

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖИНІРИНГ

№ 4, 2021

DOI:10.30857/2786-5371.2021.4

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).

№ 4, 2021

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: серія KB №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@knutd.edu.ua; <http://vistnyk.knutd.edu.ua/>

Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну, протокол № 2 від 22.09.2021 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 4, 2021

DOI:10.30857/2786-5371.2021.4

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).

№ 4, 2021

The state registration of print media is KB № 24822-14762 IIP, 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@knutd.edu.ua; <http://vistnyk.knutd.edu.ua/>

Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 2, originating date 22.09.2021.

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.

Міліх 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 вимірювальної 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. АСТІСОВА Т. І.
РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ МОНІТОРИНГУ ЕКОСИСТЕМИ 9
2. БУРМІСТЕНКОВ О. П., БІЛА Т. Я., СТАЦЕНКО В. В.
АЛГОРИТМ ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ЗМІШУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ ДЛЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ 18
3. ДЗІКЕВИЧ А. В., ОЛЕЙНИКОВА І. В.
П'ЄЗОДАТЧИК ЯК ЕЛЕМЕНТ УПРАВЛІННЯ СВІТЛОМ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ДИЗАЙНУ ДИТЯЧОГО ПРИМІЩЕННЯ 31
4. ШАВЬОЛКІН О. О., МАРЧЕНКО Р. М., СТАНОВСЬКИЙ Є. Ю.,
ПІДГАЙНИЙ М. О., КРУГЛЯК Г. В.
ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ АКУМУЛЯТОРОМ ДЛЯ ПОТРЕБ ЛОКАЛЬНОГО ОБ'ЄКТУ 3 41

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ІНДУСТРІЇ МОДИ, ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ, ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ

5. БОБРОВА С. Ю., ДМИТРИК О. М., ГАЛАВСЬКА Л. Є., ЄЛІНА Т. В.
РОЗРИВАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПЛЕКСНОЇ ПОЛІЕТИЛЕНОВОЇ НИТКИ 51

ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

6. БУДАШ Ю. О., ТАРАСЕНКО Н. В., ПЛАВАН В. П.,
ЗАТОЛОКІН М. І., ШИЛІНЦЕВА Т. М.
ВПЛИВ МЕХАНІЧНОЇ АКТИВАЦІЇ НА РОЗМІРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ФОРМУ ЧАСТИНОК ГЛИНОПОРОШКІВ РІЗНОГО ТИПУ 60
7. ВАХІТОВА Л. М., КАЛАФАТ К. В., ТАРАН Н. А., БЕССАРАБОВ В. І.
ПОРІВНЯННЯ АМІНІВ ЯК ГАЗОУТВОРЮВАЧІВ ВОГНЕЗАХИСНИХ КОМПОЗИЦІЙ ІНТУМЕСЦЕНТНОГО ТИПУ 69
8. СЛЕПЦОВ О. О., ІСКАНДАРОВ Р. Ш., СЛЕПЦОВ І. О., КОБЗА В. В.
ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА НА ВЛАСТИВОСТІ ВИРОБІВ З ФОТОПОЛІМЕРУ 81

TABLE OF CONTENTS

MECHATRONIC SYSTEMS. RESOURCE SAVING & ENERGY EFFICIENCY

1. **ASTISTOVA T. I.**
DEVELOPMENT OF AN INFORMATION MODEL FOR ECOSYSTEM MONITORING 9
2. **BURMISTENKOV O. P., BILA T. Y., STATSENKO V. V.**
ALGORITHM OF AUTOMATED CONTINUOUS MIXING COMPLEXES DESIGN FOR BULK MATERIALS 18
3. **DZIKEYVYCH A. V., OLEINIKOVA I. V.**
PIEZO SENSOR AS A LIGHT CONTROL ELEMENT FOR CREATING A CHILDREN'S ROOM DESIGN 31
4. **SHAVOLKIN O. O., MARCHENKO R. M., STANOVSKYI Ye. Yu., PIDHAINYI M. O., KRUHLIAK H. V.**
DETERMINATION OF PARAMETERS OF THE PHOTOELECTRIC SYSTEM WITH THE BATTERY FOR NEEDS OF LOCAL OBJECT 41

MATERIAL SCIENCE IN THE TEXTILE, CLOTHING AND FOOTWEAR MANUFACTURING INDUSTRIES

5. **BOBROVA S. Yu., DMYTRYK O. M., HALAVSKA L. Ye., YELINA T. V.**
BREAKING CHARACTERISTICS OF INTEGRATED POLYETHYLENE THREAD 51

CHEMICAL AND BIOPHARMACEUTICAL TECHNOLOGIES

6. **BUDASH Yu. O., TARASENKO N. V., PLAVAN V. P., ZATOLOKIN M. I., SHILINTSEVA T. M.**
INFLUENCE OF MECHANICAL ACTIVATION ON SIZE CHARACTERISTICS AND FORM OF CLAY POWDERS PARTICLES OF VARIOUS TYPES 60
7. **VAKHITOVA L. M., KALAFAT K. V., TARAN N. A., BESSARABOV V. I.**
COMPARISON OF AMINES AS BLOWING AGENTS OF FLAME RETARDANT INTUMESCENT TYPE COMPOSITIONS 69
8. **SLIEPTSOV A. A., ISKANDAROV R. Sh., SLIEPTSOV I. A., KOBZA V. V.**
INFLUENCE OF ADDITIVE MANUFACTURING FORMING PARAMETERS ON COMPLEX PROPERTIES OF THE ARTICLES MADE FROM PHOTSENSITIVE RESIN 81

УДК 004.384

АСТІСТОВА Т. І.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ МОНІТОРИНГУ ЕКОСИСТЕМИ

Мета. Розробка інформаційної моделі моніторингу даних об'єктів екосистеми для ідентифікування відхилень від стандарту в реальному часі, на відстані та прийняття рішень для їх усунення.

Методика. В основу розробки системи було покладено Minimum viable product – продукт з мінімальним функціоналом та мінімальними затратами ресурсів. Концепція розробки системи розглядається на прикладі розумного гуртожитку, де одним із компонентів системи є технологія інтернет речей, в якій різні пристрої підключені до Інтернету та взаємодіють один з одним. Датчики дозволять пристрою посилати дані в комп'ютерну програму, яка буде збирати та аналізувати їх. Це дозволить ефективно ідентифікувати проблему у разі відхилень від стандарту при роботі пристроїв та полегшить передбачення можливих аварій, несправностей.

Результати На основі аналізу характеристик модулів мікроконтролерів з різними типами датчиків, було обрано модуль бездротового зв'язку, який встановлений у пристрій системи моніторингу та типи датчиків для отримання показників екосистеми. Для реалізації задачі обрано відкриту мову програмування Processing та засоби розробки, які б задовольняли всі вимоги та мали необхідний функціонал. У якості інтерфейсу для концепцій екосистеми було обрано TelegramBot. Для з'єднання апаратних пристроїв, API та Інтернет-служб було обрано Node-RED, як інструмент програмування. Для написання бота був використаний пакет RedBot для NodeRED. Розроблено структурні елементи підсистеми та програмний код на прикладі плати для датчика

Наукова новизна Запропоноване оригінальне рішення для розробки інформаційної моделі показників екосистеми приміщення на відстані, в реальному часі на основі елементної бази обраного модуля моніторингу, протоколів зв'язку та інтерфейсу взаємодії з користувачем через чат - бот.

Практична значимість. Система була протестована на даних, які були отримані в гуртожитку Київського національного університету технологій та дизайну в травні 2021 року. Хостинг для роботи даного середовища було розгорнуто на Amazon Web Services (AWS) EC2. Результати тестування показали працездатність системи, можливість отримувати, аналізувати інформацію в реальному часі та оперативно реагувати на небезпечні ситуації. Все це дасть можливість покращити життя студентів в гуртожитку та забезпечити своє здоров'я від впливу негативних чинників

Ключові слова: мікропроцесор; програмне забезпечення; MVP; датчики; розумний будинок; IoT; Processing; TelegramBot; Node-RED; Wi-Fi; RedBot.

Вступ. Технічний прогрес на початку XXI століття суттєво впливає на функціонування та розвиток управління, ставлячи нові завдання та цілі, часто змушуючи до пошуку нових форм функціонування та управління. В 1960-х і 1970-х роках з'являється термін Smart City (розумне місто). Розумні міста є результатом поточної інформаційної революції, яка пов'язана з використанням інноваційних ІКТ-рішень.

Концепція розумного міста базується на постійному технічному прогресі та пов'язана з існуванням глобальної мережі, що з'єднує безліч пристроїв та датчиків, які можуть обмінюватися інформацією самостійно задля більш ефективного функціонування та відповідності потребам його жителів [1]. Система Smart City функціонує за рахунок збору та безперервної обробки великої кількості даних, які оновлюються щосекунди та надходять з інформаційних каналів (камер відеоспостереження і фотофіксації, засобів відеоаналізу, засобів зв'язку) та комп'ютерних інформаційних технологій.

Концепцію Smart City можна адаптувати до наших гуртожитків, як один із модулів вирішення глобальної проблеми міста.

Завданням розробки моделі моніторингу екосистем було створити систему, яка дасть змогу в реальному часі отримувати інформацію з об'єктів і використовувати всі ресурси більш продуктивно, отримуючи інформацію з пристроїв, сенсорів. В роботі ця концепція розглядається на прикладі "Smart" гуртожитку, в якому різні пристосування взаємодіють один з одним.

Весь проект, це мінімально життєздатний продукт (Minimum viable product – MVP), тобто це продукт з мінімальним функціоналом, який можна дати користувачам для використання в їх задачах. Minimum viable product використовується для тестування ідей у розробці програм з мінімальними затратами ресурсів. наскільки продукт буде цінним та затребуваним на ринку [2,3]. Для нашої задачі Minimum viable product використовується для тестування ідей у розробці програм з мінімальними затратами ресурсів.

Постановка завдання. Поточні зміни у сфері технологій та передачі даних, багато хто називає четвертою промисловою революцією. Найбільш актуальними темами 2020 року стає штучний інтелект, нейронні мережі та Інтернет речей. Інтернет речей (IoT) це концепція, що дозволяє фізичним об'єктам здійснювати взаємодію між собою або з зовнішнім світом, частково або повністю без участі людини.

Цей термін ввели, коли кількість речей та предметів, підключених до Інтернету, перевищила кількість людей. Інтернет речей можна визначити як сукупність інтелектуальних об'єктів, які можуть реагувати на навколишнє середовище та обробляти інформацію, усуваючи розрив між фізичним та віртуальними світами і надсилати її іншим об'єктам за допомогою Інтернет-протоколів [4]. Вона має вбудовані «давачі» і програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати передачу і обмін даними між фізичним світом і комп'ютерними системами в автоматичному режимі, за допомогою використання стандартних протоколів зв'язку.

Як результат «Інтернет більше не буде мережею підключених комп'ютерів, а стане мережею об'єднаних об'єктів» [5]. В даний час за допомогою таких систем як GSM, WiFi, Bluetooth, ZigBee, Z-Wave, але також маяки, фомтоелементи або бездротових сенсорних мереж (Wireless Sensor) створюється нова концепія мережі.

Мережа, що заснована на Інтернеті речей, може сприяти вдосконаленню екопроцесів у гуртожитку, будинку, на підприємстві. Оснащення, яке базується на підключених «давачів» даних та експорту метеоданих до віддаленого сховища даних та інформація з датчиків, дозволять краще контролювати роботу багатьох процесів.

Завдяки «розумному» апаратному забезпеченню та встановленому програмному забезпеченню пристрій здатний «відчувати», що відбувається навколо, і повідомляти це користувачеві через певний канал зв'язку

Задачею дослідження для розробки моделі моніторингу екосистеми, було провести аналіз датчиків, каналів передачі даних та накопичення інформаційних потоків екосистеми в приміщенні. На основі отриманих даних потрібно було реалізувати логіку роботи модулів моніторингу з різними типами датчиків, протоколами зв'язку та побудувати систему моніторингу з інтерфейсом взаємодії з користувачем через чат-бот.

Система дасть можливість відстежувати дані екосистеми в кімнаті, де мешкає користувач та оперативно реагувати на небезпечні ситуації, які можуть виникнути у об'єкта в реальному часі.

Результати дослідження. Для реалізації задачі були використані різноманітні засоби та компоненти розробки, а саме [6]:

1. Середовище розробки програмного забезпечення для мікроконтролерів.

2. Відкриту мову програмування Processing (заснована на Java).
3. Розроблені програмний код та елементи підсистеми.

Відомо, що мікроконтролер – це спеціальна мікросхема, призначена для керування різними електронними пристроями. На сьогодні існує більше 200 модифікацій мікроконтролерів, які випускаються двома десятками компаніями. Для вирішення задачі потрібно було проаналізувати та обрати тип мікроконтролер, який би відповідав мети завдання.

Нами було проаналізовано мікроконтролери Arduino UNO, Arduino Nano, MEGA, Espressif. Аналізую технічні показники мікроконтролерів, такі як: об'єм пам'яті, тактову частоту, тип мікроконтролера, потрібно було обрати такий, що відповідав би ідеї розробки. Було обрано мікроконтролер Espressif («рішення на кристалі»), який є модулем бездротового зв'язку і може бути встановлений у пристрої системи розумного будинку, інтелектуальному пристрої або модулі безпеки [7]. Під інтелектуальним пристроєм мається на увазі пристрій, яким можна керувати через Wi-Fi мережу.

Саме Espressif має мікросхему, на якій розміщений Wi-Fi та ядро системи. Плюс цього модуля в тому, що його можна запрограмувати на мале споживання енергії. Це відбувається завдяки тому, що він відправляє дані, потім «падає в сон», надалі «прокидається», «скидає» дані, і знову «засинає». Espressif дасть змогу втілити ідеї Minimum viable product в життя, а Arduino не має такої можливості.

Для розробки елементної бази було обрано мікроконтролер ESP8266. На даний час він є одним із самих високоінтегрованих рішень для роботи з Wi-Fi. Найбільше популярна на даний момент версія ESP-12E[8]. Він має високу швидкість роботи, більше доступних виводів та великий об'єм Flash пам'яті, що дозволяє підключити велику кількість датчиків даних та дає можливість завантажити більше програмного коду і тим самим розширити функціонал системи. Саме цю версію було вибрано для реалізації нашої системи. Комунікація з мікроконтролером (МК) на момент розробки та тестування задачі відбувалася через USB to Serial конвертер, за допомогою якого можливо було виконати завантаження коду в пам'ять МК та проводити відлагодження його роботи.

В модулі моніторингу використовується два типи датчиків:

1. Цифровий (BME280) – для вимірювання температури, атмосферного тиску, вологості та CO₂ (видає кінцеве значення).
2. Аналоговий (GYL8511) – для вимірювання ультрафіолетового випромінювання.(оптичний сенсор, який чутливий до певного спектру).

Вони компактні, мало споживають енергії характеризуються високою точністю вимірювання, високою швидкістю інтерфейсу та мають широке застосування у смарт пристроях, телефонах.

Всі датчики працюють по власному протоколу та мають свій даташит (документ, в якому прописується як працює датчик, які алгоритми використовувались). В нашій розробці це протокол I2C, що є послідовною шиною даних для зв'язку інтегральних схем. Датчики обмінюються даними з основним мікроконтролером, який опрацьовує отриману інформацію.

Платформою для розробки інтерфейсу інформаційної системи було обрано платформу Telegram. Telegram є унікальним хмарним сервісом для обміну повідомленнями, що об'єднує новітні технології, розвинену екосистему. Він надзвичайно швидкий і надійний, приватний і захищений, потужний і розширюваний та простий у використанні. Якщо звернути увагу на таку кількість переваг, то стає зрозуміло чому користувачі обирають для комунікації саме цей сервіс. А основними користувачами нашої системи будуть саме студенти.

Telegram відіграє функцію платформи для розробки боту, а також його розміщення. У якості інтерфейсу для концепції автоматизованої бази даних для зберігання даних екосистеми

було обрано TelegramBot. TelegramBot виконує заздалегідь визначені завдання самостійно та без участі користувача. Головною задачею бота для платформи Telegram є автоматична відповідь після вводу до нього команди користувача. Важливою функцією бота Telegram є можливість виконувати команди в чаті Telegram, які потім безпосередньо запускають дії або запитують інформацію. Після обробки запиту сервіси надсилають результат вже на пристрій, а сам результат буде знаходитись у самому боті, де і був проведений запит. Пошук проводиться у вигляді спілкування в інтерфейсі, де є певна прошивка, в якій прописано, які дані збиратимуться.

Для з'єднання апаратних пристроїв, API та Інтернет-служб було обрано NodeRED, як інструмент програмування. Для написання бота був використаний пакет RedBot для NodeRED. NodeRED забезпечує редактор потоків на основі браузера, що спрощує з'єднання потоків за допомогою широкого діапазону вузлів у палітрі. Потіки можна розгорнути в середовищі виконання одним клацанням миші. NodeRED має спеціальне сховище даних від всіх датчиків і надалі, ця інформація посилається в Telegram.

Більшість функціоналу написана через елементи Function Node, які надають можливість вставити користувацький програмний код і тим самим розширити можливості вбудованих в пакет інструментів.

Хостинг для тестування роботи даного середовища було розгорнуто на Amazon Web Services (AWS)Ecх [9,10]. Тестування інформаційної моделі моніторингу екосистеми було проведено у гуртожитку №7 Київського національного університету технологій та дизайну в травні 2021 року.

Алгоритм режиму тестування основних функцій системи.

1. Створюються бездротова точка доступу. Модуль підключається до Wi-Fi з виходом до Інтернет. Створюється точка доступу.

2. За певною IP-адресою переходимо в режим налаштування. Перевірка системи на створення нею точки доступу (рис. 1). Створена точка доступу захищена паролем задля забезпечення безпеки налаштувань підсистеми та уникнення зміни налаштувань користувачем, якому не було надано доступу.

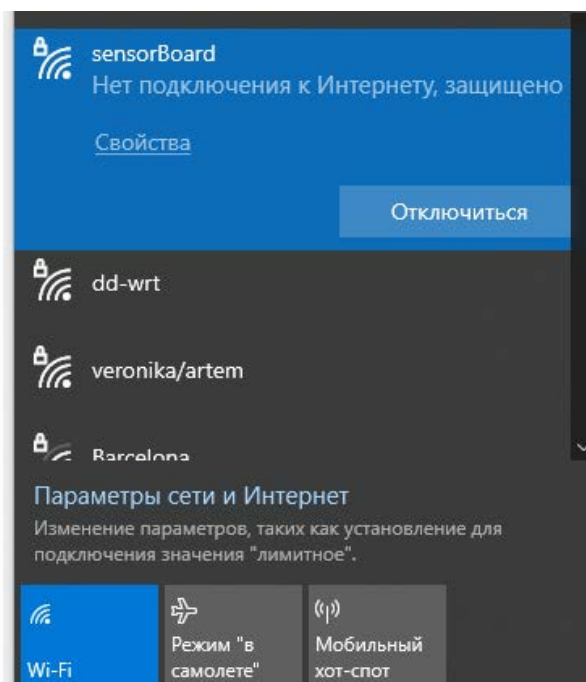


Рис. 1. Створена бездротова точка доступу

3. Вказуємо назву та пароль Wi-Fi – мережі, до якої має підключитись модуль моніторингу.

4. Обираємо сервер для відправки даних. Вказуємо номер гуртожитку і кімнату до якої буде закріплено модуль з датчиками.

5. Встановлюємо інтервал обміну даними (Таймінг видачі інформації). В налаштуваннях вказуємо період часу, через який відбуватиметься оновлення, наприклад 20 хвилин. Кожні 20 хв. він буде скидати дані на сервер.

6. Для початку комунікації з ботом потрібно натиснути «start». Користувач отримує повідомлення, в якому власне можна побачити, чим може бути корисний даний бот (рис. 2).

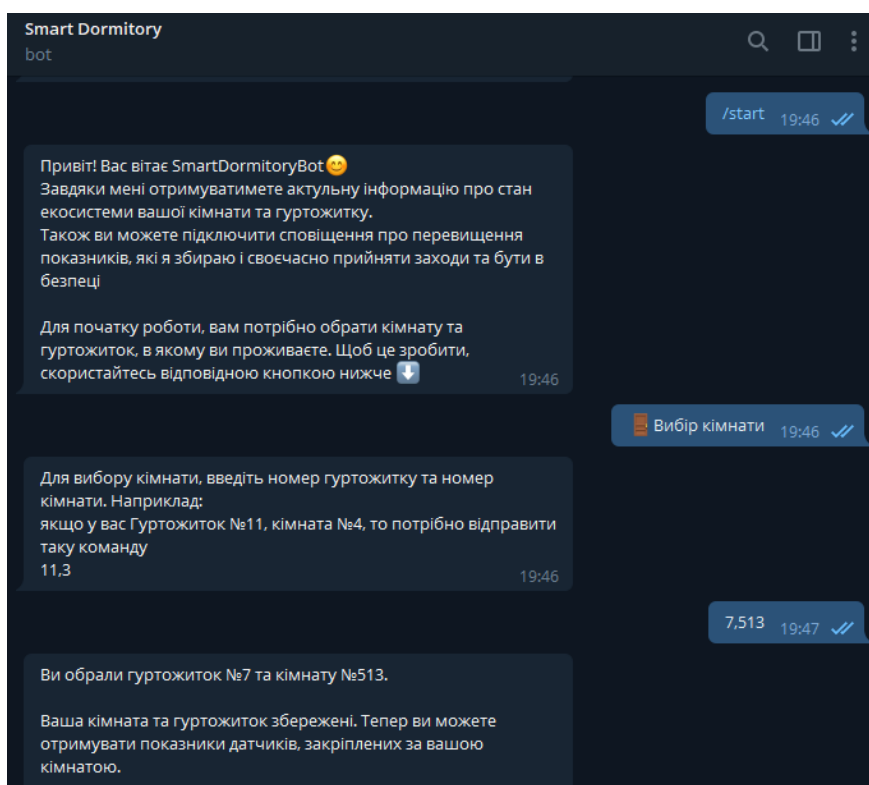


Рис. 2. Комунікація з ботом. Вибір кімнати

Окремо є користувацька клавіатура з різними командами, різновид яких залежить від обраної дії (рис. 3). Незмінними лишаються кнопки «Головне меню» та «Назад».

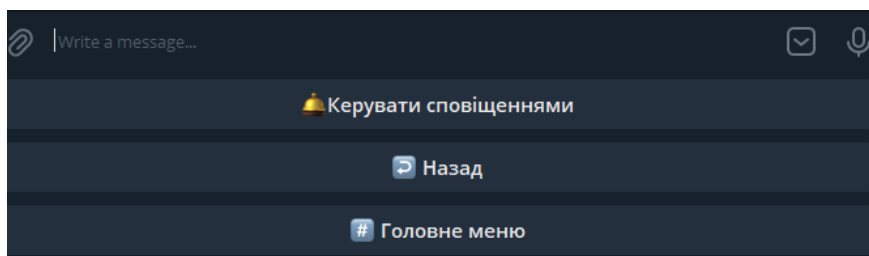


Рис. 3. Користувацька клавіатура з командами

7. Натиснувши на «Перегляд показників», користувач отримає всі дані стану екосистеми кімнати, які досліджуються: температура повітря, рівень вологості в кімнаті, рівень CO₂, якість повітря (рис. 4).

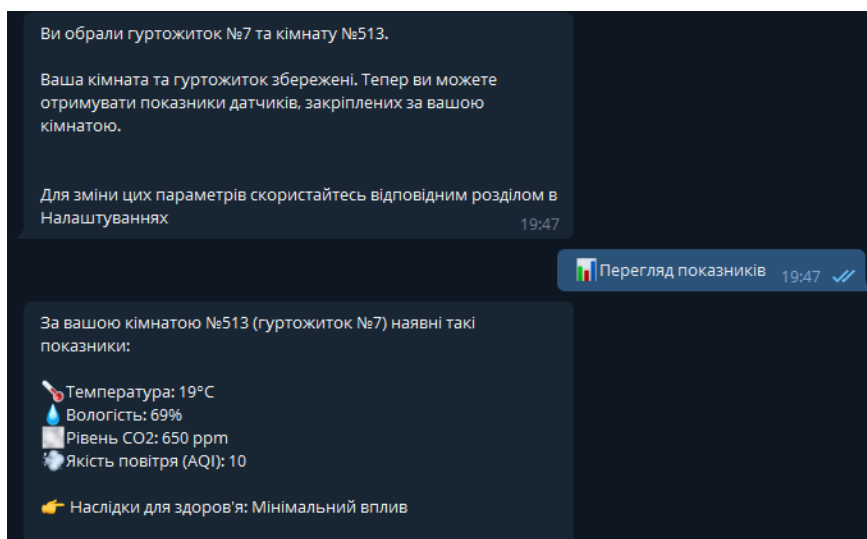


Рис. 4. Перегляд показників екосистеми кімнати

Наприклад:

1. Показник концентрації рівня CO₂, характеризує накопичення вірусів у повітрі, що особливо важливо на сьогодні в період пандемії коронавірусної інфекції
2. Зміна температури в кімнатах гуртожитку, покаже, де є не санкціоноване використання обігрівачів та інших пристроїв, які можуть привести до пожежа небезпечної ситуації.

Щоб забезпечити своє здоров'я від впливу негативних чинників, можна увімкнути сповіщення про зміну або перевищення тих чи інших показників (рис. 5).

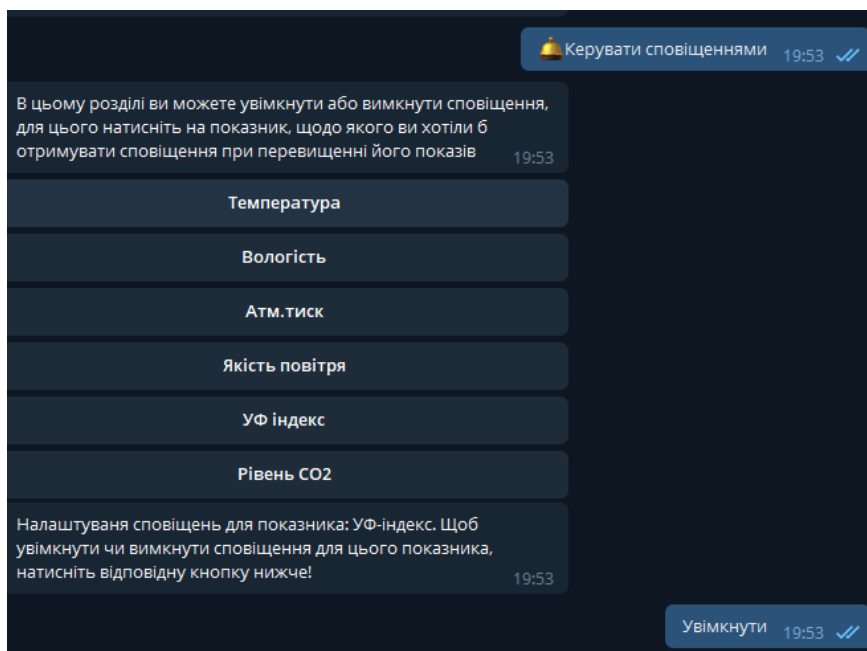


Рис. 5. Увімкнення сповіщень про зміну показників

Висновки:

1. Концепцію розробки інформаційної моделі моніторингу екосистеми розглянуто на прикладі розумного гуртожитку, де одним із компонентів системи є технологія інтернет речей.

2. На основі аналізу характеристик мікроконтролерів та датчиків була реалізована логіка роботи модулів моніторингу з різними типами датчиків, протоколами зв'язку та побудована система моніторингу з інтерфейсом взаємодії з користувачем через чат-бот. Було обрано модуль бездротового зв'язку, який встановлений у пристрої системи моніторингу та обрано два типи датчиків для отримання показників екосистеми. Це дало можливість отримувати та аналізувати інформацію екосистеми кімнати в реальному часі та на відстані.

3. Розроблені структурні елементи системи та програмний код на прикладі плати для датчика, дозволили ефективно ідентифікувати проблему у разі відхилень від стандарту та полегшити передбачення можливих аварій та їх усунень.

4. Платформою для розробки інтерфейсу. взаємодії з користувачем була обрано TelegramBot. Система моніторингу з інтерфейсом взаємодії з користувачем через бот, буде відслідковувати різні показники екосистеми в кімнатах гуртожитку і в цілому та надсилатиме сповіщення про їх перевищення, або вихід із норми.

5. Модель моніторингу екосистеми була апробована на даних, які були отримані в гуртожитку № 7 Київського національного університету технологій та дизайну у травні 2021 році. Хостинг для роботи даного середовища було розгорнуто на Amazon Web Services (AWS) EC.

References

1. Keoh, C., Kumar, S., Tschofenig, H. (2014). Securing the internet of things: A standardization perspective. *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 1, No. 3, P. 265–275.
2. Lenarduzzi, V., Taibi, D. (2016). MVP Explained: A Systematic Mapping Study on the Definitions of Minimal Viable Product. *2016 42th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA)*. P. 112–119. doi:10.1109/SEAA.2016.56.
3. Radoff, J. (2010). Minimum Viable Product rant. *Jon Radoff's Internet Wonderland*. May 4, 2010. Archived from the original on March 23, 2014. Retrieved 19 August 2014. URL: <https://web.archive.org/web/20140323181121/http://radoff.com/blog/2010/05/04/minimum-viable-product-rant/>
4. Astistova, T. I., Kochuk, D. M. (2021). Rozrobka kontseptsii informatsiynoy systemy "Smart city" [Development of the concept of the information system "Smart city"]. *Informatsiiny tekhnologii v nautsi, vyrobnitstvi ta pidpriemnitstbi. Zbirnyk naukovykh prats molodykh vchenykh, aspirantiv, maqistrov kafedry kompiuternykh nauk*. Kyiv: Osvita Ukrainy. P. 217–220 [in Ukrainian].
5. Middleton, P., Kjeldsen, P., Tully, J. (2013). Forecast: The Internet of Things, Worldwide. *Gartner*, P. 98–110.
6. Astistova, T. I., Kochuk, D. M. (2021). Software development for technology "Internet of things". *Materialy V Mizhnarodna nauково-praktychnoi konferentsii "Mekhatronni systemy innovatsii ta inzhinerinh – "MSIE-*

Література

1. Keo C., Kumar S., Tschofenig H. Securing the internet of things: A standardization perspective. *IEEE Internet of Things Journal*. 2014. Vol. 1, No. 3. P. 265–275.
2. Lenarduzzi V., Taibi D. MVP Explained: A Systematic Mapping Study on the Definitions of Minimal Viable Product. *2016 42th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SE*
3. Radoff J. Minimum Viable Product rant. *Jon Radoff's Internet Wonderland*. May 4, 2010. Archived from the original on March 23, 2014. Retrieved 19 August 2014. URL: <https://web.archive.org/web/20140323181121/http://radoff.com/blog/2010/05/04/minimum-viable-product-rant/>
4. Астістова Т. І., Кочук Д. М. Розробка концепції інформаційної системи "Smart city". *Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві: Збірник наукових праць молодих вчених, аспірантів, магістрів кафедри комп'ютерних наук*. Київ: Освіта України, 2021. С. 217–220.
5. Middleton P., Kjeldsen P., Tully J. Forecast: The Internet of Things, Worldwide. *Gartner*. 2013. С. 98–110.
6. Astistova T. I., Kochuk D. M. Software development for technology "Internet of things". *Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції "Мехатронні системи: інновації та інжиніринг – "MSIE-*

2021". Kyiv National University of Technologies and Design. P. 57–58.

7. Boiko, V. I., Hurzhii, A. M., Zhuikov, V. I. (2014). Mikroprotsesory i mikrokontrolery: pidruchnik [Microprocessors and microcontrollers: Textbook]. Kyiv: Vyshchashk. 115 p. [in Ukrainian].

8. Sokol, Ye. I., Domin, I. F. (2007). Spetsializovani mikrokontrolerny system. Teoriia i praktyka [Specialized microcontroller systems. Theory and practice]. Kharkiv: NTV "KHPI". 252 p. [in Ukrainian].

9. Amazon Web Services. 2021. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Amazon_Web_Services.

10. Testuvannia prohramnoho zabezpechennia iake bykorystovuetsia dlia monitoringu yekosystemy [Testing of software used to monitor the ecosystem]. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Тестування_програмного_забезпечення [in Ukrainian].

2021" (м. Київ, 4 листопада 2021). Київ: Київський національний університет технологій та дизайну, 2021. С. 57–58.

7. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуиков В. Я. Мікрпроцесори та мікроконтролери: підручник. Київ: Вищашк., 2014. 115 с.

8. Сокол Є. І., Домнін І. Ф. Спеціалізовані мікроконтролерні системи. Теорія і практика. Харків: НТУ "ХПІ", 2007. 252 с.

9. Amazon Web Services. 2021. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Amazon_Web_Services.

10. Тестування програмного забезпечення, яке використовується для моніторингу екосистеми. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Тестування_програмного_забезпечення.

ASTISTOVA TETIANA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Department of Computer Science,
Kyiv National University of
Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8452-4797>
E-mail: astistova@ukr.net

АСТИСТОВА Т. И.

Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ МОНИТОРИНГА ЭКОСИСТЕМЫ

Цель. Разработка информационной модели мониторинга данных экосистемы, полученных с объектов для идентификации отклонений от стандарта, в реальном времени, расстоянии и принятия решений по их устранению.

Методика. В основу идеи разработки системы был положен *Minimum viable product* - продукт с минимальным функционалом. и минимальными затратами ресурсов. Концепция разработки системы рассматривается на примере разумного общежития, где одним из компонентов системы является технология интернет вещей, в которой разные устройства подключаются к Интернету и взаимодействуют друг с другом. Датчики посылают данные в компьютерную программу, которая будет собирать и анализировать их. Это позволит эффективно идентифицировать проблему в случае отклонений от стандарта при работе устройств и облегчит предсказание возможных аварий, неисправностей и их устранение.

Результаты. На основе анализа характеристик микроконтроллеров и датчиков был выбран модуль беспроводной связи, установленный в устройстве системы мониторинга, выбраны типы датчиков для сбора и дальнейшего анализа показателей экосистемы.. Для реализации задачи выбран открытый язык программирования Processing и средства разработки, которые удовлетворяли бы все требования и имели необходимый функционал. В качестве интерфейса для экосистемы был выбран TelegramBot. Для соединения аппаратных устройств, API и Интернет-служб был выбран NodeRED в качестве инструмента программирования . Для написания бота был использован пакет RedBot для NodeRED. Разработаны структурные элементы подсистемы и код на примере платы для датчика.

Научная новизна. Предлагается оригинальное решение для разработки информационной модели показателей экосистемы в помещениях на основе элементной базы выбранного модуля мониторинга, протоколов связи и интерфейса взаимодействия с пользователем через чат-бот.

Практическая значимость. Система была протестирована на основе данных, полученных в общежитии Киевского национального университета технологий и дизайна в мае 2021 года. Хостинг для работы данной среды был развернут на Amazon Web Services (AWS) EC2.

Результаты тестирования показали работоспособность системы, возможность получать и анализировать информацию в реальном времени и оперативно реагировать на опасные ситуации. Все это позволит улучшить жизнь студентов в общежитии и обеспечить свое здоровье от влияния негативных факторов.

Ключевые слова: микропроцессор; программное обеспечение; MVP; датчики; умный дом; IoT; Processing; TelegramBot; NodeRED; Wi-Fi; RedBot.

ASTISTOVA T. I.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION MODEL FOR ECOSYSTEM MONITORING

Goal. Development of an information model for monitoring ecosystem data obtained from facilities to identify deviations from the standard, in real time, at a distance and make decisions to eliminate them

Methodology. The development of the system was based on the Minimum viable product with minimal functionality, and the minimum cost of resources. The concept of system development is considered on the example of a reasonable dormitory, where one of the components of the system is the Internet of Things technology, in which different device connect to the Internet and interact with each other. The sensors allow the device to send data to a computer program that will collect and analyze it. This will allow you to effectively identify the problem in the event of deviations from the standard during the operation of s and will facilitate the prediction of possible accidents, malfunctions and their elimination.

Results. Based on the analysis of the characteristics of microcontrollers and sensors, a wireless communication module installed in the device of the monitoring system was selected, and types of sensors were selected for collecting and further analysis of ecosystem indicators The structural elements of the subsystem and the code for the example of the board for the sensor have been developed. To implement the task, the open programming language Processing and development tools were chosen that would satisfy all the requirements and have the necessary functionality. TelegramBot was chosen as the interface for the ecosystem's automated storage database concepts. To connect hardware devices, APIs and Internet services, Node-RED was chosen as the programming tool. To write the bot, the RedBot package for NodeRED was used.

Scientific novelty. An original solution is proposed for the development of an information model of ecosystem indicators in premises based on the element base of the selected monitoring module, communication protocols and an interface for interacting with the user through a chat bot.

Practical significance. The system was tested on data obtained in the hostel KNUTD in may 2021. This environment is hosted on Amazon Web Services (AWS) EC2

The test results showed the system's operability, the ability to receive and analyze information in real time and quickly respond to dangerous situations. All this will improve the life of students in the hostel and ensure themselves and their health from the influence of negative factors.

Keywords: microprocessor; software; MVP; sensors; smart home; IoT; Processing; TelegramBot; Node-RED; Wi-Fi; RedBot.

УДК 621:542.3

БУРМІСТЕНКОВ О. П., БІЛА Т. Я., СТАЦЕНКО В. В.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

АЛГОРИТМ ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ЗМІШУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ ДЛЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета. Створення алгоритму проектування змішувальних комплексів безперервної дії, що дозволить визначати параметри обладнання, виходячи з вимог до якості, продуктивності та заданої рецептури суміші.

Методика. У роботі використано метод дискретних елементів, класичні положення механіки, теорії контактної взаємодії твердих тіл, метод математичного моделювання.

Результати. У роботі запропоновано узагальнений алгоритм проектування змішувального комплексу безперервної дії для сипких матеріалів. Представлено порядок проектування відцентрового змішувача, формувачів потоків, тарілчастих живильників та конічно-циліндричних бункерів. Розрахунки конструктивних та технологічних параметрів здійснюються на основі інформації про фізико-механічні властивості частинок сипких компонентів, вимог до продуктивності обладнання та однорідності суміші. Представлено результати розрахунків змішувального комплексу для трикомпонентної суміші, що використовується для виготовлення поліетиленової плівки. Для перевірки запропонованого алгоритму створено математичну модель на основі метода дискретних елементів. Проведено моделювання процесу змішування та визначено коефіцієнти неоднорідності кожного з компонентів у готовій суміші. Отримані результати підтвердили, що запропонований алгоритм дозволяє визначити параметри змішувального комплексу, які забезпечують відповідність заданим вимогам до якості та продуктивності обладнання.

Наукова новизна. У роботі удосконалено математичні моделі динаміки руху сипких матеріалів у змішувальних комплексах, що включають бункерні пристрої, тарілчасті живильники, формувачі потоків та відцентровий змішувач безперервної дії, з врахуванням дискретного характеру руху сипкого матеріалу.

Практична значимість. Отримані результати дозволяють за заданими значеннями продуктивності, рецептури та вимогами до однорідності суміші розрахувати конструктивні та технологічні параметри обладнання, що входить до складу змішувального комплексу безперервної дії.

Ключові слова: алгоритм; проектування; живильник; бункер; змішувач; сипкий матеріал; процес змішування; змішувальний комплекс.

Вступ. У різних галузях промисловості широко використовуються сипкі матеріали для виготовлення композицій у виробництві продукції різноманітного призначення: від деталей взуття до деталей машинобудування. Основними вимогами при виготовленні таких композицій є забезпечення високої продуктивності обладнання, заданого відсоткового складу та однорідності суміші [1, 3].

Перспективним з точки зору виконання поставлених завдань є використання автоматизованих змішувальних комплексів безперервної дії (АЗКБД). Вони забезпечують високу продуктивність, кращі масогабаритні та енергетичні показники порівняно з обладнанням періодичної дії. До складу таких комплексів входять бункери, живильники, формувачі потоків та змішувач. Одним з основних обмежень, що ускладнює використання обладнання безперервної дії, є підвищені вимоги до параметрів руху потоків частинок, що надходять у змішувач. Це обумовлено появою пульсацій і розривів у безперервних потоках частинок та призводить до зниження якості суміші внаслідок зміни відсоткового складу в локальних об'ємах суміші. Високі вимоги до якості кінцевих продуктів та, відповідно, до сипких композицій зумовлюють актуальність задач проектування змішувальних комплексів (ЗК) з заданими конструктивними та технологічними параметрами.

Постановка завдання. Завданням дослідження є обґрунтування вимог до конструктивних та технологічних параметрів елементів змішувального комплексу, фізико-механічних властивостей сипкого середовища та на цій основі розроблення алгоритму проектування АЗКБД, що забезпечує приготування сумішей заданої якості.

Результати та їх обговорення. Автоматизовані змішувальні комплекси безперервної дії, до складу яких входять бункери, живильники, формувачі та змішувачі, є найбільш поширеними в промисловості. Зберігання та переміщення сипкого матеріалу в обладнанні цього типу забезпечується технологічними лініями, що складаються з бункерів, живильників та формувачів потоків [5, 11]. Кількість таких ліній дорівнює кількості компонентів суміші. Потoki всіх компонентів надходять у змішувач, який забезпечує їх перемішування. В якості приклада розглянемо відому [3, 7] рецептуру суміші для виготовлення поліетиленової плівки товщиною 6-10 мкм. До її складу входять три компоненти з наступними фізико-механічними характеристиками (табл. 1).

Таблиця 1

Рецептура та властивості компонентів суміші для виготовлення поліетиленової плівки

Назва компоненту	Вміст компоненту у суміші, %	Густина, кг/м ³	Розміри гранул, мм	Кут природнього укусу, град	Коефіцієнт тертя ковзання
Поліетилен низького тиску TIPELIN FS 471-02	95	941	3–5	29	0,2
Поліетилен високого тиску LLDPE Sabic 118N	4	918	3–5	29	0,2
Добавка EFPE 1001	1	1150	3	35	0,3

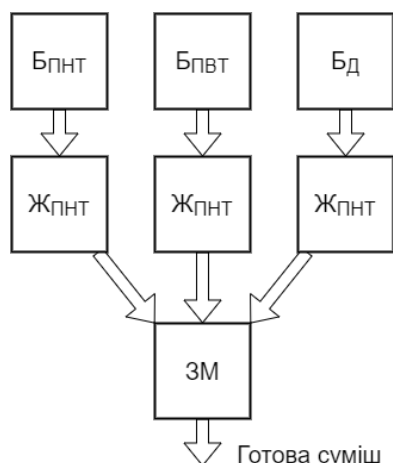


Рис. 1. Структурна схема змішувального комплексу для приготування поліетиленової плівки

З табл. 1 видно, що фізико-механічні властивості частинок достатньо близькі, але відсотковий вміст компонентів суміші відрізняється у 95 разів. Таким чином, для створення універсальних АЗКБД, які можна використовувати для приготування сумішей за різними рецептурами, необхідно забезпечити можливість керування продуктивністю живильників у максимально широкому діапазоні. Також важливо мінімізувати величину пульсацій потоків сипких компонентів у всьому діапазоні керування. Структурна схема ЗК для виготовлення трикомпонентної суміші зображена на рис.1. На схемі використані наступні аббревіатури: ПВТ – поліетилен високого тиску, ПНТ – поліетилен низького тиску, Д – добавка. Літерами Б позначені бункери, Ж – живильники, ЗМ – змішувач. Подвійними стрілками показаний напрямок руху сипких компонентів.

Запропонований у роботі алгоритм проектування АЗКБД наведено на рис. 2.

Перший етап розрахунку комплексу передбачає вибір наближених початкових конструктивних та технологічних параметрів відцентрового змішувача. На їх основі обчислюються траєкторії руху та час перебування частинок у змішувачі. Ці параметри є базовими для визначення продуктивності обладнання.



Рис. 2. Схема алгоритму проектування АЗКБД

Наступний етап дозволяє розрахувати розташування формувачів потоків частинок відносно змішувача. Керування переміщенням сипких компонентів від бункерів до змішувачів у ЗК такого типу доцільно здійснювати за допомогою живильників тарілчастого типу. Їх розрахунок передбачає визначення положення ножа, швидкості обертання та розмірів тарелі, відстані від поверхні тарелі до вихідного патрубку бункера, які забезпечують необхідну інтенсивність руху потоку сипкого матеріалу [10].

Наступним етапом алгоритму є визначення параметрів бункерів. Оскільки робочий орган тарілчастого живильника обертається навколо центральної вісі, оптимальним в цьому випадку є використання бункерів конічно-циліндричної форми. Розташування бункерів має забезпечувати збіг їх осей з відповідними осями обертання тарелей живильників для формування конусу сипкого матеріалу точно в центрі тарелі та його рівномірне переміщення у процесі роботи.

Розраховані значення дозволяють визначити інші параметри комплексу та здійснити перевірку їх відповідності заданим вимогам. У випадку невідповідності розрахованих значень заданим, змінюються початкові умови та процес розрахунку повторюється. Параметри, що є вхідними при проектуванні ЗК наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Перелік параметрів, що визначають вимоги до проектування змішувального комплексу

№ п/п	Назва	Позначення
Технологічні параметри		
1	Масова продуктивність	Q , кг/с
2	Однорідність суміші	V_c , %
3	Відсотковий склад (концентрація ключового компонента)	C_{kk} , %
4	Час роботи без додаткового завантаження	T_p , с
Параметри сипкого матеріалу		
5	Радіус частинки	r , м
6	Насипна густина	ρ , кг/м ³
7	Кут природнього укосу	φ , рад
8	Коефіцієнти тертя між частинками сипкого матеріалу та між частинками та матеріалом робочих органів	$f_{tp1} \dots f_{tpn}$
9	Максимально припустима сила впливу на матеріал	F_m , Н
Масогабаритні та енергетичні параметри		
10	Максимально припустима потужність	P , Вт
11	Максимально припустимі розміри комплексу	$L \times W \times H$, м
12	Максимально припустима маса	m_k , кг

Відповідно до принципу роботи відцентрового змішувача безперервної дії забезпечити високу однорідність суміші можна у випадку, коли частинки рухаються у розріджених шарах. Для цього достатньо, щоб запас матеріалу у змішувачі міг бути розташований на дні ротора в один шар. Час перебування частинок у змішувачі, запас матеріалу та його продуктивність є взаємозв'язаними параметрами, що визначають кількість частинок, які одночасно можуть знаходитись всередині змішувача. Прийmemo, що задана продуктивність АЗКБД становить $Q = 0,066$ кг/с (238 кг/год) та задамо початкове наближення часу перебування частинок всередині ротора $t_3 = 0,3$ с. Також прийmemo, що середній радіус частинок дорівнює 2 мм [7]. Це дозволить визначити маси частинок кожного з компонентів.

$$m_{\text{ч}} = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{\text{ч}}, \quad (1)$$

де $m_{\text{ч}}$ – маса частинки, $\rho_{\text{ч}}$ – густина частинки.

Для нашого прикладу маса частинки ПНТ $m_{\text{ПНТ}} = 0,0317$ г; ПВТ $m_{\text{ПВТ}} = 0,0308$ г; добавки $m_{\text{Д}} = 0,016$ г.

Розрахуємо середню кількість частинок, що можуть одночасно знаходитись всередині змішувача з урахуванням відсоткового складу суміші [8]:

$$n = \frac{Q}{0,95m_{\text{ПНТ}} + 0,04m_{\text{ПВТ}} + 0,01m_{\text{Д}}} t_3 = 630,2. \quad (2)$$

Мінімальна площа основи ротора, яка дозволяє розташувати n сферичних частинок радіусом r , визначається за формулою [3]:

$$S_p \geq \frac{n \cdot \pi \cdot r^2}{0,74048}. \quad (3)$$

За співвідношенням (3) розраховуємо мінімальну площу дна ротора, що дозволяє розташувати n частинок в один шар $S_p = 0,0107$ м². Тоді мінімальний радіус основи ротора дорівнюватиме $R_0 = 0,058$ м.

Прийmemo наступні початкові наближення для швидкості обертання та геометричних розмірів ротора: швидкість обертання $\omega = 125$ рад/с, кут нахилу бічної стінки $\alpha = 35^\circ$; висота ротора $H = 0,18$ м. Розрахунки траєкторій частинок за співвідношеннями, запропонованими у роботі [9], свідчать, що обрана швидкість обертання ротора є достатньою для виходу частинок з нього за рахунок відцентрових сил. Час виходу частинки з ротора становить 0,203 с (у найгіршому випадку, за якого частинка має пройти максимально довгу траєкторію по дну ротора). Отримані результати підтверджують, що обрані параметри змішувача дозволяють забезпечити задану продуктивність та необхідну форму траєкторій частинок.

Наступним етапом розрахунку за запропонованим алгоритмом є визначення розмірів та положення формувачів потоків. Схема розташування двох формувачів відносно змішувача показана на рис.3. При потраплянні на дно ротора центри потоків мають координати $(x_2^I; 0)$ та $(x_1^I; 0)$. Найкраща однорідність забезпечується у випадку, коли центри потоків частинок збігаються, тобто різниця між їх координатами є мінімальною:

$$|x_2^I - x_1^I| = 0. \quad (4)$$

Ця умова може виконуватись у будь-якій точці дна ротора. Враховуючи, що формувачі потоків зручно розташовувати на однаковій висоті, і форма траєкторій частинок різних компонентів під час падіння у ротор буде приблизно однаковою, доцільно забезпечити потрапляння частинок в центр ротора, тобто $x_2^I = 0$ та $x_1^I = 0$.

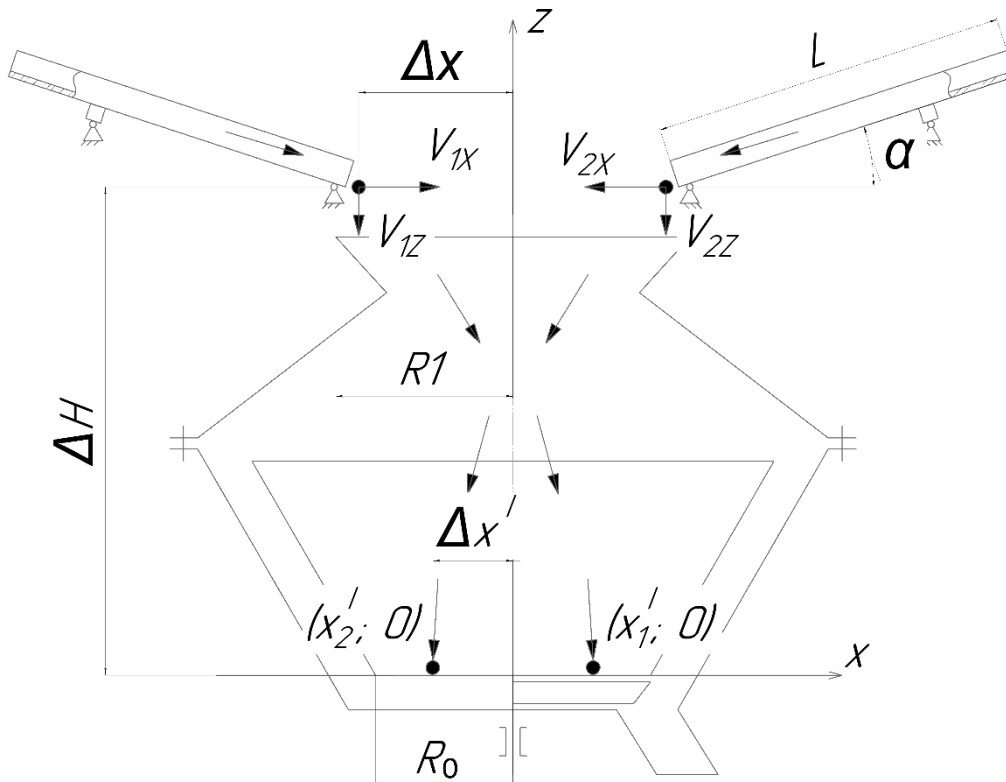


Рис. 3. Схема розташування відцентрового змішувача та формувачів потоків

Наступна система рівнянь дозволяє визначити координати частинок в момент падіння на дно ротора:

$$\begin{cases} a_f = \sqrt{(g \cos \alpha (\sin \alpha - k \cos \alpha))^2 + (g (\cos^2 \alpha + k \cos \alpha \sin \alpha - 1))^2} \\ t_f = \sqrt{\frac{2L}{a_f}} \\ V_x = g \cos \alpha (\sin \alpha - k \cos \alpha) \cdot t_f \\ V_z = g (\cos^2 \alpha + k \cos \alpha \sin \alpha - 1) \cdot t_f \\ \frac{gt^2}{2} - V_z t - \Delta H = 0 \\ x = -\Delta x + V_x t \end{cases} \quad (5)$$

Мінімізація значення x дозволяє визначити оптимальні параметри розташування змішувача та формувачів. Принципи роботи змішувального комплексу та властивості сипких матеріалів дозволяють встановити наступні обмеження:

1) ΔH – діапазон відстаней від нижньої кромки формувача до дна ротора. Мінімальне значення обмежене розмірами ротора та змішувача. Максимальне значення цієї відстані жорстко не обмежене. Але доцільно зменшити цю відстань, оскільки падіння частинки з великої відстані збільшує її кінетичну енергію, що впливає на її траєкторію всередині ротора. Задаємо $\Delta H \in [0,38; 0,45]$.

2) Довжину поверхні формувача задамо у межах $L \in [0,12; 1]$. Розташувати три живильники для даного комплексу можна практично на будь-якій відстані від вхідного патрубку змішувача. Але довжина формувача менше 0,1 м значно ускладнить встановлення датчика маси, а довжина більше 1 м – призведе до суттєвого збільшення кінетичної енергії частинок.

3) Відстань від вісі обертання ротора до поверхні формувача обмежена радіусами вхідної воронки та вхідного патрубку змішувача. Обираємо $\Delta x \in [0,05; 0,1]$.

4) Максимальне значення кута нахилу поверхні формувача повинно дозволяти встановити датчик маси, мінімальне – має бути більшим за кут природнього укосу матеріалу. Обираємо $\alpha \in [35^\circ; 45^\circ]$.

Розв'язок оптимізаційної задачі для всіх трьох компонентів представлено у табл. 3.

Таблиця 3

Параметри формувачів потоків компонентів суміші

Назва параметру	ПНТ	ПВТ	Добавка EFPE 1001
Довжина поверхні формувача, м	0,12	0,12	0,12
Відстань від вісі обертання до формувача, м	0,1	0,1	0,1
Кут нахилу формувача, град	45	45	45
Відстань від дна ротора до формувача, м	0,38	0,38	0,38

Визначення конструктивних та технологічних параметрів живильників має здійснюватись з урахуванням всієї системи «бункер – тарілчастий живильник» (рис. 4). Рух матеріалу забезпечується за рахунок знімання ножом частини матеріалу з тарелі. Тим самим змінюється форма конусу матеріалу, що знаходиться на її поверхні (рис. 4). Сипкий матеріал рухається під дією сил тяжіння та заповнює об'єм, що був знятий ножом [4, 6]. Таким чином, частинки постійно надходять з бункера.

Об'ємну продуктивність живильника можна визначити за наступною формулою на основі значень його конструктивних параметрів:

$$Q_v = \frac{\omega\pi}{3}(L + R_B \operatorname{tg} \varphi - R_H \operatorname{tg} \varphi) \left[\left(\frac{L}{\operatorname{tg} \varphi} + R_B \right)^2 + \left(\frac{L}{\operatorname{tg} \varphi} + R_B \right) R_H + R_H^2 \right] - \pi R_H^2 (L + R_B \operatorname{tg} \varphi - R_H \operatorname{tg} \varphi) \quad (6)$$

При проектуванні нового обладнання потрібно визначити співвідношення технологічних та конструктивних параметрів, що дозволять отримати заданий діапазон зміни продуктивності та забезпечать коректну роботу системи. Мінімальне значення продуктивності завжди дорівнює нулю (у випадку тарілчастого живильника вона відповідає режиму роботи,

за якого ніж не торкається конуса матеріалу $R_H > R_M$). Таким чином, задача зводиться до визначення параметрів, які забезпечать задане максимальне значення продуктивності.

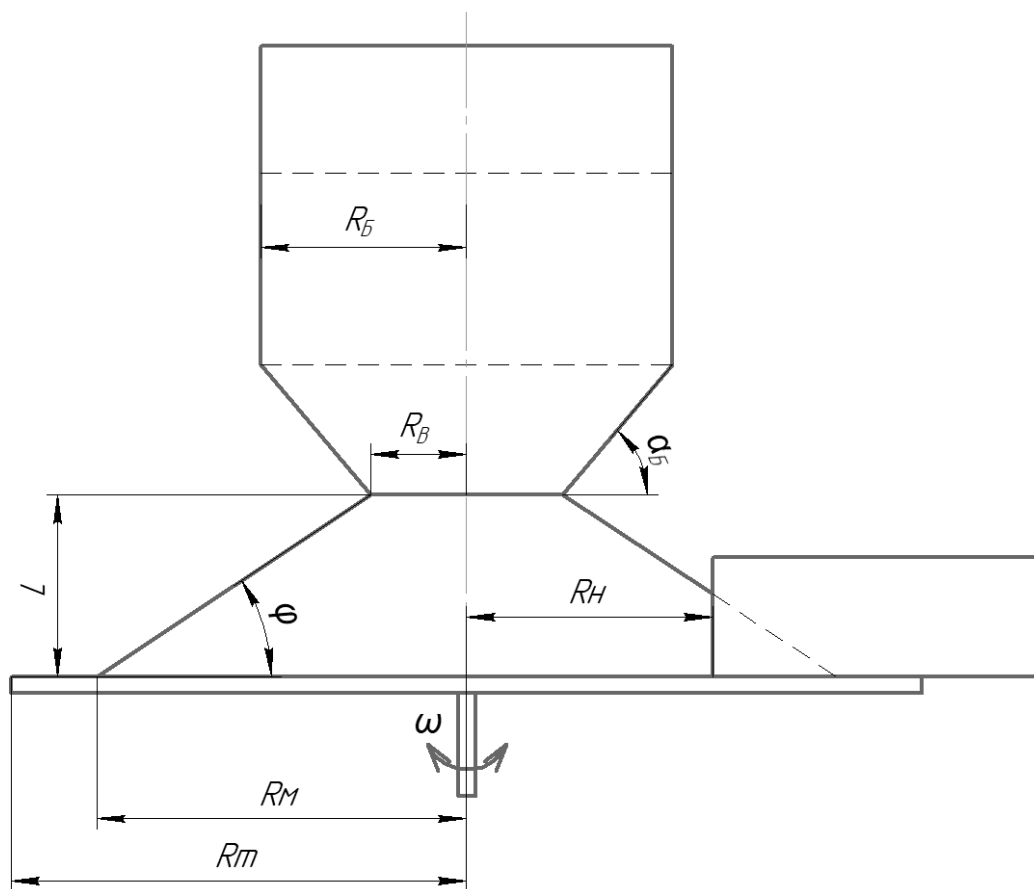


Рис. 4. Схема системи «бункер – тарілчастий живильник»

Для рецептури суміші, яка розглядається у роботі, найбільше співвідношення продуктивностей живильників становить 95:1 (ПНТ та добавка EFPE 1001). Забезпечення цієї різниці за рахунок геометричних розмірів обладнання з практичної точки зору є недоцільним, оскільки це ускладнить використання комплексу для приготування сумішей з іншими рецептурами. Виходячи з цих міркувань, необхідно різницю у продуктивності компенсувати за рахунок зміни положення ножа та швидкості обертання тарелі, а розміри бункерів та живильників обрати однаковими. Таким чином, спочатку доцільно розв'язати оптимізаційну задачу для живильника з максимальною продуктивністю (живильник ПНТ). А при розв'язку оптимізаційних задач для живильників інших компонентів встановити обмеження на геометричні параметри таким чином, щоб вони дорівнювали розмірам живильника ПНТ.

Обмеження для живильника ПНТ:

1) Відстань від вихідного патрубка бункера до поверхні тарелі $L \in [0,15; 0,2]$. Величина цієї відстані має бути достатньою для того, щоб сипкий матеріал міг утворити конус на поверхні тарелі та вільно висипатись з бункера.

2) Діапазон можливих швидкостей обертання тарелі обмежений параметрами приводу тарелі $\omega \in [0,1; 100]$.

Радіус вихідного патрубка бункера повинен максимально знижувати вірогідність появи склепін [6]. Він обирається виходячи з розмірів частинок. В даному випадку доцільно обрати $R_B = 0,01$ м.

Результати розрахунків параметрів тарілчастих живильників наведені у табл. 4.

Таблиця 4

Параметри тарілчастих живильників

Назва параметра	ПНТ	ПВТ	Добавка EFPE 1001
Швидкість обертання тарелі, с^{-1}	1,5	0,35	0,1
Відстань від кромки ножа до вісі обертання тарелі, м	0,257	0,279	0,287
Відстань від тарелі до патрубку бункера, м	0,2	0,2	0,2

Результати, що отримані на попередніх етапах розрахунку, дозволяють перейти до визначення розмірів конічно-циліндричних бункерів. Їх схема показана на рис. 5.

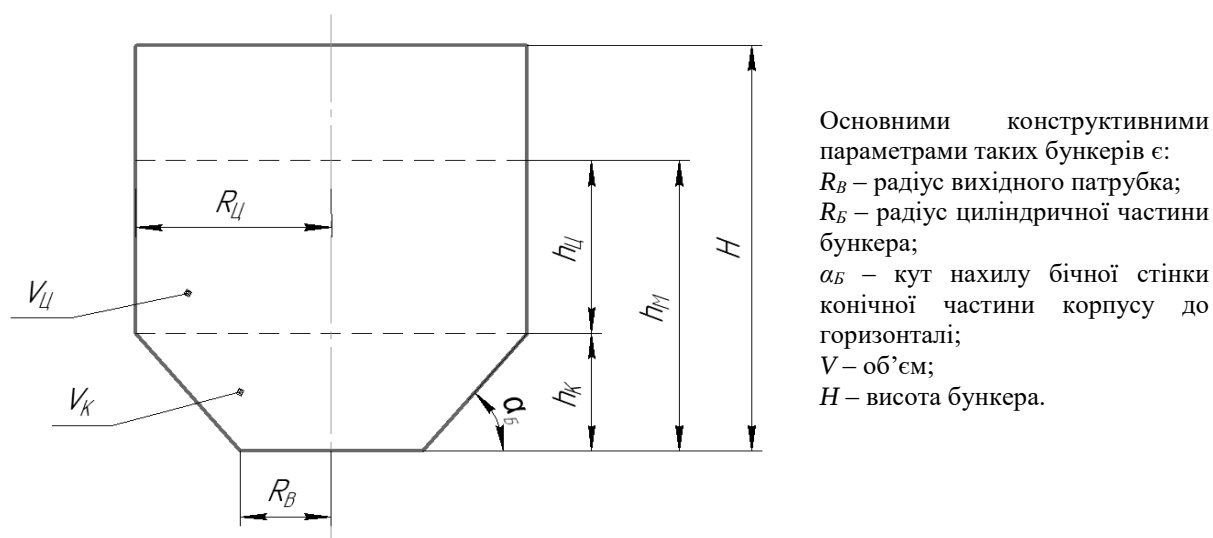


Рис. 5. Схема конічно-циліндричного бункера

Конструктивні параметри бункера мають:

забезпечувати можливість зберігання заданого об'єму сипкого матеріалу V_M ;

- зменшувати ймовірність утворення склепінь у зоні вихідного патрубка;
- створювати умови для повного витікання сипкого матеріалу за рахунок сил тяжіння без використання додаткових механічних пристроїв.

Висоту рівня матеріалу в бункері можна визначити через його конструктивні параметри та об'єм за формулою:

$$h_M = \frac{1}{\pi R_B^2} \left[V_M - \frac{1}{3} \operatorname{tg} \alpha_B (R_B - R_b) (R_B^2 + R_B R_b + R_b^2) \right] + \operatorname{tg} \alpha_B (R_B - R_b). \quad (7)$$

Оскільки з практичних міркувань доцільно створювати бункери однакових геометричних розмірів для всіх компонентів суміші, необхідно при визначенні їх параметрів виходити з необхідного об'єму компоненту з найбільшим відсотковим складом (в даному випадку ПНТ). Цей об'єм визначається запасом матеріалу, який має зберігатись під час роботи комплексу.

Вважатимемо, що заданий об'єм дорівнює $V = 0,1 \text{ м}^3$. Введемо обмеження на можливі діапазони зміни параметрів бункерів:

1) Кут нахилу бічної стінки $\alpha_B \in [45^\circ; 60^\circ]$. Максимальне значення має бути меншим за кут, за якого матеріал починає рухатись гідравлічно [1]. Мінімальне – має перевищувати кут природнього укосу матеріалу.

2) Діапазон зміни радіусу циліндричної частини бункера визначається загальними габаритами обладнання. Прийmemo $R_B \in [0,04; 0,09]$.

В результаті розв'язку оптимізаційної задачі отримуємо наступні параметри бункерів: $R_B = 0,01$ м, $\alpha_6 = 45^\circ$, $R_6 = 0,09$ м.

Перевірку визначених конструктивних, технологічних параметрів та оцінку якості суміші виконано за допомогою математичної моделі АЗКБД (рис. 6) методом дискретних елементів [2] у системі EDEM 2017. До складу моделі входять живильники та бункери для всіх трьох компонентів суміші, формувачі потоків та відцентровий змішувач з турбулізатором та конічним ротором. Конструктивні та технологічні параметри обладнання, фізико-механічні властивості частинок були задані відповідно до розрахованих значень. З метою зменшення тривалості моделювання у бункери завантажувалась мінімальна кількість частинок, яка дозволяла забезпечити коректну роботу обладнання, а саме: ПВТ – 4000; ПНТ – 10000; добавка EFPE 1001 – 7000 частинок. Тривалість моделювання складала 15 сек. Після виходу із змішувача частинки збирались у циліндричну ємність, яка була розділена на 16 зон (рис. 7), що мали форму прямокутних паралелепіпедів. Границі зон показані тонкими лініями.



Рис. 6. Модель АЗКБД виготовлення суміші для поліетиленової плівки

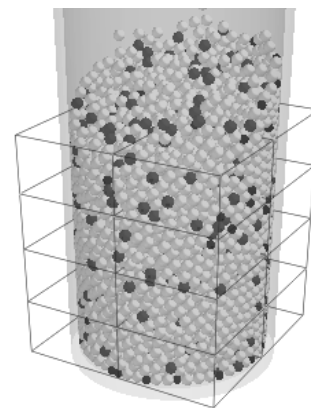


Рис. 7. Розділення ємності з готовою сумішшю на зони для визначення однорідності

У кожній з зон розраховувалась кількість частинок кожного з компонентів суміші. На основі цих значень визначався коефіцієнт неоднорідності на формулою:

$$V_c = \frac{1}{c} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}. \quad (8)$$

В результаті отримані наступні значення:

- 1) для ПНТ $V_c = 0,028$;
- 2) для ПВТ $V_c = 0,307$;
- 3) для добавки EFPE 1001 $V_c = 0,735$.

Величини коефіцієнтів неоднорідності мають більші значення для компонентів, відсоткова кількість яких у складі суміші менша.

Висновки:

1) Запропонований алгоритм проектування змішувальних комплексів дозволив визначити конструктивні та технологічні параметри його складових елементів, що забезпечили задані продуктивність та якість суміші.

2) Проведені дослідження показали, що запропонований алгоритм можна використовувати для багатокомпонентних сумішей, в яких відсотковий склад окремих компонентів суттєво відрізняється.

References

1. Statsenko, V. V., Burmistenkov, O. P., Bila, T. Y. (2017). Avtomatyzovani kompleksi bezperervnoho pryhotuvannya kompozycji sypanykh materialiv: monohrafiya [Automated complexes for bulk material compositions continuous preparation]. Kyiv: Kyiv National University of Technologies and Design. 220 p. [in Ukrainian].
2. Statsenko, V., Burmistenkov, O., Bila, T., Demishonkova, S. (2021). Determining the Loose Medium Movement Parameters in a Centrifugal Continuous Mixer Using a Discrete Element Method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3(7 (111)), P. 59–67. doi:10.15587/1729-4061.2021.232636.
3. Burmistenkov, O. P., Starodub, O. A., Misiats, V. P., Bila, T. Y., Statsenko, V. V. (2011). Protsey ta obladnannia pidhotovchykh vyrobnytstv lëhkoï promyslovosti [Processes and equipment of light industry preparatory industries]. Kyiv: Kyiv National University of Technologies and Design. 137 p. [in Ukrainian].
4. Paula Macías Vera, Torben Brøchner, Jan S. Strøm, Hisamitsu Takai (2014). Report 12: Flow of salt particles on a spinning spreader disk. External Influences on Spray Patterns. *EPAS*.
5. Burmistenkov, O. P., Bila, T. Y., Statsenko, V. V. (2017) Osnovni napriamky avtomatyzatsii zmishuvalnykh kompleksiv bezperervnoi dii dlia sypanykh materialiv [The main directions of continuous mixing complexes automation for bulk materials]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky = Bulletin of*

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. Statsenko V., Burmistenkov O., Bila T., Demishonkova S. Determining the Loose Medium Movement Parameters in a Centrifugal Continuous Mixer Using a Discrete Element Method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 3(7 (111)). P. 59–67. doi:10.15587/1729-4061.2021.232636.
3. Бурмістенков О. П., Стародуб О. А., Місяць В. П., Біла Т. Я., Стаценко В. В. Процеси та обладнання підготовчих виробництв легкої промисловості. К.: КНУТД, 2011. 137 с.
4. Paula Macías Vera, Torben Brøchner, Jan S. Strøm, Hisamitsu Takai. Report 12: Flow of salt particles on a spinning spreader disk. External Influences on Spray Patterns. *EPAS*. 2014.
5. 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.

Khmelnytsky National University. Technical sciences, № 6, P. 28–31 [in Ukrainian].

6. Burmistenkov, O. P., Statsenko, V. V. (2019). Doslidzhennia roboty systemy keruvannia produktyvnosti tarilchastoho zhyvylnyka bezperervnoi dii [Research of control system work of a continuous action plate feeder productivity]. VIII Ukrainko-Polski naukovy dialogy = VIII Ukrainian-Polish scientific dialogues: materialy mizhnar. konf. (16–19 zhovtnia 2019). Khmelnytskyi; Kamianets-Podilskyi [in Ukrainian].

7. Havrylova, O. E., Nykityna, L. L., Kanaeva, N. S., Herkyna, O. Yu. (2015). Obzor sovremennykh polymernykh materyalov, pryeniaemykh v proyzvodstvakh lehkoy promyshlennosti [Review of modern polymeric materials used in light industry]. Vestnyk Kazanskoho tekhnolohycheskoho unyversytetu = Kazan Technological University Bulletin, P. 276–278 [in Russian].

8. Bila, T. Y., Statsenko, V. V. (2016). Vyznachennya optymalnykh parametriv vidcentrovogo zmishuvacha bezperervnoi diyi [Determination of optimal parameters of a continuous action centrifugal mixer]. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky = Bulletin of Khmelnytsky National University. Technical sciences, № 4, P. 25–27 [in Ukrainian].

9. Statsenko, V. V., Burmistenkov, O. P., Bila, T. Y. (2020). Vyznachennya rozpodilennya chastynek sypanykh materialiv pid chas peremishuvannya u rotorі vidcentrovogo zmishuvacha bezperervnoi diyi [Determination of particle size distribution of bulk materials during mixing in the rotor of a continuous action centrifugal mixer]. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky = Bulletin of Khmelnytsky National University. Technical sciences, № 1 (281), P. 238–244 [in Ukrainian].

10. Burmistenkov, O. P., Statsenko, V. V. (2019). Doslidzhennya efektyvnosti keruvannya robochymy parametramy tarilchastoho dozatora bezperervnoi diyi [Research of efficiency of working parameters management of the continuous action dispenser]. VII Ukrainko-Polski naukovy dialogy = VII Ukrainian-Polish scientific dialogues: materialy mizhnar. konf. (16–19 zhovtnia 2019). Membizh [in Ukrainian].

11. Burmistenkov, O. P., Bila, T. Y., Statsenko, V. V. (2020). Proektuvannya avtomatyzovanykh zmishuvalnykh kompleksiv bezperervnoi diyi dlya sypanykh materialiv [Design of continuous action automated mixing complexes for bulk materials]. VI Mizhnarodna nauково-tekhnichna konferenciya TK-2020 = VI International Scientific and Technical Conference TC-2020 (2–4 chervnya 2020). Luczk [in Ukrainian].

6. 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.

7. Гаврилова О. Е., Никитина Л. Л., Канаева Н. С., Геркина О. Ю. Обзор современных полимерных материалов, применяемых в производствах легкой промышленности. Вестник Казанского технологического университета. 2015. С. 276–278.

8. Біла Т. Я., Стаценко В. В. Визначення оптимальних параметрів відцентрового змішувача безперервної дії. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2016. № 4 (239). С. 25–27.

9. Стаценко В. В., Бурмістенков О. П., Біла Т. Я. Визначення розподілення частинок сипких матеріалів під час перемішування у роторі відцентрового змішувача безперервної дії. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2020. №1 (281). С. 238–244.

10. Бурмістенков О. П., Стаценко В. В. Дослідження ефективності керування робочими параметрами тарілчастого дозатора безперервної дії. VII Українсько-Польські наукові діалоги: матеріали міжнародної конференції (18–21 жовтня 2019 р.). Меджибіж, 2019.

11. Бурмістенков О. П., Біла Т. Я., Стаценко В. В. Проектування автоматизованих змішувальних комплексів безперервної дії для сипких матеріалів. VI Міжнародна науково-технічна конференція TK-2020 (2–4 червня 2020 р.). Луцьк, 2020.

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@knuutd.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@knuutd.edu.ua

BILA TETIANA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Department of Computer Engineering
and Electromechanics
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8937-5244>
Scopus Author ID: 57213345108
Researcher ID: T-5276-2018
E-mail: bila.ty@knuutd.edu.ua

БУРМИСТЕНКОВ А. П., БЕЛАЯ Т. Я., СТАЦЕНКО В. В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

**АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СМЕСИТЕЛЬНЫХ
КОМПЛЕКСОВ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ**

Цель. Создание алгоритма проектирования смесительных комплексов непрерывного действия, позволяющего определять параметры оборудования, исходя из требований к качеству, производительности и заданной рецептуры смеси.

Методика. В работе использован метод дискретных элементов, классические положения механики, теории контактного взаимодействия твердых тел, метод математического моделирования.

Результаты. В работе предложен обобщенный алгоритм проектирования смесительного комплекса непрерывного действия для сыпучих материалов. Представлен порядок проектирования центробежного смесителя, формирователей потоков, тарельчатых питателей и коническо-цилиндрических бункеров. Расчеты конструктивных и технологических параметров осуществляются на основе информации о физико-механических свойствах частиц сыпучих компонентов, требований к производительности оборудования и однородности смеси. Представлены результаты расчетов смесительного комплекса для трехкомпонентной смеси, используемой для изготовления полиэтиленовой пленки. Для проверки предложенного алгоритма создана математическая модель на основе метода дискретных элементов. Проведено моделирование процесса смешения и определены коэффициенты неоднородности каждого из компонентов в готовой смеси. Полученные результаты подтвердили, что предложенный алгоритм позволяет определить параметры смесительного комплекса, обеспечивающие соответствие заданным требованиям к качеству и производительности оборудования.

Научная новизна. В работе усовершенствованы математические модели динамики движения сыпучих материалов в смесительных комплексах, включающих бункерные устройства, тарельчатые питатели, формирователи потоков и центробежный смеситель непрерывного действия, с учетом дискретного характера движения сыпучего материала.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют по заданным значениям производительности, рецептуры и требованиям к однородности смеси рассчитать конструктивные и технологические параметры оборудования, входящего в состав смесительного комплекса непрерывного действия.

Ключевые слова: алгоритм; проектирование; питатель; бункер; смеситель; сыпучий материал; процесс смешивания; смесительный комплекс.

BURMISTENKOV O. P., BILA T. Y., STATSENKO V. V.
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
**ALGORITHM OF AUTOMATED CONTINUOUS MIXING
COMPLEXES DESIGN FOR BULK MATERIALS**

Purpose. Creation of design algorithm of continuous action mixing complexes that will allow defining parameters of the equipment proceeding from requirements to quality, productivity and the set compounding of mixture.

Methodology. The method of discrete elements, classical mechanics positions, theory of solids contact interaction, method of mathematical modeling are used in the work.

Findings. The paper proposes a generalized algorithm for designing a continuous mixing complex for bulk materials. The procedure for designing a centrifugal mixer, the flow shapers, plate feeders and conical-cylindrical hoppers are presented. Calculations of design and technological parameters are carried out on the basis of information about the physical and mechanical properties of bulk components particles, requirements for equipment performance and the mixture homogeneity. The results of calculations of the mixing complex for the three-component mixture used for the production of polyethylene film are presented. To test the proposed algorithm, a mathematical model based on the discrete elements method is created. The mixing process is modeled and the coefficients of inhomogeneity of each of the components in the finished mixture are determined. The obtained results confirmed that the proposed algorithm allows to determine the parameters of the mixing complex, which ensure compliance with the specified requirements for the quality and the equipment performance.

Originality. Mathematical models of bulk motion dynamics in mixing complexes are improved, which include bunker devices, plate feeders, flow shapers and continuous centrifugal mixer, taking into account the bulk motion discrete nature.

Practical value. The obtained results allow calculating the design and technological parameters of the equipment that is a part of the continuous mixing complex according to the set productivity, recipe and requirements to the mixture homogeneity.

Keywords: algorithm; design; feeder; hopper; mixer; bulk material; mixing process; mixing complex.

УДК 628.977.9
+621.316

ДЗІКЕВИЧ А. В., ОЛЕЙНИКОВА І. В.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

П'ЄЗОДАТЧИК ЯК ЕЛЕМЕНТ УПРАВЛІННЯ СВІТЛОМ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ДИЗАЙНУ ДИТЯЧОГО ПРИМІЩЕННЯ

Мета. Обґрунтування та створення автоматичного керування освітленням в інтерактивних кімнатах за допомогою п'єзоелектричних перетворювачів. Запровадження подібної технології дасть змогу значно знизити енерговитрати при функціонуванні подібних приміщень. Приєднання додаткових технологічних рішень, що базуються на використанні люмінофорних покриттів та ультрафіолетового освітлення дасть можливість створити повний комплекс інноваційних методів взаємодії дитини в соціальному просторі.

Методика. Поєднання п'єзодатчиків із такими дизайнерськими елементами, як жива плитка в якості пускового механізму створить потрібний зв'язок між фізичною активністю дитини та регуляцією світла. Сучасний рівень розвитку та повна безпечність таких матеріалів, як люмінофори в поєднанні з точковими спеціально розробленими джерелами світла нададуть можливість створити додаткове освітлення та поле для фантазії дитини. Через те, що основна увага при освітленні дитячих приміщень має бути спрямована на безпечне перебування дитини, застосування джерел світла під напівпрозорою підлогою дасть змогу вирішити питання безпеки з низьким рівнем енерговитрат.

Результат. Експериментальне дослідження методик довело доцільність використання запропонованих елементів для будь-якого інтерактивного дитячого приміщення. Низька собівартість, як обладнання, та енергоефективність усіх використаних технологій є значною перевагою даного проєкту над іншими розробками з великим застосуванням цифрових гаджетів. Можливість створення світла різного спектрального складу та колірної температури аналізується через використання кольорових світлофільтрів та особливих джерел світла.

Наукова новизна. Представлені в даній роботі технології та методики вперше будуть використовуватися для створення інтерактивної діяльності дитини. Окремо кожне технологічне рішення застосовувалося індивідуально. Даний проєкт комбінує окремі розробки для створення єдиного інтерактивного та світлового простору. Низький рівень споживання електроенергії досягається через використання спеціально розрахованих п'єзоелементів. Заміна стандартного стельового освітлення на нижнє (підлогове) дає змогу досягти потрібної освітленості за допомогою світильників меншої потужності.

Практична значимість. Останнім часом доведено, що диджиталізація має негативний вплив на емоційний стан дитини та єдиним рішенням її заміни є перемикання уваги дитини до інших більш фізично активних дій. Запропоновані в роботі рішення дадуть можливість залучити її в групових тренінгах. Водночас, електроспоживання для отримання подібних кімнат буде набагато нижче, ніж інших, нині існуючих. Простота устаткування та можливість варіації під час експлуатації приміщень роблять її доступною для створення в будь-якому закладі освіти, медицини, спорту тощо.

Ключові слова: п'єзодатчик; «жива» плитка; люмінофорне покриття; ультрафіолетове випромінювання.

Вступ. В інтерактивних кімнатах йде високе споживання електроенергії у зв'язку з наявністю великої кількості електронних пристроїв. З іншого боку, завдання подібних приміщень максимально залучити дітей для їхнього доцільного розвитку, підвищуючи зацікавленість сучасним світлодизайном.

Зниження використання електроенергії та збільшення терміну високоефективної експлуатації світлового обладнання вимагають пошук нових рішень світлодизайну.

Актуальність роботи полягає в тому, щоби максимально використовувати нові світлові рішення для створення сприятливих умов розвитку дитини в межах програми Нової Української школи (НУШ). Кімнати спеціального призначення з інтерактивними елементами

надають можливість дитині адаптуватися до соціуму. Варіативні модифікації контактної взаємодії дітей уже широко використовується в науково-розвиваючих центрах формування особистості («Кремнієва Долина», «Система Монтессорі»).

Глобальна проблема цілодобового використання гаджетів дітьми створює широкий діапазон завдань для вирішення, яких пропонуються різні методи застосування енергоефективних технологій. Однією з таких можна вважати використання п'єзодатчиків [1] програмованого управління світлом.

Постановка завдання. За результатами останньої статистики [2] доведено, що цифрові технології, котрі масово використовуються в інтерактивних ігрових приміщеннях, погано впливають на розвиток дитини. Надмірне застосування електронних гаджетів збільшує кількість проблем із координацією дитини та інших складових здоров'я.

Використання альтернативних енергоефективних технологій дають змогу розвивати моторику, рефлексії та координацію дитини без залучення електронних гаджетів. Такими технологіями можна вважати, п'єзоелектричні датчики для керування світлом, люмінесцентні покриття та ультрафіолетове освітлення, як елементи інтерактивності. Метою роботи є поєднання запропонованих технологій для керування освітленням в інтерактивних кімнатах.

Результати дослідження. Для проведення дослідження була створена візуальна та віртуальна модель кімнати. Остання розроблялася за допомогою 3Д-програми архітектурного проєктування SketchUp. Приклад розробленої інтерактивної кімнати в програмі SketchUp представлено на рис. 1.

Спочатку управління світлом в інтерактивній кімнаті було за допомогою фотоелементів, які розташовувалися на стіні приміщення й керували зміну кольору. Через те, що діти дуже активні, то ця ідея не могла бути використана для їхнього подальшого розвитку. Тому, наступною технологією, яка була розглянута, стали п'єзодатчики, як один із методів регулювання освітленням. Перевагою використання цього способу управління стало те, що датчики реагують безпосередньо на фізичний вплив дитиною на них і одночасним підключенням інтерактивної «живої» підлоги.

Однією з переваг п'єзоелектричного датчика є те, що він не потребує зовнішнього джерела напруги або струму, вони здатні генерувати вихідний сигнал від прикладеної деформації. П'єзоелектричний датчик перетворює фізичні параметри, наприклад, прискорення, деформацію або тиск в електричний заряд, який потім можна виміряти. Вони дуже чутливі та мають дуже маленькі розміри, тому добре підходять для повсякденних предметів [3]. Навіть невеликий електричний сигнал, що створює п'єзодатчик буде достатнім для ввімкнення системи керування освітленням. Тому, цей метод регулювання є актуальним для дітей. Можливість розташування п'єзодатчика в підлозі з метою автоматичного включення нижнього освітлення при дії на нього сили тиску дитини представлена на рис. 2.

Вибір датчиків, як елементів керування пов'язано з тим, що однією з головних переваг п'єзоелектричних датчиків тиску є їхня міцність. Це робить їх придатними для використання в різноманітних суворих умовах [4].

П'єзоелектричні датчики можуть бути легко виготовлені з використанням недорогих матеріалів (наприклад, кварцу або турмаліну), тому вони можуть забезпечити недороге рішення для використання в інтерактивних кімнатах [4].

Принцип роботи п'єзоелемента (рис. 3) полягає в тому, що деформація в певному напрямку призводить до перерозподілу зарядів речовини та створює різницю потенціалів між верхньою та нижньою частиною елемента.

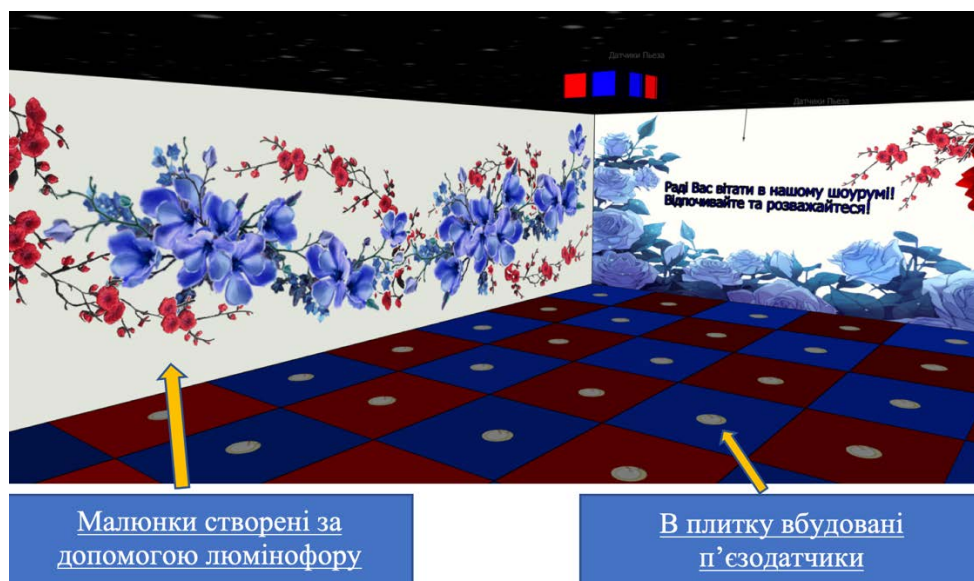


Рис. 1. Спроектована 3Д-модель інтерактивної кімнати в програмі SketchUp

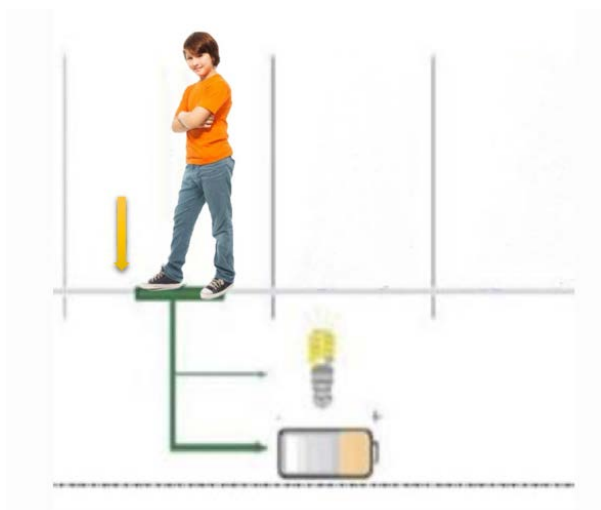


Рис. 2. Спосіб регулювання освітлення шляхом механічного тиску дитиною

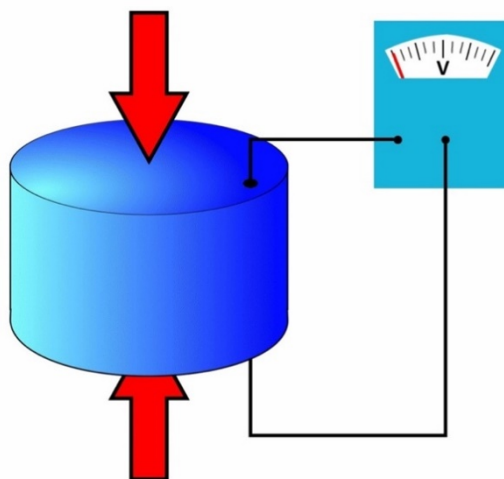


Рис. 3. Принцип дії п'єзодатчика

Останнім часом використання описаного п'єзоелектричного ефекту дало змогу створити велику кількість нових перетворювачів [5] різних розмірів та призначень. У даній роботі увага приділяється п'єзодатчикам сили та тиску, розміри яких із кожним роком мінімізуються. П'єзодатчик може виступати в якості елемента керування світлом, а саме вмикача. З іншого боку, при натисканні на нього може виникати електричний струм [6] для живлення невеликого світлодіода. Розрахунки показують, що тиск, який може створити дитина, натискаючи на певний елемент, при врахуванні її середньої ваги 30 кг, становить приблизно 7500 кПа за даними компанії Avnet Abacus [4].

Декоративним елементом, який може бути використаний у якості пускового елемента є «жива» плитка. На відміну від електронних екранів, які використовуються в більшості кімнат і реагують на дію, така плитка реагує безпосередньо на фізичний контакт. Отже, це призводить до розвитку координації й дітей у цілому під впливом економії електроенергії через те, що немає ручного перемикачів механізмів.

«Жива» плитка – це інноваційна технологія, що використовується в архітектурному оздобленні приміщень. Інтерактивність повною мірою описує властивість даної плитки, яка може взаємодіяти з користувачем, відгукуючись на його дотик. Вона змінює свій зовнішній вигляд від натискання долоні, ступні, ліктя – кожен раз, коли при натиску на неї, фарба всередині буде «розтікатися», змінюючи малюнок [7].

Важливо одне – під впливом ваги людини зображення всередині плитки змінює свої обриси, а коли дотик завершується (тобто нога переступає на наступну плитку), малюнок відновлюється практично до початкової форми. Друга її назва – «жива». Безумовно, це образний вислів, адже плитка не може бути живою. Однак при кожному дотику можна спостерігати унікальне видовище (рис. 4), як вона змінює свій зовнішній вигляд і яким він буде в наступний раз – передбачити складно [7].

Гармонійним доповненням до використання п'єзоелектричних датчиків для регулювання освітленості приміщень стало застосування таких технологій, як люмінофорне покриття вертикальних поверхонь та ультрафіолетове освітлення інтерактивних зон. Застосування точкових джерел світла (рис. 5) у якості імпровізованих засобів малювання, з одного боку, створює додаткове освітлення, з іншого надають можливості дітям реалізувати їхні фантазії.

Для правильного розвитку дитини бажано одночасно організувати дію на всі його органи почуття. Тому п'єзодатчики можуть бути не тільки пусковими елементами для регулювання освітлення, а і для одночасного управління звуковими ефектами. Звукотерапія [8] є одним з ефективних методів впливу на емоційний стан людини будь-якого віку. Існує спеціальний набір звуків, які, з одного боку, можуть заспокоювати, а з іншого активізувати фізичну та інтелектуальну діяльність дитини. Система п'єзоперетворювачів також буде доцільною в системі керування звуковим оточенням.

Для створення сприятливих умов перебування в інтерактивних приміщеннях може бути використана додаткова технологія світильників, у яких є функція повільного гасіння, як з'єднання з п'єзоелементами. Отже, за допомогою цього методу можна позбутися негативного мерехтіння джерел світла.

На сьогодні для стимуляції систем сприйняття: зорової, тактильної, слухової тощо, дуже часто застосовується спеціально організовані приміщення [9], які оснащені різними інтерактивними технологіями. При розгляді обладнання для реалізації ця локація стає досить дорогим придбанням. Тому в роботі описані деякі з аналогів використання подібних технологій, які впливають на органи почуттів і стають універсальним місцем для ігор дитини, її розвитку та релаксації. Запропонована модель інтерактивної кімнати може бути використана в багатьох закладах і оснащена елементами світлодизайна при різних потребах замовника.



Рис. 4. Варіанти «живої» плитки



Рис. 5. Використання точкових джерел світла

Однією з подібних моделей інтерактивних кімнат є Superactive Sensory Room (рис. 6), вироблена компанією Experia. Компанія надає широкий спектр додаткових продуктів, якими можна комплектувати кімнату при її замовленні. Вартість такої кімнати починається від 17,198.00 дол. США і при додаванні доступних можливих технологій підвищується, наприклад, при виборі набору ароматерапії вартістю 199 дол. США, чи проектора для показу живого пейзажу вартістю 2,899 дол. США [10].

Альтернативним виробником інноваційних кімнат в Україні є Briolight. Компанія є єдиною, яка має повний цикл виробництва подібних приміщень [11]. Їхня розробка інтерактивних зон (рис. 7) це комплексне рішення для реабілітаційних центрів та інших установ.

При виробництві кімнат даного типу компанія співпрацює зі світовими партнерами, щоби зробити кожну систему унікальною для клієнта.

Запропоновано методологія тактильної взаємодії дитини з елементами автоматичного керування, яка є альтернативою електронних та цифрових технологій. Такий вибір методології зумовлений тим, що інтерактивні екрани можуть бути небезпечними для здоров'я дитини та впливати на її психологічний стан. Останнім часом багато дітей не можуть уявити своє життя без гаджетів і при відстороненні дитини від електроніки, вона впадає в істерику, стає апатичною та перезбудженою. Психологи в таких випадках рекомендують шукати заміну

цифровим пристроям і кімнати подібні до запропонованої стануть на допомогу в таких випадках [12]. До того ж інтерактивні приміщення надають можливість взаємодіяти з однолітками, спілкуючись напяму з ними та не зациклюючись на онлайн-друзях.



Рис. 6. Superactive Sensory Room, Experia

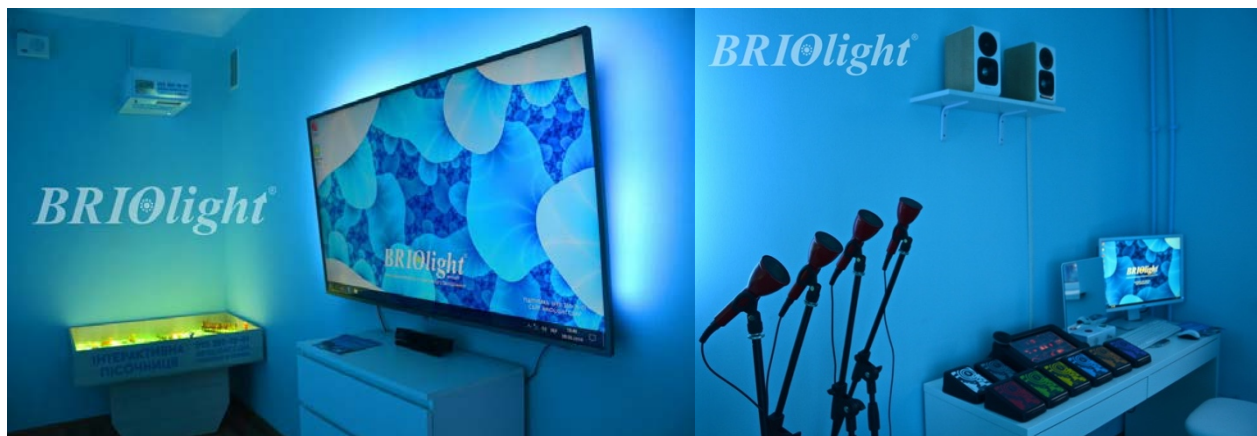


Рис. 7. Інтерактивні кімнати компанії Briolight

Аби підвищити зацікавленість дитини, одним із методів використання світла стає нижнє освітлення підлоги, що створює неповторну та магічну атмосферу.

Жоден дитячий заклад не може працювати без урахування безпеки дитини, що перебуває в ньому. Головною причиною травмування дітей під час розваг є несподіване падіння. Концепція нижнього освітлення (освітлення підлоги) дасть змогу дитині бути більш уважною під час пересування, оскільки вся її увага буде сконцентрована на «живій» плитці.

Нині приховане освітлення активно застосовується повсюди, тому цей спосіб є актуальним і для інтерактивних кімнат. Адже, світіння самої плитки дає можливість бачити підлогу та не бачити саме джерело світла, тим самим не шкодити очам, що дасть змогу комфортно перебувати в приміщенні.

У рамках проведеного дослідження додатковим джерелом енергії в приміщенні може бути розглянута генерація електрики велосипедом на кшталт динамо-машини. Як приклад, дитина буде крутити педалі й механічна енергія буде перетворюватися в електричну [13].

Отже, дитина за допомогою механіко-електричного перетворювача (рис. 8) стане виробником енергії для розваг і одночасно виконуючи фізичні вправи буде впливати й на здоров'я загалом.

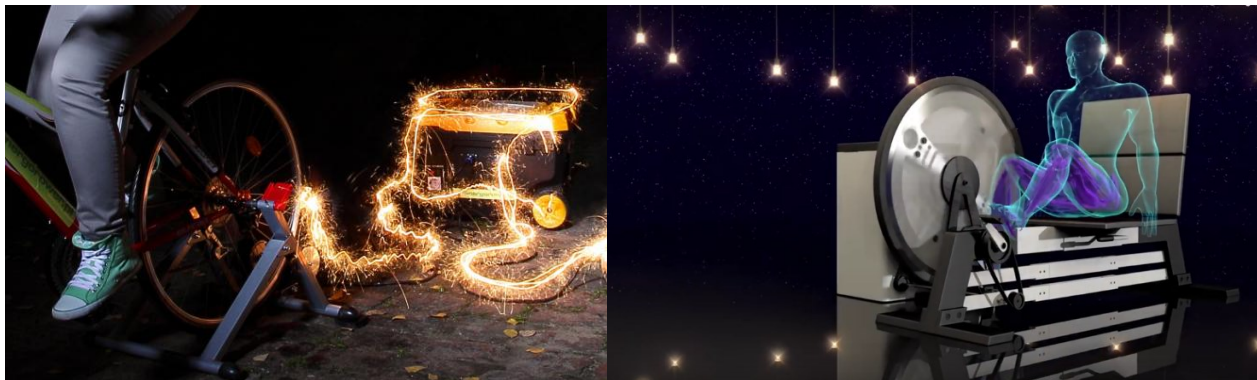


Рис. 8. Принцип дії механіко-електричного перетворювача

Висновки. Дослідження вітчизняного та закордонного досвіду в створенні інтерактивних кімнат надали можливість оцінити необхідність альтернативного підходу до проєктування спеціальних приміщень для розвитку та формування здорового стану дитини. Причина пошуку альтернативи пов'язана з високою собівартістю наявних моделей та їхньою підвищеною диджиталізацією. Крім того, енерговитратність подібних проєктів надто висока, оскільки включає великий комплекс різноманітних електрично залежних технологій.

Існує обґрунтована думка, що збільшення контактної взаємодії дітей соціалізує їх та пристосовує до майбутніх взаємовідносин з однолітками. Тому, з однієї сторони актуальним є створення цих кімнат, а з іншої є важливим зниження енерговитрат на їх функціонування.

Запропоновано використання п'єзоперетворювачів, як основних елементів керування освітленням, за допомогою, яких можна позбутися надмірного споживання джерел світла під час роботи інших систем. Також пропонується використовувати люмінофори в комплексі з точковими джерелами світла та короткочасне ввімкнення ультрафіолетового освітлення.

Визначено, які саме п'єзоелементи можуть використовуватися в даних умовах, з огляду на значення можливого тиску на них. Перспективою удосконалення даного інтерактивного приміщення є застосування нетрадиційних джерел енергії, а саме механіко-електричних моделей, у яких дитина за допомогою велосипеда виробляє енергію.

References

1. Levinzon, F. (2014). Piezoelectric Accelerometers with Integral Electronics. Irvine, CA, USA: Springer. 169 p. URL: <https://books.google.com.ua/books?id=HSE9BAAQBAJ&pg=PA56&dq=piezoelectric+sensor&hl=ru&sa=X&ved=2ahUKEwjAhabf0uPzAhXshv0HHQndDYA4FBD0AXoECAYQAg#v=onepage&q=piezoelectric%20sensor&f=false>.
2. Makhamatov, V., Boysunov, B. (2021). Vliyanie informatsionnykh tekhnologiy na zhizn cheloveka [The impact of information technology on human life]. *Science and Education*, Vol. 2, № 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-informatsionnyh-tehnologiy-na-zhizn-cheloveka-1/viewer> [in Russian].

Література

1. Levinzon F. Piezoelectric Accelerometers with Integral Electronics. Irvine, CA, USA: Springer, 2014. 169 p. URL: <https://books.google.com.ua/books?id=HSE9BAAQBAJ&pg=PA56&dq=piezoelectric+sensor&hl=ru&sa=X&ved=2ahUKEwjAhabf0uPzAhXshv0HHQndDYA4FBD0AXoECAYQAg#v=onepage&q=piezoelectric%20sensor&f=false>.
2. Махаматов В., Бойсунов Б. Влияние информационных технологий на жизнь человека. *Science and Education*. 2021. Т. 2, № 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-informatsionnyh-tehnologiy-na-zhizn-cheloveka-1/viewer>.

3. What is a Piezoelectric Sensor?. Variohm Eurosensor | Sensors and Transducers. URL: <https://www.variohm.com/news-media/technical-blog-archive/what-is-a-piezoelectric-sensor->.

4. Piezoelectric pressure sensors. Avnet: Quality Electronic Components & Services. URL: <https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/solutions/technologies/sensors/pressure-sensors/core-technologies/piezoelectric/>.

5. Chavan, M., Chauhan, S., Singh, M., Tripathi, A. (2020). Footstep Power Generation using Piezoelectric Sensor and Distribution using RFID. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, No. 09, P. 1416–1420. URL: <https://www.irjet.net/archives/V7/i9/IRJET-V7I9242.pdf>.

6. Razak, A., Zayegh, A., Wahab, Y., Begg, R. (2012). Foot Plantar Pressure Measurement System: A Review. *PubMed*, 2012, 9884–9912. URL: <https://doi.org/10.3390/s120709884>.

7. Zhidkaya plitka – interaktivnyy pol u vas doma [Liquid tiles – interactive flooring in your home]. *Econet*. URL: <https://econet.ru/articles/zhidkaya-plitka-interaktivnyy-pol-u-vas-doma> [in Russian].

8. Interactive Multi-Sensory Rooms for school and special needs pupils. Sensory Rooms and Equipment for Special Needs. URL: <https://www.spacekraft.co.uk/multi-sensory-rooms/interactive-multisensory.html>.

9. Interactive Solution For Preschool Activity Room – Sindrax. Sindrax. URL: <https://en.sindrax.com/interactive-multimedia-in-pre-school-education/>.

10. Superactive Sensory Room | Calming and Interactive Room. Sensory Equipment | Sensory Room Equipment | Experia USA. URL: <https://www.experia-usa.com/superactive-sensory-room/>.

11. Interactive room. Briolight. URL: <https://briolight.com/en/product/interactive-room-en/>.

12. Hryvchuk, Ya. (2021). Yak zabraty gadzhet bez isteryk. Porady psykholohyni dlia sturbovanykh batkiv [How to pick up a gadget without hysteria. Psychological advice for concerned parents]. *ms.detector.media*. URL: <https://ms.detector.media/trendi/post/26677/2021-02-20-yak-zabraty-gadzhet-bez-isteryk-porady-psykholohyni-dlya-sturbovanykh-batkiv/> [in Ukrainian].

13. Velosyped, shcho vyroblyaie elektroenerhiu, bude zariadzhaty telefon [The power-generating bicycle will charge the phone]. *RayHaber | RailyNews*. URL: <https://uk.rayhaber.com/2021/07/електричний-велосипед-буде-заряджати-телефон/> [in Ukrainian].

3. What is a Piezoelectric Sensor? Variohm Eurosensor | Sensors and Transducers. URL: <https://www.variohm.com/news-media/technical-blog-archive/what-is-a-piezoelectric-sensor->.

4. Piezoelectric pressure sensors. Avnet: Quality Electronic Components & Services. URL: <https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/solutions/technologies/sensors/pressure-sensors/core-technologies/piezoelectric/>.

5. Chavan M., Chauhan S., Singh M., Tripathi A. Footstep Power Generation using Piezoelectric Sensor and Distribution using RFID. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2020. No. 09. P. 1416–1420. URL: <https://www.irjet.net/archives/V7/i9/IRJET-V7I9242.pdf>.

6. Razak A., Zayegh A., Wahab Y., Begg R. Foot Plantar Pressure Measurement System: A Review. *PubMed*. 2012. 9884–9912. URL: <https://doi.org/10.3390/s120709884>.

7. Жидкая плитка – интерактивный пол у вас дома. *Econet*. URL: <https://econet.ru/articles/zhidkaya-plitka-interaktivnyy-pol-u-vas-doma>.

8. Interactive Multi-Sensory Rooms for school and special needs pupils. Sensory Rooms and Equipment for Special Needs. URL: <https://www.spacekraft.co.uk/multi-sensory-rooms/interactive-multisensory.html>.

9. Interactive solution for preschool activity room – Sindrax. Sindrax. URL: <https://en.sindrax.com/interactive-multimedia-in-pre-school-education/>.

10. Superactive Sensory Room | Calming and Interactive Room. Sensory Equipment | Sensory Room Equipment | Experia USA. URL: <https://www.experia-usa.com/superactive-sensory-room/>.

11. Interactive room. Briolight. URL: <https://briolight.com/en/product/interactive-room-en/>.

12. Гривчук Я. Як забрати гаджет без істерик. Поради психологині для стурбованих батьків. *ms.detector.media*. URL: <https://ms.detector.media/trendi/post/26677/2021-02-20-yak-zabraty-gadzhet-bez-isteryk-porady-psykholohyni-dlya-sturbovanykh-batkiv/>.

13. Велосипед, що виробляє електроенергію, буде заряджати телефон. *RayHaber | RailyNews*. URL: <https://uk.rayhaber.com/2021/07/електричний-велосипед-буде-заряджати-телефон/>.

DZIKEVYCH ANNA

Department of Design, Kyiv National University of
Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3661-324X>
e-mail: adzikevich22@gmail.com

OLEINIKOVA IRYNA

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

ДЗИКЕВИЧ А. В., ОЛЕЙНИКОВА И. В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

ПЬЕЗО-ДАТЧИК КАК ЭЛЕМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ СВЕТОМ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ДИЗАЙНА ДЕТСКОГО ПОМЕЩЕНИЯ

Цель. Обоснование и создание автоматического управления освещением в интерактивных комнатах с помощью пьезоэлектрических преобразователей. Введение подобной технологии позволит значительно снизить энергозатраты при функционировании подобных помещений. Присоединение дополнительных технологических решений, базирующихся на использовании люминофорных покрытиях и ультрафиолетового освещения позволит создать полный комплекс инновационных методов взаимодействия ребенка в социальном пространстве.

Методика. Сочетание пьезодатчиков с такими дизайнерскими элементами, как «живая» плитка, в качестве пускового механизма создаст нужную связь между физической активностью ребенка и регуляцией света. Современный уровень развития и полная безопасность таких материалов, как люминофоры в сочетании с точечными специально разработанными источниками света дадут возможность создать дополнительное освещение и поле для фантазии ребенка. Поскольку, основное внимание при освещении детских помещений должно быть направлено на безопасное пребывание ребенка, применение источников света под полупрозрачным полом позволит решить вопросы безопасности с низким уровнем энергозатрат.

Результат. Экспериментальное исследование методик доказало целесообразность использования предложенных элементов для любого интерактивного детского помещения. Низкая себестоимость как оборудования и энергоэффективность всех использованных технологий является значительным преимуществом данного проекта над другими разработками с большим применением цифровых гаджетов. Возможность создания света различного спектрального состава и цветовой температуры анализируется путем использования цветных светофильтров и особых источников света.

Научная новизна. Представленные в данной работе технологии и методики впервые будут использоваться для создания интерактивной деятельности ребенка. Отдельно каждое технологическое решение применялось индивидуально. Данный проект комбинирует отдельные разработки для создания единого интерактивного и светового пространства. Низкий уровень потребления электроэнергии достигается путем использования специально рассчитанных пьезоэлементов. Замена стандартного потолочного освещения на нижнее (напольное) позволяет добиться нужной освещенности с помощью светильников меньшей мощности.

Практическая значимость. В последнее время доказано, что диджитализация оказывает негативное влияние на эмоциональное состояние ребенка и единственным решением его замены является переключение внимания ребенка к другим более физически активным действиям. Предложенные в работе решения позволяют вовлечь ее в групповые тренинги. При этом, электропотребление для получения подобных комнат будет намного ниже, чем остальных ныне существующих. Простота оборудования и возможность вариации во время эксплуатации помещений делают ее доступной для создания в любом учреждении образования, медицины, спорта и т.п.

Ключевые слова: пьезодатчик; «живая» плитка; люминофорное покрытие; ультрафиолетовое излучение.

DZIKEVYCH A. V., OLENIKOVA I. V.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

**PIEZO SENSOR AS A LIGHT CONTROL ELEMENT
FOR CREATING A CHILDREN'S ROOM DESIGN**

Purpose. Substantiation and creation of automatic lighting control in interactive rooms using piezoelectric converters. The introduction of this technology will significantly reduce energy consumption during the operation of such premises. The addition of further technological solutions based on the use of phosphor coatings and ultraviolet lighting will create a full range of innovative methods of child interaction in the social space.

Methodology. The combination of piezo sensors with design elements such as "live" tiles as a trigger mechanism will create the necessary connection between the physical activity of the child and the regulation of light. The modern level of development and complete safety of materials such as phosphors in combination with specially designed point light sources will make it possible to create additional lighting and a field for the imagination of the child. Since the main attention when lighting children's rooms should be directed to the safe stay of the child, the use of light sources under a translucent floor will solve safety issues with a low level of energy consumption.

Findings. An experimental study of the methods has proven the feasibility of using the proposed elements for any interactive children's room. The low cost of both equipment and the energy efficiency of all the technologies used is a significant advantage of this project over other developments with a large use of digital gadgets. The ability of create light of different spectral composition and color temperature is analyzed by using color filters and special light sources.

Originality. The technologies and techniques presented in this work will be used for the first time to create interactive activities for a child. Separately, each technological solution was applied individually. This project combines separate developments to create a single interactive and light space. A low level of electricity consumption is achieved by using specially designed piezoelectric elements. Replacing standard ceiling lighting with lower (floor) lighting allows you to achieve the desired illumination using luminaires of lower power.

Practical value. Recently, it has been proven that digitalization has a negative impact on the emotional state of the child and the only solution to replace it is to switch the child's attention to other more physically active actions. The proposed solutions in the work will allow their to be involved in group trainings. At the same time, the power consumption for obtaining such rooms will be much lower than the rest of the existing ones. The simplicity of the equipment and the possibility of variation during the operation of the premises make it available for creation in any institution of education, medicine, sports, etc.

Keywords: piezo sensor; "live" tiles; phosphor coating; ultraviolet radiation.

УДК 621.31:
535.215

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

¹Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

²Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ З АКУМУЛЯТОРОМ ДЛЯ ПОТРЕБ ЛОКАЛЬНОГО ОБ'ЄКТУ

Мета. Удосконалення методики визначення параметрів фотоелектричної системи з акумулятором для потреб локального об'єкту з використанням архівних даних генерації фотоелектричної батареї та планування витрат на споживання енергії з мережі за всіма сезонами року.

Методика. Використання архіву даних щодо потужності генерації фотоелектричної батареї та аналіз енергетичних процесів у фотоелектричній системі з акумулятором з використанням комп'ютерного моделювання.

Результати. Розраховані відповідно даним архіву за п'ять років середньомісячні значення потужності генерації фотоелектричної батареї для визначених згідно тарифним зонам інтервалів часу протягом дня. Залежності для визначення рекомендованого середнього значення потужності навантаження локального об'єкту за інтервалами часу.

Наукова новизна. Запропоновано при визначенні базового графіка навантаження локального об'єкту і параметрів фотоелектричної системи виходити з середньомісячних значень генерації фотоелектричної батареї в перехідні сезони року – жовтень, березень та очікуваних витрат на оплату енергії, що споживається з мережі протягом року. Обґрунтовано перерахунок базового значення потужності протягом року з урахуванням тривалості світлого часу доби. Запропоновано метод визначення рекомендованого графіку навантаження локального об'єкту з формуванням ступеню заряду акумулятору згідно середньомісячним значенням потужності генерації фотоелектричної батареї за інтервалами часу протягом дня, які визначені за архівними даними для місяця локації об'єкту.

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

Ключові слова: графік потужності навантаження; архівні дані; фотоелектрична батарея; середні значення потужності за інтервалами часу; акумуляторна батарея; моделювання.

Вступ. Одним з сучасних трендів щодо розвитку систем з відновлювальними джерелами електроенергії є локалізація споживання в місці генерації, що сприятиме зменшенню витрат енергії під час передавання та підтриманню балансу в енергосистемі. Такому підходу сприяє і поступове зниження «зелених» тарифів [1]. В цих умовах для локальних об'єктів (ЛО) (малі підприємства, об'єкти сервісу, побутового призначення та ін.) доцільним є використання фотоелектричних систем (ФЕС) з акумуляторною батареєю (АКБ) для забезпечення власних потреб [2]. Використання АКБ значно підвищує вартість системи і поряд з підвищенням надійності електропостачання має бути виправданим за рахунок зменшення витрат на оплату електроенергії, що споживається з розподільчої мережі (РМ). Велике значення за цього набуває коректне визначення параметрів системи.

Аналіз попередніх досліджень. На електротехнічному ринку широко представлені рішення гібридних інверторів, що призначені для використання в ФЕС з АКБ і мають все обладнання для підключення фотоелектричної батареї (ФБ) і АКБ. За цього рекомендації щодо вибору співвідношення потужностей ФБ і АКБ суттєво відрізняються. Так, для інвертору типу REACT-3.6/4.6-TL [3] на 1 кВт ФБ використовується литій-іонна АКБ з 0.5 кВт·год. Щодо інверторів типу Axioma Energy [4] для ФБ 1 кВт пропонується використовувати АКБ з ємністю

400 А·год (4.8 кВт·год). В роботі [5] в разі використання ФЕС для забезпечення потреб ЛО пропонується співвідношення потужностей ФБ і АКБ 1:2.75. За цього для різних сезонів року згідно генерації ФБ пропонуються сценарії навантаження із змінюванням потужності навантаження [5].

В той же час є доступними дані щодо архіву генерації ФБ [6] для будь-якої точки розташування ФЕС. За цього можна отримати середньомісячні значення енергії, що генерується ФБ протягом доби. Проте цієї інформації особливо у разі похмурих днів не є достатньо для забезпечення ефективності ФЕС. Під час проектування ФЕС для потреб ЛО за конкретної її локації виникають питання визначення параметрів з урахуванням бажаних показників щодо зниження витрат на оплату електроенергії, що споживається з РМ протягом року, та планування навантаження за цього. Це в комплексі з використанням короткочасного прогнозу генерації ФБ сприятиме реалізації ефективного енергоменеджменту ФЕС.

Постановка завдання. Отже, питання визначення параметрів ФЕС і графіку навантаження ЛО вивчено недостатньо. Це стосується врахування локації ФЕС, визначення параметрів, що забезпечуватимуть отримання заданих конкретних значень щодо зменшення витрат на оплату електроенергії, що споживається з мережі за різних погодних умов.

Завдання для вирішення:

- обґрунтування параметрів ФЕС та базового навантаження ЛО на підставі середньомісячних значень генерації ФБ в перехідні сезони року – жовтень, березень та заданого значення зниження витрат на електроенергію, що споживається з мережі;
- обґрунтування графіку навантаження згідно середньомісячним значенням потужності генерації фотоелектричної батареї за інтервалами часу протягом дня;
- моделювання роботи ФЕС в добовому циклі з оцінкою зниження витрат на електроенергію, що споживається з мережі за різних погодних умов.

Основні матеріали роботи. Розглянуто використання перетворювального агрегату ФЕС, що побудований за відомими принципами [7]. За цього в режимі роботи паралельно з РМ передбачено регулювання струму I_g в точці підключення ЛО до мережі, струму ФБ I_{PV} (робота в режимі максимальної потужності або зниження генерації) та струму АКБ I_B .

Роботу ФЕС та графіки навантаження ЛО розглянемо з прив'язкою до тарифних зон [8], що характерно для комунально-побутових споживачів, а також виробництв з однозмінним режимом роботи. Для сезону з травня по серпень: $t_1=7.00$ кінець зони нічного тарифу; ($t_2=8.00$, $t_3=11.00$) – ранковий пік навантаження; $t_4=16.00$ – закінчення періоду інтенсивної сонячної радіації; ($t_5=20.00$, $t_6=23.00$) – вечірній пік; $t_7=24.00$ – початок зони нічного тарифу; (t_1 , t_2), (t_3 , t_5), (t_6 , t_7) – зона денного тарифу. Для квітня, березня, вересня, жовтня $t_1=6.00$, $t_2=8.00$, $t_3=10.00$, $t_4=15.30$, $t_5=18.00$, $t_6=22.00$, $t_7=23.00$. Для листопада - лютого $t_1=6.00$, $t_2=8.00$, $t_3=10.00$, $t_4=14.00$, $t_5=17.00$, $t_6=21.00$, $t_7=23.00$. При багатозонній тарифікації оплати за електроенергію, що споживається з РМ, максимальне зниження витрат на електроенергію досягається за рахунок виключення споживання в пікові години і зменшення в денні години. За однієї ставки це сприяє балансу потужностей в енергосистемі.

Розглянемо ФЕС із номінальною потужністю ФБ $P_{PVR}=1$ кВт. При розрахунку параметрів враховуємо ліміт потужності P_{LIM} на споживання ЛО з мережі та нічне навантаження. Виключення споживання енергії з мережі в пікові години пов'язане з використанням енергії АКБ. Тому можливі два глибокі розряди на добу. У цих умовах доцільно використовувати літій-іонні АКБ.

У ФЕС АКБ виконує функцію перерозподілу енергії. Частина енергії втрачається, що враховується ККД. Тоді цикл балансу енергії в АКБ зводиться до нічного заряду від РМ з Q^*_6 до Q^*_2 (споживання енергії із РМ), потім розряд навантаження з Q^*_2 до Q^*_6 .

Денний заряд АКБ за рахунок енергії ФБ з подальшою передачею енергії в навантаження не враховуємо. Споживання енергії, що бракує, на заряд АКБ з мережі в денний час при низькій генерації ФБ врахуємо в загальному споживанні енергії з мережі. Енергія, що споживається АКБ із мережі при нічному заряді

$$W_{gB} = \frac{0.01W_B(Q^*_6 - Q^*_2)}{\eta_C \eta_B},$$

де $W_B = U_B C_B$ – енергоємність (Вт·год) АКБ, U_B , C_B – напруга та ємність АКБ (А·год), $Q^* = 100Q/Q_R$ – ступінь заряду, Q_R – відповідає повному заряду, η_C – ККД перетворювача енергії (включаючи перетворювач напруги АКБ та інвертор), η_B – ККД АКБ (прийнято $\eta_C = \eta_B = 0.94$).

Енергія, що віддається АКБ у навантаження

$$W_{BL} = 0.01W_B(Q^*_6 - Q^*_2)\eta_C \eta_B.$$

Енергія, що споживається навантаження за добу

$$W_L = W_{BL} + W_{PV}\eta_C + W_{gL},$$

де W_{PV} – енергія, що генерується ФБ, W_{gL} – енергія, що споживається з мережі.

Або $W_{gL} = W_L - W_{BL} - W_{PV}\eta_C$.

Значення W_L згідно графіку навантаження можна визначити відповідно середньому навантаженню за інтервалами роботи.

$$W_L = \sum_0^{24} P_{Li} \Delta t_i \text{ або } (W_L = P_{L12} \Delta t_{12} + P_{L23} \Delta t_{23} + P_{L34} \Delta t_{34} + P_{L45} \Delta t_{45} + P_{L56} \Delta t_{56} + P_{L67} \Delta t_{67} + P_{L71} \Delta t_{71}).$$

Середні значення потужності на інтервалах можна прив'язати до значень навантаження в пікові години. Значення навантаження в години вечірнього піку (Δt_{56}) P_{L56} за умови виключення споживання енергії з мережі визначається енергією АКБ, що віддається.

$$P_{L56} = \frac{0.01 \Delta Q^*_{56} W_B \eta_B \eta_C}{\Delta t_{56}}. \quad (1)$$

Попередньо вважаємо, що середнє навантаження ЛО в денні часі (t_2 , t_6) постійне $P_{L26} = P_{L56} = P_L$, це стосується і нічного навантаження $P_{L62} = \text{const}$. Влітку приймаємо $P_{L62} = 0.33P_L$, взимку нічне навантаження може збільшуватися, приймаємо $P_{L62} = 0.6P_{L56}$. Відповідно, для літа $W_L = 18P_{L56}$, взимку $W_L = 19.6P_{L56}$. Обмежуємо ступінь розряду АКБ і приймаємо в зимній період $Q^*_6 \geq 20\%$, а в літку $Q^*_6 \geq 40\%$. Зимово тривалість вечірнього піка навантаження $\Delta t_{56} = 4$ години і ступінь розряду $\Delta Q^*_{56} \leq 80\%$ ($Q^*_5 = 100\%$), а влітку $\Delta t_{56} = 3$ години, приймаємо $\Delta Q^*_{56} \leq 60\%$ ($Q^*_5 = 100\%$).

Середньомісячна генерація W_{PVCP} , денна генерація W_{PVCPD} і відхилення ΔW_{PVCP} для ФБ потужністю $P_{PVR} = 1$ кВт в м. Київ (координата 50.456, 30.511) по даним PVGIS-5 [6] наведені в табл.1. Також в табл.1 наведено середньомісячні значення денної генерації W^*_{PVCPD} та W_{PV23} , W_{PV23} , що розраховані за архівними даними в період 2012-2016 рр. Значення W_{PVCPD} і W^*_{PVCPD} є достатньо близькими. Для ефективного використання ФЕС більшу частину року орієнтуємося на граничні значення генерації у березні та жовтні (2.49 кВт·год). За цього середнє протягом дня (12 годин) значення $P_{PVCP} = 207.5$ Вт. Приймаємо $P_{L56} = 200$ Вт ($P_{LIM} = 250$ Вт приймаємо з запасом 25%) тоді згідно (1) $W_B = 1132$ Вт·год.

Таблиця 1

Середні показники генерації ФБ

Місяць	Січ.	Лют.	Берез.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Верес.	Жовт.	Лист.	Груд.
W_{PVCP} , кВт·год	36.3	50.7	89	116.5	132.5	132.9	135.9	131.4	115.5	79.6	34.2	28.2
W_{PVCPD} , кВт·год	1.17	1.81	2.87	3.88	4.27	4.43	4.38	4.24	3.85	2.57	1.14	0.91
ΔW_{PVCP} , кВт·год	7.1	14.8	24	18.4	9.7	7.8	6.5	10.5	23	20.4	7.2	7.4
W^{*}_{PVCPD} , кВт·год	0.98	1.81	2.83	3.83	4.26	4.48	4.37	4.16	3.52	2.49	0.96	1.03
W_{PV23} , кВт·год	0.166	0.31	0.55	0.52	1.15	1.17	1.13	1.08	0.56	0.33	0.22	0.21
W_{PV34} , кВт·год	0.78	1.31	1.84	2.38	2.43	2.27	2.5	2.45	2.27	1.74	0.69	0.8
W_{PV45} , кВт·год	0.038	0.16	0.32	0.84	0.53	0.63	0.61	0.53	0.72	0.39	0.03	0.021

При даних значеннях P_{LIM} , W_B , $\Delta Q^{*}_{62}=80\%$ ($Q^{*}_2=100\%$, $Q^{*}_6=20\%$) та нічному навантаженні $P_{L62}=0.6P_{L56}$ час заряду АКБ становить 7.87 годин. Це дещо виходить за межі зони нічного тарифу (7 годин), але ж в разі обмеження значення Q^{*}_2 недостатня енергія буде спожита вдень за денним тарифом.

За однієї ставки тарифу оплати вартості можна перейти безпосередньо до енергії. Тоді зниження витрат на оплату електроенергії – відношення енергії, що споживається навантаженням до енергії, що споживається з мережі

$$k_E = \frac{W_L}{W_{g_L} + W_{g_B}} = \frac{W_L}{W_L - W_{PV}\eta_C + 0.01W_B\Delta Q^{*}_{26} (1/\eta_B\eta_C - \eta_B\eta_C)}. \quad (2)$$

Енергія, яку потрібно генерувати ФБ для зниження витрат у k_E раз

$$W_{PV} = \frac{1}{\eta_C} \left[\left(1 - \frac{1}{k_E}\right) W_L + 0.01\Delta Q^{*}_{26} W_B \left(\frac{1}{\eta_B\eta_C} - \eta_B\eta_C\right) \right]. \quad (3)$$

Слід зазначити, що вираз (3) має оцінюючий характер. Так, значення $k_E=2$ можна отримати взимку ($Q^{*}_6=20\%$, $Q^{*}_2=100\%$), якщо $W_{PV}=2321$ Вт·год, що не реально (табл. 1). Влітку можливості більше і $k_E=2$ ($Q^{*}_6=40\%$, $Q^{*}_2=90\%$) досягається при $W_{PV}=2064$ Вт·год, що відповідає похмурній погоді. Разом з тим, із зростанням W^{*}_{PVCPD} можливості зниження витрат обмежені. Так, у разі $W_{PV23}\cdot\eta_C \geq W_{L23}$ енергії ФБ на інтервалі (t_2, t_3) достатньо для живлення навантаження без розряду АКБ ($Q^{*}_2 \leq Q^{*}_3$ і $Q^{*}_2 \geq Q^{*}_6$), тобто нічний заряд АКБ не потрібен (енергія вночі споживається лише навантаженням).

За значення $W_{PV34} \geq W_{L34} + \frac{0.01\Delta Q^{*}_{34} W_B}{\eta_C\eta_B}$ (де $Q^{*}_4=(95-100)\%$) заряджання АКБ вдень

забезпечується без споживання енергії з мережі. Таким чином, виключено споживання електроенергії з мережі $W_{g23}=W_{g56}=0$ в пікові часи і на інтервалі (t_3, t_4) $W_{g34}=0$. Проте на інтервалі (t_4, t_5) споживається $W_{g45}=W_{L45} - W_{PV45}\cdot\eta_C$. За цього влітку згідно даним табл. 1 максимальне значення $k_E \leq 4$.

Приймаємо базове значення $W_{PV5}=2500$ Вт·год (згідно середньому значенню в жовтні) та графік навантаження у денний час: $P_{L23}=P_{L56}=200$ Вт, $P_{L34}=180$ Вт, $P_{L45}=160$ Вт (зі

зниженням навантаження вдень та ввечері). Тривалість світлового дня протягом року змінюється. Так, у грудні світловий час $t_{CB12}=7$ год (з 8.00 до 15.00), у липні $t_{CB7}=12$ год (з 8.00 до 20.00 і реально більше – з 6.00). При однаковій енергії W_{PV} на цих інтервалах значення потужності буде різним, що можна врахувати запровадженням коефіцієнта $k_C=t_{CB}/t_{CB7}$. Тоді для грудня при базовому графіку навантаження $W_{PV(12)}=k_C W_{PV(7)}=1458$ Вт·год. Відповідно до (2) значення W_{PV12} відповідає $k_E=1.45$. І лише у лютому (за близького часу тривалості генерації ФБ) $W_{PVCP}=1810$ Вт $> W_{PV12}$. За цього $k_E=1.66$.

У разі, коли $W_{PVCP} < W_{PV12}$ можливий варіант з перерахунком графіка навантаження

$$P_L = P_{LB} \sqrt{\frac{W_{PV}}{W_{PV7}}} \quad (4)$$

Тоді для грудня при $W_{PVCP}=910$ Вт (табл. 1) при перерахунку денного навантаження $P_L=0.79P_{LB}$ та збереження нічного навантаження значення $k_E=1.245$.

Можливий інший варіант з урахуванням середньомісячної генерації ФБ, коли графік навантаження ЛО ($P_L(t)$) прив'язуємо до ступеня заряду $Q^*(t)$. При прийнятому середньому нічному навантаженні взимку $0.6P_L$ в межах ліміту можливий заряд АКБ до 100%.

Ступінь розряду АКБ в години ранкового піку з урахуванням W_{PV23} для грудня

$$\Delta Q^*_{23} = \frac{P_{L23}\Delta t_{23} - W_{PV23}\eta_C}{0.01W_B\eta_C\eta_B} = 20\% \quad (5)$$

Приймаємо $Q^*_2=100\%$, $Q^*_5=100\%$, $Q^*_6=20\%$ та відповідно $Q^*_3=80\%$. При цьому $P_{L56}=P_L=200$ Вт. Потужність навантаження на інтервалах (t_3, t_4) та (t_4, t_5) $P_{L34}=k_3P_L$, $P_{L45}=k_4P_L$. Енергія, що споживається з мережі на інтервалах (t_3, t_4) і (t_4, t_5) , з урахуванням споживання, заряду АКБ та енергії ФБ

$$W_{g34} = \Delta t_{34}k_3P_L + \frac{0.01\Delta Q^*_{34}W_B}{\eta_C\eta_B} - W_{PV34}\eta_C,$$

$$W_{g45} = \Delta t_{45}k_4P_L + \frac{0.01\Delta Q^*_{45}W_B}{\eta_C\eta_B} - W_{PV45}\eta_C.$$

З урахуванням того, що за $Q^*\geq 92\%$ струм заряду зменшується (заряд АКБ за постійної напруги) і, відповідно, час заряджання зростає [9], приймаємо $\Delta Q^*_{34}=12\%$, $\Delta Q^*_{45}=8\%$. Згідно значенням енергії визначається середнє значення потужності на інтервалах і перевіряється умова $P_g=W_g/\Delta t < P_{LIM}$. В більшому ступеню це стосується інтервалу (t_4, t_5) оскільки значення W_{PV45} є малим.

Значення k_E при значеннях k_3 і k_4 від 1 до 0.7 змінюється в межах 1.21 - 1.238. Таким чином, можна зберегти прийняті раніше значення $P_{L34}=180$ Вт ($k_3=0.9$), $P_{L45}=160$ Вт ($k_4=0.8$) при $k_E=1.22$. Це сприятиме обмеженню потужності, що споживається з мережі. Даний варіант завдання графіка навантаження при $W_{PVCP} < W_{PV12}$ дозволяє зберегти базовий графік навантаження. Слід зазначити, що мова йде про середні значення, а на практиці розрахунок Q^*_2 і Q^*_3 здійснюється за прогнозом для конкретного дня.

Розраховані відповідно середнім значенням W_{PV23} , W_{PV34} , W_{PV56} значення k_{E1} за одної ставки тарифу і k_{E2} (за двох ставок і нічному тарифу 0.5 відносно денного для зимового сезону: $k_{E1}=1.19$, $k_{E2}=1.36$ у листопаді; $k_{E1}=1.23$, $k_{E2}=1.37$ у грудні; $k_{E1}=1.202$, $k_{E2}=1.38$ у січні; $k_{E1}=1.61$, $k_{E2}=2.12$ у лютому).

Розглянемо можливість збільшення k_E , що є досяжним лише в літній період. Очевидно, що це можливо лише за рахунок збільшення денного навантаження, що компенсується за рахунок енергії АКБ. Згідно значенню генерації ФБ в ранковий пік (липень) $W_{PV23}=1130$ Вт·год є можливість підвищити потужність навантаження без використання енергії АКБ до значень

$P_{L23}=W_{PV23}\eta_C/\Delta t_{23}=354$ Вт. За цього $Q^*_{2\geq}Q^*_6=40\%$ і $\Delta Q^*_{34}\leq 100-40=60\%$. Відповідно на інтервалі (t_3, t_4)

$$P_{L34} = \frac{W_{PV34}\eta_C - \Delta Q^*_{34} W_B / \eta_C \eta_B}{\Delta t_{34}} = 316 \text{ Вт.}$$

Збільшення навантаження в вечірній пік до $P_{L56}=P_{L23}$ передбачає згідно (1) збільшення W_B . Поряд з подорожчанням системи це призведе до збільшення базового значення W_{PV} і погіршення ефективності в період осінь – зима - весна. За збереженням прийнятого значення W_B підвищення навантаження в пікові часи можливо у разі неповної компенсації навантаження в години вечірнього піка. Так у разі $P_{L23}=250$ Вт, $P_{L34}=225$ Вт, $P_{L45}=200$ Вт і $P_{L56}=250$ Вт (компенсується $P_{L56}=200$ Вт, а 50 Вт споживається з мережі) для липня значення $k_{E1}=3.73$. Погіршення має місце і в період осінь – зима - весна.

Для оцінки ефективності з урахуванням реальних графіків змінювання генерації ФБ, що, взагалі, мають складний характер, використано моделювання в Matlab.

Результати моделювання. Моделювання енергетичних процесів у ФЕС здійснювалося у добовому циклі функціонування з використанням моделі розглянутої в [10]. При цьому для завдання генерації ФБ використовувалися архівні дані [6] з підбором днів, коли генерація за інтервалами близька до середньомісячної. Значення генерації W_{PV} у дужках відповідають табл.1. Навантаження вдень протягом року постійне $P_{L23}=200$ Вт, $P_{L34}=180$ Вт, $P_{L45}=160$ Вт, $P_{L56}=200$ Вт, в травні – серпні $P_{L71}=67$ Вт, $P_{L12}=P_{L67}=110$ Вт, в вересні – квітні $P_{L71}=P_{L12}=P_{L67}=120$ Вт. Значення ступеню заряду АКБ Q^*_2 задавалося згідно (5). Також проведено оцінку значень k_{E3} при тризонній тарифікації та співвідношенні тарифів 0.4/1/1.5.

Таблиця 2

Середні показники роботи ФЕС

Місяць	Січ.	Лют.	Берез.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.
W^*_{PVCPD} , кВт·год	0.85 (0.98)	1.81 (1.81)	2.57 (2.83)	3.89 (3.83)	4.25 (4.26)	4.47 (4.48)	4.36 (4.37)	4.036 (4.16)	3.4 (3.52)	2.44 (2.49)	0.798 (0.96)	1 (1.03)
W_{PV23} , кВт·год	0.144 (0.166)	0.31 (0.36)	0.5 (0.55)	0.62 (0.52)	1.06 (1.15)	1.26 (1.17)	1.17 (1.13)	0.581 (1.08)	0.41 (0.56)	0.34 (0.33)	0.225 (0.22)	0.166 (0.21)
W_{PV34} , кВт·год	0.643 (0.78)	1.31 (1.36)	1.83 (1.84)	2.09 (2.38)	2.43 (2.43)	2.51 (2.27)	2.46 (2.5)	2.78 (2.45)	2.25 (2.27)	1.95 (1.74)	0.535 (0.69)	0.806 (0.8)
W_{PV45} , кВт·год	0.061 (0.038)	0.16 (0.083)	0.22 (0.32)	0.79 (0.84)	0.539 (0.53)	0.62 (0.63)	0.57 (0.61)	0.66 (0.53)	0.65 (0.72)	0.148 (0.39)	0.036 (0.03)	0.03 (0.021)
W_{Li} , кВт·год	3.74	3.74	3.78	3.78	3.429	3.429	3.429	3.429	3.78	3.78	3.74	3.74
W_{gi} , кВт·год	3.063	2.153	1.683	1.309	0.832	0.924	0.799	1.032	1.397	1.896	3.098	2.915
$Q^*_2, \%$	98	70	45	40	46	46	46	52	45	55	90	90
k_{E1}	1.22	1.74	2.25	2.89	4.12	3.72	4.3	3.32	2.71	2	1.207	1.28
k_{E2}	1.5	2.26	2.91	4.12	5.23	4.7	5.6	4.25	3.85	2.56	1.44	1.57
k_{E3}	1.87	2.9	3.7	5.41	6.62	5.94	7.13	5.39	5.04	3.23	1.8	1.96

Виходячи зі значень енергії, що споживається навантаженням W_{Li} та з мережі W_{gi} за місяцями визначено середнє значення $k_{E1CP} = \frac{\sum W_{Li}}{\sum W_{gi}} = 2.076$ за рік, що відповідає обраним параметрам ФЕС (P_{PVR} , W_B і P_L). Слід зазначити, що за зменшенням нічного навантаження в березні, квітні, вересні, жовтні до літнього рівня значення k_E підвищується. Так, для березня $k_{E1}=2.8$ замість 2.25 (в 1.24 рази).

Осцилограми добового циклу роботи ФЕС для днів з малою генерацією ФБ наведені на рис.1: а) грудень 2.12.20 р. $W_{PV}=750$ Вт·год. $Q^*_2=90\%$, $k_{E1}=1.19$, $k_{E21}=1.41$, $k_{E31}=1.745$; б) липень 27.07.15 р. $W_{PV}=1320$ Вт·год. $Q^*_2=100\%$, $k_{E1}=1.54$, $k_{E21}=1.915$, $k_{E31}=2.41$.

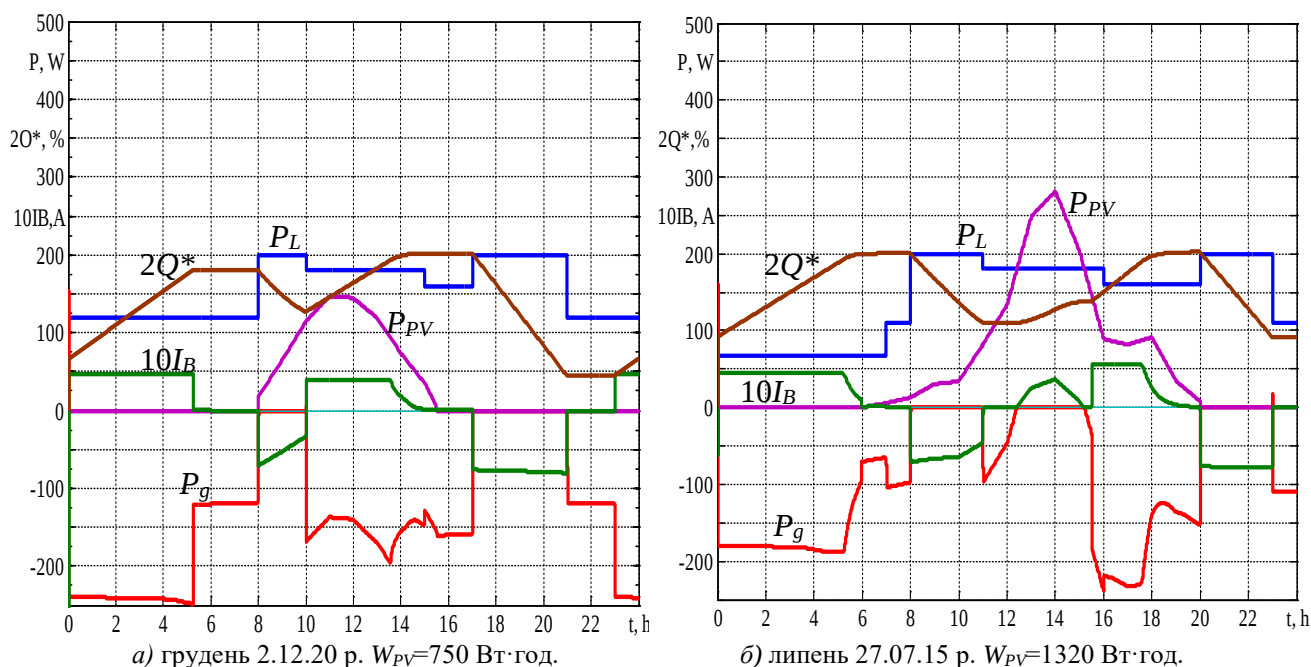


Рис. 1. Осцилограми добового циклу роботи ФЕС

Висновки. Показано, що при визначенні параметрів ФЕС з АКБ доцільно виходити з середньомісячних значень генерації ФБ в перехідні сезони року – жовтень, березень. Це дозволяє визначити параметри ФЕС та базовий графік навантаження ЛО для отримання заданих бажаних значень витрат на оплату електроенергії, що споживається з мережі. Визначені середньомісячні значення генерації ФБ для інтервалів часу у разі тризонної тарифікації згідно архівним даним за п'ять років для заданої точки локації ФЕС. Використання цих даних з цілеспрямованим формуванням ступеню заряду АКБ дозволяє планувати роботу ФЕС з підтриманням базового графіку навантаження незалежно від погодних умов. Результати моделювання енергетичних процесів в ФЕС в добовому циклі за умов близьких до середньомісячних підтверджують можливість отримання запланованих показників. Так, у разі визначення параметрів за умови зниження витрат у жовтні в два рази, за значень генерації ФБ близьких до середньомісячних зниження витрат у разі однієї ставки тарифу становить від 1.22 в січні до 4.3 в липні. Середньорічне зниження витрат за однієї ставки тарифу становить 2.076. За наявності двох тарифів оплати можна отримати зниження витрат від 1.5 в січні до 5.6 в липні. Подальше зменшення витрат на споживання електроенергії може бути досягнуто за використанням планованої генерації залишкової енергії ФБ, що є наступним завданням роботи.

References

1. Pro vnesennia zmin do deiakyx 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

Література

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:

- 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. Rao B. S. M. P. (2020). Prosumer Participation in a Transactive Energy Marketplace: A Game-Theoretic Approach. *IEEE International Power and Renewable Energy Conference*, Karunagappally, India, 1–6. doi: 10.1109/IPRECON49514.2020.9315274.
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. Комплект сонячної електростанції "Комфортний" компанії "Правильно електроживлення" [The set of the solar power plant "Comfort" of the company "Proper power supply"]. URL: <https://prel.prom.ua/p33907801-sonyachnij-komplekt-elektrostantsiyi.html> [in Ukrainian].
5. Shavelkin, A. A., Gerlici, J., Shvedchikova, I. A., Kravchenko, K., Kruhliak, H. V. (2021). Upravlenie energopotrebleniem podklyuchennoi k seti s mnogozonnoi tarifkatciei fotoelektricheskoi sistemy s akkumulatorom dlia obespecheniia sobstvennykh nuzhd lokalnogo obekta [Management of energy consumption of the photovoltaic system connected to the network with multizone charging with the accumulator for maintenance of own needs of local object]. *Electrical Engineering and Electromechanics*, № 2, P. 36–12. doi:10.20998/2074-272X.2021.2.06 [in Russian].
6. Photovoltaic geographical information system. URL: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#SA.
7. Shavolkin, O., Shvedchikova, 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.
8. Sotnyk, I. M., Zavdovyeva, Y. M., Zavdoviyev, O. I. (2014). Bahatostavkovi zonni taryfy v systemi upravlinnia popytom na elektroenerhiu [Multi-rate zone tariffs in the system of electricity demand management]. *Mekhanizm rehulivannia ekonomiky = The mechanism of economic regulation*, № 2, P. 106–113 [in Ukrainian].
9. Data sheet. LITHIUM IRON PHOSPHATE (LIFEPO4) BATTERY 12.8V 150Ah. www.enix-energies.com. 2018/04/03. URL: <https://www.enix-energies.com>.
10. Shavolkin, O. O., Pidhainyi, M. O., Stanovskyi, Ye. Yu. (2021). Modeliuvannia hibrydnoi fotoelektrychnoi systemy z akumulatornoju batarieiu dlia lokalnogo ob'iektu u razi enerhomenedzhmentu z vykorystanniam prohnozu [Modeling of a hybrid photovoltaic system with a
- <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/810-20#Text>.
2. Rao B. S. M. P. Prosumer Participation in a Transactive Energy Marketplace: A Game-Theoretic Approach. *IEEE International Power and Renewable Energy Conference*, Karunagappally, India. 2020. 1–6. doi: 10.1109/IPRECON49514.2020.9315274.
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. Комплект сонячної електростанції "Комфортний" компанії "Правильне електроживлення". URL: <https://prel.prom.ua/p33907801-sonyachnij-komplekt-elektrostantsiyi.html>.
5. Шавёлкин А. А., Шведчикова И. А., Кругляк Г. В., Gerlici J., Kravchenko K., Уpravление энергопотреблением подключенной к сети с многозонной тарификацией фотоэлектрической системы с аккумулятором для обеспечения собственных нужд локального объекта. *Електротехніка і Електромеханіка*. 2021. № 2. С. 36–12. doi: 10.20998/2074-272X.2021.2.06.
6. Photovoltaic geographical information system. URL: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#SA.
7. Shavolkin O., Shvedchikova 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)*. 2020. P. 287–292. doi:10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250096.
8. Сотник І. М., Завдов'єва Ю. М., Завдов'єв О. І. Багатоставкові зонні тарифи в системі управління попитом на електроенергію. *Механізм регулювання економіки*. 2014. № 2. С. 106–113.
9. Data sheet. LITHIUM IRON PHOSPHATE (LIFEPO4) BATTERY 12.8V 150Ah. www.enix-energies.com. 2018/04/03. URL: <https://www.enix-energies.com>.
10. Шавьолкін О. О., Підгайний М. О., Становський Є. Ю. Моделювання гібридної фотоелектричної системи з акумуляторною батареєю для локального об'єкту у разі енергоменеджменту з використанням

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].

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>.

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

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

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: stanovskiy.yevhen@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

KRUHLIAK HENNADI

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

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

¹Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

²Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, Украина

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С
АККУМУЛЯТОРОМ ДЛЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ ЛОКАЛЬНОГО ОБЪЕКТА**

Цель. Усовершенствование методики определения параметров фотоэлектрической системы с аккумулятором для нужд локального объекта с использованием архивных данных по генерации фотоэлектрической батареи и планированием затрат на потребление энергии из сети по всем сезонам года.

Методика. Использование архива данных по мощности генерации фотоэлектрической батареи и анализ энергетических процессов в фотоэлектрической системе с аккумулятором с использованием компьютерного моделирования.

Результаты. Рассчитанные в соответствии с данными архива за пять лет среднемесячные значения мощности генерации фотоэлектрической батареи, которые определены для интервалов времени в течение дня в соответствии с тарифными зонами Зависимости для определения рекомендуемого среднего значения мощности нагрузки локального объекта по интервалам времени.

Научная новизна. Предложено при определении базового графика нагрузки локального объекта и параметров фотоэлектрической системы исходить из среднемесячных значений генерации фотоэлектрической батареи в переходные сезоны года – октябрь, март и ожидаемых затрат на

оплату энергии, потребляемой из сети в течение года. Обоснован перерасчет базового значения мощности в течение года с учетом продолжительности светлого времени дня. Предложено задание рекомендованного графика загрузки локального объекта с формированием степени заряда аккумулятора согласно среднемесячным значениям мощности генерации фотоэлектрической батареи для интервалов времени в течение дня, которые определены по архивным данным для места локализации объекта.

Практическое значение. Полученные решения являются основой проектирования фотоэлектрических систем с аккумулятором для обеспечения собственных потребностей локальных объектов.

Ключевые слова: график мощности загрузки; архивные данные; фотоэлектрическая батарея; средние значения мощности по интервалам времени; аккумуляторная батарея; моделирование.

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

¹Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

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

DETERMINATION OF PARAMETERS OF THE PHOTOELECTRIC SYSTEM WITH THE BATTERY FOR NEEDS OF LOCAL OBJECT

Purpose. Improving the methodology for determining the parameters of a photoelectric system with a battery for the needs of a local object using archival data of the generation of a photoelectric battery with planning the cost of energy consumption from the network for all seasons of the year.

Methodology. Using an archive of data on the power generation of a photoelectric battery and analysis of energy processes in a photoelectric system with a battery using computer simulation.

Findings. Calculated according to the archive data for five years, the average monthly values of photoelectric battery generation power for time intervals during the day determined according to tariff zones. Dependencies to determine the recommended average value load power of a local object at time intervals.

Originality. It is proposed to determine the base schedule of the local facility and the parameters of the photoelectric system based on the average monthly values of photoelectric battery generation in the transition seasons – October, March and the expected cost of energy consumed from the grid during the year. The recalculation of the base value of power during the year is substantiated taking into account the duration of daylight. A method for determining the recommended load schedule of a local object with the formation of the battery charge according to the average monthly value of the photoelectric battery generation power at time intervals during the day, which are determined by archival data for the object location.

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

Keywords: load power graph; archival data; photoelectric battery; average power values over time intervals; battery; simulation.

УДК 677.072:
677.494: 677.01

БОБРОВА С. Ю., ДМИТРИК О. М.,
ГАЛАВСЬКА Л. Є., ЄЛІНА Т. В.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

РОЗРИВАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПЛЕКСНОЇ ПОЛІЕТИЛЕНОВОЇ НИТКИ

Мета. Дослідити вплив кількості ниток, що опираються розриву, затискної довжини та зміни положення точки переплетення при заправці петлею на розривальні характеристики комплексних поліетиленових ниток.

Методика. У процесі дослідження використано експериментальні методи досліджень визначення розривальних характеристик високомолекулярних поліетиленових ниток на розривній машині WDW-5ES у відповідності до ДСТУ ISO 2062:2004, основні положення текстильного матеріалознавства та теорії в'язання, методи аналізу та синтезу одержаних результатів.

Результати. За результатами проведених досліджень визначено вплив різних факторів на розривальні характеристики комплексних багатофіламентних ниток, а саме: вплив кількості ниток, що опираються розриву, затискної довжини та зміни положення точки переплетення при заправці петлею. У ході досліджень затискну довжину змінювали в діапазоні від 25 мм до 300 мм та за умов сталої затискної довжини (100 мм) змінювали розташування точки переплетення ниток по відношенню до нижнього затискача (25 мм, 50 мм, 75 мм). Встановлено, що на розривальні характеристики комплексної поліетиленової нитки впливає як величина затискної довжини, так і розташування точки переплетення у разі проведення випробувань петлею. Величина питомого розривального зусилля у разі проведення досліджень петлею більша ніж при дослідженні прямолінійних відрізків нитки. Це пояснюється паралелізацією та ущільненням філаментів за рахунок наявності на відрізку нитки, що опирається розриву, точки переплетення.

Наукова новизна. Встановлені закономірності впливу затискної довжини, лінійної густини та розташування точки переплетення комплексних високомолекулярних поліетиленових ниток по відношенню до нижнього та верхнього затискачів за умов сталої затискної довжини (100 мм) на величину розривального навантаження та видовження.

Практична значимість. Визначення факторів, що впливають на розривальні характеристики комплексної поліетиленової нитки, дозволить у подальшому на етапі проєктування структури трикотажу в системах комп'ютерного 3D моделювання передбачити величину розривального зусилля.

Ключові слова: комплексна поліетиленова нитка; розривальне навантаження; розривальне видовження; міцність нитки; розрив петлею; захисний текстильний матеріал.

Вступ. Високоміцні поліетиленові нитки [1] завдяки своїм фізико-механічним характеристикам широко використовуються у виробництві захисних текстильних матеріалів для забезпечення захисту від дії механічних ушкоджень колючих та ріжучих предметів. Зокрема це бронежилети прихованого типу, захисні рукавички та нарукавники, наколінники, налокітники тощо. Для вказаної групи виробів у якості текстильного матеріалу використовують переважно трикотаж. Наразі трикотажні підприємства внаслідок відсутності технологій та певного досвіду переробки високоміцних ниток на в'язальному обладнанні не наважуються започаткувати вітчизняне виробництво трикотажних полотен для виготовлення засобів індивідуального захисту від механічних ушкоджень.

Постановка завдання. У процесі переробки на в'язальному обладнанні та вв'язування у структуру трикотажу, комплексні поліетиленові нитки огинають робочі органи з малим радіусом кривизни, піддаються згину та тертю, що у подальшому призводить до руйнування окремих філаментів та втрати міцності вихідної комплексної нитки. У процесі силових навантажень на трикотажну структуру спочатку відбувається перерозподіл нитки з платинних та голкових дуг у палички остовів петель при розтязі по довжині та навпаки з паличок остовів

петель у голкові та платинні дуги при розтязі по ширині. Внаслідок цього відбувається видовження трикотажу у напрямку розтягу. По завершенню перерозподілу нитки під дією розтягуючого зусилля розпрямлені відрізки ниток в структурі трикотажу розпочинають чинити опір розривальному навантаженню, зокрема у точках переплетення ниток в петлях.

Авторами роботи [2] досліджено міцність ниток після їх переробки на в'язальному обладнанні у вигляді прямолінійного відрізка затискної довжини 500 мм за стандартною методикою, а також петлі, утвореної з двох взаємно переплєтених ниток зі зміною кута обхвату ниток. Різний кут обхвату дозволяє змодельовати навантаження на нитки в структурі трикотажу при його розтягуванні. Однак автори використовують у своїх дослідженнях традиційні для трикотажної галузі види сировини.

У роботі [3] досліджено вплив різноманітних факторів на розривальні характеристики надміцної сировини, а саме її стан (мокрий чи сухий), вигляд проби (прямолінійний відрізок нитки, у вигляді петлі чи вузла). Це дозволило дати оцінку неоднорідності структури ниток, виявити зміни, що відбуваються в нитках при їх переробці у текстильний матеріал.

Внаслідок низького коефіцієнта тертя у поєднанні з хімічною інертністю вихідного полімеру виникають проблеми щодо надійності закріплення нитки у затискачах розривної машини. Тому встановлення характеристик пружності та міцності високомолекулярних поліетиленових ниток є складною і трудомісткою процедурою. Робота [4] присвячена розробці методики визначення розривальних характеристик високомолекулярних поліетиленових ниток. Авторами досліджено способи закріплення комплексної поліетиленової нитки в затискачах машини, а саме тип затискачів, матеріал й розмір накладок та тип клейового зв'язуючого, що забезпечать одночасний розрив усіх складових її волокон.

У роботах [5, 6] досліджено вплив типу плосков'язального обладнання на формоутворення петель трикотажу та показники втрати міцності високомолекулярних поліетиленових та параарамідних ниток, з яких його вироблено. Встановлено, що на форму петель та втрату міцності ниток впливають особливості перебігу процесу петлетворення, а саме виконання операції відтягування: зосереджене за участю платин чи загальне. Але при цьому авторами не вивчено вплив технологічних факторів на втрату їх міцності у процесі переробки на в'язальному обладнанні.

Дослідженню впливу параметрів в'язання трикотажу з високомолекулярних поліетиленових ниток на його структурні характеристики присвячена робота [7]. Авторами висвітлено досвід переробки вказаного виду сировини на сучасному плосков'язальному обладнанні Stoll CMS 330 10 класу. Встановлено вплив глибини кулірування на параметри структури трикотажу переплетення гладь. Однак відсутні відомості щодо характеру втрати міцності нитки внаслідок зміни параметрів в'язання трикотажу.

Шляхом реалізації активного експерименту на плосков'язальній машині Stoll CMS 330 у роботі [8] встановлено вплив глибини кулірування на параметри структури трикотажу, виробленого з високомолекулярних поліетиленових ниток переплетенням виворітний ластик. Однак відсутні відомості щодо впливу технологічних параметрів процесу в'язання трикотажу на втрату міцності ниток, з яких його вироблено.

Авторами роботи [9] сформульовано переваги та недоліки переробки високомолекулярної поліетиленової нитки на двох типах плосков'язального обладнання (з платинами та без), що відрізняються за принципом виконання окремих операції, таких як відтягування полотна та формування петель. Однак, відсутній аналіз особливостей процесу петлетворення на обраних двох типах плосков'язального обладнання, що може мати визначальний вплив на втрату міцності ниток.

Вивченню в'язальної здатності високомолекулярної поліетиленової нитки при її переробці в структуру подвійних кулірних переплетень (ластик 1+1, комбіноване на базі

ластик та гладі) присвячена робота [10]. При цьому відомості щодо втрати її міцності у процесі переробки відсутні.

Авторами роботи [11] для виготовлення трикотажу з високомолекулярної поліетиленової нитки, призначеного для виготовлення виробів, що забезпечуватимуть захист верхніх кінцівок людини від механічних впливів, використано два типи плосков'язального обладнання: плоскофангову машину типу ПВРК та рукавичний автомат ПА-8-33. У ході досліджень встановлено розривальні характеристики розроблених зразків трикотажу. Однак відсутня інформація щодо втрати міцності нитки у процесі її переробки на вказаних типах плосков'язального обладнання.

Аналіз вищенаведених робіт дозволив зробити висновок, що питання виявлення факторів, що впливають на розривальні характеристики високомолекулярних поліетиленових ниток та втрату їх міцності у процесі переробки на в'язальному обладнанні, недостатньо вивчене у наукових роботах.

Визначення факторів, що впливають на міцність комплексної поліетиленової нитки, дозволить у подальшому на етапі проектування трикотажу з використанням розроблених 3D моделей його структури в системах комп'ютерного моделювання передбачити його розривальні характеристики.

Об'єкти і методи досліджень. Об'єктом дослідження є процес руйнування високомолекулярних поліетиленових ниток внаслідок прикладених зусиль. У роботі використано комплексні високомолекулярні поліетиленові нитки лінійної густини 44 текс (140 філаментів) торгової марки Doyentrontex компанії «Beijing Tong yi zhong» (Китай). У ході досліджень змінювали затискну довжину від 25 мм до 300 мм та за умови сталої затискної довжини (100 мм) змінювали розташування точки переплетення ниток по відношенню до нижнього та верхнього затискачів. Для вивчення розривальних характеристик високомолекулярних поліетиленових ниток у відповідності до [12] використано розривну машину WDW-05M з нижнім нерухомим затискачем та верхнім, що рухається зі сталою швидкістю.

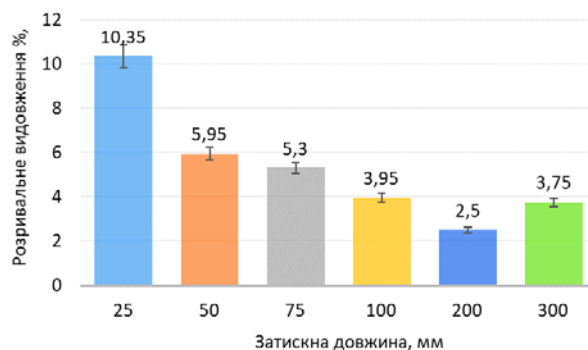
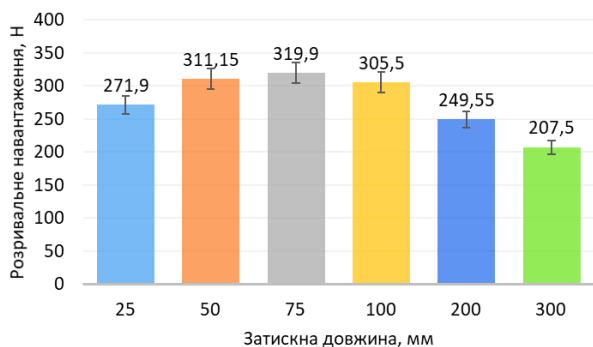
Результати досліджень. Імітація процесу розірвання трикотажу з використанням розроблених 3D моделей його структури в системах комп'ютерного моделювання передбачає попередній процес вивчення поведінки ниток під дією силових навантажень та дослідження факторів, що впливають на її міцність під час прикладання розтягуючих зусиль. З цією метою проведено експериментальні дослідження з визначення впливу затискної довжини, кількості ниток, що опираються розриву та умови заправки (прямолінійний відрізок нитки чи петлею) на розривальні характеристики комплексних багатофіламентних поліетиленових ниток [13].

На підставі одержаних результатів досліджень побудовані відповідні діаграми розривального зусилля та видовження, які наведено на рис. 1–3. Для співставлення результатів з позиції впливу кількості ниток, що опираються розриву, на підставі одержаних результатів величини розривального зусилля розраховано питоме розривальне зусилля, тобто зусилля, що приходить на одну нитку P_{1n} при випробуванні її різними методами, яке розраховується як відношення величини середнього розривального навантаження на нитку P_n до кількості ниток, що чинять опір розриву (n):

$$P_{1n} = \frac{P_n}{n}$$

Як видно з діаграм, одержані результати розривального навантаження для 3, 6 ниток та петлею корелюються з величиною питомого розривального зусилля у перерахунку на одну нитку. Слід відзначити, що на розривальні характеристики впливає затискна величина. У діапазоні від 25 мм до 100 мм величина розривального зусилля зростає, а в діапазоні від 100 мм до 300 мм зменшується, що можна пояснити зменшенням площі поперечного перерізу

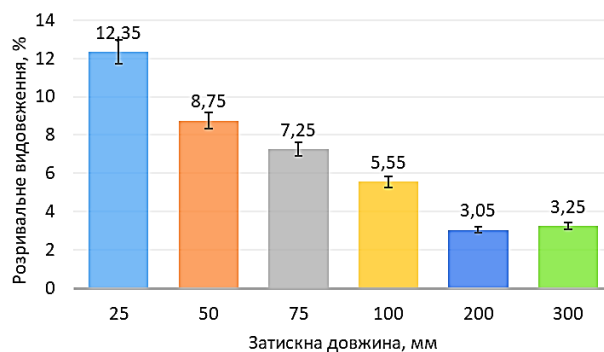
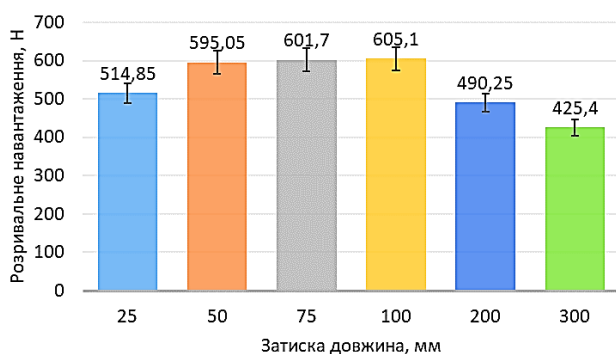
елементарних волокон нитки (зміна межі пружності). При цьому зі збільшенням затискної величини відносно розривальне видовження зменшується, що можна пояснити зменшенням розривального навантаження, що припадає на одиницю довжини відрізка нитки.



а

б

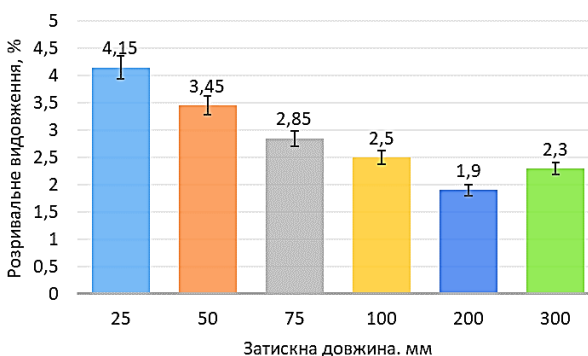
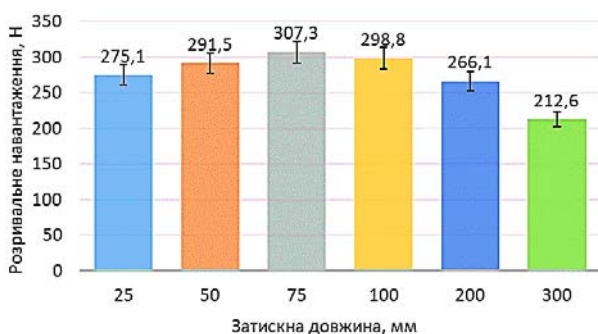
Рис. 1. Діаграми розривального зусилля (а) та видовження (б) при заправці у затискачі 3 ниток лінійної густини 44 текс



а

б

Рис. 2. Діаграми розривального зусилля (а) та видовження (б) при заправці у затискачі 6 ниток лінійної густини 44 текс



а

б

Рис. 3. Діаграми розривального зусилля (а) та видовження (б) при заправці петлею нитки лінійної густини 44 текс

При проведенні досліджень розривальних характеристик ниток при заправці петлею два відрізка ниток заправляли у затискачі машини таким чином, щоб утворилася імітація точки

переплетення, що характерна для структури трикотажу. При цьому точку переплетення в петлі розташовували на відстані 75, 50 та 25 мм від рухомого затискача при затискній довжині 100 мм (рис. 4). Це дає можливість проаналізувати, як змінюється величина розривального зусилля та видовження зі зміною положення точки переплетення по відношенню до рухомого затискача.

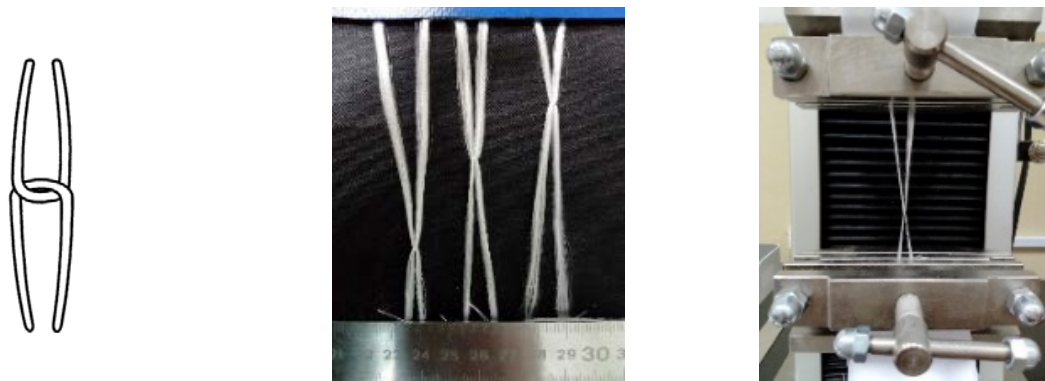
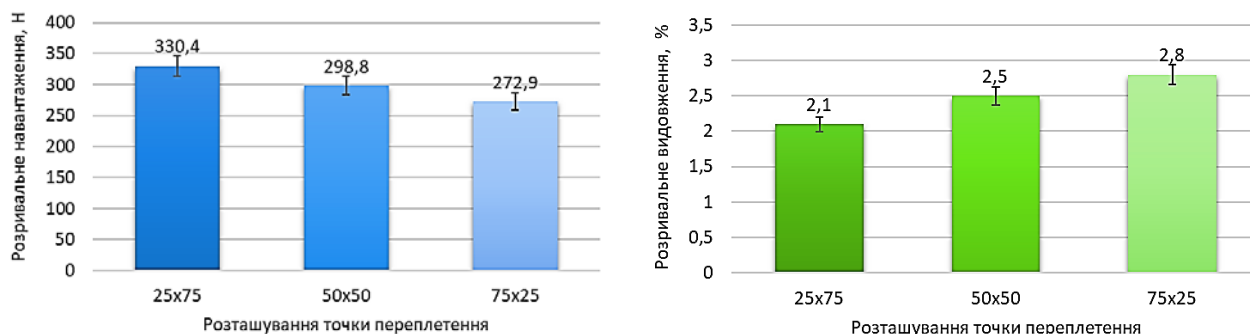


Рис. 4. Схема заправки нитки петлею у затискачах розривної машини

На підставі одержаних результатів побудовані відповідні діаграми для розривального зусилля та відносного видовження (рис. 5). Як видно з діаграм, зміщення точки переплетення від рухомого затискача до нерухомого призводить до зменшення величини розривального зусилля, що пояснюється зменшенням плеча прикладання зусилля по відношенню до відрізка петлі нижнього затискача, тобто зростає зусилля, що припадає на одиницю довжини відрізка нитки в петлі верхнього затискача. При цьому розривальне видовження зростає.



а

б

Рис. 5. Діаграми розривального зусилля (а) та видовження (б) при заправці у затискачі ниток лінійної густини 44 текс петлею

Висновок: На розривальні характеристики комплексної поліетиленової нитки впливає як величина затискної довжини, так і розташування точки переплетення у разі проведення випробувань петлею. Величина питомого розривального зусилля у разі проведення досліджень петлею більша, ніж при дослідженні прямолінійних відрізків нитки. Це можна пояснити паралелізацією та ущільненням філаментів за рахунок наявності на відрізку нитки, що опирається розриву, точки переплетення. Встановлені закономірності дозволять у подальшому передбачити величину розривального зусилля на етапі проєктування структури трикотажу в комп'ютерних системах моделювання його властивостей.

Подяка. Робота виконувалась у рамках спільного українсько-литовського науково-дослідного проєкту «Трикотажні матеріали для засобів індивідуального захисту від механічних пошкоджень та дії полум'я (акронім – PERPROKNIT)» (державний реєстраційний номер 0121U113770) за підтримки Міністерства освіти і науки України.

References

1. Official site of the company Beijing Tongyizhong. URL: http://www.bjtyz.com/en/index.php?optionid=681&auto_id=16.
2. Krylova, L. O., Dmytrenko, L. A. (2012). Vykorystannia mitsnosti nytky v trykotazhi. Povidomlennia 1 [Using the strength of the thread in the jersey. Message 1]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dyzainu* = Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design, № 1 (63), P. 110–114 [in Ukrainian].
3. Globina, S. A., Kurdenkova, A. V., Shustov, Iu. S., Bulanov, Ia. I. (2018). Issledovanie prochnosti v sukhom i mokrom sostoianii paraaramidnykh nitei rossiiskogo i zarubezhnogo proizvodstva [Investigation of the dry and wet strength of para-aramid yarns of Russian and foreign production]. *Vestnik nauki i obrazovaniia* = Bulletin of Science and Education, № 7 (43), P. 27–32 [in Russian].
4. Stepashkin, A. A., Maksimkin, A. V., Chukov, D. I., Cherdyntsev, V. V. (2013). Opyt issledovaniia mekhanicheskikh svoistv vysokoprochnogo volokna na osnove sverkhvysokomolekuliarnogo polietilena [Experience in investigating the mechanical properties of high-strength fiber based on ultra-high molecular weight polyethylene]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia* = Modern problems of science and education, № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=10755> [in Russian].
5. Dmytryk, O. M., Bezsmertna, V. I., Halavska, L. Ye. (2020). Vplyv typu v'iazalnoho obladnannia na pokaznyky vtraty mitsnosti polietylenovykh ta paraaramidnykh nytok pislia v'iazannia [Influence of the type of knitting equipment on the indicators of loss of strength of polyethylene and paraaramid threads after knitting]. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu* = Bulletin of Kherson National Technical University, № 1 (72), Part 1, P. 89–96 [in Ukrainian].
6. Dmytryk, O. M., Bezsmertna, V. I., Halavska, L. Ye. (2020). Vplyv typu ploskov'iazalnoho obladnannia na petelnu strukturu trykotazhu, vyroblenoho z syrovyny pidvyshchenoi mitsnosti ta u poiednanni z metalevoiu mononytkoiu [Influence of the type of flat knitting equipment on the loop structure of knitwear made of raw materials of high strength and in combination with metal monofilament]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky* = Bulletin of Khmelnytsky National University. Series: Technical Sciences, № 1 (281), P. 80–86 [in Ukrainian].

Література

1. Official site of the company "BeijingTongyizhong". URL: http://www.bjtyz.com/en/index.php?optionid=681&auto_id=5.
2. Крилова Л. О., Дмитренко Л. А. Використання міцності нитки в трикотажі. Повідомлення 1. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2012. № 1 (63). С. 110–114.
3. Глобина С. А., Курденкова А. В., Шустов Ю. С., Буланов Я. И. Исследование прочности в сухом и мокром состоянии параарамидных нитей российского и зарубежного производства. *Вестник науки и образования*. 2018. № 7 (43). С. 27–32.
4. Степашкин А. А., Максимкин А. В., Чуков Д. И., Чердынцев В. В. Опыт исследования механических свойств высокопрочного волокна на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена. *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=10755>.
5. Дмитрик О. М., Безсмертна В. І., Галавська Л. Є. Вплив типу в'язального обладнання на показники втрати міцності поліетиленових та параарамідних ниток після в'язання. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2020. № 1 (72), Ч. 1. С. 89–96.
6. Дмитрик О. М., Безсмертна В. І., Галавська Л. Є. Вплив типу плосков'язального обладнання на петельну структуру трикотажу, виробленого з сировини підвищеної міцності та у поєднанні з металевою монониткою. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2020. № 1 (281). С. 80–86.

7. Bobrova, S. Yu., Halavska, L. Ye., Synkova, L. A. (2018). Vplyv parametriv v'iazannia na strukturni kharakterystyky trykotazhu, vyhotovlenoho z vysokomolekuliarnykh polietylenovykh nytok [Influence of knitting parameters on the structural characteristics of knitwear made of high molecular weight polyethylene threads]. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu = Bulletin of Kherson National Technical University*, № 4, P. 133–136 [in Ukrainian].
8. Bobrova, S. Yu., Halavska, L. Ye. (2018). Doslidzhennia parametriv struktury trykotazhu z vysokomolekuliarnykh polietylenovykh nytok [Research of parameters of structure of jersey from high-molecular polyethylene threads]. *Stan i perspektyvy rozvytku khimichnoi, kharchovoi ta parfumerno-kosmetychnoi haluzei promyslovosti [Status and prospects of development of chemical, food and perfume and cosmetics industries]: materialy Vseukrainskoi konferentsii*, m. Kherson, 22–23 travnia 2018 roku. Kherson: KhNTU. P. 42–43 [in Ukrainian].
9. Shybyryn, K. A., Habelko, A. M.; ed. Bobrova, S. Yu. (2017). Rozrobka trykotazhu pidvyshchenoi mitsnosti, shcho vykorystovuietsia dlia zakhystu ruk vid dii mekhanichnykh poshkodzen [Development of high-strength knitwear used to protect hands from mechanical damage]. *Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi: tezy dopovidei XVI Vseukrainskoi naukovo konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv* (27–28 kvitnia 2017 r., Kyiv). K.: KNUVD, 2017. Vol. 1: Suchasni materialy i tekhnologii vyrobnytstva vyrobiv shirokoho vzhytку ta spetsialnoho pryznachennia [Modern materials and technologies for the production of consumer goods and special purposes]. P. 306–307 [in Ukrainian].
10. Bobrova, S. Yu., Halavska, L. Ye., Bakhmach, D. A. (2016). Rozrobka struktury trykotazhu z vykorystanniam nadmitsnoi syrovyny na ploskov'iazalnomu obladdanni [Development of structure of jersey with use of high-strength raw materials on the flat-knitting equipment]. *Tezy dopovidei II Mizhnarodnoi nauково-praktychnoi konferentsii "Suchasnyi stan lehkoї i tekstylnoi promyslovosti: innovatsii, efektyvnist, ekolohichnist"* [Abstracts of the II International Scientific and Practical Conference "Current state of light and textile industry: innovation, efficiency, environmental friendliness"] (27–28 zhovtnia 2016 r.). Kherson: Vydavnytstvo KhNTU. P. 43–45 [in Ukrainian].
11. Bobrova, S. Yu. (2018). Rozrobka trykotazhu dlia zakhystu ruk vid mekhanichnykh nebezpek [Development of knitwear to protect hands from mechanical hazards]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky = Bulletin of Khmelnytsky National University. Technical sciences*, № 5, P. 242–246 [in Ukrainian].
7. Боброва С. Ю., Галавська Л. Є., Синькова Л. А. Вплив параметрів в'язання на структурні характеристики трикотажу, виготовленого з високомолекулярних поліетиленових ниток. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2018. № 4. С. 133–136.
8. Боброва С. Ю., Галавська Л. Є. Дослідження параметрів структури трикотажу з високомолекулярних поліетиленових ниток. *Стан і перспективи розвитку хімічної, харчової та парфумерно-косметичної галузей промисловості: матеріали Всеукраїнської конференції*, м. Херсон, 22–23 травня 2018 року. Херсон: ХНТУ, 2018. С. 42–43.
9. Шибырин К. А., Габелко А. М.; наук. кер. Боброва С. Ю. Розробка трикотажу підвищеної міцності, що використовується для захисту рук від дії механічних пошкоджень. *Наукові розробки молоді на сучасному етапі: тези доповідей XVI Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів* (27–28 квітня 2017 р., Київ). К.: КНУТД, 2017. Т. 1: Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального призначення. С. 306–307.
10. Боброва С. Ю., Галавська Л. Є., Бахмач Д. А. Розробка структури трикотажу з використанням надміцної сировини на плосков'язальному обладнанні. *Тези доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції "Сучасний стан легкої і текстильної промисловості: інновації, ефективність, екологічність"* (27–28 жовтня 2016 р.). Херсон: Видавництво ХНТУ, 2016. С. 43–45.
11. Боброва С. Ю. Розробка трикотажу для захисту рук від механічних небезпек. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2018. № 5. С. 242–246.

12. DSTU ISO 2062:2004. Tekstyl. Priazha z pakovan. Vyznachennia rozryvalnoho navantazhennia ta vydovzhennia pid chas rozryvu [Textile. Yarn from packages. Determination of breaking load and elongation during rupture] (ISO 2062:1995, IDT) [in Ukrainian].

13. Dmytryk, O. M., Bobrova, S. Yu., Halavska, L. Ye. (2021). Vyvchennia faktoriv, shcho vplyvaiut na vtratu mitsnosti vysokomolekuliarnykh polietylenovykh nytok [Study of factors influencing loss of strength of high molecular weight polyethylene threads]. V Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia tekstylnykh i modnykh tekhnologii "KyivTex & Fashion". Kyiv. P. 88–90 [in Ukrainian].

12. ДСТУ ISO 2062:2004. Текстиль. Пряжа з пакувань. Визначення розривального навантаження та видовження під час розриву (ISO 2062:1995, IDT).

13. Дмитрик О. М., Боброва С. Ю., Галавська Л. Є. Вивчення факторів, що впливають на втрату міцності високомолекулярних поліетиленових ниток. Збірник тез доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion (21 жовтня 2021, Київ, Україна). Київ, 2021. С. 88–90.

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

DMYTRYK OKSANA

Department of Textile Technology and Design,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8638-9632>
Scopus Author ID: 57225127346
E-mail: dmytryk.om@knuutd.edu.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

БОБРОВА С. Ю., ДМИТРИК О. М., ГАЛАВСКАЯ Л. Е., ЕЛИНА Т. В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

РАЗРЫВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПЛЕКСНОЙ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ НИТИ

Цель. Исследовать влияние количества нитей, сопротивляющихся разрыву, зажимной длине и изменению положения точки переплетения при заправке петлей на разрывные характеристики комплексных полиэтиленовых нитей.

Методика. В процессе исследования использованы экспериментальные методы исследований определения разрывных характеристик высокомолекулярных полиэтиленовых нитей на разрывной машине WDW-5ES в соответствии с ДСТУ ISO 2062:2004, основные положения текстильного материаловедения и теории вязания, методы анализа и синтеза полученных результатов.

Результаты. По результатам проведенных исследований определено влияние различных факторов на разрывные характеристики комплексных многофиламентных нитей, а именно: влияние количества опирающихся разрыва нитей, зажимной длины и изменения положения точки переплетения при заправке петлей. В ходе исследований зажимную длину изменяли в диапазоне от 25мм до 300мм и при устойчивой зажимной длине (100 мм) изменяли расположение точки переплетения нитей по отношению к нижнему зажиму (25мм, 50мм, 75мм). Установлено, что разрывные характеристики комплексной полиэтиленовой нити влияют как величина зажимной

длины, так и расположение точки переплетения в случае проведения испытаний петлей. Величина удельного разрывного усилия при проведении исследований петлей больше, чем при исследовании прямолинейных отрезков нити. Это объясняется параллелизацией и уплотнением филаментов за счет наличия на отрезке нити, сопротивляющейся разрыву, точки переплетения.

Научная новизна. Установлены закономерности влияния зажимной длины, линейной плотности и расположения точки переплетения комплексных высокомолекулярных нитей по отношению к нижнему и верхнему зажиму при условии фиксированной зажимной длины (100 мм) на величину разрывной нагрузки и удлинения.

Практическая значимость. Определение факторов, влияющих на разрывные характеристики комплексной полиэтиленовой нити, позволит в дальнейшем на этапе проектирования структуры трикотажа в системах компьютерного 3D моделирования предусмотреть величину разрывающего усилия.

Ключевые слова: комплексная полиэтиленовая нить; разрывная нагрузка; разрывное удлинение; прочность нити; разрыв петлей; защитный текстильный материал.

BOBROVA S. Yu., DMYTRYK O. M., HALAVSKA L. Ye., YELINA T. V.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

BREAKING CHARACTERISTICS OF INTEGRATED POLYETHYLENE THREAD

Purpose. To investigate the influence of the number of threads resisting to break, the gripping length, and the change in the position of the interlacing point when threading with a loop the breaking characteristics of complex polyethylene threads in the form of a loop.

Methodology. In the course of the research, experimental research methods were used to determine the breaking characteristics of high molecular weight polyethylene threads on a WDW-5ES tensile machine in accordance with DSTU ISO 2062: 2004, the main provisions of textile materials science and knitting theory, methods of analysis and synthesis of the results obtained.

Results. Based on the results of the studies, the influence of different factors on the breaking characteristics of complex multifilament threads was determined, namely: the influence of the number of threads resting on the break, the gripping length and the change in the position of the weave point when threading with a loop. In the course of research, the gripping length was changed in the range from 25mm to 300mm, and with a stable gripping length (100 mm), the location of the thread weave point relative to the lower grip (25mm, 50mm, 75mm) was changed. It has been found that the breaking characteristics of a complex polyethylene yarn are influenced by both the gripping length and the location of the weave point in the case of a loop-shaped break. The magnitude of the specific breaking force in the study of loop-shaped rupture is greater than in the study of straight segments of the thread. This is due to parallelization and compaction of the filaments due to the presence of the weave point on the thread that resists tearing.

Scientific novelty. Regularities of the effect of gripping length, linear density, and location of the point of weave of the complex high molecular threads in relation to the downer and upper grip are established provided that the gripping length (100 mm) remains unchanged on the value of breaking load and elongation.

Practical significance. Determination of the factors affecting the breaking characteristics of a complex polyethylene yarn will allow in the future, at the stage of designing the structure of knitwear in computer 3D modeling systems, to provide for the magnitude of the breaking force.

Keywords: complex polyethylene thread; breaking load; breaking elongation; thread strength; loop break; protective textile material.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.4.6>

УДК 677.494

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

¹Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

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

ВПЛИВ МЕХАНІЧНОЇ АКТИВАЦІЇ НА РОЗМІРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ФОРМУ ЧАСТИНОК ГЛИНОПОРОШКІВ РІЗНОГО ТИПУ

Мета. Визначення впливу процесу попередньої механічної активації на розмірні характеристики та форму частинок глинопорошків різного типу.

Методика. Об'єктами досліджень в роботі були вибрані глинопорошки монтморилонітового та палигорськітового типу. Процес механічної активації глинопорошків виконувався за допомогою лабораторного кульового млину. Для мікроаналізу частинок зразків використовувався метод оптичної поляризаційної мікроскопії. Морфометричний аналіз частинок глинопорошків виконували методом аналізу зображень у програмі ImageJ. При цьому визначали площу й периметр та розраховували еквівалентний діаметр і показник форми частинок зразків. Статистичну обробку експериментальних даних проводили за допомогою програмних пакетів «Statistica» та «Excel».

Результати. В роботі досліджено вплив процесу механічної активації на розмірні характеристики та форму частинок глинопорошків монтморилонітового та палигорськітового типу. Встановлено, що зменшення середніх значень еквівалентного діаметру частинок в процесі механічного впливу (~ на 14–15%) реалізується переважно за рахунок руйнування найбільш великих їх агрегатів. При цьому інтенсивність цього процесу – помітно вища для глини монтморилонітового типу. Показано, що для обох досліджених зразків процес механоактивації призводить до зростання середніх значень показника форми частинок (~ на 9–10%) та збільшення однорідності їх розподілу за цим показником.

Наукова новизна. З використанням детального морфометричного аналізу частинок різних типів глинопорошків, встановлені закономірності впливу процесу механічної активації на кількісні статистичні характеристики їх розподілу за еквівалентним діаметром та показником форми.

Практичне значення. Отримані результати дозволять обґрунтовано підійти до вибору методів попередньої обробки глинопорошків, призначених для виробництва наповнених полімерних нанокомпозиційних матеріалів.

Ключові слова: глинопорошок; полімерний композит; механоактивація; частинка; еквівалентний діаметр; показник форми; морфометричний аналіз.

Вступ. Широке використання полімерів в різноманітних галузях промисловості є однією з сучасних тенденцій розвитку виробництва. Переважна більшість полімерів використовується в нинішній час у вигляді композиційних матеріалів, що вміщують окрім основного полімеру різноманітні добавки органічної та неорганічної природи [1–3]. Це дозволяє розширити спектр композиційних полімерних виробів з характеристиками, які задовольняють конкретним вимогам споживачів такої продукції.

Велика увага приділяється в останній час використанню для одержання полімерних композиційних матеріалів мікро- та нанодисперсних мінеральних наповнювачів класу алюмосилікатів (глин) [4–6]. Їх застосування дозволяє суттєво покращити фізико-механічні характеристики вихідної полімерної матриці [7], збільшити її стійкість до підвищених температур експлуатації [8], а також надати корозійну стійкість полімерним покриттям [9]. Крім того, використання глинистих наповнювачів вирішує й важливу екологічну проблему за рахунок зменшення частки полімерної складової в композиті.

Початкові розміри, форма частинок та характер розподілу за цими показниками є одними з основних фізичних характеристик мінеральних наповнювачів [10]. Вони визначають

технологічні особливості їх підготовки, введення в основний компонент суміші, ступінь диспергування та однорідність їх розподілу в полімерній матриці.

Як було встановлено в попередніх дослідженнях [11], розподіл частинок різних глинопорошків за розмірними характеристиками відповідає логнормальному закону з довгим правим «хвостом». Це свідчить про наявність в зразках відносно великих агрегатів частинок глини, що може чинити негативний вплив на макрооднорідність полімерних композиційних матеріалів. Одним із шляхів подолання цієї проблеми є використання додаткових операцій підготовки наповнювача, направлених на зменшення розмірних характеристик агрегатів частинок. В цьому сенсі, метод механічної активації є найбільш простим в реалізації та економічно обґрунтованим.

Постановка завдання. *Мета роботи* – визначення впливу процесу попередньої механічної активації на розмірні характеристики та форму частинок глинопорошків різного типу.

Матеріали та методи дослідження. Об'єктами досліджень в роботі були вибрані глинопорошки виробництва компанії «Дашбент» [12] монтморилонітового (марка С4Т₂К) та палигорськітового (марка ПП-5) типу (М1 та П1 відповідно). Для їх сухого подрібнення застосовано лабораторний циліндричний кульовий млин з використанням в якості розмельних елементів керамічних куль діаметром 20 мм. Частота обертання млина складала 60 об/хв; час обробки – 20 хв. Для мікроаналізу частинок глинопорошків використовувався метод оптичної поляризаційної мікроскопії з фіксацією цифрових зображень об'єктів дослідження (мікроскоп марки МП-6). Морфометричний аналіз частинок виконували методом аналізу зображень у програмі «ImageJ» [13]. При цьому визначали площу (S_p) та периметр (P_p) окремих частинок зразків. Еквівалентний діаметр ($D_e = \sqrt{4S_p/\pi}$) і показник форми ($SF = 4\pi \cdot S_p / P_p^2$) частинок розраховували по відповідним формулам. Статистичну обробку експериментальних даних виконували за допомогою програмних пакетів «Statistica» і «Excel».

Результати дослідження. На рис. 1 наведені мікрофотографії частинок досліджених зразків глини до та після механоактивації. Візуальний аналіз свідчить про помітний вплив цього процесу на розмірні характеристики частинок глини обох типів та характер їх розподілу.

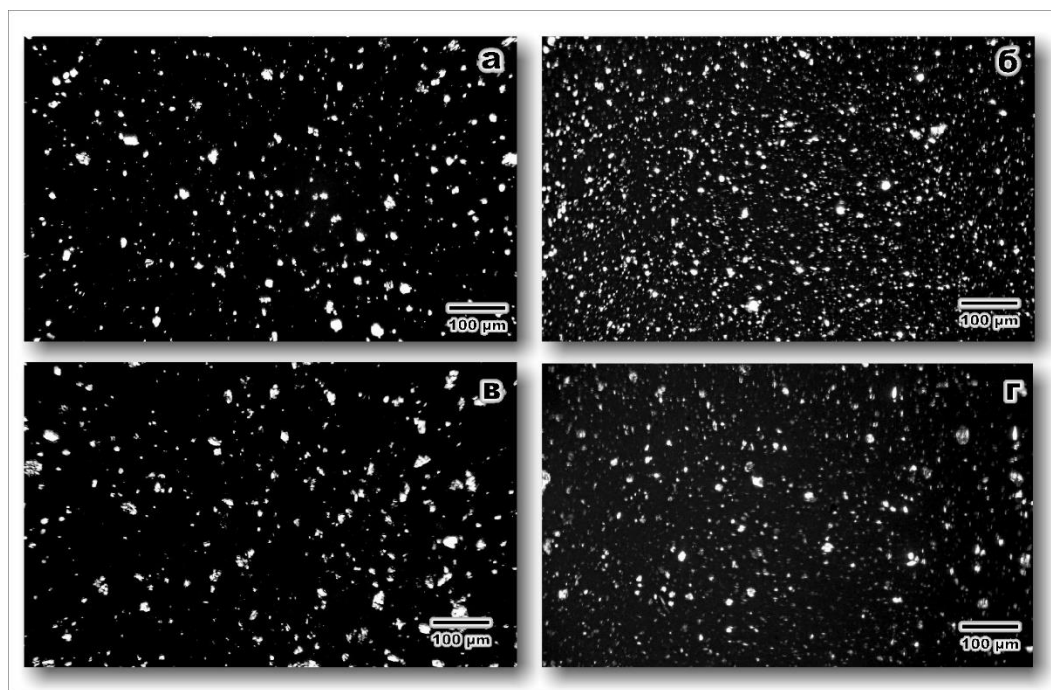


Рис. 1. Мікрофотографії в поляризованому світлі (поляроїди схрещені) частинок глини зразків М1(а, б) та П1(в, г), до (а, в) та після (б, г) механоактивації

Результати кількісного аналізу розподілу частинок зразків М1 та П1 за еквівалентним діаметром (D_e) в початкових зразках та після проведення процесу механоактивації представлені на рис. 2. Можна бачити, що в обох випадках реалізується якісно подібний характер розподілу частинок за D_e , який добре апроксимується логнормальною кривою с довгим правим «хвостом». В той же час після механоактивації спостерігаються певні кількісні зміни, які полягають в зменшенні відносної кількості частинок великих розмірів. Це свідчить, що процес механоактивації впливає в першу чергу саме на такий тип частинок, збільшуючи їх кількість в середині розподілу. Це також підтверджується помітним загостренням апроксимуючих логнормальних кривих (рис. 2) на гістограмах розподілу частинок досліджених глин за еквівалентним діаметром.

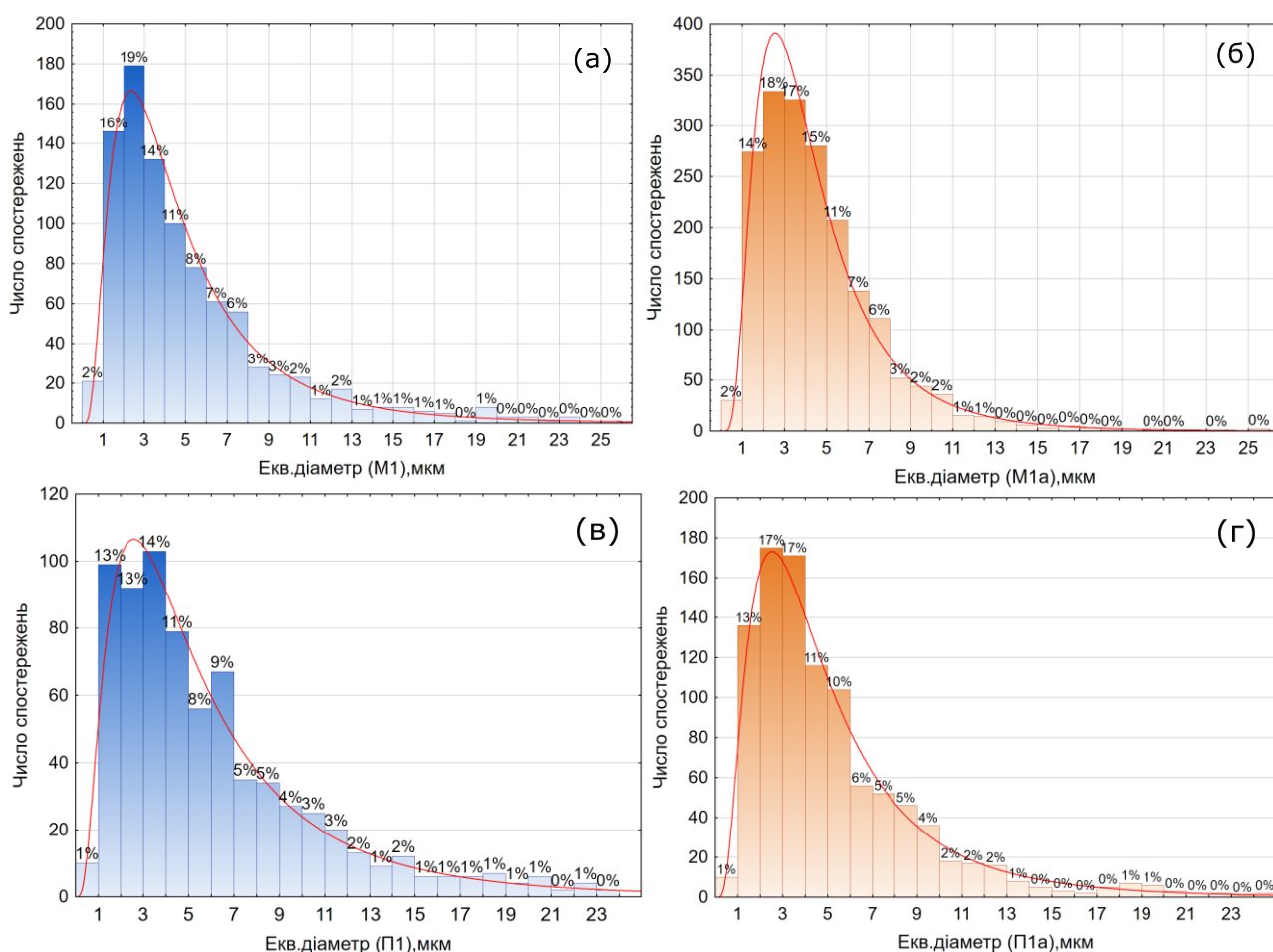


Рис. 2. Гістограми розподілу частинок глини М1 (а, б) та П1 (в, г) за еквівалентним діаметром до (а, в) та після (б, г) механоактивації

З результатів наведених в табл. 1 видно, що процес механоактивації призводить до зменшення середньоарифметичних значень D_e частинок досліджених зразків на 14–15%. Відбувається також звуження 95%-ного довірчого інтервалу значень D_e та зменшення коефіцієнту варіації розподілу, що більш помітно для зразку М1. Для обох типів глин проведення процесу механоактивації незначним чином впливає на частку частинок з $D_e < 2$ мкм. В той же час кількість частинок в зразках М1 та П1 з відносно великими розмірами ($D_e > 10$ мкм) суттєво знижується (в 2,2 та 1,6 рази відповідно). Таким чином, зменшення середніх значень розмірних характеристик частинок в процесі механічного впливу

реалізується переважно за рахунок руйнування найбільш великих їх агрегатів. При цьому інтенсивність цього процесу помітно вища для глини монтморилонітового типу.

Як відомо [4], наночастинки монтморилоніту мають шарувату структуру, в той час для палигорськіту характерна виражена фібрилярна морфологія з суттєво більшою площею взаємодії частинок на рівні мікроагрегатів. Очевидно саме цим пояснюється більша стійкість агрегатів частинок палигорськіту до процесу механічного подрібнення.

В табл. 1 наведені узагальнені результати статистичного аналізу розподілу частинок глинопорошків М1 та П1 за еквівалентним діаметром до та після механоактивації.

Таблиця 1

Загальні статистичні показники розподілу частинок глинопорошків за еквівалентним діаметром до та після механоактивації

Зразок	Число об'єктів	Еквівалентний діаметр (D_e) частинок, мкм				Коефіцієнт варіації, %	Відносна кількість частинок з $D_e < 2$ мкм, %	Відносна кількість частинок з $D_e > 10$ мкм, %
		середнє значення	інтервал -95%	інтервал +95%	медіана			
М1	932	5,2	5,0	5,5	3,9	81,6	18	11
М1 (актив.)	1893	4,5	4,4	4,7	3,9	64,7	16	5
П1	734	6,5	6,1	6,9	4,8	92,1	15	18
П1 (актив.)	1010	5,5	5,2	5,8	4,1	86,6	14	11

Окрім зміни розмірних характеристик частинок глинопорошків при механоактивації, в роботі було досліджено також вплив цього процесу на їх показник форми (SF). Ця характеристика безпосередньо впливає на ефективну площу взаємодії на кордоні між полімерною матрицею та частинками наповнювача, а отже обумовлює кінцеві властивості композиційного матеріалу.

На рис. 3 представлені гістограми розподілу частинок глин М1 та П1 за показником форми в зразках до та після проведення процесу механоактивації.

Для обох початкових зразків характерний несиметричний характер розподілу, зміщений в бік більших значень SF . Для його апроксимації може бути застосований бета-розподіл, який використовується для опису процесів із природними нижньою і верхньою межами [14], а його область визначення співпадає з інтервалом значень SF (0-1). Можна бачити, що після проведення процесу механоактивації відбувається додатковий зсув найбільш вірогідних значень апроксимуючих кривих в бік більших значень SF . Це свідчить про зростання відносної кількості частинок, форма яких наближається до круглої.

В табл. 2 наведені узагальнені результати статистичного аналізу розподілу частинок глинопорошків М1 та П1 за показником форми.

Отримані результати свідчать, що для обох досліджених зразків процес механоактивації призводить до помітного зростання як середньоарифметичних, так і медіанних значень SF частинок (~ на 9–10%). Помітне зменшення коефіцієнту варіації вказує на збільшення однорідності розподілу частинок за цим показником. Про це також свідчить різке (~ у 2 рази) зниження відносної кількості частинок з $SF < 0,5$ та нееквівалентне зростання частки частинок з $SF > 0,8$ в результаті процесу механоактивації. Отримані закономірності вказують на певне вирівнювання розподілу частинок за показником форми в результаті механоактивації в основному за рахунок частинок, форма яких суттєво відрізняється від круглої.

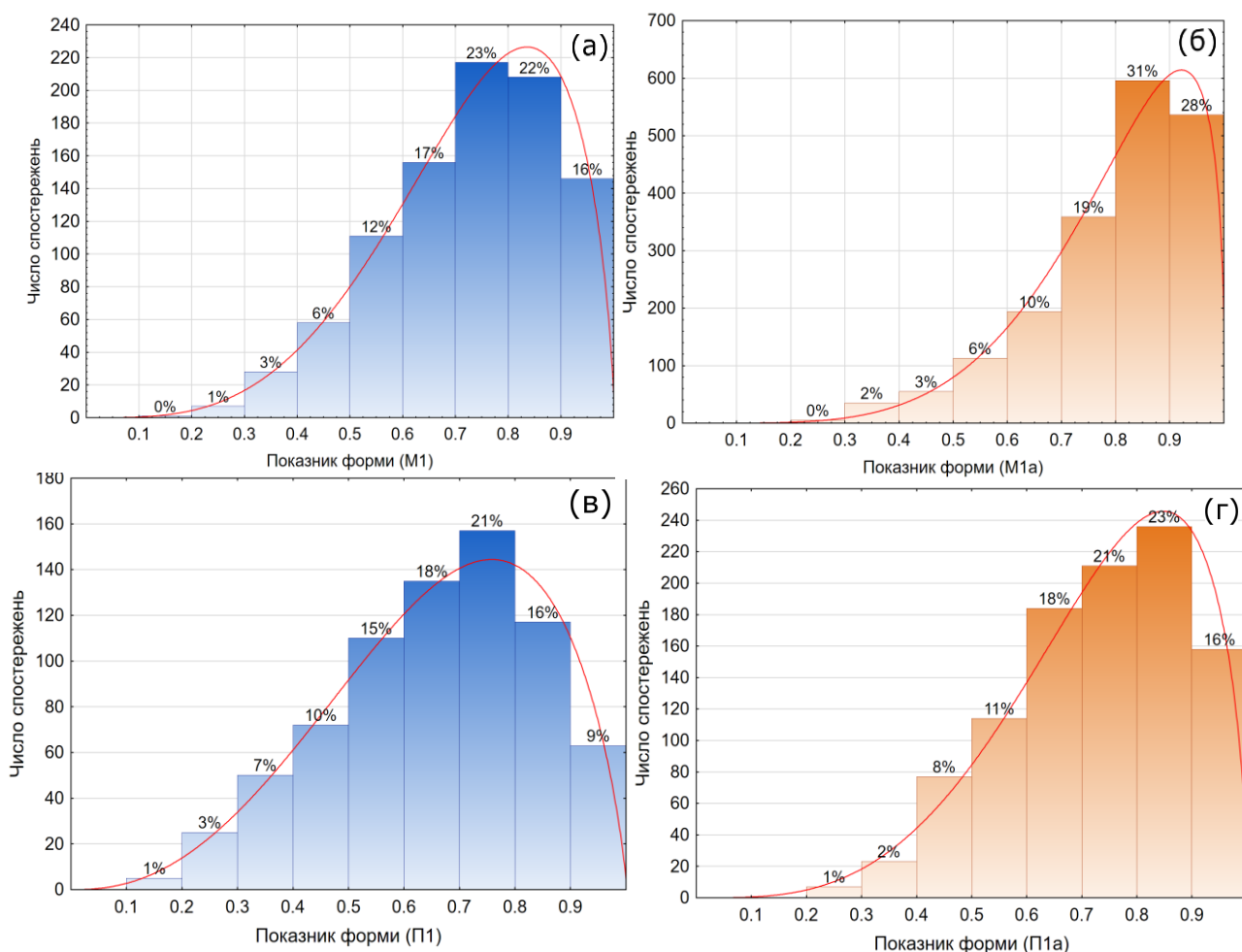


Рис. 3. Гістограми розподілу частинки глини M1 (а, б) та П1 (в, г) за показником форми до (а, в) та після (б, г) механоактивації

Таблиця 2

Загальні статистичні показники розподілу частинки глинопорошків за показником форми до та після механоактивації

Зразок	Число об'єктів	Показник форми (SF) частинки				Коефіцієнт варіації, %	Відносна кількість частинки з SF < 0,5, %	Відносна кількість частинки з SF > 0,8, %
		середнє значення	інтервал -95%	інтервал +95%	медіана			
M1	932	0,73	0,72	0,74	0,75	22,6	10	38
M1 (актив.)	1893	0,80	0,79	0,81	0,83	18,2	5	59
П1	734	0,66	0,64	0,67	0,68	28,2	21	25
П1 (актив.)	1010	0,73	0,72	0,74	0,74	22,2	11	39

Таким чином, попередня механічна активація глинопорошків досліджених типів є достатньо ефективним інструментом впливу на розмірні характеристики частинки, їх форму а також на загальний характер розподілу за цими показниками. Її використання дозволить

покращити технологічні властивості глинистих наповнювачів для одержання полімерних композиційних матеріалів.

Висновки. Досліджено вплив процесу попередньої механічної активації на розмірні характеристики та форму частинок глинопорошків монтморилонітового та палигорськитового типу. Встановлено, що зменшення середніх значень розмірних характеристик частинок в процесі механічного впливу (~ на 14-15%) реалізується переважно за рахунок руйнування найбільш великих їх агрегатів. При цьому інтенсивність руйнування помітно вища для глини монтморилонітового типу. Показано, що для обох досліджених зразків процес механоактивації призводить до помітного зростання середніх значень показника форми частинок (~ на 9-10%) та збільшення однорідності розподілу частинок за цим показником.

Подальші дослідження в цьому напрямку можуть бути направлені на інтенсифікацію механічних активаційних процесів, наприклад, шляхом їх поєднання з ультразвуковою обробкою глинопорошків.

References

Література

1. Rahman, M. R. (ed.). (2020). *Advances in Sustainable Polymer Composites*. Woodhead Publishing. 306 p.
2. Jumaidin, R., Sapuan, S. M., Ismail, H. (ed.). (2020). *Biofiller-reinforced Biodegradable Polymer Composites*. CRC Press. 322 p.
3. Thomas, S., Shanks, R., Joy, J. (2016). *Micro- and nanostructured polymer systems: from synthesis to applications*. CRC Press. 348 p.
4. Bergaya, F., Lagaly, G. (2013). *Handbook of clay science*. 2nd edition. Elsevier. 1752 p.
5. Hussain, C. M. (ed.). (2020). *Handbook of polymer nanocomposites for industrial applications*. Elsevier. 782 p.
6. Plavan, V. P., Rezanova, V. G., Budash, Y. O., Ishchenko, O. V., Rezanova, N. M. (2020). Influence of Aluminum Oxide Nanoparticles on Formation of the Structure and Mechanical Properties of Microfibrillar Composites. *Mechanics of Composite Materials*, Vol. 56, № 3, P. 319–328.
7. Arbelaiz, A., Fernández, G., Orue, A. (2021). The effect of montmorillonite modification and the use of coupling agent on mechanical properties of polypropylene–clay nanocomposites. *Polymers and Polymer Composites*, Vol. 29, № 6, P. 660–671.
8. Lima, J. C., Costa, A. R. M., Sousa, J. C., Arruda, S. A., Almeida, Y. M. (2021). Thermal behavior of polyethylene terephthalate/organoclay nanocomposites: investigating copolymers as matrices. *Polymer Composites*, Vol. 42, № 2, P. 849–864.
9. Melia, M. A., Percival, S. J., Qin, S., Barrick, E., Spoerke, E., Grunlan, J., Schindelholz, E. J. (2020). Influence of Clay size on corrosion protection by Clay nanocomposite thin films. *Progress in Organic Coatings*, Vol. 140, P. 105489.
1. Rahman M. R. (ed.). *Advances in Sustainable Polymer Composites*. Woodhead Publishing, 2020. 306 p.
2. Jumaidin R., Sapuan S. M., Ismail H. (ed.). *Biofiller-reinforced Biodegradable Polymer Composites*. CRC Press, 2020. 322 p.
3. Thomas S., Shanks R., Joy J. *Micro- and nanostructured polymer systems: from synthesis to applications*. CRC Press, 2016. 348 p.
4. Bergaya, F., Lagaly G. *Handbook of clay science*. 2nd edition. Elsevier, 2013. 1752 p.
5. Hussain C. M. (ed.). *Handbook of polymer nanocomposites for industrial applications*. Elsevier, 2020. 782 p.
6. Plavan V. P., Rezanova V. G., Budash Y. O., Ishchenko O. V., Rezanova N. M. Influence of Aluminum Oxide Nanoparticles on Formation of the Structure and Mechanical Properties of Microfibrillar Composites. *Mechanics of Composite Materials*. 2020. Vol. 56. № 3. P. 319–328.
7. Arbelaiz A., Fernández G., Orue A. The effect of montmorillonite modification and the use of coupling agent on mechanical properties of polypropylene–clay nanocomposites. *Polymers and Polymer Composites*. 2021. Vol. 29. № 6. P. 660–671.
8. Lima J. C., Costa A. R. M., Sousa J. C., Arruda S. A., Almeida Y. M. Thermal behavior of polyethylene terephthalate/organoclay nanocomposites: investigating copolymers as matrices. *Polymer Composites*. 2021. Vol. 42. № 2. P. 849–864.
9. Melia M. A., Percival S. J., Qin S., Barrick E., Spoerke, E., Grunlan, J., Schindelholz E. J. Influence of Clay size on corrosion protection by Clay nanocomposite thin films. *Progress in Organic Coatings*. 2020. Vol. 140. P. 105489.

10. Basim, G. B., Khalili, M. (2015). Particle size analysis on wide size distribution powders; effect of sampling and characterization technique. *Advanced Powder Technology*, Vol. 26, № 1, P. 200–207.
11. Budash, Yu. O., Stupa, V. I., Lubska, M. V., Pushkarenko, K. V., Sylenok, I. P. (2019). Vyznachennia rozmirnykh kharakterystyk chastynok hlynoporoshkiv yak nanonapovniuvachiv polimernykh kompozytsii. [Determination of dimensional characteristics of particles of clay powders as nanofillers of polymer compositions]. *Visnyk KNUTD = Bulletin of KNUTD*, № 5 (138), P. 122–131 [in Ukrainian].
12. PAT "Dashukivski bentonity" – providnyi ukrainskyi vyrobnyk produktii z bentonitovykh i palyhorskitovykh hlyn [PJSC "Dashukivsky Bentonites" – a leading Ukrainian manufacturer of products from bentonite and paligorskite clays]. URL: <http://dash-bent-pjsc.com/> [in Ukrainian].
13. Pérez, J. M. M., Pascau, J. (2013). Image processing with Imagej. Packt Publishing Ltd. 140 p.
14. Hill, T., Lewicki, P., Lewicki, P. (2006). Statistics: methods and applications: a comprehensive reference for science, industry, and data mining. StatSoft, Inc. 832 p.
10. Basim G. B., Khalili M. Particle size analysis on wide size distribution powders; effect of sampling and characterization technique. *Advanced Powder Technology*. 2015. Vol. 26. № 1. P. 200–207.
11. Будащ Ю. О., Ступа В. І., Лубська М. В., Пушкарєнко К. В., Силенок І. П. Визначення розмірних характеристик частинок глинопорошків як нанонаповнювачів полімерних композицій. *Вісник КНУТД*. 2019. № 5 (138). С. 122–131.
12. ПАТ "Дашуківські бентоніти" – провідний український виробник продукції з бентонітових і палигорскітових глин. URL: <http://dash-bent-pjsc.com/>
13. Pérez J. M. M., Pascau J. Image processing with Imagej. Packt Publishing Ltd. 2013. 140 p.
14. Hill T., Lewicki P., Lewicki P. Statistics: methods and applications: a comprehensive reference for science, industry, and data mining. StatSoft, Inc. 2006. 832 p.

BUDASH YURII

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

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 VIKTORIIA

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@knutd.edu.ua

SHYLINTSEVA TATIANA

Student, Department of Applied Ecology, Technology of
Polymers and Chemical Fibers, Kyiv National University
of Technologies and Design, Ukraine
E-mail: rezonshi@gmail.com

ZATOLOKIN MYKOLA

Student, Department of Applied Ecology, Technology of
Polymers and Chemical Fibers, Kyiv National University
of Technologies and Design, Ukraine
E-mail: kzatolokin1997@gmail.com

¹БУДАШ Ю. А., ^{1,2} ТАРАСЕНКО Н. В., ¹ПЛАВАН В. П.,
¹ЗАТОЛОКИН М. И., ¹ШИЛИНЦЕВА Т. М.

¹Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

²Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", Украина

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА РАЗМЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ФОРМУ ЧАСТИЦ ГЛИНОПОРОШКОВ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

Цель. Определение влияния процесса предварительной механической активации на размерные характеристики и форму частиц глинопорошков разного типа.

Методика. Объектами исследований в работе были выбраны глинопорошки монтмориллонитового и палигорскитового типа. Процесс механической активации глинопорошков выполнялся с помощью лабораторной шаровой мельницы. Для микроанализа частиц образцов использовался метод оптической поляризационной микроскопии. Морфометрический анализ частиц глинопорошков выполняли методом анализа изображений в программе ImageJ. При этом определяли площадь, периметр и рассчитывали эквивалентный диаметр а также показатель формы частиц образцов. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью программных пакетов Statistica и Excel.

Результаты. В работе исследовано влияние процесса механической активации на размерные характеристики и форму частиц глинопорошков монтмориллонитового и палигорскитового типа. Установлено, что уменьшение средних значений эквивалентного диаметра частиц в процессе механического воздействия (~14–15%) реализуется преимущественно за счет разрушения наиболее крупных их агрегатов. При этом интенсивность этого процесса заметно выше для глины монтмориллонитового типа. Показано, что для обоих исследованных образцов процесс механоактивации приводит к росту средних значений показателя формы частиц (~ на 9–10%) и увеличению однородности их распределения по этому показателю.

Научная новизна. С использованием детального морфометрического анализа частиц различных типов глинопорошков установлены закономерности влияния процесса механической активации на количественные статистические характеристики их распределения по эквивалентному диаметру и показателю формы.

Практическое значение. Полученные результаты позволят обоснованно подойти к выбору методов предварительной обработки глинопорошков, предназначенных для производства полимерных наполненных нанокмпозиционных материалов.

Ключевые слова: глинопорошок; полимерный композит; механоактивация; частица; эквивалентный диаметр; показатель формы; морфометрический анализ.

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

¹Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

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

INFLUENCE OF MECHANICAL ACTIVATION ON SIZE CHARACTERISTICS AND FORM OF CLAY POWDERS PARTICLES OF VARIOUS TYPES

Purpose. Determination of the influence of the process of preliminary mechanical activation on the dimensional characteristics and shape of particles of different types of clay powders.

Methodology. Clay powders of montmorillonite and palygorskite type were chosen as the objects of research in this work. The process of mechanical activation of clay powders was carried out using a laboratory ball mill. For microanalysis of sample particles, the method of optical polarizing microscopy was used. Morphometric analysis of clay powder particles was performed by image analysis using the ImageJ software. At the same time, the area and perimeter were determined, and the equivalent diameter and also the shape index of the particles of the samples were calculated. The experimental data were statistically processed using the Statistica and Excel software packages.

Results. The paper investigates the effect of the process of mechanical activation on the dimensional characteristics and shape of particles of montmorillonite and palygorskite type clay powders. It was found

that the decrease in the average values of the equivalent particle diameter in the process of mechanical action (~14–15%) is realized mainly due to the destruction of their largest aggregates. Moreover, the intensity of this process is noticeably higher for clay of the montmorillonite type. It is shown that for both studied samples, the process of mechanical activation leads to an increase in the average values of the particle shape index (~ by 9–10%) and an increase in the uniformity of their distribution by this index.

Scientific novelty. Using a detailed morphometric analysis of particles of various types of clay powders, the regularities of the influence of the mechanical activation process on the quantitative statistical characteristics of their distribution over the equivalent diameter and shape index have been established.

Practical value. The results obtained will make it possible to reasonably approach the choice of pretreatment methods for clay powders intended for the production of polymer filled nanocomposite materials.

Keywords: clay powder; polymer composite; mechanical activation; particle; equivalent diameter; shape index; morphometric analysis.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.4.7>

УДК 678.7:
661.1:615.4

¹ВАХІТОВА Л. М., ¹КАЛАФАТ К. В.,
¹ТАРАН Н. А., ²БЕССАРАБОВ В. І.

¹Інститут фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України, Київ, Україна

²Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ПОРІВНЯННЯ АМІНІВ ЯК ГАЗОУТВОРЮВАЧІВ ВОГНЕЗАХИСНИХ КОМПОЗИЦІЙ ІНТУМЕСЦЕНТНОГО ТИПУ

Мета. Дослідження впливу структури амінних газоутворювачів на процеси побудови теплоізоляційного коксового шару інтумесцентної системи поліфосфат амонію/пентаеритрит/амін та на вогнезахисну ефективність цієї системи в умовах високих температур.

Методика. За модельну інтумесцентну систему обрано вогнезахисну суміш поліфосфат амонію/пентаеритрит/амін. Як полімерну складову використовували дисперсію співполімеру вінілацетату з вініловим ефіром версатикової кислоти. В дослідженні застосовано поетапне вивчення характеристик коксового шару інтумесцентної композиції, яке полягає в аналізі характеристик утвореного коксу після витримки зразків ІС при певній температурі від 100 до 800 °С: Як основні оціночні параметри вогнезахисного ефекту пропонуються об'ємний коефіцієнт спучення (K , см³/г), маса коксового залишку (Δm , %), структура та густина утвореного коксового шару. Для ідентифікації продуктів термолізу інтумесцентних систем використано метод ІЧ-спектроскопії. Визначення вогнезахисної ефективності інтумесцентних покриттів здійснювали в міні-печі в умовах стандартної пожежі.

Результати. Досліджено вплив структури амінних газоутворювачів на утворення коксового шару інтумесцентної системи поліфосфат амонію/пентаеритрит/амін. Визначено фізико-хімічні параметри коксового шару, утвореного у процесі високотемпературного спучення компонентів інтумесцентної системи при варіюванні аміну: карбамід, меламін, дициандіамід, гуанідин, тіокарбамід, формілтіосемикарбазид, тіосемикарбазид, фенілетилкарбамід). В інтервалі температур 200–400 °С для систем з лінійними амінами (карбамід, тіокарбамід, тіосемикарбазид), відбувається швидке утворення теплоізолюючого шару з інтенсивним газовиділенням (високі коефіцієнти спучення K) і таке ж швидке його руйнування з істотними втратами маси коксового залишку (Δm). Присутність в інтумесцентній системі меламіну, дициандіаміду та гуанідину забезпечує сталість коефіцієнта спучення при мінімальних втратах маси. Методом ІЧ-спектроскопії вивчені хімічні перетворення інтумесцентних систем за варіювання амінів, що досліджуються. Встановлено, що лінійні діаміни не утворюють з фосфатами стабільних просторово-розгалужених фосфамідних сполук, як основи термостійкого теплоізолюючого каркасу. В той же час в ІЧ-спектрах коксових залишків систем з меламіном, дициандіамідом та гуанідином спостерігаються смуги поглинання зв'язків Р-Н-С (1070–1050 см⁻¹) та Р-Н (980–950 см⁻¹) до температури 600–700 °С. Вогневими випробуваннями доведено, що меламін, дициандіамід та гуанідин є амінними газоутворювачами, що забезпечують максимальний захист металу від дії вогню та можуть бути застосовані для конструювання рецептур засобів вогнезахисту для сталевих конструкцій.

Наукова новизна. Доведено, що аміни в інтумесцентній поліфосфатній системі виконують мінімум, дві функції: газоутворювача шляхом термодеструкції до негорючих газів та нуклеофільної сполуки, яка шляхом амінолізу електрофільних субстратів приймає участь у побудові коксового шару.

Практична значимість. Встановлено оптимальні амінні газоутворювачі для розробки рецептур інтумесцентних покриттів з підвищеними вогнезахисними властивостями.

Ключові слова: вогнезахист; інтумесцентна система; поліфосфат амонію; меламін; пентаеритрит; амін.

Вступ. Вогнезахист сталевих конструкцій є необхідною частиною заходів з пожежної безпеки у будівництві та полягає в підвищенні їх несучої здатності шляхом застосування вогнезахисних покриттів, які уповільнюють досягнення критичних станів конструкцій в умовах пожежі [1]. Необхідність до проведення вогнезахисного оброблення визначається

відповідно до діючих в Україні норм, зокрема, ДБН В.1.1-7:2016, ДБН В.1.2-7:2008 [2]. Залежно від ступеня вогнестійкості будівлі та необхідних класів вогнестійкості будівельних конструкцій розглядається питання щодо застосування вогнезахисту на об'єкті будівництва. Одним з основних методів підвищення вогнестійкості конструкцій з металу є застосування пасивного вогнезахисту – матеріалів та конструктивів, що збільшують час збереження несучої здатності будівельних конструкцій в умовах пожежі [1–3]. Вирішення наукових завдань з пошуку нових вогнезахисних засобів з підвищеною ефективністю, пролонгованим терміном експлуатації, поліпшеною стійкістю до дії зовнішніх чинників та помірним ціноутворенням є актуальним напрямком хімічної технології та інженерії у галузі пожежної безпеки.

Найбільш поширеними вогнезахисними засобами, що масово застосовуються у світовій практиці, є інтумесцентні реактивні полімерні покриття, які містять три основні складові [3]: донор кислоти, карбонізуючий агент, газоутворювач (табл. 1).

Таблиця 1

Основні компоненти вогнезахисної інтумесцентної системи

Назва компонента	Призначення	Хімічні сполуки
Донор кислоти	Вивільнення кислоти під час термічного розкладання для етерифікації гідроксильних груп карбонізуючої сполуки	Фосфорна кислота, її амонійні солі та складні ефіри; фосфати меламина та сечовини; поліфосфати амонію. Борна кислота та її похідні – бура, борати амонію.
Карбонізуючий агент	Джерело значної кількості гідроксильних груп, здатних до етерифікації кислотами, а також до термодеструкції з утворенням вуглекислого газу.	Багатоатомні спирти – пентаеритрит, дипентаеритрит, трипентаеритрит, арабітол, сорбіт, сахариди (глюкоза, мальтоза, арабіноза), полісахариди (крохмаль, декстрин, целюлоза), багатоатомні феноли (резорцинол).
Газоутворювач	Утворення великої кількості негорючих газів під час теплового розкладання, формування спіненої структури вуглецевого шару.	Азотні або галогенові сполуки – меламін та його фосфорні солі, карбамід, дициандіамід, гуанідин та їх похідні, гліцин, хлоровані парафіни.

Джерело: [4–6].

Механізм вогнезахисної дії потрійної інтумесцентної системи (ІС) полягає в утворенні вуглецевого спіненого шару, що діє як бар'єр для тепла, кисню та продуктів піролізу. Хімія та вогнезахисна ефективність ІС є достатньо вивченими й існує усталена думка [2, 3], що комбінація поліфосфат амонію (APP)/меламін (МА)/пентаеритрит (PE) є однією з ефективних та розповсюджених основ як водно-дисперсійних так і органорозчинних інтумесцентних засобів вогнезахисту. Однак, як зазначається у роботах [7, 8], система APP/МА/PE не є досконалою, бо надає високі навантаження на конструкцію, має відносно низький рівень сповільнення розповсюдження полум'я та потребує поліпшення стійкості до ультрафіолетового старіння.

Слід зазначити, що зазвичай аміни в ІС розглядаються як порофори – речовини, що термічно розкладаються та, завдяки інтенсивному газоутворенню, сприяють побудові спіненого вугільного шару [9, 10]. І лише в деяких дослідженнях [11, 12] повідомляється про участь амінів чи продуктів їх терморозпаду у побудові захисного коксу шляхом участі у хімічних перетвореннях.

Відомо [11], що в інтумесцентних композиціях використовуються такі газоутворюючі агенти: органічні аміни та аміді (карбамід, бутилкарбамід, дициандіамід, казеїн, уротропін, гуанідин), сульфаміді, олігомери поліаміду та аміноформальдегіду, меламін та його похідні (меламін, меламін цианурат, меламін борат, меламін поліфосфат тощо). Але на сьогодні

меламін вважається практично незамінним та найефективнішим аміним компонентом ІС, завдяки усталеній думці, що температури терморозкладання APP, PE та газоутворювача мають бути максимально близькими за значенням [13]. Тим не менш, на підставі аналізу літературних даних про властивості речовин, які складають інтумесцентну систему [2, 3, 9–11], виникає гіпотеза про те, що традиційні уявлення про функціональний внесок газоутворювачів в інтумесцентний вогнезахист не є достатніми та вичерпними. Тому існуючий класифікаційний розподіл компонентів ІС, може бути переглянутий шляхом систематичних досліджень поведінки ІС в умовах високих температур. У зв'язку з цим необхідними та актуальними є дослідження механізмів хімічних реакцій та вогнезахисної дії ІС складу донор фосфорної кислоти/поліол/газоутворювач з використанням варіацій близьких за складом аналогів компонентів та поліфункціональних сполук, які мають у своєму складі гідрокси-, аміногрупи та фрагменти фосфорної кислоти.

Постановка завдання. Результати літературного огляду з впливу амінів на вогнезахисну ефективність ІС дозволяють констатувати про обмеженість досліджень щодо цього питання [11], а відповідно й відсутність єдиної наукової думки щодо функцій та призначення амінів в механізмі інтумесцентного вогнезахисту. Крім того, спад виробництва сировинних складових та їх суттєве подорожчання, пов'язане зі світовою кризою останніх років, робить актуальними дослідження щодо пошуку адекватних аналогів та заміників компонентів ІС. Особливо це стосується газоутворювачів, бо, як відомо, меламін є важливим напівпродуктом у промисловості пластмас та меламіноформальдегідних смол.

Спираючись на принципи ощадливого виробництва у сфері промислового вогнезахисту, актуальним є підхід до вибору компонентів інтумесцентного покриття відповідно до ступеню вогнестійкості, строків експлуатації, екологічних характеристик покриття тощо. В зв'язку з цим постає необхідність у перегляді основних складових реактивного вогнезахисту з виявленням особливостей хімічних перетворень, порівнянням вогнезахисної ефективності та технологічної привабливості, цінкових витрат.

Метою цього дослідження є вивчення впливу структури аміних газоутворювачів на процеси побудови теплоізоляційного коксового шару інтумесцентної системи поліфосфат амонію/пентаеритрит/амін та на вогнезахисну ефективність цієї системи в умовах високих температур.

Результати дослідження. В дослідженні використовували матеріали та речовини, наведені у табл. 2.

Для ідентифікації покриттів та продуктів їх термолізу використано методи ІЧ-спектроскопії із застосуванням приладів Bruker Tensor 37 FT-IR. Визначення коефіцієнта спучення інтумесцентних композицій K ($\text{см}^3/\text{г}$) та значення маси коксового залишку (m , %) докладно описані у роботі [14], а приготування фарб та визначення вогнезахисної ефективності – в роботі [15].

При розробці нових матеріалів для підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій необхідні попередні випробування для прогнозування вогнезахисного ефекту покриттів. Як правило, в наукових джерелах висновки щодо властивостей засобів вогнезахисту здійснюються на основі метода конусної калориметрії та вогневих тестів із застосуванням пальника Бунзена. В контексті останніх досліджень [16] щодо критичного впливу умов температурного режиму (поступовий нагрів, тепловий удар) на вогнезахисну ефективність ІС застосовані методи слід віднести до проміжних непрямих методів випробування на вогнестійкість. В цьому дослідженні було застосовано поетапне вивчення характеристик коксового шару інтумесцентної композиції [14, 15]. Суть методики полягає в аналізі характеристик утвореного коксу після витримки зразків ІС при певній температурі від 100 до 800 °С. Як основні оціночні параметри вогнезахисного ефекту пропонуються об'ємний коефіцієнт спучення (K , $\text{см}^3/\text{г}$), маса коксового залишку (Δm , %), структура та густина

утвореного коксового шару. Співвідношення $\alpha = K/\Delta m$ використовувалося для оцінки ефективності інтумесцентних систем [17]: значення параметра α в межах $3 < \alpha < 4$ є підставою очікувати на високу вогнезахисну ефективність ІС, при значеннях $\alpha < 3$ вогнезахисні властивості ІС пропорційно зменшуються зі зниженням величини α . Якщо $\alpha \gg 4$, то, ІС характеризується інтенсивним спученням та вигоранням коксового залишку з утворенням крихкого недієздатного каркасу.

Таблиця 2

Реактиви та матеріали

1	Дисперсія співполімеру вінілацетату з вініловим ефіром версатикової кислоти Mowilith DM 230 (Celanese, США)	ч	51000-52-3
2	Поліфосфат амонію Exolit AP 422 (Clariant, Німеччина)	ч	68333-79-9
3	Пентаеритрит мікронізований Charmor PM40 (Perstorp Holding AB, Швеція)	ч	115-77-5
4	Меламін (Borealis Agrolinz Melamine GmbH, Австрія)	ч	108-78-1
5	Диціандіамід (Merck K GaA, Німеччина)	хч	461-58-5
6	Карбамід (Дніпроазот, Україна)	ч	57-13-6
7	Гуанідин гідрохлорид (Fengchen group CO., LTD, Китай)	ч	113-00-8
8	Тіокарбамід (Fengchen group CO., LTD, Китай)	ч	62-56-6
9	Формілтіосемикарбамід (Merck K GaA, Німеччина)	хч	2302-84-3
10	Тіосемикарбазид (Merck K GaA, Німеччина)	хч	79-19-6
11	Фенілетилкарбамід (Merck K GaA, Німеччина)	хч	40589-84-2
12	Діоксид титану Ti-Pure R-902 (DuPont, США)	ч	13463-67-7

На рис. 1 представлені залежності об'ємного коефіцієнта спучення K інтумесцентних композицій АРР/МА/амін від температури при варіюванні структури аміну. Як аміні-газоутворювачі вивчали карбамід (1), меламін (2), диціандіамід (3), гуанідин гідрохлорид (4, далі – гуанідин), тіокарбамід (5), формілтіосемикарбазид (6), тіосемикарбазид (7), фенілетилкарбамід (8).

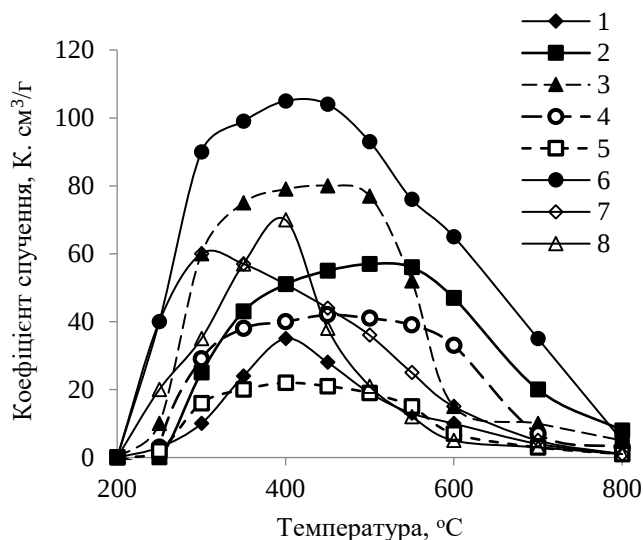


Рис. 1. Залежність коефіцієнта спучення (K , $\text{см}^3/\text{г}$) від температури T ($^{\circ}\text{C}$): система АРР/РЕ/амін при співвідношенні 3:1:1 (за мас.); амін: карбамід (1), меламін (2), диціандіамід (3), гуанідин (4), тіокарбамід (5), формілтіосемикарбазид (6), тіосемикарбазид (7), фенілетилкарбамід (8)

В табл. 3 узагальнено результати експериментальних даних стосовно залежності коефіцієнта спучення K та втрати маси зразків від температури для досліджених амінів.

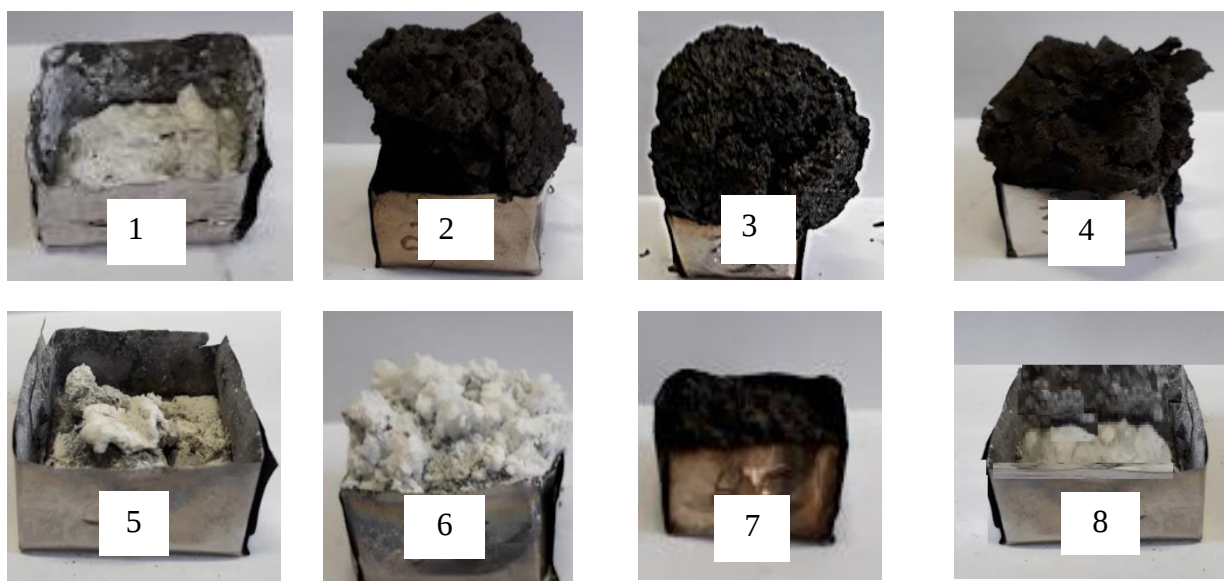
Згідно з даними рис. 1 досліджені інтумесцентні системи за характером отриманої залежності K від температури умовно можуть бути розділені на дві групи:

- системи, які характеризуються тривалою стабілізаційною ділянкою при відносній сталості коефіцієнта спучення K протягом температур 300–600 °C: ІС, що містять меламін (2), диціандіамід (3), гуанідин (4), тіокарбамід (5), формілтіокарбазид (6);

- системи з екстремальною залежністю коефіцієнта спучення: ІС з карбамідом (1), тіокарбазидом (7), фенілетилкарбамідом (8).

Системи першого типу прогнозовано забезпечують більш високу вогнезахисну ефективність ІС у порівнянні з системами, що характеризуються раннім та інтенсивним спученням й таким же інтенсивним вигоранням утвореного коксового шару (ІС з амінами 1, 7, 8). На рис. 2 наведено зовнішній вид спінених шарів досліджених ІС складу APP/PE/амін після витримки протягом 15 хв при 600 °C.

Слід зазначити, що іноді абсолютне значення коефіцієнта спучення вважається мірою вогнезахисної ефективності ІС: чим більше параметр K , тим більша вірогідність високих значень межі вогнестійкості R , яку здатна забезпечити та чи інша ІС. Однак, перш за все, теплоізоляційна ефективність коксового каркаса за всіх інших рівних обставин залежить від його стабільності на протязі значного температурного інтервалу, показника втрати маси (Δm) та щільності, мірою якої пропонується коефіцієнт $\alpha = K/\Delta m$.



**Рис. 2. Інтумесцентні композиції APP/PE/амін при температурі 600 °C:
амін: карбамід (1), меламін (2), диціандіамід (3), гуанідин (4), тіокарбамід (5),
формілтіокарбазид (6), тіокарбазид (7), фенілетилкарбамід (8)**

Аналіз параметрів вогнезахисної ефективності системи APP/PE/амін ($K_{\max}$, см³/г – максимальне значення коефіцієнта спучення; Δm_{700} , % – втрата ваги при 700 °C; $\alpha_{\max}$ – значення α в температурному інтервалі максимального спучення), які наведено у табл. 3, дозволяє зробити ряд важливих висновків щодо впливу структури аміну на вогнезахисну ефективність досліджених ІС:

- похідні карбаміду – карбамід, тіокарбамід, тіокарбазид, фенілетилкарбамід демонструють найменший вогнезахисний ефект ($\alpha < 3$);

- системи з формілтіокарбазидом ($\alpha = 7,8$) характеризуються інтенсивним та пролонгованим спученням з утворенням занадто крихкого каркасу;

- найбільш прийнятними для конструювання ефективних вогнезахисних систем складу APP/PE/амін є меламін, диціандіамід, гуанідин, значення параметру α яких наближені до інтервалу $3 < \alpha < 4$.

При використанні як газотворювача формілтіосемикарбазиду (6), який містить у своєму складі аміно- та альдегідні групи і є біфункціональною сполукою, ІС демонструє найкраще спучення з доволі суттєвою стабілізаційною ділянкою (рис. 1). Завдяки особливостям своєї структури сполука (6), з одного боку, може брати участь в утворенні фосфамідного каркасу, а, з іншого, бути джерелом для утворення аміноформальдегідних смол, які є ефективними компонентами систем, що спучуються. Тим не менш, утворений вуглецевий каркас має дуже низькі показники міцності та щільності, тому певний науковий інтерес може становити вивчення формілтіосемикарбазиду, як домішки до основного аміну системи, наприклад, меламіну.

Таблиця 3

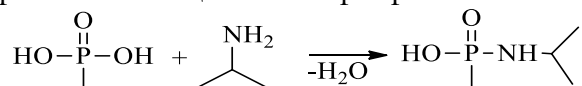
Параметри ефективності інтумесцентної системи APP/PE/амін (1-8)

№	Амін	$K_{\max}$, см ³ /Г	Δm_{700} , %	$\alpha_{\max}$	$T_{\text{дестр.}}$, °C	Хвильове число, см ⁻¹	
						350 °C	600 °C
1	Карбамід	35	70	0,6	133	1070, 980 ²⁾	-
2	Меламін	57	61	3,1	355	1218, 1059, 955	1220, 1045, 972
3	Диціандіамід	80	64	2,1	209	1220, 1060, 960	1219, 1063, 975 ¹⁾
4	Гуанідин	44	67	1,9	178	1208, 1060, 960	1209, 1058, 988 ¹⁾
5	Тіокарбамід	24	72	1,3	180	1205, 1059, 975 ¹⁾	-
6	Формілтіосемикарбазид	105	75	7,8	180	1210, 1050, 977	1219, 1063, 975 ¹⁾
7	Тіосемикарбазид	33	93	0,9	178	1080, 980 ²⁾	-
8	Фенілетилкарбамід	70	95	0,8	145	1070, 975 ²⁾	-

Примітка: ¹⁾Інтенсивність смуг слабка; ²⁾інтенсивність смуг дуже слабка.

Пояснити відмінність поведінки амінів в процесі спучення системи APP/PE/амін неможливо пояснити тільки узгодженням температури розкладання амінів (табл. 3), яка має бути максимально наближеною до 250 °C (умовна температура початку дегідратації РЕ фосфатною кислотою). Як свідчать дані табл. 2 аміни (4)–(7) мають майже одну температуру початку деструкції ($T_{\text{дестр.}} = 178\text{--}180$ °C), а ІС за їх участі характеризуються зовсім різними профілями спучення (рис. 1).

Як одна із гіпотез різної активності амінів в ІС може бути утворення Р-Н-зв'язків внаслідок реакції нуклеофільного заміщення між фосфатною кислотою та аміном:



Для контролю наявності Р-Н-зв'язків у продуктах ІС після витримки їх за певної температури був використаний метод ІЧ-спектроскопії. Найбільш інформативною для встановлення утворення фосфамідного зв'язку є ІЧ-область 1300–900 см⁻¹, де фіксуються поглинання груп (RNH)₃P = O (1240–1200 см⁻¹), Р-Н-С (1070–1050 см⁻¹) та Р-Н (980–950 см⁻¹). Дані табл. 3, де представлені ІЧ-спектри продуктів реакції інтумесцентних систем з амінами (1)–(8) при температурах 350 та 600 °C, дозволяють зробити узагальнення щодо механізму взаємодії амінів з компонентами ІС.

В інтервалі температур 200–350 °C (табл. 3) в продуктах термолізу ІС спостерігаються смуги поглинання, що підтверджують перебіг реакції між фосфорною кислотою та аміном: 1239–1195 см⁻¹, які відповідають валентним коливанням групи Р=О (О=Р–Н–С). У сукупності

зі смугами $1070\text{--}1053\text{ см}^{-1}$ (P-N-C), а також $982\text{--}953\text{ см}^{-1}$ (P-N) це є свідомством утворення в системі фосфамідних зв'язків. Звертає на себе увагу, що у спектрах ІС за участю амінів (1), (7), (8) після витримки до $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ характеристичні лінії зв'язку P-N-C ($1080\text{--}975\text{ см}^{-1}$) мають дуже слабку інтенсивність. А при підвищенні температури суміші APP/PE/амін до $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ (№ 1, 7, 8 в табл. 3), дані спектрів демонструють зникнення смуг при $1234\text{--}1200\text{ см}^{-1}$ (N-P=O) та дуже слабку інтенсивність смуг, що відповідають зв'язку P-N-C. Очевидно, що лінійні діаміни не утворюють з фосфатами стабільних просторово-розгалужених фосфамідних зсполук, як основи термостійкого теплоізолюючого каркасу. В умовах температур $200\text{--}400\text{ }^{\circ}\text{C}$, відбувається швидке утворення теплоізолюючого шару з інтенсивним газовиділенням (високі коефіцієнти спучення К, рис. 1) і таке ж швидке його руйнування з істотними втратами мас (Δm , табл. 3).

Для амінів (2)–(4), процеси спучення яких у складі ІС характеризуються сталістю значення коефіцієнта К при мінімальних втратах маси, спостерігаються смуги поглинання P-N-зв'язку при температурі $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, хоча їх інтенсивність і слабшає в області високих температур, як це показано на рис. 3 для ІС складу APP/PE/МА.

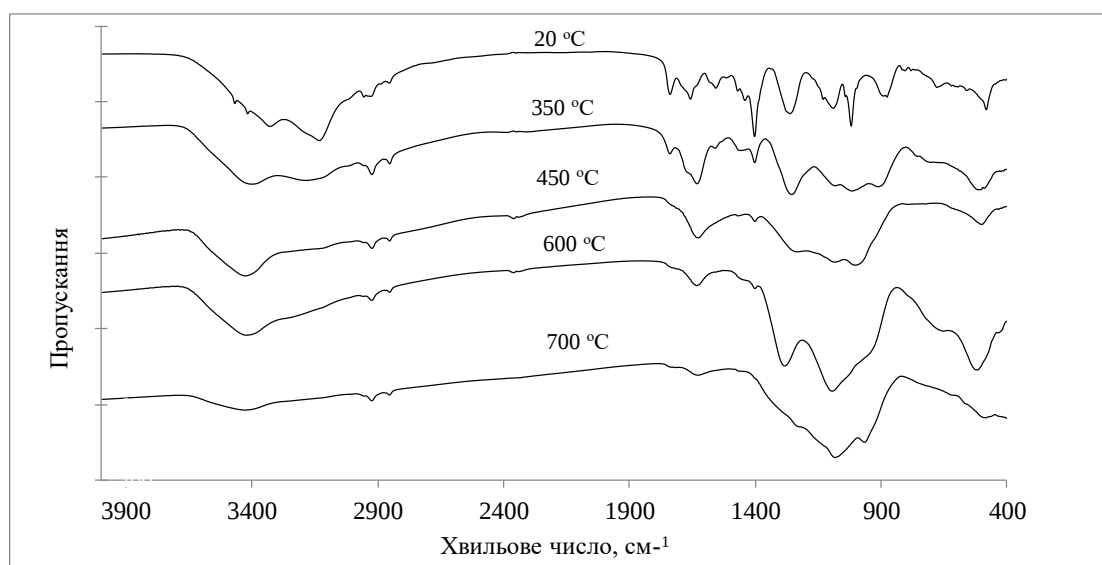


Рис. 3. ІЧ-спектри коксових залишків інтумесцентної системи APP/PE/МА при різних температурах: система APP/PE/МА при співвідношенні 3:1:1 (за мас.)

Вогневі випробування були проведені у міні-печі за методикою, описаною в роботі [15].

Слід зазначити, що показники межі вогнестійкості, що визначені в умовах міні-печі, є відносними характеристиками вогнезахисної ефективності, які можуть бути використанні для порівняльного аналізу в межах цього дослідження. Для сертифікаційних визначень класу вогнестійкості сталевих конструкцій при використанні засобів вогнезахисту вогневі випробування проводять відповідно до національних стандартів ДСТУ Б В.1.1-4-98*, ДСТУ Б В.1.1-4, ДСТУ Б В.1.1-13, ДСТУ Б В.1.1-14 та ДСТУ Б В.1.1-17 [2].

Інтумесцентні фарби на основі ІС1-ІС8 були приготовані із відповідними амінами (1)–(8) та нанесені на сталеві пластини розміром $300\times300\times5$ мм із середньою товщиною шару 1,5 мм. Результати випробувань та склад ІС наведені в табл. 4. Як полімер використовували дисперсію співполімеру вінілацетату з вініловим ефіром версатикової кислоти Mowilith DM 230 (VAVV).

Визначена межа вогнестійкості сталевих пластинок (табл. 4), захищених покриттями ІС1-ІС8 має прогнозовані на базі попередніх досліджень значення: аміни суттєво впливають на вогнезахисну ефективність покриття, яка зменшується у ряду:

меламін (2) > дициандіамід (3) > гуанідин (4) > тіокарбамід (5) > формілтіосемикарбазид (6) > тіосемикарбазид (7) > фенілетилкарбамід (8) > карбамід (1).

Таблиця 4

Склад (мас. %) та межа вогнестійкості інтумесцентних композицій

Компоненти	APP	амін	PE	TiO ₂	VAVV	Межа вогнестійкості, R, хв
IC1	35	12	14	10	26	20
IC2	35	12	14	10	26	46
IC3	35	12	14	10	26	40
IC4	35	12	14	10	26	37
IC5	35	12	14	10	26	32
IC6	35	12	14	10	26	27
IC7	35	12	14	10	26	25
IC8	35	12	14	10	26	23

Показовою при інтерпретації отриманих результатів є залежність межі вогнестійкості (R, хв) від параметру α (рис. 4), який характеризує два основні процеси спіненого шару – ступінь спучення та міру втрати ваги коксового залишку.

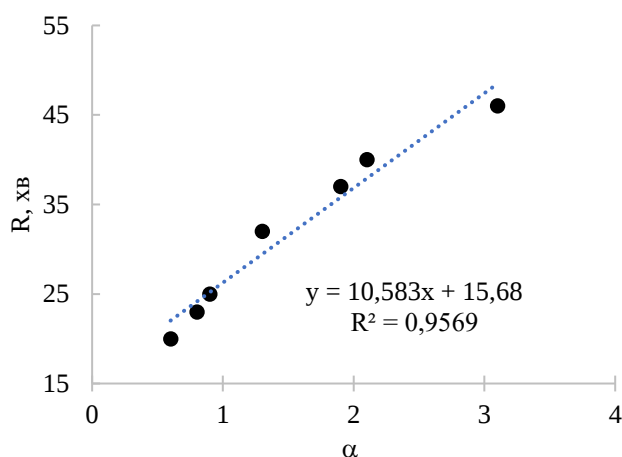


Рис. 4. Залежність межі вогнестійкості (R, хв) інтумесцентних фарб IC1 – IC8 від параметру α

Отримана лінійна залежність в координатах «R – α » (за виключенням даних для фарби IC6) з високим коефіцієнтом кореляції (рис. 4) підтверджує складений вище рейтинг вогнезахисної ефективності амінів в інтумесцентній системі. Однак, отримані результати не означають, що аміни, досліджені у цій роботі, які характеризуються низькими показниками вогнестійкості (табл. 4), не можуть бути використані у практиці інтумесцентного вогнезахисту. На думку авторів ці аміни можуть бути активними газоутворювачами вогнезахисних засобів для деревини чи тканин, де раннє та інтенсивне спучення важливе на початкових стадіях вогневого впливу. Крім того, окремого вивчення вимагає вплив сумішей амінів (як ефективних, так і неефективних в рамках цього дослідження) на вогнезахисну ефективність ІС донор кислоти/поліол/амін. Саме поєднання інтенсивного спучення, що провокують аліфатичні діаміни, з амінами, які сприяють утворенню просторово-розгалужених фосфамідних сполук, може корінним чином змінити механізми хімічних процесів в ІС під впливом вогневої дії.

Висновки. Досліджено вплив структури амінних газоутворювачів на процеси побудови теплоізоляційного коксового шару інтумесцентної системи поліфосфат амонію/пентаеритрит/амін та на вогнезахисну ефективність цієї системи в умовах високих температур.

Доведено, що аміни в інтумесцентній поліфосфатній системі виконують мінімум, дві функції: газоутворювача шляхом термодеструкції до негорючих газів та нуклеофільної сполуки, яка шляхом амінолізу електрофільних субстратів приймає участь у побудові коксового шару. При цьому лінійні діаміни не утворюють з фосфатами стабільних просторово-розгалужених фосфамідних сполук, як основи термостійкого теплоізолюючого каркасу. В той же час в ІЧ-спектрах коксових залишків систем з меламіном, диціандіамідом та гуанідином спостерігаються смуги поглинання зв'язків Р-N-C (1070–1050 см⁻¹) та Р-N (980–950 см⁻¹) до температури 600–700 °С.

Вогневыми випробуваннями доведено, що меламін, диціандіамід та гуанідин є амініними газоутворювачами, що забезпечують максимальний захист металу від дії вогню та можуть бути застосовані для конструювання рецептур засобів вогнезахисту для сталевих конструкцій.

References

Література

1. OECD (2020). Steel Market developments: Q2 2020. Directorate for science, technology and innovation steel committee. 8 June 2020. 49 p. URL: [https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote= DSTI/SC\(2020\)1/FINAL&docLanguage=En](https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote= DSTI/SC(2020)1/FINAL&docLanguage=En).
2. Kalafat, K. V., Vakhitova, L. N. (2021). Analiticheskiy obzor sredstv ognезashchity stalnykh konstruktsii 2021–2022 [Analytical review of fire protection for steel structures 2021–2022]. Kyiv: TOV "Vidavnichii Dim "Avanpost-Prim". 230 p. [in Russian].
3. Yasir, M., Ahmad, F., Yusoff, P. S. M. M., Ullah, S., Jimenez, M. (2019). Latest trends for structural steel protection by using intumescent fire protective coatings: a review. *Surface Engineering*, 36(4), 334–363.
4. Kozlowski, R., Wesolek, D., Wladyka-Przybylak, M., Duquesne, S., Vannier, A., Bourbigot, S., Delobel, R. (2007). Intumescent Flame-Retardant Treatments for Flexible Barriers. In: S. Duquesne, C. Magniez, G. Camino (eds). *Multifunctional Barriers for Flexible Structure. Materials Science*. Berlin, Heidelberg: Springer. 97, 39–61.
5. Puri, R. G., Khanna, A. S. (2016). Intumescent coatings: A review on recent progress. *J. Coat. Technol. Res.*, 14, 1–20.
6. Vakhitova, L. N. (2019). Fire retardant nanocoating for wood protection. In: *Nanotechnology in Eco-efficient Construction*, 361–391.
7. Xie, H., Lai, X., Zhou, R., Li, H., Zhang, Y., Zeng, X., Guo, J. (2015). Effect and mechanism of N-alkoxy hindered amine on the flame retardancy, UV aging resistance and thermal degradation of intumescent flame retardant polypropylene. *Polymer Degradation and Stability*, 118, 167–177.
8. Cao, K., Wu, S.L., Qiu, S.L., Li, Y., Yao, Z. (2013). Synthesis of N-alkoxy hindered amine containing silane as a multifunctional flame retardant synergist and
1. Steel Market developments: Q2 2020. Directorate for science, technology and innovation steel committee. OECD. 8 June 2020. 49 p. URL: [https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote= DSTI/SC\(2020\)1/FINAL&docLanguage=En](https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote= DSTI/SC(2020)1/FINAL&docLanguage=En).
2. Калафат К. В., Вахитова Л. Н. Аналитический обзор средств огнезащиты стальных конструкций 2021–2022. К.: ТОВ "Видавничий Дім "Аванпост-Прім", 2021. 230 с.
3. Yasir M., Ahmad F., Yusoff P. S. M. M., Ullah S., Jimenez M. Latest trends for structural steel protection by using intumescent fire protective coatings: a review. *Surface Engineering*. 2019. № 36 (4). P. 334–363.
4. Kozlowski R., Wesolek D., Wladyka-Przybylak M. et al. Intumescent Flame-Retardant Treatments for Flexible Barriers. In: S. Duquesne, C. Magniez, G. Camino (eds). *Multifunctional Barriers for Flexible Structure. Materials Science*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2007. № 97. P. 39–61.
5. Puri R. G., Khanna A. S. Intumescent coatings: A review on recent progress. *J. Coat. Technol. Res.* 2016. Vol. 14. P. 1–20.
6. Vakhitova L. N. Fire retardant nanocoating for wood protection. In: *Nanotechnology in Eco-efficient Construction*. 2019. P. 361–391.
7. Xie H., Lai X., Zhou R., Li H., Zhang Y., Zeng X., Guo J. Effect and mechanism of N-alkoxy hindered amine on the flame retardancy, UV aging resistance and thermal degradation of intumescent flame retardant polypropylene. *Polymer Degradation and Stability*. 2015. V. 118. P. 167–177.
8. Cao K., Wu S. L., Qiu S. L., Li Y., Yao Z. Synthesis of N-alkoxy hindered amine containing silane as a multifunctional flame

- itsapplication in intumescent flame retardant polypropylene. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 52(1), 309e17.
9. Mariappan, T. (2016). Recent developments of intumescent fire protection coatings for structural steel: A review. *Journal of Fire Sciences*, 34(2), 120–163.
10. Oliver, R. B. R. S., Moreno, A. L. J., Vieira, L. C. M. (2017). Intumescent paint as fire protection coating. *Struct Mater J*, 10(1), 220–231.
11. Zybina, O., Gravit, M. (2020). Intumescent Coatings for Fire Protection of Building Structures and Materials. *Springer Series on Polymer and Composite Materials*. 216 p. doi:10.1007/978-3-030-59422-0. URL: <http://www.springer.com/series/13173>.
12. Vakhitova, L. N., Taran, N. A., Lapushkin, M. P., Drizhd, V. L., Lakhtarenko, N. V., Popov, A. F. (2012). Solid-phase aminolysis in the ammonium polyphosphate – pentaerythritol – amine system. *Theoretical and Experimental Chemistry*, 48(3), 176–181.
13. Camino, G., Costa, L., Trossarelli, L. (1984). Study of mechanism of intumescence in fire retardant polymers. Part III: Effect of urea on ammonium polyphosphate-pentaerythritol system. *Polym. Degrad. Stab.*, 7, 221–229.
14. Vakhitova, L., Drizhd, V., Taran, N., Kalafat, K., Bessarabov, V. (2016). The effect of organoclays on the fire-proof efficiency of intumescent coatings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologie*, 6(10), 10–16.
15. Kalafat, K., Taran, N., Plavan, V., Bessarabov, V., Zagoriy, G., Vakhitova, L. (2020). Comparison of fire resistance of polymers in intumescent coatings for steel structures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10(106)), 45–54.
16. Eremina, T., Korolchenko, D. (2020). Fire Protection of Building Constructions with the Use of Fire-Retardant Intumescent Compositions. *Buildings*, 10, 185.
17. Vakhitova, L. M., Kalafat, K. V., Lapushkin, M. P. (2007). Vohnezakhysna efektyvnist intumestsentnykh system. Sumisna diia karbonizuiuchoi spoluky ta donora kysloty [Fire protection efficiency of intumescent systems. Combined action of carbonizing compound and acid donor]. *Khim. prom. Ukrainy = Chemical industry of Ukraine*, № 5, P. 41–46 [in Ukrainian].
- retardant synergist and itsapplication in intumescent flame retardant polypropylene. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2013. Vol. 52 (1). 309e17.
9. Mariappan T. Recent developments of intumescent fire protection coatings for structural steel: A review. *Journal of Fire Sciences*. 2016. № 34 (2). P. 120–163.
10. Olivera R. B. R. S., Moreno A. L. J., Vieira L. C. M. Intumescent paint as fire protection coating. *Struct. Mater. J.* 2017. Vol. 10 (1). P. 220–231.
11. Zybina O., Gravit M. Intumescent Coatings for Fire Protection of Building Structures and Materials. *Springer Series on Polymer and Composite Materials*. 2020. 216 p. doi:10.1007/978-3-030-59422-0. URL: <http://www.springer.com/series/13173>.
12. Vakhitova L. N., Taran N. A., Lapushkin M. P. et al. Solid-phase aminolysis in the ammonium polyphosphate – pentaerythritol – amine system. *Theoretical and Experimental Chemistry*. 2012. Vol. 48 (3). P. 176–181.
13. Camino G., Costa L., Trossarelli L. Study of mechanism of intumescence in fire retardant polymers. Part III: Effect of urea on ammonium polyphosphate-pentaerythritol system. *Polym. Degrad. Stab.* 1984. Vol. 7. P. 221–229.
14. Vakhitova L., Drizhd V., Taran N., Kalafat K., Bessarabov V. The effect of organoclays on the fire-proof efficiency of intumescent coatings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologie*. 2016. Vol. 6 (10). P. 10–16.
15. Kalafat K., Taran N., Plavan V. et al. Comparison of fire resistance of polymers in intumescent coatings for steel structures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. № 10 (106). P. 45–54.
16. Eremina T., Korolchenko D. Fire Protection of Building Constructions with the Use of Fire-Retardant Intumescent Compositions. *Buildings*. 2020. № 10. P. 185.
17. Вахітова Л. М., Калафат К. В., Лапушкін М. П. Вогнезахисна ефективність інтумесцентних систем. Сумісна дія карбонізуючої сполуки та донора кислоти. *Хім. пром. України*. 2007. № 5. С. 41–46.

VAKHITOVA LIUBOV

Department of Nucleophilic Reactions Research
L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic and Coal
Chemistry of the National Academy of Sciences of
Ukraine, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1923-7895>
Scopus Author ID: 8443383300
Researcher ID: J-9402-2016;
E-mail: L.M.Vakhitova@nas.gov.ua

KALAFAT KONSTANTIN

Department of nucleophilic reactions research
L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic and Coal
Chemistry of the National Academy of Sciences of
Ukraine, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6165-0005>
Scopus Author ID: 5719302971
E-mail: kalafat@nas.gov.ua

TARAN NADIYA

Department of Nucleophilic Reactions Research
L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic and Coal
Chemistry of the National Academy of Sciences of
Ukraine, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1043-5596>
Scopus Author ID: 15119449100
E-mail: N.A.Taran@nas.gov.ua

BESSARABOV VOLODYMYR

Department of Industrial Pharmacy
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0637-1729>
Scopus Author ID: 36917184700
Researcher ID: D-3425-2017;
E-mail: v.bessarabov@kyivpharma.eu

¹ВАХИТОВА Л. М., ¹КАЛАФАТ К. В., ¹ТАРАН Н. А., ²БЕССАРАБОВ В. И.

¹Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко
НАН Украины, Киев, Украина

²Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

**СРАВНЕНИЕ АМИНОВ КАК ГАЗООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ОГНЕЗАЩИТНЫХ
КОМПОЗИЦИЙ ИНТУМЕСЦЕНТНОГО ТИПА**

Цель. Исследование влияния структуры аминных газообразователей на процессы построения теплоизоляционного коксового слоя интумесцентной системы полифосфат аммония/пентаэритрит/амин и огнезащитную эффективность этой системы в условиях высоких температур.

Методика. В качестве модельной интумесцентной системы выбрана огнезащитная смесь полифосфат аммония/пентаэритрит/амин. В роли полимерной составляющей использовали дисперсию сополимера винилацетата с виниловым эфиром версатиковой кислоты. В исследовании использовано поэтапное изучение характеристик коксового слоя интумесцентной композиции, заключающееся в анализе характеристик образовавшегося кокса после выдержки образцов интумесцентной системы при определенной температуре от 100 до 800 °С, масса коксового остатка (*m*, %), структура и плотность образованного коксового слоя. Для идентификации продуктов термоллиза интумесцентных систем использован метод ИК-спектроскопии. Определение огнезащитной эффективности интумесцентных покрытий проводили в мини-печи в условиях стандартного пожара.

Результаты. Исследовано влияние структуры аминных газообразователей на образование коксового слоя интумесцентной системы полифосфат аммония/пентаэритрит/амин. Определены физико-химические параметры коксового слоя, образованного в процессе высокотемпературного вспучивания компонентов интумесцентной системы при варьировании амина: карбамид, меламин, дициандиамид, гуанидин, тиокарбамид, формилтиосемикарбазид, тиосемикарбазид, фенилтиокарбамид. В интервале температур 200–400 °С для систем с линейными аминами (карбамид, тиокарбамид, тиосемикарбазид), происходит быстрое образование теплоизолирующего слоя с интенсивным газовыделением (высокие коэффициенты вспучивания *K*) и такое же быстрое его разрушение с существенными потерями массы коксового остатка (Δm). Присутствие в интумесцентной системе меламина, дициандиамида и гуанидина обеспечивает постоянство коэффициента вспучивания при минимальных потерях массы. Методом ИК-спектроскопии изучены химические превращения интумесцентных систем при варьировании исследуемых аминов. Установлено, что линейные диамины не образуют с фосфатами стабильных пространственно разветвленных фосфамидных соединений как основы термостойкого теплоизолирующего каркаса. В то же время в ИК-спектрах коксовых остатков систем с меламином, дициандиамидом и гуанидином наблюдаются полосы поглощения связей Р-Н-С (1070-1050 см⁻¹) и Р-Н (980-950 см⁻¹) до температуры 600-700 °С. Огневыми испытаниями доказано, что меламин, дициандиамид и гуанидин являются аминными

газообразователями, обеспечивающими максимальную защиту металла от воздействия огня и могут применяться для конструирования рецептур средств огнезащиты для стальных конструкций.

Научная новизна. Доказано, что амины в интумесцентной полифосфатной системе выполняют минимум две функции: газообразователя путем термодеструкции до негорючих газов и нуклеофильного соединения, которое путем аминолита электрофильных субстратов принимает участие в построении коксового слоя.

Практическая значимость. Установлены оптимальные аминные газообразователи для разработки рецептур интумесцентных покрытий с повышенными огнезащитными свойствами.

Ключевые слова: огнезащита; интумесцентная система; газообразователь; полифосфат аммония; меламин; пентаэритрит; амин.

¹VAKHITOVA L. M., ¹KALAFAT K. V., ¹TARAN N. A., ²BESSARABOV V. I.

¹L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic and Coal Chemistry
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

²Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

COMPARISON OF AMINES AS BLOWING AGENTS OF FLAME RETARDANT INTUMESCENT TYPE COMPOSITIONS

Purpose. Study of influence of blowing agents amines structure on the construction processes of thermal insulating char layer of intumescent system ammonium polyphosphate/pentaerythritol/amine and fire protection efficiency of this system at high temperatures.

Methodology. A fire retardant mixture of ammonium polyphosphate/pentaerythritol/amine was chosen as a model intumescent system. Dispersion of vinyl acetate copolymer with vinyl ether of versatic acid was used as a polymeric component. A step-by-step study of the characteristics of the char layer of the intumescent composition was applied in the study, consisting in the analysis of the characteristics of the char formed after keeping the intumescent composition samples at a certain temperature between 100 and 800 °C, char residue mass (m, %), structure and density of the formed char layer. The method of infrared spectroscopy was used for identification of products of thermolysis of intumescent systems. Determination of fire protection efficiency of intumescent coatings was carried out in a mini-oven under standard fire conditions.

Findings. The influence of the structure of amines blowing agents on the formation of char layer of intumescent system ammonium polyphosphate/pentaerythritol/amine was studied. Physico-chemical parameters of char layer formed during high temperature swelling of intumescent system components with varying amine: urea, melamine, dicyandiamide, guanidine, thiocarbamide, formylthiosemicarbazide, thiosemicarbazide, phenylethylcarbamide have been determined. In the temperature range 200–400 °C for systems with linear amines (urea, thiocarbamide, thiosemicarbazide), there is a rapid formation of insulating layer with intense outgassing (high intumescent coefficients K) and the same rapid its destruction with significant losses of char residue mass (Δm). The presence of melamine, dicyandiamide and guanidine in intumescent system provides constancy of intumescent coefficient at minimal mass loss. Chemical transformations of intumescent systems were studied by the method of infrared spectroscopy when the investigated amines were varied. It was found that linear diamines do not form stable spatially branched phosphamide compounds with phosphates as the basis of a thermostable heat-insulating frame. At the same time in IR spectra of char residue systems with melamine, dicyandiamide and guanidine the absorption bands of P-N-C bonds ($1070\text{--}1050\text{ cm}^{-1}$) and P-N ($980\text{--}950\text{ cm}^{-1}$) up to 600–700 °C are observed. Fire tests proved that melamine, dicyandiamide and guanidine are blowing agents providing maximum protection of metal against fire and can be used for composition of fire retardants for steel constructions.

Originality. It has been proved that amines in intumescent polyphosphate system perform at least two functions: blowing agents by means of thermal destruction to incombustible gases and nucleophilic compound that takes part in char layer formation by aminolysis of electrophilic substrates.

Practical value. The optimum amine blowing agents for developing formulations of intumescent coatings with enhanced flame retardant properties have been established.

Keywords: flame retardant; intumescent system; blowing agents; ammonium polyphosphate; melamine; pentaerythritol; amine.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.4.8>

УДК 678.
678.679:1

СЛЕПЦОВ О. О., ІСКАНДАРОВА Р. Ш., СЛЕПЦОВ І. О., КОБЗА В. В.
Київський національний університет технологій та дизайну

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА НА ВЛАСТИВОСТІ ВИРОБІВ З ФОТОПОЛІМЕРУ

Мета. Дослідження впливу параметрів адитивного виробництва та тривалості постобробки на властивості готових виробів на основі акрилових полімерів.

Методика. Визначали основні фізико-механічні властивості дослідних зразків – міцність та відносне видовження при розриві за ISO 527-2:2012, ударну в'язкість за ISO 179-1:2010, твердість за шкалою Шор Д за ISO 2039-1:2001, модуль пружності при згині за ISO 178:2010, а також густину за ISO 1183-1:2019 в рідкому та твердому станах.

Результати. Досліджено вплив параметрів адитивного виробництва методом стереолітографії для фотополімерних олігомерів. Показано вплив параметрів адитивного виробництва та постобробки на механічні властивості. Оцінено властивості зразків, одержаних адитивним виробництвом в порівнянні зі зразками, отвердженими у формі. Виявлено, що здійснення додаткового експонування в УФ випромінюванні може збільшити міцність при розриві в 2–3 рази в залежності від тривалості обробки. Здійснення постобробки є необхідною умовою для забезпечення рівня механічних властивостей, придатного для утворення функціональних виробів. Збільшення тривалості засвічування у камері 3D принтеру приводить до зростання міцності при розриві в 2 рази, але знижує загальну швидкість процесу адитивного виробництва. Ударна міцність готових виробів збільшується зі збільшенням тривалості засвічування шару та суттєво зростає при збільшенні тривалості постобробки.

Наукова новизна. Досліджено особливості зміни механічних властивостей фотополімеру в залежності від умов адитивного виробництва дослідних зразків. В залежності від застосовуваних параметрів адитивного виробництва можна отримувати вироби, що володіють функціональними властивостями. Параметри постобробки визначають комплекс механічних властивостей готового виробу.

Практична значимість. Відпрацьовано технологічні режими адитивного виробництва виробів на основі фотополімерної смоли. Встановлено раціональні параметри 3D друку акрилового фотополімеру.

Ключові слова: адитивне виробництво; лазерна стереолітографія; фотополімер; 3D принтер; УФ випромінювання.

Вступ. Адитивне виробництво – узагальнена назва технологій, які передбачають виготовлення виробу за даними тривимірної цифрової моделі методом пошарового додавання матеріалів [1]. Існують різні технології адитивного виробництва в залежності від використовуваного принципу роботи та матеріалів – лазерна стереолітографія (SLA), селективне лазерне спікання (SLS), метод наплавлення (FDM) [2–3].

В технології методом наплавлення як витратний матеріал використовується мононитка певного діаметру, яка безперервно подається в екструдер 3D принтеру, розплавляється і пошарово насичується на платформу принтеру. Кожен наступний шар видавлюється на попередній за заданою траєкторією, за рахунок чого і відбувається побудова виробу. Для більш плавної подачі матеріалу, а також швидкого затвердіння шарів, екструдери оснащуються зовнішніми вентиляторами, що створюють різкий перепад температур. Дана технологія не дозволяє створювати малогабаритні вироби зі складним деталюванням [4].

Селективне лазерне спікання передбачає використання як витратного матеріалу порошкоподібного матеріалу – полімеру, металу. Дана технологія має переважно промислове значення і відрізняється високою вартістю витратних матеріалів та обладнання [5].

Хоча про 3D принтери стали активно говорити лише останніми роками, історія розвитку тривимірного друку налічує близько 30 років: перше застосування було зафіксовано в 1980-х

роках. Родоначальником адитивних технологій вважається американець Чарльз Халл, який у 1986 р. запатентував спосіб стереолітографії, заснував компанію 3D Systems і розробив перший 3D принтер Stereolithography Apparatus. Термін «стереолітографія» був визначений Чарльзом Халлом в патенті від 1984 р. як «система генерування тривимірних об'єктів за рахунок пошарового формування». Удосконаливши в 1988 р. колишню модель, компанія почала перше серійне виробництво 3D принтерів SLA-250 [6].

Стереолітографія — технологію 3D друку, яка використовується для виробництва моделей, прототипів, зразків і деталей продукції шар за шаром, шляхом затвердіння fotocутливого матеріалу, який піддається дії УФ лазера, або іншого подібного джерела енергії [7]. Для побудови кожного шару лазер проходить по поперечному перерізу деталі на поверхні фотополімеру – рідкої смоли. При дії світла ультрафіолетового лазера смола твердішає відповідно будуючи шар моделі заданої форми і з'єднується з попереднім шаром, який знаходиться знизу. Після того як шар був побудований, рухома платформа спускається на відстань, яка дорівнює товщині одного шару, яка зазвичай складає 0,05 мм до 0,15 мм. На цій новій поверхні рідини, друкується наступний шар зразка, беручи початок з попереднього шару. В результаті такого процесу формується повна 3D модель [8]. Після цього, отриману деталь занурюють в хімічну ванну, щоб очистити від надлишку смоли і згодом проводять процес кінцевого затвердіння в ультрафіолетовій камері.

Фотополімер – рідкий олігомер, здатний отверджуватися під дією УФ випромінювання певної довжини хвилі. Як правило, фотополімер містить у своєму складі три основні компоненти – ініціатор, розчинник та полімерну смола на акриловій основі, що надає йому специфічного різкого запаху при використанні [9].

Дана технологія переважає інші за своєю можливістю швидко створювати різноманітні вироби з ідеально гладкою поверхнею та високою деталізацією. Слабкою стороною стереолітографії є проблема забезпечення високих фізико-механічних властивостей готових виробів за рахунок раціонального підбору технологічних параметрів адитивного виробництва та постобробки сформованих виробів [10].

Основні технологічні параметри даної технології, що впливають на кінцеві експлуатаційні властивості готового виробу, це – тривалість засвічування шару та тривалість постобробки виробу.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження впливу параметрів адитивного виробництва та тривалості постобробки на властивості готових виробів на основі акрилових полімерів.

Результати дослідження. Для досліджень було використано фотополімер марки Anycubic призначений для створення тривимірних об'єктів на 3д принтері за технологією LCD/DLP з довжиною хвилі до 405 нм. Адитивне виробництво дослідних зразків здійснювали на 3д принтері марки Anycubic Photon LCD. Для оцінки отриманих результатів вимірювань використовували як базу для порівняння зразки фотополімеру, отверджені у формі після вільного заливання (табл. 1).

Таблиця 1

Властивості базового зразка

№ п/п	Властивості	Значення
1	Міцність при розриві, МПа	34,5
2	Відносне видовження, при розриві, %	6,3
3	Ударна в'язкість, кДж/м ²	25,4
4	Твердість за Шор Д, од	96
5	Модуль пружності при згині, МПа	2156
6	Густина, кг/м ³	1196

Для постобробки дослідних зразків використовували камеру з УФ лампою потужністю 40 Вт, довжина хвилі 405 нм, відстань від джерела випромінювання до зразка – 10 см.

Основні технологічні параметри адитивного виробництва – тривалість засвічування одного шару варіювалась від 5 до 60с. Товщина шару складала 50мкм.

Визначали основні фізико-механічні властивості дослідних зразків - міцність та відносне видовження при розриві (ISO 527-2:2012), ударну в'язкість (ISO 179-1:2010), твердість за шкалою Шор Д (ISO 2039-1:2001), модуль пружності при згині (ISO 178:2010), а також густину (ISO 1183-1:2019) в рідкому та твердому станах. Результати досліджень представлені в табл. 2.

Густина фотополімеру у рідкому стані становить 690 кг/м³ - визначена пікнометричним методом при 20°C

Таблиця 2

Властивості дослідних зразків

№ п/п	Властивості	Значення						
		Тривалість засвічування шару, с	Тривалість постобробки, хв					
			0	15	30	45	60	120
1	Міцність при розриві, МПа	10	7,61	19,5	20,2	27,7	28,3	27,8
		20	11,2	23,8	23,5	27,8	27,4	30,1
		30	13,5	24,5	25,6	27,5	27,9	29,5
		40	15,6	24,7	23,6	27,8	29,6	30,5
2	Відносне видовження, при розриві, %	10	8,0	8,5	3,8	8,6	8,2	6,3
		20	8,2	8,6	6,2	7,7	8,3	7,0
		30	8,5	8,3	6,5	7,4	7,4	8,2
		40	8,1	8,6	5,5	7,8	7,7	5,7
3	Ударна в'язкість, кДж/м ²	10	8,4	10,5	16,1	22,7	17,6	18,6
4	Твердість за Шор Д, од	10	88	90	92	93	94	95
5	Модуль пружності при згині, МПа	10	1240	1350	1480	1680	1760	1920
6	Густина, кг/м ³	10	1190,9	1194,5	1192,5	1197,6	1198,0	1199,0

Збільшення тривалості засвічування шару до 40с приводить до зростання міцності при розриві дослідних зразків практично в 2 рази. Тривалість постобробки суттєво впливає на значення міцності при розриві. Так постобробка зразка сформованого з тривалістю засвічування шару 10с на протязі 30 хв дозволяє в 3 рази підвищити його міцність при розриві, а постобробка 60 хв – в 4 рази підвищує міцність. Такі зміни пов'язані з проходженням реакцій додаткової радикальної полімеризації в процесі постобробки. При зростанні тривалості засвічування шару виробу, тривалість постобробки має менш відчутний вплив на зміну міцності – всього в 2 рази, що зумовлено меншою інтенсивністю проходження реакції полімеризації в процесі постобробки через попереднє утворення сітчастої структури в процесі адитивного виробництва. Збільшення тривалості постобробки до 120 хв практично не впливає на зміну міцності зразків через відсутність вільних реакційноздатних молекул.

Відносне видовження в незначній мірі змінюється при зміні тривалості засвічування шару та тривалості постобробки.

Ударна в'язкість дослідних зразків зростає практично в 2 рази при збільшенні тривалості постобробки до 60 хв. Також зростає твердість зразків та модуль пружності при згині, що вказує на підвищення жорсткості виробів зі зростанням тривалості постобробки.

Таким чином, властивості готових виробів при адитивному виробництві можна регулювати шляхом зміни тривалості засвічування шару та тривалості постобробки.

Густина фотополімеру після дії УФ випромінювання зростає з 690 кг/м^3 до $1190,9 \text{ кг/м}^3$ в наслідок підвищення щільності упаковки макромолекул. В процесі постобробки значення густини зразка незначно зростає через додаткове проходження реакцій структурування. Зміна густини вказує на значення об'ємного усадження фотополімеру - чим більша зміна густини спостерігається, тим вище усадження фотополімеру, що варто враховувати на стадії 3д моделювання майбутнього виробу.

Порівнюючи властивості матеріалу, отвердженого під час адитивного виробництва та отвердженого у формі, слід зазначити, що більш високе значення міцності при розриві та модулю пружності спостерігається при отвердженні в формі. Дане спостереження можливо пов'язане з розкладом фотоініціатору під час першої стадії адитивного виробництва, коли фотополімер частково отверджується у 3Д принтері випромінюванням малої потужності. Подальша обробка в камері зумовлює додаткове отвердження смоли, але частина фотоініціатору вже вступила в реакцію. При отвердженні в формі, фотоініціатор опромінюється випромінюванням більш високої потужності, ніж в принтері, що зумовлює одержання більшого ступеня зшивання.

Властивості досліджених зразків фотополімеру при здійсненні коректної постобробки наближаються або перевершують відповідні значення для промислових термопластів, таких як полістирол удароміцний та полістирол загального призначення [11]. Така особливість є важливим критерієм для застосування адитивних технологій виробництва для отримання функціональних деталей.

Вдосконалення рецептурного складу фотополімеру шляхом введення ударомодифікуючих добавок та використання суміші полімерних смол є перспективним кроком для подальших досліджень в даному напрямку.

Висновки. Досліджено зміну фізико-механічних характеристик при зміні параметрів друку та умов постобробки виробів з фотополімеру надрукованих на 3д принтері за технологією LCD з довжиною хвилі до 405 нм. Збільшення тривалості засвічування шару з 10 с до 40 с зумовлює зростання міцності при розриві зразків в 2 рази в наслідок збільшення числа утворених поперечних зв'язків в структурі фотополімеру. Постобробка після адитивного виробництва має ключовий вплив на фізико-механічні властивості виробу. Так після 60 хв постобробки зразки володіють в 4 рази вищим значенням міцності при розриві, ударна в'язкість зростає практично в 2 рази, що узгоджується зі збільшення модулю пружності при згині в 1,4 рази.

Таким чином, раціональними технологічними параметрами адитивного виробництва виробів на основі акрилового фотополімеру є тривалість засвічування шару 10с та наступна постобробка виробу 60 хв.

References

1. Wohlers, T. (2014). Wohlers report 2014: Additive manufacturing and 3D-printing state of the industry: Annual world-wide progress report, Wohlers Associates. 276 p.
2. 3D Printer Market Sales Will Exceed \$14.6 billion in 2019. URL: <http://blogs.gartner.com/pete-basiliere/2015/09/29/3d-printer-market-sales-will-exceed-14-6-billion-in-2019/>.
3. 3D Printing and Intellectual Property Law: Key Considerations. April, 2015. URL: <http://www.qlegal.qmulac.uk/docs/157017.pdf>.

Література

1. Wohlers T. Wohlers report 2014: Additive manufacturing and 3D-printing state of the industry: Annual world-wide progress report, Wohlers Associates, 2014. 276 p.
2. 3D Printer Market Sales Will Exceed \$14.6 billion in 2019. URL: <http://blogs.gartner.com/pete-basiliere/2015/09/29/3d-printer-market-sales-will-exceed-14-6-billion-in-2019/>.
3. 3D Printing and Intellectual Property Law: Key Considerations. April, 2015. URL: <http://www.qlegal.qmulac.uk/docs/157017.pdf>.

4. Dai, Lu; Hong, Xiao. The Development of 3D Print Technology. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. 644–650. 4856–4859.
5. Stereolithography. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Stereolithography>.
6. About Anycubic. URL: <https://www.anycubic.com/pages/about-anycubic>.
7. Sahana, V. W., Thampi, G. T. (2018). 3D printing technology in industry. *2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)*. DOI: 10.1109/ICISC.2018.8399128.
8. Xue Liang Ma. Research on Application of SLA Technology in the 3D Printing Technology. *Applied Mechanics and Materials*. 2013. 401–403: 938–941. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.401-403.938.
9. ISO 17296-2:2015. Additive manufacturing – general principles – Part 2: Overview of process categories and feedstock. Geneva: International Organization for Standardization; 2015.
10. Savaliya, J. A., Parikh, H. N., Sidapara, A. P., Gosai, K. G. (2021). 3D Printing Technology: A Future Perspective. *International Journal of Engineering Research in Electronics and Communication Engineering (IJERECE)*. Vol. 8. P. 12–17.
11. MatWeb, LLC. URL: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=dada63b21acb40a2bf53aaa1a40475fc&ckck=1>.

4. Dai Lu, Hong Xiao. The Development of 3D Print Technology. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. 644–650. 4856–4859.
5. Stereolithography. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Stereolithography>.
6. About Anycubic. URL: <https://www.anycubic.com/pages/about-anycubic>.
7. Sahana V. W., Thampi G. T. 3D printing technology in industry. *2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)*. 2018. DOI: 10.1109/ICISC.2018.8399128.
8. Xue Liang Ma. Research on Application of SLA Technology in the 3D Printing Technology. *Applied Mechanics and Materials*. 2013. 401–403: 938–941. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.401-403.938.
9. ISO 17296-2:2015. Additive manufacturing – general principles – Part 2: Overview of process categories and feedstock. Geneva: International Organization for Standardization; 2015.
10. Savaliya J. A., Parikh H. N., Sidapara A. P., Gosai K. G. 3D Printing Technology: A Future Perspective. *International Journal of Engineering Research in Electronics and Communication Engineering (IJERECE)*. 2021. Vol. 8. P. 12–17.
11. MatWeb, LLC. URL: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=dada63b21acb40a2bf53aaa1a40475fc&ckck=1>.

SLIEPTSOV ALEKSANDR

PhD, Assistant, Department of Applied Ecology,
Technology of Polymers and Chemical Fibers,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
Скочус 57189215952
E-mail: slyepcov.oo@knu-d.edu.ua

SLIEPTSOV IGOR

Student, Department of Applied Ecology,
Technology of Polymers and Chemical Fibers,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
E-mail: slyepcov.oo@knu-d.edu.ua

ISKANDAROV RUSLAN

Department of Applied Ecology, Technology
of Polymers and Chemical Fibers,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2164-0061>
E-mail: iskandarov.r.sh@gmail.com

KOBZA VYACHESLAV

Student, Department of Applied Ecology,
Technology of Polymers and Chemical Fibers,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
E-mail: slyepcov.oo@knu-d.edu.ua

СЛЕПЦОВ А. А., ИСКАНДАРОВ Р. Ш., СЛЕПЦОВ И. А., КОБЗА В. В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА
НА СВОЙСТВА ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ФОТОПОЛИМЕРА**

Цель. Исследование влияния параметров аддитивного производства и продолжительности постобработки на свойства готовых изделий на основе акриловых полимеров.

Методика. Определяли основные физико-механические свойства опытных образцов - прочность и относительное удлинение при разрыве по ISO 527-2:2012, ударную вязкость по ISO 179-1:2010, твердость по шкале Шор Д по ISO 2039-1:2001, модуль упругости при изгибе по ISO 178:2010, а также плотность по ISO 1183-1:2019 в жидком и твердом состояниях.

Результаты. Исследовано влияние параметров аддитивного производства методом стереолитографии для фотополимерных олигомеров. Показано влияние параметров аддитивного производства и постобработки на механические свойства. Оценены свойства образцов, полученных аддитивным производством по сравнению с образцами, отвержденными в форме. Выявлено, что осуществление дополнительного экспонирования в УФ излучении может увеличить прочность при разрыве в 2-3 раза в зависимости от длительности обработки. Осуществление постобработки является необходимым условием обеспечения уровня механических свойств, пригодного для образования функциональных изделий. Увеличение продолжительности засветки в камере 3D принтера приводит к росту прочности при разрыве в 2 раза, но снижает общую скорость процесса аддитивного производства. Ударная прочность готовых изделий увеличивается при увеличении продолжительности засветки слоя и существенно возрастает при увеличении продолжительности постобработки.

Научная новизна. Исследованы особенности изменения механических свойств фотополимера в зависимости от условий аддитивного производства опытных образцов. В зависимости от применяемых параметров аддитивного производства можно получать изделия, обладающие функциональными свойствами. Параметры постобработки определяют комплекс механических свойств готового изделия.

Практическая значимость. Отработаны технологические режимы производства изделий на основе фотополимерной смолы. Установлены оптимальные параметры 3D печати акрилового фотополимера.

Ключевые слова: аддитивное производство; лазерная стереолитография; фотополимер; 3D принтер; УФ-излучение.

SLIEPTSOV A. A., ISKANDAROV R. Sh., SLIEPTSOV I. A., KOBZA V. V.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

**INFLUENCE OF ADDITIVE MANUFACTURING FORMING PARAMETERS
ON COMPLEX PROPERTIES OF THE ARTICLES MADE
FROM PHOTSENSITIVE RESIN**

Purpose. Study of the influence of additive manufacturing parameters and post forming operations on complex mechanical properties of the articles formed from UV curable acrylic oligomer.

Methodology. Determination of physical and mechanical properties of standard samples which was formed by additive manufacturing technics from UV curable polymer. Tensile strength and relative elongation at brake according to ISO 527-2:2012, impact strength according to: ISO 179-1:2010. Durometer hardness according to: ISO 2039-1:2001. Bending modulus according to: ISO 178:2010. Density according to: ISO 1183-1:2019

Findings. Additive manufacturing parameters for stereolithography process was studied for liquid UV curable acrylic oligomer. Study was focused on influence of forming settings and post forming treatment of complex mechanical properties of final articles which was shaped as standard testing samples. Properties of additive manufactured samples was compared with the properties of samples which was cured by UV light in bulk inside shaped cavity with the same geometrical dimensions. Correct post forming treatment results in up to 2 – 3 times increase in tensile strength. Post forming treatment is necessary for achieving functional level of mechanical properties, comparable to the properties of typical industrial polymers. Study of influence of

UV light exposure during additive manufacturing shows double fold increase in tensile strength but reduce overall forming speed. Impact strength increase with increasing exposure time and significantly increase with duration of post forming treatment. Post treatment operations with correct parameters can result in forming articles with level of properties sufficient for functional applications.

Originality. Study was focused on mechanical properties of UV curable polymer in dependence from forming parameters of additive manufacturing process and post treatment operations. Application of correct post forming setting can lead to material properties with valuable for functional applications.

Practical value Optimal parameters for additive manufacturing process based on UV curable resin and LCD exposure technology was investigated. Forming and post forming parameters significantly influence complex mechanical properties of formed articles.

Keywords: additive manufacturing; UV curable resin; Stereolithography; 3D printing.

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 22.09.2021. Формат 60×84 1/8.

Ум. друк. арк. 10,22. Облік. вид. арк. 8,00. Наклад 100 пр. Зам. 1717.

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 22.09.2021. Format 60×84 1/8.

Conditional sheet 10.22. Calculated sheet 8.00. Circulation 100 copies. Order N 1717.

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

Certificate KB №24822–14762 ПР від 19.04.2021 р.

Certificate ДК № 993, 24.07.2002.