2.7-89-99.

Зображення вихідного зразка нетканної основи ПУ/ПА/БВ 80/20 та поверхні нетканого матеріалу складу (ПУ/ПА)/БВ 80/20 мас.%, що вміщує глини надана на рис. 2.



**Рис. 2. Зображення зразка нетканної основи ПУ/ПА/БВ 80/20
а) вихідного; б) наповненого глинистим адсорбентом**

Оцінка сорбційних властивостей модифікованих волокнистих матеріалів з різними глинистими адсорбентами проводилась з водним розчином барвника метиленового синього (МС). Процес адсорбції на досліджуваних зразках вивчали за статичних умов. Сорбційні властивості модифікованих волокнистих матеріалів у водному середовищі досліджували за такою схемою: спочатку готували вихідний розчин МС з концентрацією 50 мг/л, у скляний стаканчик 50 мл вихідного розчину додавали по 0,1г різних адсорбентів у кожен склянку. Після перемішування залишали за температури 20°C, через 24 год відібрали першу пробу, подальші проби відбирались через 48 та 72 години.

Вимірювання концентрації барвника МС здійснювали за допомогою приладу КФК 2. Оптичну густину приготовленого розчину порівнювали вимірювали, використовуючи світлофільтр з довжиною хвилі 670 нм в кюветах з товщиною поглинаючого світло шару 10 мм. Як контрольний розчин застосовували дистильовану воду. За отриманими даними будували градуваний графік залежності оптичної густини від масової концентрації розчину порівняння. Ефективність сорбції матеріалів оцінювали за ступенем поглинання барвника МС, який розраховували за формулою:

$$\eta = \frac{C_n - C_k}{C_n} \cdot 100\%$$

де C_n – вихідна концентрація досліджуваної речовини;

C_k – кінцева концентрація досліджуваної речовини через певний проміжок часу.

Результати та обговорення. Результати дослідження сорбційних властивостей волокнистих матеріалів, модифікованих глинами М-3 та П-1, по адсорбції барвника МС, видно з графіків залежності ступінь поглинання МС від часу рис. 4, 5.

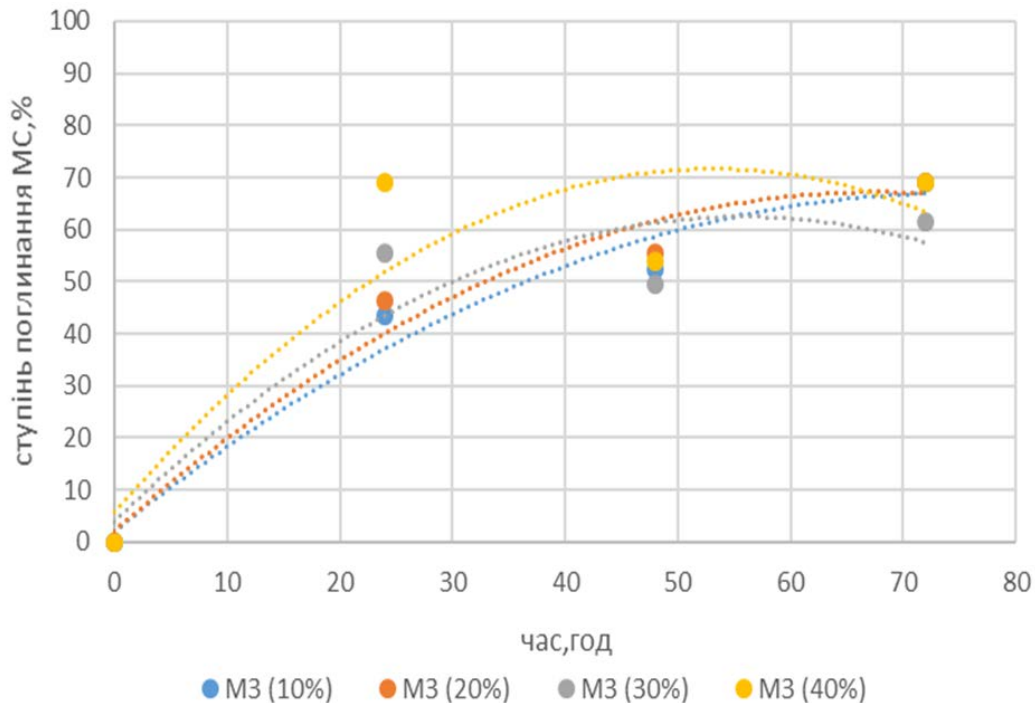


Рис. 4. Кінетичні залежності ступеня поглинання МС зразками волокнистих матеріалів модифікованих різною кількістю глини М-3

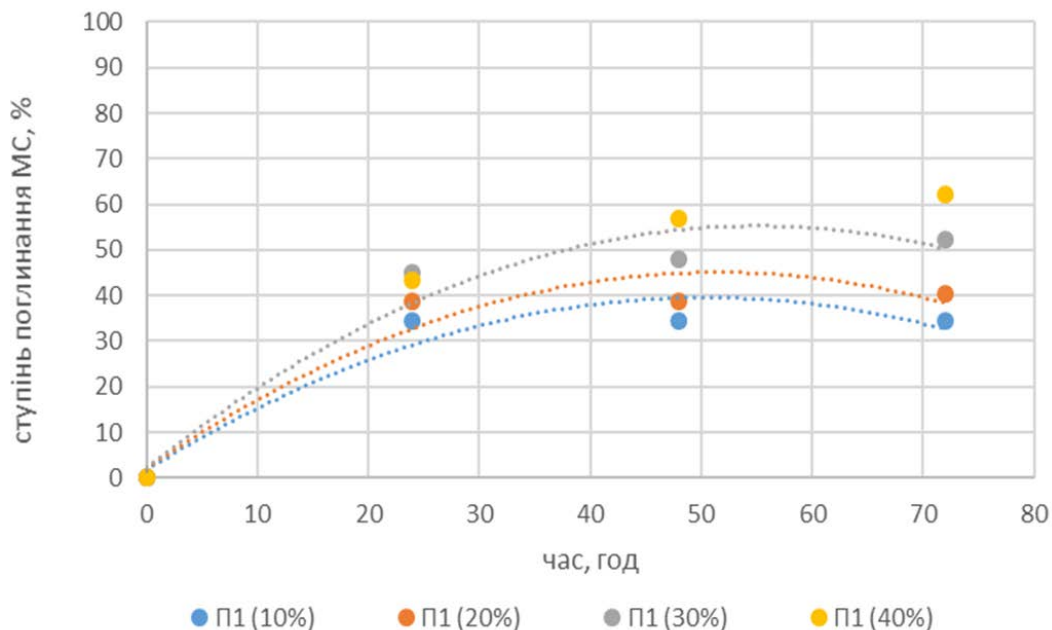


Рис. 5. Кінетичні залежності ступеня поглинання МС зразками волокнистих матеріалів модифікованих різною кількістю глини П-1

З отриманих результатів випливає, що модифіковані волокнисті матеріали до складу основи яких входять як адсорбенти глини М-3 і П-1, мають високу поглинальну здатність до

барвника МС. Із збільшенням тривалості обробки ступінь поглинання поступово підвищується і залежить від кількості адсорбенту введеного в матеріал. Після 24 годин обробки ступінь поглинання значно не збільшується і становить 70% при використанні глини М-3 у кількості 40% від маси волокнистого матеріалу, що вище, ніж у разі використання глини П-1 (45%) за однакових умов.

Адсорбційні властивості глини визначаються часом контакту, кількістю адсорбенту. Кінетика адсорбції визначає характер залежності адсорбційної взаємодії адсорбентів з розчином барвника МС, з результатів видно, що зі збільшенням часу взаємодії між адсорбентом і речовиною, ступінь поглинання барвника збільшується. Максимальний ступінь поглинання 70% демонструють зразки волокнистого матеріалу, наповненого глиною М-3 вже через 24 години обробки.

Модифікація природними глинистими мінералами суттєво підвищує сорбційну здатність волокнистих матеріалів за рахунок збільшення площі питомої поверхні зразка, а також завдяки явищу хемоадсорбції на катіонних центрах глинистих мінералів, як було зазначено в роботі [13]. Зростання сорбційної здатності зразків при проведенні кінетичних досліджень може бути пояснене явищем багатопорової сорбції МС частинками глинистих мінералів. Подібні результати спостерігали автори при вилученні аніонних барвників з водних розчинів модифікованими бентонітовими глинами [14].

Модифіковані таким чином неткані волокнисті матеріали можуть бути в подальшому використані для очистки стічних вод підприємств легкої і хімічної промисловості від іонів важких металів.

Висновки. Таким чином, в результаті проведених досліджень встановлено, що модифіковані волокнисті матеріали, до складу основи яких входять як адсорбенти глини монтморилонітового і палигорськитового типу М-3 і П-1, демонструють високу поглинальну здатність до барвника метиленового синього. Із збільшенням тривалості обробки ступінь поглинання барвника з розчину поступово підвищується і залежить від кількості адсорбенту в волокнистому матеріалі. Після 24 годин обробки ступінь поглинання барвника становить 70% при використанні глини М-3 у кількості 40% від маси волокнистого матеріалу, що вище на 30% ніж у разі використання глини П-1 (40%) за однакових умов.

Використання як адсорбентів глини марок М-3 і П-1 є технологічно ефективним, екологічно безпечним та економічно вигідним в умовах України, так як наявна потужна вітчизняна сировинна база покладів глинистих мінералів. У зв'язку з цим, удосконалення наявних, створення нових, екологічно безпечних волокнистих матеріалів з сорбційними властивостями сприятиме підвищенню ефективності водоочищення. В подальшому можливість різноманітної модифікації глинистих мінералів у складі волокнистих сорбційних матеріалів дозволить покращити їх селективність, сорбційні та іонообмінні характеристики.

References

1. Dashibalova, L. T., Batoeva, A. A. (2009). Doochistka stochnykh vod galvanicheskikh proizvodstv [Post-treatment of waste water from electroplating industries]. *Galvanotekhnika i obrabotka poverkhnosti = Electroplating and surface treatment*, Vol. XVII, № 2, P. 41–44 [in Russian].
2. Krasnogorskaia, N. N., Pestrikov, S. V., Legushe, E. F., Sapozhnikova, E. N. (2004). Analiz effektivnosti reagentnykh metodov udaleniia ionov tiazhelykh metallov iz stochnykh vod [Analysis of the effectiveness of reagent methods for removing heavy metal ions from wastewater]. *Bezopasnost zhiznedeiatelnosti = Life safety*, № 3, P. 21–23 [in Russian].

Література

1. Дашибалова Л. Т., Батоева А. А. Доочистка сточных вод гальванических производств. *Гальванотехника и обработка поверхности*. 2009. Т. XVII. №2. С. 41–44.
2. Красногорская Н. Н., Пестриков С. В., Легуше Э. Ф., Сапожникова Е. Н. Анализ эффективности реagentных методов удаления ионов тяжелых металлов из сточных вод. *Безопасность жизнедеятельности*. 2004. № 3. С. 21–23.

3. Zubareva, G. I., Gurinovich, A. V., Degtev, M. I. (2008). Sposoby ochistki stochnykh vod ot kationov tiazhelykh metallov [Methods for treating waste water from heavy metal cations]. *Ekologiya i promyshlennost Rossii = Ecology and industry of Russia*, № 1, P. 18–20 [in Russian].
4. Shchuklin, P. V., Romakhina, E. Iu. (2011). Analiz osnovnykh napravlenii ochistki proizvodstvennykh stochnykh vod ot ionov tiazhelykh metallov [Analysis of the main directions of industrial wastewater treatment from heavy metal ions]. *Vestnik PGU. Urbanistika = Bulletin of PSTU. Urbanism*, № 3, P. 108–119 [in Russian].
5. Lozinskaia, E. F., Mitrakova, T. N., Zhiliaeva, N. A. (2014). Vybór prirodnykh sorbentov dlia ochistki stochnykh vod ot ionov medi (II) [Selection of natural sorbents for wastewater treatment from copper ions (II)]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal Kurskogo gosudarstvennogo universiteta = Electronic scientific journal of Kursk State University*, № 1, P. 6 [in Russian].
6. Alykov, N. M., Pavlova, A. V., Nguen, K. Z. (2010). Sorbtcionnoe udalenie iz vody ionov tiazhelykh metallov [Sorption removal of heavy metal ions from water]. *Bezopasnost zhiznedeiatelnosti = Life safety*, № 4, P. 17–20 [in Russian].
7. Komarov, V. S. (2013). Nauchnye osnovy sinteza adsorbentov [Scientific basis for the synthesis of adsorbents]. Minsk: Belarus. nauka. 181 p. [in Russian].
8. Morozov, D. Iu., Shulaev, M. V., Khramova, I. A., Khabibullina, L. I. (2007). Issledovanie adsorbtsii ochistki stochnykh vod, soderzhashchikh iony tiazhelykh metallov [Investigation of the adsorption of wastewater treatment containing heavy metal ions]. *Khimicheskaiia promyshlennost = Chemical industry*, Vol. 84, № 3, P. 141–144 [in Russian].
9. Clifford, D., Zhang, Z. (1994). Modifying ion exchange for combined removal of uranium and radium. *Journal of American Water Works Association (J. AWWA)*, Vol. 86, № 4, P. 214–227.
10. Rykova, M. V., Kovalenko, G. M., Bokova, E. S. (2013). Voloknistoporistyie kompozitsionnye materialy, modifitsirovannye interpolimernymi kompleksami [Fibrous-porous composite materials modified with interpolymer complexes]. *Izvestiia Volgogradskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta = Bulletin of the Volgograd State Technical University.*, Vol. 11, №19 (122), P. 95–99 [in Russian].
11. Tarasenko, N. V., Plavan, V. P., Budash, Yu. O., Koliada, M. K., Rachynska, O. V. (2019). Doslidzhennia khemosorbtsiinykh vlastyvostei voloknistykh sorbentiv dlia ochyshchennia stichnykh vod vid ioniv Fe³⁺ [Investigation of chemisorption properties of fibrous sorbents for wastewater treatment from Fe³⁺ ions]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dizainu. Serii Tekhnichni nauky = Bulletin of Kyiv*
3. Зубарева Г. И., Гуринович А. В., Дёгтев М. И. Способы очистки сточных вод от катионов тяжелых металлов. *Экология и промышленность России*. 2008. № 1. С. 18–20.
4. Щуклин П. В., Ромахина Е. Ю. Анализ основных направлений очистки производственных сточных вод от ионов тяжелых металлов. *Вестник ПГТУ. Урбанистика*. 2011. № 3. С. 108–119.
5. Лозинская Е. Ф., Митракова Т. Н., Жилиева Н. А. Выбор природных сорбентов для очистки сточных вод от ионов меди (II). *Электронный научный журнал Курского государственного университета*. 2014. № 1. С. 6.
6. Алыков Н. М., Павлова А. В., Нгуэн К. З. Сорбционное удаление из воды ионов тяжелых металлов. *Безопасность жизнедеятельности*. 2010. № 4. С. 17–20.
7. Комаров В. С. Научные основы синтеза адсорбентов. Минск: Беларус. наука, 2013. 181 с.
8. Морозов Д. Ю., Шулаев М. В., Храмова И. А., Хабибуллина Л. И. Исследование адсорбции очистки сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов. *Химическая промышленность*. 2007. Т. 84. № 3. С. 141–144.
9. Clifford D., Zhang Z. Modifying ion exchange for combined removal of uranium and radium. *Journal of American Water Works Association (J. AWWA)*. 1994. Vol. 86. № 4. P. 214–227.
10. Рыкова М. В., Коваленко Г. М., Бокова Е. С. Волокнисто-пористые композиционные материалы, модифицированные интерполимерными комплексами. *Известия Волгоградского Государственного Технического Университета*. 2013. Т. 11, №19 (122). С. 95–99.
11. Тарасенко Н. В., Плаван В. П., Будащ Ю. О., Коляда М. К., Рачинська О. В. Дослідження хемосорбційних властивостей волокнистих сорбентів для очищення стічних вод від іонів Fe³⁺. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки*. 2019. № 5 (138). С. 150–159.

National University of Technology and Design. Technical Sciences Series, № 5 (138), P. 150–159 [in Ukrainian].

12. Ngulube T. et. al. (2017). An update on synthetic dyes adsorption onto clay based minerals: A state-of-art review. *Journal of Environmental Management*, Vol. 191, P. 35–57. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.031>.

13. Anbia, M., Hariri, S. A. (2010). Removal of methylene blue from aqueous solution using nanoporous SBA-3. *Desalination*, Vol. 261, No. 1–2, P. 61–66.

14. Anirudhan, T. S., Ramachandran, M. (2015). Adsorptive removal of basic dyes from aqueous solutions by surfactant modified bentonite clay (organoclay): kinetic and competitive adsorption isotherm. *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 95, P. 215–225. <http://doi.org/10.1016/j.psep.2015.03.003>.

12. Ngulube T. et. al. An update on synthetic dyes adsorption onto clay based minerals: A state-of-art review. *Journal of Environmental Management*. 2017. Vol. 191. P. 35–57. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.031>.

13. Anbia M., Hariri S. A. Removal of methylene blue from aqueous solution using nanoporous SBA-3. *Desalination*. 2010. Vol. 261, No. 1–2. P. 61–66.

14. Anirudhan T. S., Ramachandran M. Adsorptive removal of basic dyes from aqueous solutions by surfactant modified bentonite clay (organoclay): kinetic and competitive adsorption isotherm. *Process Safety and Environmental Protection*. 2015. Vol. 95. P. 215–225. <http://doi.org/10.1016/j.psep.2015.03.003>.

TARASENKO NATALIA

Assistant, Department of General and Inorganic Chemistry
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
<https://orcid.org/0000-0003-1062-5533>
Researcher ID: J-7632-2017
E-mail: tarasenko.nv@ukr.net

PLAVAN VIKTORIJA

Doctor of Technical Sciences, Professor
Department of Applied Ecology,
Technology of Polymers and Chemical Fibers
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9559-8962>
Scopus Author ID: 6603130130
Researcher ID: I-5852-2015
E-mail: plavan.vp@knuud.edu.ua

BUDASH YURIJ

Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor
Department of Applied Ecology, Technology
of Polymers and Chemical Fibers
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8718-1577>
Scopus Author ID: 9134072100
Researcher ID: H-6012-2018
E-mail: budash@ua.fm

ТКАЧЕНКО ИННА

Master's student, Department of Applied Ecology,
Technology of Polymers and Chemical Fibers
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
E-mail: inna.tkachenko99@ukr.net

^{1,2}ТАРАСЕНКО Н. В., ¹ПЛАВАН В. П., ¹БУДАШ Ю. О., ¹ТКАЧЕНКО И. М.

¹ Київський національний університет технологій і дизайну, Україна

² Національний технічний університет КПІ ім. І. Сикорського, Київ, Україна

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ,
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГЛИНИСТЫМИ МИНЕРАЛАМИ**

Аннотація. Представлены результаты определения сорбционных свойств, модифицированных глинистыми минералами нетканых материалов, полученных на основе волокнистых отходов, по отношению к красителю метиленовому синему для определения

возможности применения созданных материалов при очистке сточных вод легкой промышленности от красителей и ионов тяжелых металлов.

Цель. Определение кинетических закономерностей сорбции (по метиленовому синему) волокнистых нетканых материалов, модифицированных разными типами и количеством глинистых адсорбентов.

Методика. В качестве основы в работе были использованы нетканые материалы, получаемые из эластичных волокнистых отходов текстильной промышленности. Они состояли из комплексных волокон Лусра 162 С (ПУ) и волокон Nylon 6.6 f20/1 (ПА-6,6) в соотношении 70/30 мас. %. Для скрепления нетканого материала к исходному составу добавлялись клеевые бикомпонентные волокна Acebon 4/51 black (4 den) (БВЧ) (20 мас.%). Для усиления сорбционной способности к полотну ПУ/ПА/БВ 80/20 вводились порошки глин монтмориллонитового (глина марки ПБА-18) и палигорскитового (глина марки ПП-5) типа в количестве до 40% от массы нетканого материала. Оценка сорбционных свойств модифицированных волокнистых материалов с разными глинистыми адсорбентами проводилась путем определения изменения оптической плотности растворов МС заданной концентрации.

Научная новизна. Установлено, что волокнистые материалы, модифицированные исследованными образцами глин монтмориллонитового и палигорскитового типа, демонстрируют высокую поглотительную способность в отношении красителя метиленового синего за счет его многослойной сорбции. После 24 часов обработки степень поглощения составляет 70% при использовании глины марки ПБА-18 в количестве 40% массы волокнистого материала, что выше, чем в случае использования глины марки ПП-5 (45%) при одинаковых условиях.

Практическая значимость. Сорбционные материалы, модифицированные глинистыми минералами, могут быть в дальнейшем использованы для очистки сточных вод предприятий легкой и химической промышленности от ионов тяжелых металлов.

Ключевые слова: волокнистые материалы; сорбция; глинистые породы; модификация; метиловый синий; водоочистка.

^{1,2}TARASENKO N. V., ¹PLAVAN V. P., ¹BUDASH Yu. O., ¹TKACHENKO I. M.

¹ Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

² National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

RESEARCH OF SORPTION PROPERTIES OF FIBROUS MATERIALS MODIFIED WITH CLAY MINERALS

Abstract. The paper presents the results of determining the sorption properties of nonwoven materials modified with clay minerals, obtained on the basis of fibrous waste, in relation to the methylene blue indicator to determine the possibility of using the created materials in the purification of light industry wastewater from dyes and heavy metal ions.

Purpose. Determination of kinetic regularities of sorption (by methylene blue) of fibrous nonwoven materials modified with different types and amounts of clay adsorbents.

Methodology. Nonwovens obtained from elastic fibrous waste of the textile industry were used as a basis in the work. They consisted of Lycra 162 C (PU) complex fibers and Nylon 6.6 f20 / 1 (PA-6.6) fibers in a ratio of 70/30 wt. %. For bonding the nonwoven material, adhesive bicomponent fibers Acebon 4/51 black (4 den) (BVCh) (20 wt%) were added to the initial composition. To enhance the sorption capacity of the PU / PA / BV 80/20 fabric, powders of montmorillonite clay (clay grade PBA-18) and palygorskite (clay grade PP-5) type were introduced in an amount of up to 40% by weight of the nonwoven material. Evaluation of the sorption properties of modified fibrous materials with different clay adsorbents was performed by determining the change in the optical density of MS solutions of a given concentration.

Scientific novelty. It was found that fibrous materials modified by the studied samples of montmorillonite and palygorskite clays show high absorption capacity relative to the methylene blue dye due to its multilayer sorption. After 24 hours of processing, the degree of absorption is 70% when using clay brand PBA-18 in the amount of 40% by weight of the fibrous material, which is higher than when using clay brand PP-5 (45%) under the same conditions.

Practical value. Sorption materials modified with clay minerals can be further used to treat wastewater from light and chemical industries from heavy metal ions.

Keywords: fibrous materials; sorption; clay rocks; modification; methyl blue; water purification.

ЗАПРОШУЄМО ДО СПІВРОБІТНИЦТВА

**Тематична спрямованість журналу «Технології та інжиніринг»
(Technologies and Engineering):**

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.

Періодичність видання – 6 раз на рік. Журнал видається українською, російською, англійською мовами, анотації – українською, російською і англійською мовами. Матеріали, що надходять для публікації в журналі, проходять рецензування з боку членів редакційної колегії, розглядаються та рекомендуються Вченою радою Київського національного університету технології та дизайну до друку.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ: 01011, м. Київ-11, вул. Немировича-Данченка, 2, корп. №1, кім. 1-0331а, (044) 256-84-27

Статті приймаються на поштову скриньку: : vistnuk@knutd.edu.ua.

Банківські реквізити видання «Технології та інжиніринг» для перерахування оплати за публікацію наукової статті (вартість 1 стор. формату А4 коштує 60 грн):

Одержувач: Київський національний університет технологій та дизайну

Код ЄДРПОУ отримувача: 02070890

Банк отримувача: ДКСУ у м. Києві

Код банку отримувача: 820172

Розрахунковий рахунок: **UA038201720313251003202003551**

Призначення платежу: П.І.Б. (автора (-ів) публікації) – Технічні науки.

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖИНІРИНГ

Комп'ютерний набір та макетування	Кривонос О. О.
Технічний редактор	Панасюк І. В.
Відповідальний за поліграфічне виконання	Пугач А. В.

Підп. до друку 30.06.2021. Формат 60×84 1/8.
Ум. друк. арк. 9,30. Облік. вид. арк. 7,28. Наклад 100 пр. Зам. 1708.

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

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ №24822–14762 ПР від 19.04.2021р.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців, виготівників і
розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 993 від 24.07.2002.

TECHNOLOGIES AND ENGINEERING

Computer Typesetting & Modeling	Kryvonos O. O.
Technical Editor	Panasiuk I. V.
Responsible for printing	Puhach A. V.

Printing proof 30.06.2021. Format 60×84 1/8.
Conditional sheet 9.30. Calculated sheet 7.28. Circulation 100 copies. Order N 1708.

KNUTD Instant Printing Department.
Nemirovich-Danchenko Street, 2, Kyiv, 01011, Ukraine.

Certificate KB №24822–14762 ПР від 19.04.2021р.

Certificate ДК № 993, 24.07.2002.