

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ТЕХНОЛОГІЇ
ТА
ІНЖИНІРИНГ**

№ 1(12), 2023

DOI:10.30857/2786-5371.2023.1

Наукове фахове видання

Періодичність виходу: 6 разів на рік

Дата заснування: грудень 1999 р.

Київ 2023

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).

№ 1(12), 2023

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

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

Журнал входить до переліку наукових фахових видань України.

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

ISSN 2786-5371 print

ISSN 2786-538X online

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

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

Засновник і видавець:

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

Головний редактор:

Панасюк І.В., д.т.н., професор

Заступник

головного редактора:

Злотенко Б. М., д.т.н., професор

**Відповідальний
секретар:**

Кривонос О. О.

Тематична спрямованість журналу «Технології та інжиніринг»: Інформаційні технології, електроніка, механічна та електрична інженерія. 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. 1-347

тел./факс: +38 (044) 256-21-39

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

Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну, протокол № 6 від 15.02.2023 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 1(12), 2023

DOI:10.30857/2786-5371.2023.1

Scientific Specialized Edition

Issued: 6 times a year

Founded: December, 1999

Kyiv 2023

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).

№ 1(12), 2023

The state registration of print media is KB № 24822-14762 ИП, 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: Information technologies, electronics, mechanical and electrical engineering. 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 1-347

Tel./fax: +38 (044) 256-21-39

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

Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 6, originating date 15.02.2023.

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, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *головний редактор*, ORCID: 0000-0001-7572-4757.

Злотенко Борис Миколайович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник головного редактора*, ORCID: 0000-0002-0870-8535.

**СЕКЦІЯ: ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕЛЕКТРОНІКА,
МЕХАНІЧНА ТА ЕЛЕКТРИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ**

Шведчикова Ірина Олексіївна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *відповідальний редактор секції*. ORCID: 0000-0003-3005-7385.

Осипенко Володимир Васильович – доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*, ORCID: 0000-0002-1077-1461.

Білоус Інна Юріївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ORCID: 0000-0002-6640-103x.

Денисюк Сергій Петрович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна, ORCID: 0000-0002-2134-254X.

Жуйков Валерій Якович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна, ORCID: 0000-0002-3338-2426.

Мілих Володимир Іванович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна, ORCID: 0000-0002-6176-3103.

Стаценко Володимир Володимирович – доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0002-3932-792X.

Суходуб Ірина Олегівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ORCID: 0000-0002-5895-1306.

Чорний Олексій Петрович – доктор технічних наук, професор, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Україна, ORCID: 0000-0001-8270-3284.

Шавьолкін Олександр Олексійович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0003-3914-0812.

Jasim Mohmed – Docent, PhD, Al-Furat Al-Awsat Technical University – Al-Musssaib Technical college, Kufa, Ira, ORCID: 0000-0002-2983-416X.

Skibniewski Miroslaw – Prof., Ph.D., Dr.h.c., Honor. Prof., Department of Civil & Environmental Engineering A. James Clark School of Engineering University of Maryland, College Park, USA, ORCID: 0000-0002-7102-753X.

Kay Berkling – Prof. Ph.D., Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW), Karlsruhe. Germany.

Juraj Gerlici – Prof., Dr. Ing., University of Žilina, Slovak Republic.

Kateryna Kravchenko – PhD, University of Žilina, Slovak Republic.

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

Галавська Людмила Євгенівна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *відповідальний редактор секції*, ORCID: 0000-0002-6994-6641.

Березненко Сергій Миколайович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*, ORCID: 0000-0002-1042-6369.

Арабулі Світлана Іванівна – кандидат технічних наук, доцент, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID 0000-0003-1049-8255.

Гараніна Ольга Олександрівна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна. ORCID: 0000-0002-4715-3851.

Касьян Едуард Євгенович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0002-9540-2824.

Кизимчук Олена Павлівна – доктор технічних наук, професор, Дрезденський технічний університет, Німеччина, ORCID: 0000-0002-8874-8931.

Очеретна Лариса – PhD, доцент, Люберецький технічний університет, Чеська республіка, ORCID 0000-0003-4296-410X.

Славінська Алла Людвигівна – доктор технічних наук, професор, Хмельницький національний університет, Україна, ORCID: 0000-0003-0663-9422.

Хімичева Анна Іванівна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0002-3737-7341.

Хоменко Володимир Григорович – доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0003-0013-8010.

СЕКЦІЯ: ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Барсуков В'ячеслав Зіновійович – доктор хімічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *відповідальний редактор секції*, ORCID: 0000-0002-3041-2474.

Плаван Вікторія Петрівна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*, ORCID: 0000-0001-9559-8962.

Андрєєва Ольга Адіславівна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0001-8374-2306.

Баула Ольга Петрівна – кандидат хімічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0003-4305-6517.

Бессарабов Володимир Іванович, доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0003-0637-1729.

Будаш Юрій Олександрович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0001-8718-1577.

Кузьмінський Євген Васильович – доктор хімічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна, ORCID: 0000-0002-5632-8297.

Левицький Володимир Євстахович – доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», Україна, ORCID: 0000-0003-1323-1943.

Мокроусова Олена Романівна - доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID 0000-0003-1943-8048.

Савченко Богдан Михайлович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0002-8636-5734.

Скорохода Володимир Йосипович – доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», Україна, ORCID: 0000-0002-2352-5964.

Страшний Владислав Володимирович – доктор фармацевтичних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0002-9188-1821.

Valeika Virgilijus – professor, PhD, Department of Physical and Inorganic Chemistry, Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania, ORCID: 0000-0003-4974-7626.

Кривонос Олена Олександрівна – відповідальний секретар.

ЗМІСТ

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕЛЕКТРОНІКА, МЕХАНІЧНА ТА ЕЛЕКТРИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ

1. **АСТІСТОВА Т. І.**
SEO-ОПТИМІЗАЦІЯ В СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ WEB-РЕСУРСІВ 9
2. **БАСОК Б. І., ПРИЙМАК О. В.,
ГОНЧАРУК С. М., ПАСІЧНИК П. О.**
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА
ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РІЗНИХ ТИПІВ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ
СТІНОВИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ 18
3. **БІЛОУС І. Ю., БУЯК Н. А., БІРЮКОВ Д. В.,
ЯЦЕНКО О. І., ШКЛЯР В. І., ДУБРОВСЬКА В. В.**
ЕКСЕРГЕТИЧНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ В
БУДІВЛЯХ 26
4. **ДЕШКО В. І., НАУМЧУК О. С.**
АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ NZEV КОНЦЕПЦІЇ ДЛЯ БУДІВЕЛЬ У
ЦЕНТРАЛЬНІЙ ТА СХІДНІЙ ЄВРОПІ 41
5. **МАНОЙЛЕНКО О. П., ДВОРЖАК В. М.,
ГУДИМ А. Г., ШКВИРА В. В., ГРИЦАЙ І. В.**
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ
ТЕНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ПРИКЛАДІ СИЛОВОГО
РОЗРАХУНКУ НИТКОПРИТЯГАЧІВ ШВЕЙНИХ МАШИН
ЧОВНИКОВОГО СТІБКА 52

ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

6. **ГАЛСТЯН А. Г., КРАВЧУК М. О., ПАХОМОВА Д. В.**
ДОСЛІДЖЕННЯ КАТАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ
СЕЛЕКТИВНОГО ОКИСНЕННЯ 4-ГІДРОКСИТОЛУЕНУ ОЗОНОМ
У РІДКІЙ ФАЗІ 61
7. **ПЛАВАН В. П., ЩЕНКО О. В., ТАРАСЕНКО Н. В.,
БУДАШ Ю. О., КОЛОДІЙ А. І.**
ЗАСТОСУВАННЯ НАПОВНЕНИХ ДИСПЕРСІЙ
ВОДОРОЗЧИННИХ ПОЛІМЕРІВ ДЛЯ ФУНКЦІОНАЛІЗАЦІЇ
ВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ 73

TABLE OF CONTENTS

INFORMATION TECHNOLOGIES, ELECTRONICS, MECHANICAL AND ELECTRICAL ENGINEERING

1. **ASTISTOVA T. I.**
SEO OPTIMIZATION IN WEB RESOURCES MONITORING SYSTEM 9
2. **BASOK B. I., PRIYMAK O. V., HONCHARUK S. M., PASICHNYK P. O.**
STUDY OF THE INFLUENCE OF THE EXPLOITATION PERIOD ON THERMAL PHYSICAL PROPERTIES OF DIFFERENT TYPES OF THERMAL INSULATION OF WALL ENCLOSURE STRUCTURES 18
3. **BILOUS I. Yu., BUYAK N. A., BIRIUKOV D. V., YATSENKO O. I., SHKLYAR V., DUBROVSKA V. V.**
EXERGETIC AND ENERGETIC TRANSIENT PROCESSES IN BUILDINGS 26
4. **DESHKO V. I., NAUMCHUK O. S.**
ASPECTS OF USE OF NZEB CONCEPT FOR BUILDINGS IN CENTRAL AND EASTERN EUROPE 41
5. **MANOILENKO O. P., DVORZHAK V. M., HUDYM A. H., SHKVYRA V. V., HRYTSAI I. V.**
COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT RESEARCH METHODS ON THE EXAMPLE OF FORCE CALCULATION OF THREAD TAKE-UP LEVERS OF LOCKSTITCH SEWING MACHINES 52

CHEMICAL AND BIOPHARMACEUTICAL TECHNOLOGIES

6. **HALSTIAN A., KRAVCHUK M., PAKHOMOVA D.**
THE STUDY OF A CATALYTIC SYSTEM FOR THE SELECTIVE OXIDATION OF 4-HYDROXYTOLUENE BY OZONE IN THE LIQUID PHASE 61
7. **PLAVAN V. P., ISHCENKO O. V., TARASENKO N. V., BUDASH Yu. O., KOLODII A. I.**
APPLICATION OF FILLED DISPERSIONS OF WATER-SOLUBLE POLYMERS FOR FUNCTIONALIZATION OF FIBROUS MATERIALS 73

УДК 004.384

АСТІЦТОВА Т. І.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

SEO-ОПТИМІЗАЦІЯ В СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ WEB-РЕСУРСІВ

Мета. Розробити систему моніторингу WEB-сайтів на основі дослідження методів та програмних засобів, які застосовують для підняття позиції сайту в пошукових системах і збільшення рейтингу відвідуваності за допомогою SEO-оптимізації.

Методика. В основу розробки системи було покладено теоретичні та експериментальні дослідження, які використовують для аналізу сервісів та програм для просування сайту на топові позиції пошукових систем, професійного аналізу параметрів, повторного залучення клієнтів та моніторингу сайтів в мережі Інтернет.

Результати. В результаті дослідження систем моніторингу сайтів були опрацьовані та проаналізовані сервіси та програмне забезпечення AddWeb, Google Analytics, Web Position Gold.

На основі аналізу були виявлені певні недоліки, що заважають більш точно аналізувати ресурс. Враховуючи це, була розроблена система моніторингу під назвою «WebMonit» у вигляді веб-сайту. Дана система використовує комплексний метод аналізу працездатності і тестування параметрів доступності сайту у мережі Інтернет, а розроблені програмні модулі – скрипти дають можливість виводити результати для аналізу та вирішення виявлення проблем.

Дана система перевіряє елементи ресурсу, які є важливими для пошукової оптимізації. До них входять, зокрема, теги, підбір ключових слів, по яких планується просування ресурсу, юзабіліті, ранжирування, семантичне ядро сайту, контент, зручний інтерфейс. Якщо дані елементи оптимізувати, то можна вивести ресурс в ТОП в пошукових системах та Інтернет.

Наукова новизна. Запропоноване оригінальне рішення у вигляді веб-сайту системи моніторингу, яка надає можливість виводити не лише статистику робочого стану сайту, а й знаходити проблем та надавати поради щодо їх ліквідації для поліпшення SEO-оптимізації та розширення функціональних можливостей в прийнятні рішення.

Практична цінність. Існує багато інструментів для просування сайту в Інтернеті, кожен з яких ефективний в конкретному аспекті. В роботі приведені порівняльні характеристики використання інструментів для просування сайту, виявлені переваги і недоліки існуючих систем та розроблена система моніторингу під назвою «WebMonit» у вигляді веб-сайту яка дозволить поліпшити моніторинг сайтів, а розроблені програмні модулі – скрипти дозволять поліпшити просування сайтів.

Ключові слова: WEB-ресурс; Інтернет; SEO-оптимізація; контент; WEB-моніторинг system; анализ; сайт; PHP; HTML; Google Analytics.

Вступ. У всесвітній мережі Інтернет існує незліченна кількість веб-сайтів, які створюються, редагуються та використовуються щохвилини. Всю їх різноманітність навіть складно уявити, адже вони мають безкінечну кількість тем, використовують різні можливості та мають різні цілі, кожен сайт унікальний та намагається додати щось своє.

В наші дні майже весь бізнес будується через Інтернет. Через Інтернет можна щось купити, можна займатись самоосвітою. Інтернет є основним джерелом інформації. Кожен бізнесмен, фірма чи тощо, хочуть мати прибуток через власний сайт. Всі ці сайти конкурують між собою. Для поліпшення рейтингу свого сайту в пошукових систем, потрібно проводити моніторинг та аналіз для удосконалення свого ресурсу.

Бізнес в Інтернеті зараз дуже сильно зав'язаний не тільки на якості самого сайту, але і на його доступності і працездатності.

На сьогодні існує багато інструментів, програми та сервісів для просування сайту на першу сторінку пошукової видачі. Це і контекстна реклама, SEO-оптимізація, медійна(банерна) реклама, реклама в соціальних мережах, відеореклама в Інтернеті, E-mail та

sms розсилка по базі клієнтів, веб-аналітика., маркетинговий аналіз сайту. Кожен з цих сервісів ефективний в конкретному аспекті.

Аналізуючи сайт, потрібно зробити оцінки його стану з різних аспектів, а саме: технічних, семантичних і зручності використання. Отже моніторинг та аналіз WEB-ресурсів є дуже актуальною темою на сьогодні.

Постановка задачі. Слово «моніторинг» має безліч визначень, в залежності від середовища, де його використовують. В нашому випадку, моніторинг – це алгоритм простежування, аналізу та звітів щодо WEB-ресурсу, з метою його удосконалення та просування в пошукових системах. Спростеними словами, це відстеження за сайтом, його станом та інтерфейсом, чи все стабільно чи можливо потрібно щось підправити чи удосконалити [1]. Моніторинг потрібен для своєчасного виявлення технічних збоїв, через які сайт може випасти з пошуку або взагалі не індексуватися пошуковими системами. В першу чергу необхідно налаштувати моніторинг доступу до сайту (HTTP, HTTPS), системи DNS, протоколу FTP, поштових сервісів (POP3, IMAP і ін.), а також сервісів корпоративних баз даних (MySQL, PostgreSQL та ін.).

Під час вибору систем моніторингу WEB-середовища було проведено дослідження систем та поділено їх на такі категорії, як:

- ✓ Системи моніторингу відвідуваності та доступності (Google Analytics).
- ✓ Системи моніторингу працездатності (Monitor.us).
- ✓ Системи моніторингу SEO-оптимізації.

1. Моніторинг відвідуваності та доступності.

Google Analytics один із безкоштовних інструментів web-аналітики, що збирає дані по відвідуваності web-ресурсів а саме:

- сторінки, через які відвідувачі входили на сайт і виходили з нього;
- як часто і скільки часу відвідувачі переглядали ті чи інші сторінки;
- наскільки активно відвідувачі шукали певний контент на сайті.

Сервіс аналізує їх, та формує безліч звітів, на основі яких можна будувати стратегію по просуванню web-ресурсу. Цей ресурс дає багато корисної інформації, та частина якої може бути хибною, неточною. Лічильник Google, який збирає дані, уповільнює загрузку сторінки, а це навряд чи допоможе поліпшенню ефективності вашого сайту.

Аналіз доступності дає можливість проаналізувати та виявити наступні проблеми: проблеми з DNS – сервером, проблеми з підключенням баз даних, проблеми з великим часом відповіді на сервері, проблеми з доступністю сайту в певний проміжок дня та багато інших проблем. Якщо власник сайту вчасно не продіагностує доступність сайту, то може втратити клієнта. Тому важливо правильно визначити інтервал моніторингу, рекомендується інтервал – 10–15 хвилин [2].

2. Моніторинг працездатності.

Monitor.us – це служба моніторингу працездатності web-ресурсу, яка контролює доступність та безпеку сайту 24 години на добу, 365 днів на рік. Працездатність фактично відповідає за той проміжок часу, коли сайт працює та коли він є доступним в мережі. Також до моніторингу працездатності відноситься перевірка наявності помилок та коректне відображення сторінки та зображення. Якщо щось буде відбуватись не за планом, то ця система відправить вам повідомлення на електронну пошту або SMS та запропонує вам декілька можливих варіантів вирішення проблеми. Оцінка Host Tracker є системою моніторингу працездатності web-середовища. Перевагою цього ресурсу є те, що вона використовує хмарні технології. Відповідно, це підвищує її ефективність та зменшує ризик хибних спрацювань

Google ідеологія полягає в тому, що сайти, які знаходяться на першій позиції при пошуковій видачі, повинні найбільш чітко і інформативно відповідати вашому запиту, ці

сайти є корисними і популярними. Тому стимулювання популярності сайту штучним способом є забороненим. Щоб перевіряти і знаходити сайти-порушники, Google запустив автоматизовану систему, яка перевіряє сайти.

3. SEO-оптимізація та SEO-моніторинг

Це комплексний набір рішень, які допомагають вивести сайт в топові (перші) позиції пошукових систем. Це самий ефективний метод, який включає в себе усі попередні.

Щоб перевірити сайт на наявність проблем, зробити аналіз доступності, перевірити семантику ядра, наявність ключових слів, ранжирування в пошукових системах та інше, потрібно проводити комплексний аналіз web-ресурсу [6].

SEO-оптимізація поділяється на зовнішню та внутрішню (табл. 1).

Таблиця 1

SEO-оптимізація	
SEO-ОПТИМІЗАЦІЯ	
Зовнішня оптимізація	Внутрішня оптимізація
Посилання	Контент
Соціальні мережі	Дизайн
Відгуки	Оптимізація сайту
Пізнаваність бренду	Html – верстка
	Структура розділів
	Ключові слова

В першу чергу, особливу увагу потрібно приділити внутрішній оптимізації - це робота безпосередньо з самим сайтом. До внутрішньої оптимізації відносять: оптимізацію URL під відповідні запити клієнта, робота з внутрішньою сторінкою, оцінки можливості оптимізації сайту, робота з тегами, установку *.mdz коду для оптимізації сторінки [5].

Зовнішня оптимізація полягає в закупівлі посилання на біржі посилань SAPE.

Для оптимальної роботи SEO оптимізації потрібно врахувати, що вона залежить від таких показників та факторів:

- користувацький фактор (наскільки сайт цікавий клієнту), 40%
- посилання, які є в свою чергу постійні і непостійні (на місяць), 10%
- внутрішня оптимізація, написання SEO статей і робота з сайтом, 50%.

Нажаль не існує універсального алгоритму для просування сайту в пошукових системах, тому для кожного з них потрібно шукати свій універсальний алгоритм, наприклад для Google – один, для Яндекс – інший. Так як пошукові системи постійно в тому чи іншому удосконалюються, тому SEO-спеціалісти повинні постійно змінювати алгоритми до задачі оптимізації.

Важливим елементом web-моніторингу є знання математичної статистики та теорії ймовірності. Наприклад, критерій Ст'юдента допоможе прийняти правильне рішення щодо поставлений гіпотез, а статистика допоможе поставити правильні та більш точні діагнози на майбутнє, щодо структури та розвитку web-систем для майбутніх користувачів.

Для оцінки значимості WEB-сторінки використовують алгоритм PageRange. Алгоритм застосовується до сукупності документів, пов'язаних гіперпосиланнями (таких, як веб-сторінки з World Wide Web), і призначає кожному з них якесь чисельне значення, що вимірює його «важливість» серед інших документів. Це алгоритм, який використовує систему лінійних рівнянь для знаходження значимості WEB-сторінки. Для кожної сторінки, за допомогою розв'язування системи лінійних рівнянь, обчислюється дійсне число, показник якого показує наскільки важлива WEB-сторінка. Сторінки, які мають високу значимість, за допомогою PageRange відображаються на перших позиціях пошукових систем.

Одна із самих популярних задач в web-моніторингу є А/В тестування, яка використовує статистичні методи, а саме: довжину вибірки, статистичну потужність, статистичну значимість та довірчий інтервал.

Для розробки системи, було розглянуто три методи пошукової оптимізації:

1. *Чорна оптимізація.* Принцип роботи цього методу – це розповсюдження спаму в пошукових системах. Цей метод відноситься до так званого обману пошукових систем з метою підняття сторінки в результаті пошуку.

2. *Біла оптимізація.* Це ефективний спосіб просування web-ресурсів. Його ефективність полягає в повністю законних діях щодо пошукових систем. Весь розвиток молодого сайту відбувається природним шляхом відповідно до вимог пошукових систем. Оптимізація виконується з середини сайту, його структури, контенту, досягнення максимальних зручностей для Інтернет користувачів та доступності пошуковим роботам.

3. *Сіра оптимізація.* Оцінку системи проводить автоматизована система Web Effector. Система проводить аналіз над семантичним ядром та удосконалює його, знищує недійсні та неефективні запити. Та основною задачею є рекомендації щодо покращення ресурсу, для поліпшення ранжирування в пошукових системах та автоматичне просування web-ресурсів за допомогою покупок якісних та ефективних посилань. Це оптимізація, яка допомагає розкрити WEB-ресурс в недоречних для нього місцях. Можливостями ресурсу є просування в пошукових системах, контекстна реклама та СММ. Наприклад, на форумі, де читачі читають все про породи собак, розкрити посилання, де все про машини. Відповідно, такий спосіб є неефективним та не стабільним.

Результати дослідження. Щоб проводити моніторинг WEB-ресурсу, потрібно розробити алгоритм дій. Краще всього аналізувати WEB-ресурс за заданою структурою аналізу, яка представлена на рис. 1.

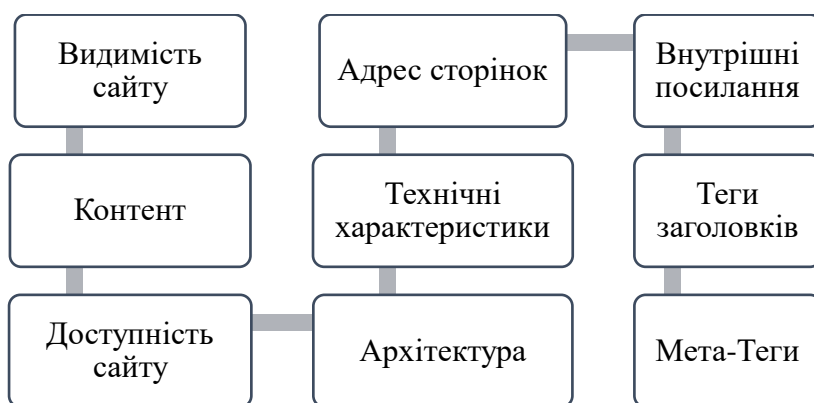


Рис. 1. Структура аналізу WEB-ресурсу

Звіт аналізу структури WEB-ресурсу допомагає розробити послідовність необхідних дій.

На основі проведення аналізу, була розроблена система моніторингу WEB-ресурсів, яка дістала назву «WebMonit».

Основною задачею цього ресурсу є моніторинг та аналіз WEB-сайтів з метою діагностування проблем, які можуть сповільнити розвиток цих сайтів та поради щодо їх усунення. Система дає можливість отримати інформацію щодо стану ресурсу з точки зору SEO-оптимізації; проаналізувати швидкість відповіді серверу та заголовку серверу.

Для створення програмного забезпечення даного сервісу застосовувалися мови програмування: JavaScript, HTML, CSS, PHP, SQL. Система має сумісність з браузерами: IE11, Firefox, Safari, Chrome, Edge. Для розробки було використано Framework CodeIgniter.

На рисунку 2 представлена головна сторінка системи WebMonit.

При запиті даних про сайт підтягуються дані з таких сервісів як GooglePageSpeed, APISeeds.com за допомогою API технологій (програмний інтерфейс програми). Даний WEB-ресурс по замовчуванню стоїть на англійській мові. Для автоматичного перекладу сайту на українську мову можна застосовувати сервіс Google Translation.

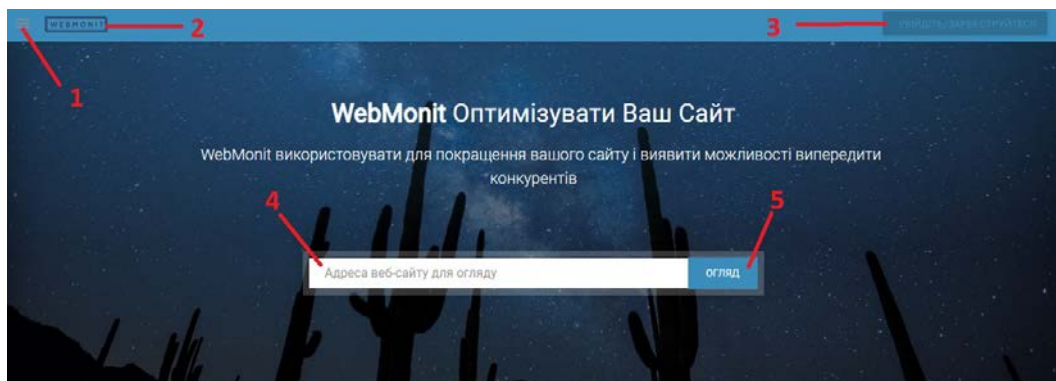


Рис. 2. Головна сторінка системи WebMonit

Головна сторінка (рис. 2) містить такі функції:

1. Панель управління для адміністратора.
2. Шапка сайту, за допомогою якої можна повернутись на головну сторінку.
3. Кнопка для входу та реєстрації.
4. Панель вводу URL – адресу сайту, який потрібно проаналізувати.
5. Огляд – кнопка для аналізу.

Якщо в строку вводу вести URL – адрес та натиснути кнопку огляд – побачимо як система сканує (рис. 3) та виводить результати, оцінює трафік та доходи, визначає технології, які використовувались, юзабіліті робочого столу та мобільності WEB-ресурсу, Alex ранг, загальну інформацію про сервер. Всі ці показники і відповідають критеріям SEO-перевірці та оптимізації.

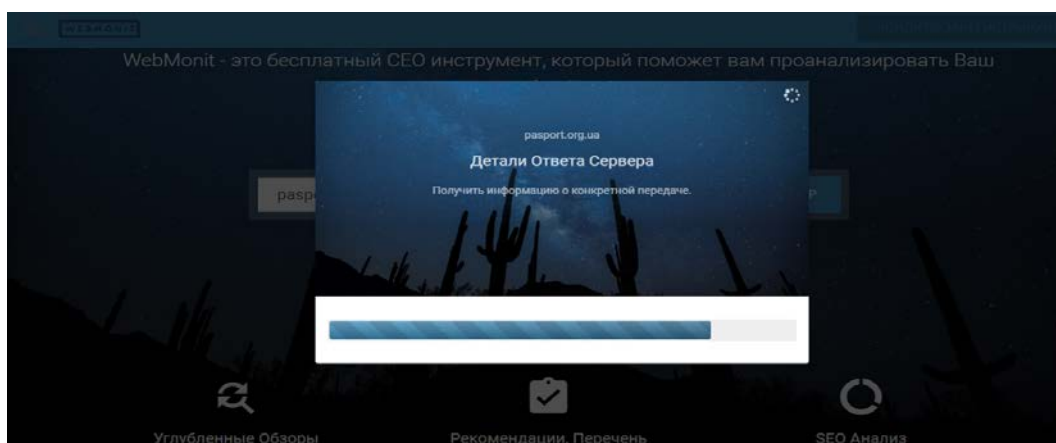


Рис. 3. Сканування WEB-ресурсу

На рис. 4 представлено один із звітів аналізу офіційного сайту ДП Документ, що видає система, а саме, оцінку трафіку і заробітку.

Для того, щоб покращити роботу WEB-ресурсу та оптимізувати функції, які мають великий вплив на загальний розвиток ресурсу були розроблені скрипти, які відповідають за

наступні функції: авторитет домену, заголовки, W3C, назва сайту, опис сайту, швидкість загрузки Розроблена система зручна для користувача.

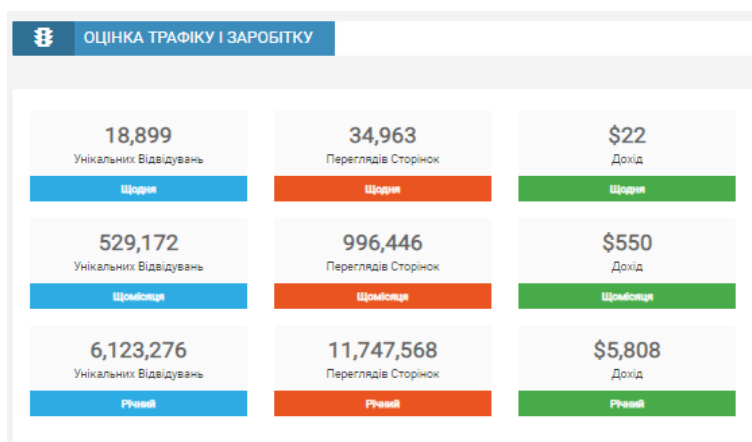


Рис. 4. Оцінка трафіку та доходу

Роботу функції, що забезпечуються SEO-аналіз та виводять поради щодо оптимізації можна переглянути на рис. 5.

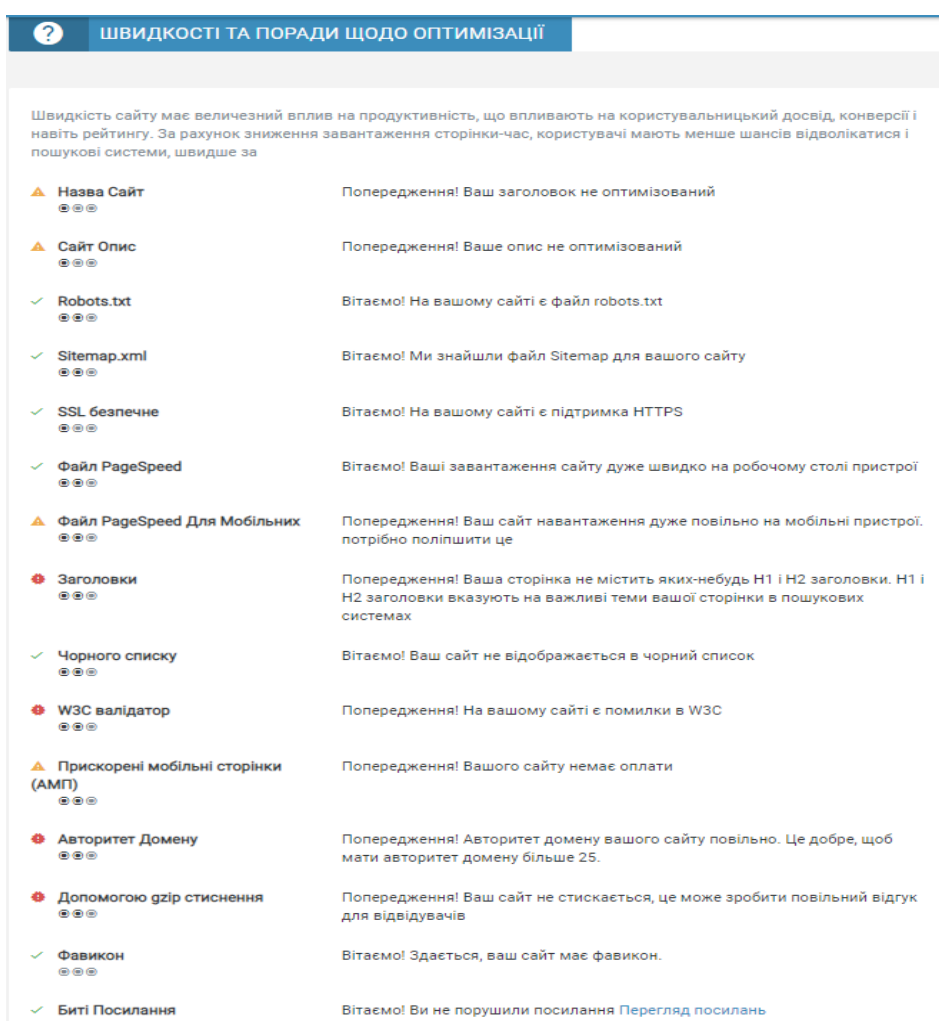





Рис. 5. Аналіз швидкості та поради щодо оптимізації

Коли система виводить результати, то успішність виконаної роботи він позначає такими іконками:

- 1)  – сайт працює коректно, але потрібно поліпшити його оптимізацію;
- 2)  – сайт працює не коректно, потрібно виправити помилки;
- 3)  – сайт відповідає всім критеріям SEO.

За допомогою розробки програмного забезпечення можна проаналізувати будь-який WEB-ресурс та ліквідувати проблеми, які перешкоджають підняття рангу ресурсу в пошукових системах.

Висновки:

1. Аналіз та розробка системи моніторингу WEB-середовища є досить актуальною в теперішній час. В Інтернеті є безліч сайтів і всі вони конкурують між собою, тому для поліпшення рейтингу свого сайту в пошукових системах, потрібно проводити моніторинг та аналіз свого ресурсу для його удосконалення.

2. В роботі було розглянуто загальні положення моніторингу WEB – сайтів, основні задачі WEB – аналітики, методи моніторингу, проведено аналіз програм та сервісів ринку інтернет-моніторингу в Україні. Аналіз показав, що основним недоліком є відсутність системи готового комплексного рішення цієї задачі.

3. Основи математичної статистики та теорія ймовірності допоможуть більш детально та точніше проаналізувати сайт, провести моніторинг та на основі отриманого аналізу вивести поради для оптимізації ресурсу. Найбільш популярним в задачах web-моніторингу є А/В тестування, яке використовує методи математичної статистики.

4. Для отримання оптимальних результатів аналізу ресурсу потрібно використовувати комплексний аналіз WEB – сайтів. До нього входить перевірка ключових слів, перевірка семантики ядра, аналіз доступності, аналіз працездатності, ранжирування пошуковими роботами.

5. На основі аналізу інформації про ресурс, яку надає WEB – аналітика, були розроблені скрипти мовою PHP, в основу розробки яких були взяті основні критерії SEO – оптимізації.

Розроблена система моніторингу «WebMonit» використовує комплексний метод аналізу працездатності і тестування параметрів доступності сайту в мережі Інтернет. Система може аналізувати, проводити моніторинг веб-ресурсів та виводити рекомендації щодо поліпшення структури вашого сайту. вдосконалення ресурсу для користувачів та пошукових систем.

References

Література

- | | |
|--|---|
| <p>1. Melakhov, D. Sarmatov, I. (2016). WEB analityka: krok do doskonalosti [WEB-analytics: a step towards perfection]. Kyiv: Kyiv. 112 p. [in Ukrainian].</p> <p>2. Peterson, E. T. (2014). WEB analytics demystified. K.: Beacon. 268 p.</p> <p>3. Klifton, B. (2016). Google Analytics: profesiyni analiz vidviduvan WEB-saitiv. Internet-marketynh [Google Analytics: professional analysis of visits to WEB sites. Internet marketing]. Kyiv: Dialektyka. 400 p. [in Ukrainian].</p> <p>4. Koshyk, A. (2014). WEB-analyyka: analiz informatsii pro vidviduvachiv WEB-saitiv [WEB analytics: analysis of</p> | <p>1. Мелухов Д., Сарматов І. WEB-аналітика: крок до досконалості. К.: Київ, 2016. 112 с.</p> <p>2. Peterson E. T. WEB analytics demystified. К.: Beacon, 2014. 268 с.</p> <p>3. Кліфтон Б. Google Analytics: професійний аналіз відвідувань WEB-сайтів. Інтернет-маркетинг. К.: Діалектика, 2016. 400 с.</p> <p>4. Кошик А. WEB-аналітика: аналіз інформації про відвідувачів WEB-сайтів. К.: Діалектика, 2014. 464 с.</p> |
|--|---|

- information about visitors to WEB sites]. Kyiv: Dialektyka. 464 p. [in Ukrainian]
5. Sirovich, Dzh., Darui, K. (2013). Poshukova optymizatsiia сайту (SEO) на PHP dlia profesionaliv. Kerivnytstvo rozrobnyka po SEO [Search engine optimization (SEO) on PHP for professionals. A developer's guide to SEO] = Professional Search Engine Optimization with PHP: A Developers Guide to SEO. Kyiv: Dialektyka. 352 p. [in Ukrainian].
6. Kroll, A., Pa'ier, Sh. (2011). Kompleksnyi WEB-monitorynh [Comprehensive WEB-monitoring]. Kyiv: Dialektyka. 768 p. [in Ukrainian].
7. Internet-monitoring. URL: <https://ain.ua/2010/03/19/ukrainskie-servisy-internet>.
8. Astistova, T. I., Manilenko, Yu. A. (2018). Analiz ta rozrobka systemy monitorynha web-seredovyscha [Analysis and development of a web environment monitoring system]. *Materialy XVII Vseukrainskoi naukovoї konferentsii molodykh uchenykh ta studentiv*. Kyiv: Kyiv National University of Technologies and Design, Vol. II, P. 133–134 [in Ukrainian].
9. Ledford, Dzh., Tailer, E. (2008). Hoohle Analytics 2.0: analiz WEB-saitiv [Google Analytics 2.0: analysis of WEB sites]. Kyiv: Dialektyka. 368 p. [in Ukrainian].
10. Rassel, D., Kon, D. (2013). WEB-analytyka [WEB analytics]. Kyiv: Viliams. 106 p. [in Ukrainian].
11. Yevdokymov, N. V., Lebedynskyi, I. V. (2012). Rozkrutka WEB-saitu: praktychne kerivnytstvo po SEO 3.0 [Promotion of a WEB site: a practical guide to SEO 3.0]. Kyiv: Viliams. 288 p. [in Ukrainian].
5. Сіровіч Дж., Даруй К. Пошукова оптимізація сайту (SEO) на PHP для професіоналів. Керівництво розробника по SEO = Professional Search Engine Optimization with PHP: A Developer's Guide to SEO. К.: Діалектика, 2013. 352 с.
6. Кролл А., Па'єр Ш. Комплексний WEB-моніторинг. К.: Діалектика, 2011. 768 с.
7. Інтернет-моніторинг. URL: <https://ain.ua/2010/03/19/ukrainskie-servisy-internet-monitoringa>.
8. Астістова Т. І., Маніленко Ю. А. Аналіз та розробка системи моніторинга web-середовища. *Матеріали XVII Всеукраїнської наукової конференції молодих учених та студентів* (м. Київ, 26–27 квітня 2018). К.: Київський національний університет технологій та дизайну, 2018. Т. II. С. 133–134.
9. Ледфорд Дж., Тайлер Е. Гоогле Analytics 2.0: аналіз WEB-сайтів. К.: Діалектика, 2008. 368 с.
10. Рассел Д., Кон Д. WEB-аналітика. К.: Вільямс, 2013. 106 с.
11. Євдокимов Н. В., Лебединський І. В. Розкрутка WEB-сайту: практичне керівництво по SEO 3.0. К.: Вільямс, 2012. 288 с.

ASTISTOVA TETYANA

*Candidate of Technical Science, Associate Professor,
Department of Computer Sciences,
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8452-4797>
Scopus Author ID: 6506601603
E-mail: astistova@ukr.net*

ASTISTOVA T. I.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

SEO OPTIMIZATION IN WEB RESOURCES MONITORING SYSTEM

Goal. *To develop a system for monitoring WEB sites based on the research of methods and software tools that are used to raise the position of the site in search engines and increase the visitor rating with the help of SEO optimization.*

Methodology. *The development of the system was based on theoretical and experimental research, which is used to analyze services and programs for promoting the site to the top positions of search engines, professional analysis of parameters, re-engagement of customers and monitoring of sites on the Internet.*

Results. As a result of the study of site monitoring systems, services and software AddWeb, Google Analytics, Web Position Gold were developed and analyzed.

Based on the analysis, certain shortcomings were identified, which prevent a more accurate analysis of the resource. Taking this into account, a monitoring system called "WebMonit" was developed in the form of a website. This system uses a complex method of performance analysis and testing of site accessibility parameters on the Internet, and the developed software modules – scripts make it possible to output results for analysis and resolution of problem detection/

This system checks resource elements that are important for search engine optimization. They include, in particular, tags, selection of keywords for which the resource is planned to be promoted, usability, ranking, semantic core of the site, content, user-friendly interface. If these elements are optimized, it is possible to display the resource in the TOP in search engines and the Internet.

Scientific novelty. The proposed original solution in the form of a monitoring system that provides the opportunity to display not only the statistics of the site's working condition, but also to find problems and provide advice on their elimination to improve SEO optimization and expansion of functionality in the decisions made.

Practical significance. There are many tools for promoting a site on the Internet, each of which is effective in a specific aspect. The work gives comparative characteristics of the use of tools for site promotion, identified advantages and disadvantages of existing systems and developed a monitoring system called "WebMonit" in the form of a website that will improve site monitoring, and developed software modules – scripts will improve site promotion.

Keywords: WEB resource; Internet; SEO optimization; content; WEB system monitoring; analysis; site; PHP; HTML.

УДК 515.2

¹БАСОК Б. І., ²ПРИЙМАК О. В.,
¹ГОНЧАРУК С. М., ^{1,2}ПАСІЧНИК П. О.

¹ Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, Україна

² Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РІЗНИХ ТИПІВ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ СТІНОВИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Мета. Метою дослідження є аналіз поведінки та зміни теплофізичних властивостей найбільш використовуваних у будівництві теплоізоляційних систем протягом повного терміну експлуатації будівель експериментальним шляхом.

Методика. Для дослідження теплофізичних властивостей різних варіантів теплової ізоляції стінових огороджувальних конструкцій проведені заходи з термомодернізації адміністративної будівлі і розроблено комплекс з дослідження тепловтрат. Проведено порівняння експериментальних даних, що отримані протягом експлуатації теплоізоляційних конструкцій упродовж тривалого терміну експлуатації.

Результати. Отримані дослідні дані щодо коливань температур та розподілу густини теплового потоку термомодернізованої ділянки стінової огороджувальної конструкції утепленої різними способами від 16–17 лютого 2013 року та 16–17 січня 2022 року та порівняно значення фактичних коефіцієнтів теплопровідності різних теплоізоляційних матеріалів у першому наближенні.

Наукова новизна. Експериментально обґрунтована необхідність оцінки впливу терміну експлуатації на теплофізичні властивості теплоізоляційних матеріалів, що використовуються при термомодернізації будівель різного призначення.

Практична значимість. Наведено важливий фактор, що не враховується при проектуванні теплоізоляційних оболонок будівель і споруд та означено шлях його дослідження.

Ключові слова: термомодернізація; енергоефективність; тепла ізоляція; теплопередача; тепловий потік.

Вступ. Енергетична незалежність країни є невід'ємною складовою її безпеки. Сучасність диктує необхідність максимального зниження енергоспоживання, що в свою чергу дозволить більш повно та ефективно замінити чи диверсифікувати традиційні енергетичні джерела. Теплопостачання комунального господарства є одним з головних споживачів теплоенергетичних ресурсів. Аналіз втрат теплової енергії та природного газу при теплопостачанні житлових та адміністративних будівель показує, що 35–40% загальних втрат теплоти припадає на безпосередньо кінцевих споживачів, що свідчить про недосконалість теплової оболонки існуючих споруд [1]. Головною причиною такого положення є те що теплоізоляційна спроможність будівель з десятиліттями експлуатації не відповідають сучасним вимогам енергоефективності та утворення необхідних повітряно-температурних умов у приміщеннях, що експлуатуються. На разі, Україна динамічно прямує до європейських стандартів теплової ізоляції, що відображається у послідовному рості значень нормативних опорів теплопередачі для огороджувальних конструкцій (рис.1). Так, наприклад, в новій редакції ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» нормативний опір теплопередачі зовнішніх стін житлових будівель для І кліматичної зони складає $4 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ (збільшення на 20%), а для світлопрозорих огороджувальних конструкцій $0,9 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ (збільшення на 20%) [2]. Єдиним шляхом приведення до норм теплоізоляційної оболонки будівель є заходи повної чи часткової термомодернізації [3], а саме термореновація огороджувальних конструкцій, основними заходами якої є заміна віконних конструкцій та улаштування додаткового шару теплової ізоляції на зовнішніх стінах. В даному дослідженні увага приділена саме тепловій ізоляції зовнішніх стін.

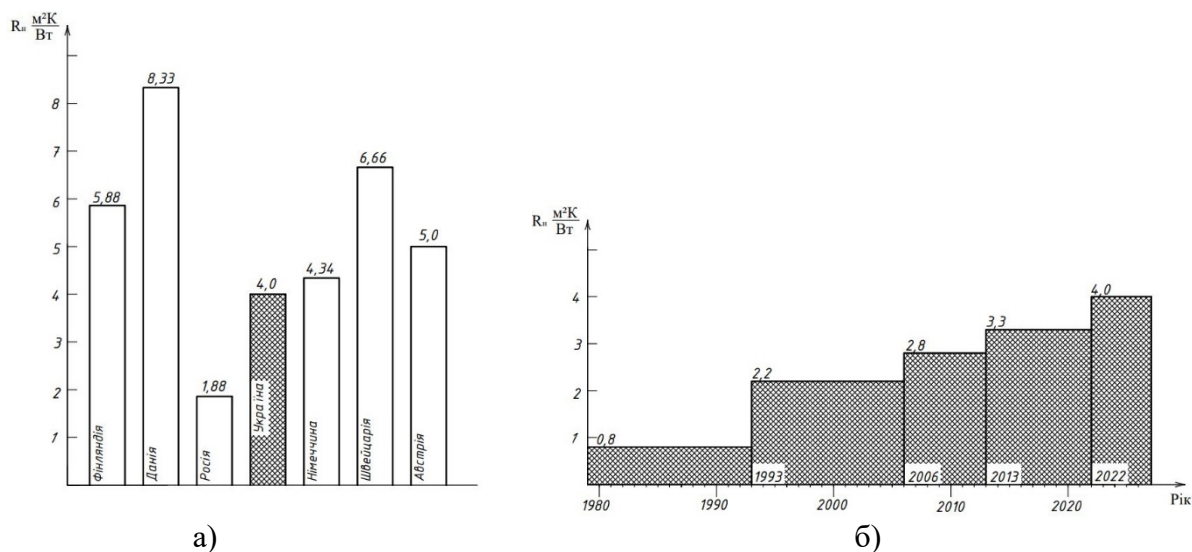


Рис. 1. а) Нормативний коефіцієнт термічного опору R_n , для зовнішніх стін в країнах Європи станом на 2022 рік; б) динаміка розвитку коефіцієнту нормативного термічного опору R_n , зовнішніх стін на території України

Заходи з теплової ізоляції зовнішніх стін існуючих будівель мають велику кількість варіантів, що зумовлюються значною кількістю теплоізоляційних матеріалів та способів їх нанесення чи улаштування. Найбільш розповсюдженими матеріалами для утеплення стін є вироби з мінеральної вати (скловата чи базальтова вата), пінополістирол, пінополіуритан, вермикуліто-перлітова штукатурка тощо. Заходи з термореновації огорожувальних конструкцій потребують значних капітальних затрат, тому виникає потреба в проведенні глибокого енергетичного та економічного аналізу щодо використання тих чи інших видів теплової ізоляції [4]. Важливим маловивченим фактором при виборі теплової ізоляції та проектуванні теплової оболонки будівлі є зміна теплофізичних характеристик теплоізоляційних матеріалів протягом тривалої експлуатації протягом терміну експлуатації самої будівлі.

Постановка завдання. Метою дослідження є аналіз поведінки та зміни теплофізичних властивостей найбільш використовуваних у будівництві теплоізоляційних систем протягом повного терміну експлуатації будівель експериментальним шляхом. Вплив експлуатаційної зношеності теплоізоляційної оболонки має бути врахований в інженерних розрахунках при її проектуванні.

Об'єкт досліджень. Енергетична ефективність будівель характеризується класом енергоефективності, який в свою чергу визначається згідно [2] за відсотковою різницею між фактичною та максимально допустимою енергопотребою. Фактична енергопотреба визначається

$$EP = (Q_{H,nd} + Q_{C,nd} + Q_{DHW,nd}) / A_f, \quad (1)$$

- EP – фактична питома енергопотреба будівлі, кВт·год/м²;
 $Q_{H,nd}$ – енергопотреба для опалення, кВт·год;
 $Q_{C,nd}$ – енергопотреба на охолодження, кВт·год;
 $Q_{DHW,nd}$ – енергопотреба на гаряче водопостачання, кВт·год;
 A_f – кондиціонована (опалювана) площа, м².

Близько 60% загальної енергопотреби будівлі забирає на себе система опалення, фактично функцією якої є компенсація тепловтрат через огорожувальні конструкції, що в свою чергу характеризується термічним опором теплової оболонки, що визначається [5]

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{зов}} + \sum_i^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}}, \quad (2)$$

R_{Σ} – опір теплопередачі багат шарової однорідної стінки, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

$\alpha_{зов}$ – коефіцієнт тепловіддачі від огорожувальної конструкції до зовнішнього повітря ($23 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$);

$\alpha_{вн}$ – коефіцієнт тепловіддачі від внутрішнього повітря до огорожувальної конструкції ($8,7 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$);

δ_i – товщина шару огорожувальної конструкції, м ;

λ_i – коефіцієнт теплопровідності, $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$;

Таким чином зміна коефіцієнту теплопровідності теплоізоляційних матеріалів упродовж терміну експлуатації може призвести до зміни класу енергоефективності, а оскільки велика кількість нових та реконструйованих будівель задля економії капітальних затрат мають мінімально допустимий клас С, то енергоефективність будівлі після певного періоду часу стане просто недопустимою. Виходячи з вищевказаного, при інженерних розрахунках варто враховувати, так зване, «старіння» теплоізоляційних матеріалів протягом терміну експлуатації будівлі.

Для проведення досліджень необхідно натурно відтворити процес експлуатації існуючої будівлі з різноваріантною тепловою ізоляцією. Об'єктом дослідження було вибрано споруду, що підлягає термореновації, представляє собою триповерхову громадську будівлю, що здана в експлуатацію у 1973 р. Вона побудована за типовим проектом № 416-3-3/70 (1966 р.) «Універсальна 3-поверхова споруда розміром $18 \times 60 \text{ м}$ для розміщення інженерних корпусів, проектно-конструкторських бюро, адміністративних приміщень». Висота споруди складає $10,6 \text{ м}$. Після експлуатації споруди протягом 39 років теплоізоляційна спроможність вікон та зовнішніх стін суттєво зменшилась та не відповідає сучасним вимогами щодо енергоефективності будівлі. Крім того, передбачені за проектом 1966 р. заходи щодо теплоізоляції споруди орієнтувалися на існуючу в той час систему тепlopостачання та рівні цін на енергоносії. За згаданим проектом зовнішні стіни споруди триповерхового корпусу виконані з армованих керамзитобетонних панелей серії «ИИ-04-5 Випуск 1», що мають ширину $0,24 \text{ м}$. Ці будівельні вироби являють собою сендвіч - панелі, що мають усередині порожнину шириною $0,08 \text{ м}$, яка заповнена шлаковатою для підвищення теплоізоляційної спроможності зовнішніх стін корпусу [6]. Вікна в корпусі виконані у відповідності з ГОСТ 11214-65. Вікна цієї серії містять два скла шириною 4 мм та дерев'яні рами (рис. 2).



Рис. 2. Загальний вигляд досліджуваної будівлі з різноваріантною тепловою ізоляцією зовнішніх стін

На вибраних однотипних кімнатах другого поверху (для нівелювання впливу ґрунту чи даху будівлі) зовнішні стіни будівлі теплоізолювані наступними шарами: пінополістирольними плитами марки ППС-15, ППС-25 і ППС-35; екструзійним пінополістиролом; базальтовою ватою на різних типах зв'язуючих; вермикуліто-перлітова штукатурка, піноскло, напилення пінополіуритану.

Роботи з утеплення стін проведені згідно рекомендацій виробників щодо монтажу теплоізоляційних шарів та технології будівельного виробництва.

Методика дослідження. Визначальною теплофізичною характеристикою теплоізоляційних матеріалів являється її коефіцієнт теплопровідності, який фактично визначає приведений опір теплопередачі через огорожувальну конструкцію. Згідно [7, 8] методом теплових випробувань в натурних умовах можна визначити фактичні теплоізоляційні властивості. Сутність методу теплових випробувань огорожувальних конструкцій з метою визначення її теплоізоляційних властивостей полягає у вимірюванні за певних температурно-вологісних умов по обидва боки огорожувальної конструкції в усталеному тепловому режимі фактичних значень:

- поверхневої густини теплового потоку крізь огорожувальну конструкцію та температури внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, характерних термічно однорідних ділянок огорожувальної конструкції контактними засобами вимірювальної техніки;

- температури внутрішнього і зовнішнього повітря навколишнього середовища, що межує з поверхнями огорожувальної конструкції, і обчислюванні опору теплопередачі або приведенного опору теплопередачі за отриманими даними згідно з розрахунковими формулами, які наведено у [7].

Для кількісної оцінки теплообміну між приміщенням і навколишнім середовищем було створено комплекс з дослідження тепловтрат, що складається з перетворювачів теплових потоків з вмонтованими платиновими термометрами опору (ПТП-ПТО); мідних термометрів опору (МТО) ТСМ-205; вторинних приладів для збору, передачі та подальшої обробки експериментальних даних УКТ-38 (для датчиків температури) й «Експерт» (для перетворювачів теплового потоку (ПТП)); адаптерів вторинних приладів та комп'ютера [9]. Схема збору, передачі та запису даних на комп'ютер представлена на рис. 3. Даний вимірювальний комплекс дозволяє в режимі реального часу визначити густини теплових потоків на поверхнях та температурні показники цих поверхонь.

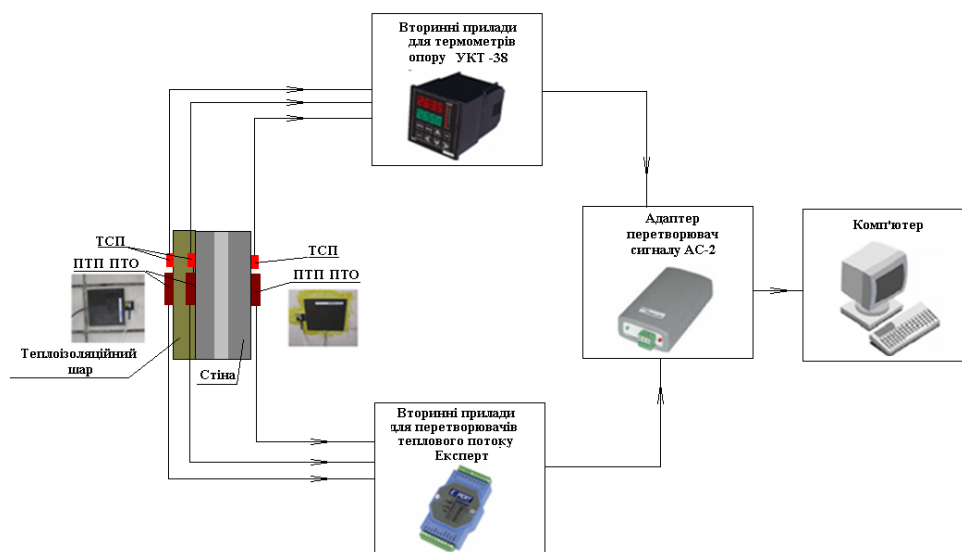
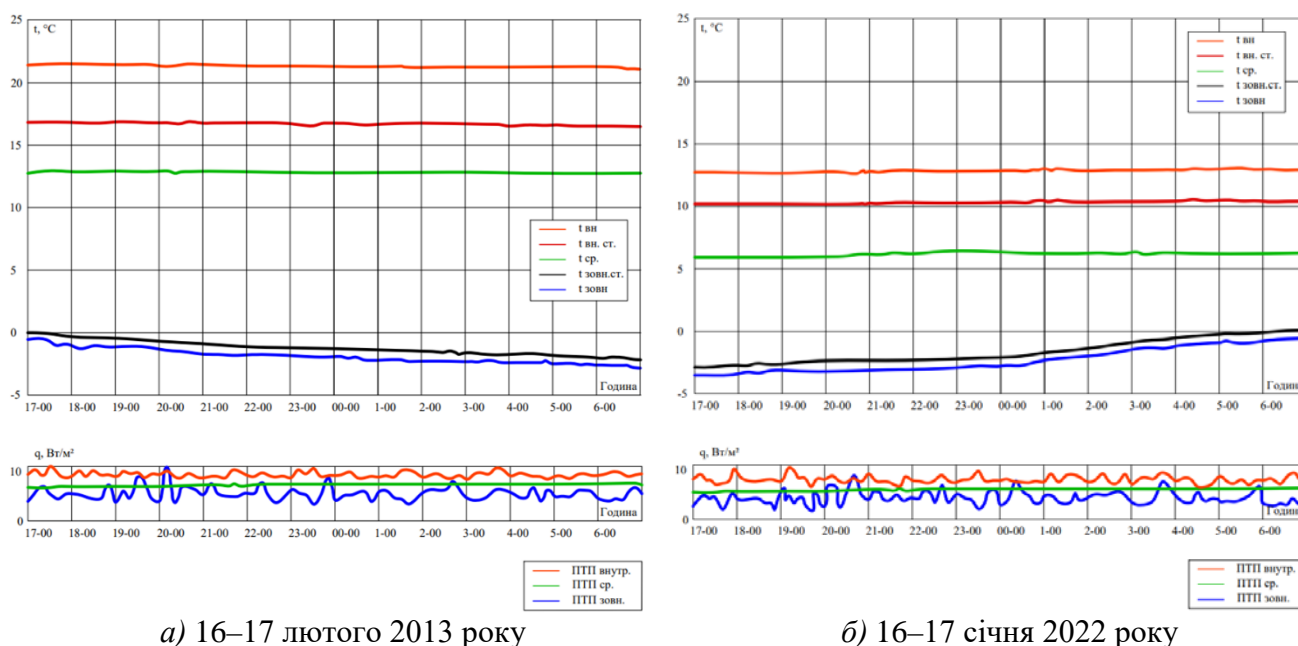


Рис. 3. Схема збору та обробки інформації з вимірювальних датчиків: ПТП-ПТО та МТО

Оцінка тепловтрат, їх аналіз, а також інші теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій визначаються шляхом встановлення ПТП-ПТО та МТО ТСМ-205 на поверхні огорожувальних конструкцій. Внаслідок того, що температурне поле огорожувальних конструкцій, а також розподіл густин теплового потоку по їх поверхням суттєво нерівномірні, ПТП-ПТО та МТО встановлюються на внутрішніх, зовнішніх поверхнях стін, а також при утепленні стінової конструкції між стіною та утеплювачем. ПТП-ПТО та МТО розташовуються один поряд з іншим на одній осі, перпендикулярній до поверхні стіни. Детальний опис геометрії розташування датчиків на огорожувальних конструкціях та методики контролю та опрацювання даних наведено в [10].

Результати досліджень. Теплові випробування в натурних умовах проводять у періоди року, коли існує такий сталий температурний режим, за якого температурний напір не менший ніж 15 К ($\Delta T_{\text{НС}} \geq 15$) [6]. Так, перші отримані дослідні дані були отримані в лютому 2013 року та систематизовані фактичні значення опору теплопередачі різноваріантної теплової ізоляції огорожувальних конструкцій. Наступний період зняття експериментальних показів відбувся в січні 2022 року. Приклад графічного зображення коливання температур та розподіл густини теплового потоку термомодернізованого участка стінової огорожувальної конструкції утепленої базальтовою ватою, зв'язуючим якої є бентонітова глина, від 16-17 лютого 2013 року та 16-17 січня 2022 року зображено на рис. 4.



а) 16–17 лютого 2013 року
б) 16–17 січня 2022 року
Рис. 4. Коливання температур та густини теплового потоку року термомодернізованого участка стінової огорожувальної конструкції утепленої базальтовою ватою «Техноіколь» (135 кг/м^3) зі зв'язуючим з бентонітової глини

Попередні оціночні експериментально-розрахункові значення коефіцієнтів теплопровідності теплоізоляційних шарів визначалися за середніми значеннями всіх необхідних показів, отриманих після настання квазістаціонарного режиму, формування якого визначалося за контрольними вимірами поверхневої температури внутрішнього та зовнішнього середовища. Для запобігання впливу на вимірювальне обладнання сонячного випромінювання використовуються експериментальні дані, що отримані в нічний час. Порівняльний аналіз фактичних коефіцієнтів теплопровідності порохованих по даним 2013 і 2022 років наведено в діаграмі рис. 5.

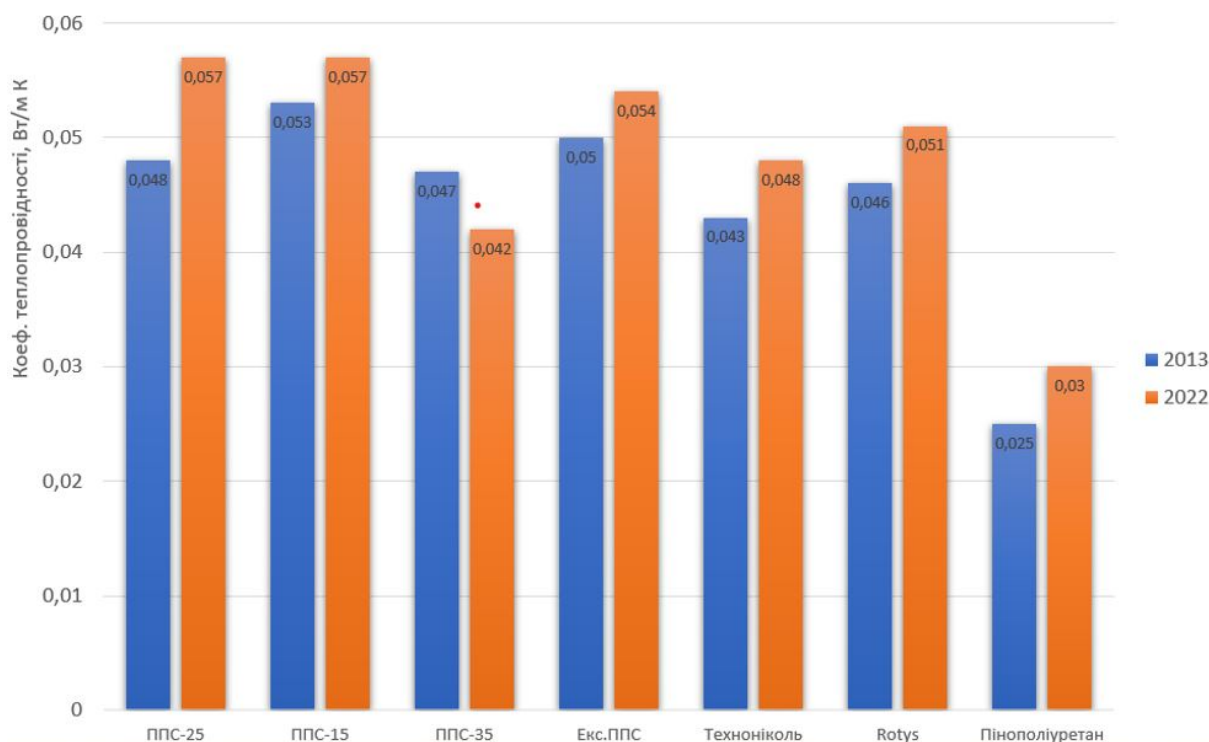


Рис. 5. Зміна експериментально-розрахункових значень теплопровідності теплоізоляційних матеріалів під час експлуатації впродовж дев'яти років

Наведені дані є оціночними і потребують уточнення з врахуванням похибок (так коефіцієнт теплопровідності пінополістиролу ППС-35 став вищим після 9 років експлуатації, що потребує уточнення) та обробкою більшого масиву даних але вони чітко показують, що коефіцієнт теплопровідності зростає впродовж експлуатації і це має бути враховано в інженерних розрахунках.

Висновок. Проведені дослідження та улаштована система вимірювання температурних полів та теплових втрат дозволяють визначити вплив терміну експлуатації на зміну теплотехнічних характеристик теплоізоляційних матеріалів, що необхідно враховувати під час інженерних розрахунків теплової оболонки. Поправку на такий вплив варто було б розглянути для введення в нормативні документи України. Отриманий масив експериментальних даних дозволяє вдосконалити теплофізичні моделі з метою їх подальшого використання для прогнозування тепловтрат через огорожувальні конструкції будівель і споруд. Також оцінка впливу «старіння» теплової ізоляції дозволить більш точно проводити техніко-економічні розрахунки при виборі тих чи інших типів теплоізоляційних матеріалів.

References

1. Basok, B. I., Davydenko, B. V., Honcharuk, S. M. (2013). Rізnovariantna termorenovatsiia ohorodzhivalnykh konstruksii chastyny poverkhu isnuiochoi administratyvnoi budivli ta monitorynh teplovtrat pry yii tryvalii ekspluatatsii [Various thermal renovation of the enclosing structures of part of the floor of the existing administrative building and monitoring of heat losses during its long-term operation]. *Nauka ta innovatsii = Science and innovation*, Vol. 9, № 2, P. 18–21 [in Ukrainian].

Література

1. Басок Б. І., Давиденко Б. В., Гончарук С. М. Різноваріантна термореновація огорожувальних конструкцій частини поверху існуючої адміністративної будівлі та моніторинг тепловтрат при її тривалій експлуатації. *Наука та інновації*. 2013. Т. 9, № 2. С. 18–21.

2. DBN V.2.6-31:2021 Teplova izoliatsiia ta enerhoefektyvnist budivel [Thermal insulation and energy efficiency of buildings]. Effective from September 1, 2022. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. 23 p. [in Ukrainian].
2. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Чинний з 01.09.2022. Київ: Мінрегіонбуд України, 2022. 23 с.
3. DSTU-N B V.3.2-3:2014 Nastanova z vykonannya termomodernizatsii zhytlovykh budynkiv [Guidelines for thermal modernization of residential buildings]. Effective from 12/31/2014. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. 67 p. [in Ukrainian].
3. ДСТУ-Н Б В.3.2-3:2014 Настанова з виконання термомодернізації житлових будинків. Чинний з 31.12.2014. Київ: Мінрегіонбуд України, 2022. 67 с.
4. Brodach, M. M., Tabunschikov, Yu. A. (1998). Nauchnyie osnovy proektirovaniya energoeffektivnykh zdaniy [Scientific basis for the design of energy efficient buildings]. *AVOK*, №1, P. 11–18 [in Russian].
4. Бродач М. М., Табунщиков Ю. А. Научные основы проектирования энергоэффективных зданий. *АВОК*. 1998. № 1. С. 11–18.
5. Malyarenko, V. A., Redko, A. F., Chayka, Yu. I., Povolochko, V. B. (2001). Stroitel'naya teplofizika ograzhdayuschih konstruksiy zdaniy i sooruzheniy [Structural thermal physics of enclosing structures of buildings and structures]. Kharkiv: Rubikon. 280 p. [in Russian].
5. Маляренко В. А., Редько А. Ф., Чайка Ю. И., Поволочко В. Б. Строительная теплофизика ограждающих конструкций зданий и сооружений. Харьков: Рубикон, 2001. 280 с.
6. Honcharuk, S. M. (2011). Eksperymentalne vyznachennia teplovtrat z poverkhon ohorodzhvalnykh konstruksii administratyvnoi budivli [Experimental determination of heat loss from the surfaces of the enclosing structures of the administrative building]. *Promushlennaia teplotekhnika = Industrial heat engineering*, Vol. 33, № 8, P. 175–180 [in Ukrainian].
6. Гончарук С. М. Експериментальне визначення тепловтрат з поверхонь огорожувальних конструкцій адміністративної будівлі. *Промисленна теплотехніка*. 2011. Т. 33, № 8. С. 175–180.
7. DSTU B V.2.6-101:2010 Metod vyznachennia oporu teploperedachi ohorodzhvalnykh konstruksii [The method of determining the heat transfer resistance of enclosing structures]. Valid since January 20, 2010. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. 84 p. [in Ukrainian].
7. ДСТУ Б В.2.6-101:2010 Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. Чинний з 20.01.2010. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 84 с.
8. MVV № 081/24-0778-11 Metrolohiia. Opir teploperedavanniu kriz ohorodzhvalni konstruksii budiveli i sporud riznogo pryznachennia. Metodyka vykonannya vymiryuvan kombinovanyim teploviziino-teplometrychnym metodom [Metrology. Resistance to heat transfer through the enclosing structures of buildings and structures of various purposes. The method of performing measurements by the combined thermal imaging-thermometric method]. Kyiv: ITTF NANU [in Ukrainian].
8. МВВ № 081/24-0778-11 Метрологія. Опір теплопередаванню крізь огорожувальні конструкції будівель і споруд різного призначення. Методика виконання вимірювань комбінованим тепловізійно-теплометричним методом. ІТТФ НАНУ, 2011.
9. DSTU 3756-98 (ГОСТ 30619-98). Enerhozberezhennia. Peretvoriuvachi teplovoho potoku termoelektrychni zahalnoho pryznachennia. Zahalni tekhnichni umovy [Energy saving. General purpose thermoelectric heat flow converters. General technical conditions]. Entered: 01.07.2000. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy. 21 p. [in Ukrainian].
9. ДСТУ 3756-98 (ГОСТ 30619-98) Енергозбереження. Перетворювачі теплового потоку термоелектричні загального призначення. Загальні технічні умови. Введ.: 01.07.2000. К.: Держстандарт України, 2000. 21 с.
10. Basok, B. I., Davydenko, B. V., Honcharuk, S. M., Novitska, M. P. (2013). Doslidzhennia teplovtrat cherez zovnishniu stinovu konstruksiiu z dodatkovym шаром utepлення [Study of heat loss through an external wall structure with an additional layer of insulation].
10. Басок Б. І., Давиденко Б. В., Гончарук С. М., Новіцька М. П. Дослідження тепловтрат через зовнішню стінову конструкцію з додатковим шаром утеплення.

Promushlennaia teplotekhnika = Industrial heat engineering, Vol. 35, № 7, P. 260–268 [in Ukrainian]. | *Промышленная теплотехника*. 2013. Т. 35, № 7. С. 260–268.

BASOK BORYS

Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of National Academy of Sciences of Ukraine, Head of Department of Thermophysical Basics of Energy-Saving Technologies, Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8935-4248>
Scopus Author ID: 6602074819
E-mail: basok@itff.kiev.ua

HONCHARUK SVITLANA

Candidate of Technical Science, Senior Research Officer, Department of Thermophysical Basics of Energy-Saving Technologies, Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5609-7337>
ResearcherID: AAH-4959-2020
E-mail: goncharuk-s@ukr.net

PRIYMAK OLEKSANDR

Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Engineering Systems and Ecology, Kyiv National University of Construction and Architecture, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3081-6057>
E-mail: 02opriymak@gmail.com

PASICHNYK PAVLO

Candidate of Technical Science, Senior Research Officer, Department of Thermophysical Basics of Energy-Saving Technologies, Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8499-6949>
E-mail: Pasichnik.pavlo@gmail.com

¹BASOK B. I., ²PRIYMAK O. V., ¹HONCHARUK S. M., ^{1,2}PASICHNYK P. O.

¹ Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

² Kyiv National University of Construction and Architecture, Ukraine

**STUDY OF THE INFLUENCE OF THE EXPLOITATION PERIOD
ON THERMAL PHYSICAL PROPERTIES OF DIFFERENT TYPES
OF THERMAL INSULATION OF WALL ENCLOSURE STRUCTURES**

Purpose. The purpose of the study is an experimental analysis of the behavior and changes in thermophysical properties of the most widely used thermal insulation systems during their entire operational life.

Method. In order to study the thermophysical properties of various options for the thermal insulation of wall-enclosing structures, measures were taken to modernize the administrative building and a complex for the study of heat losses was developed. A comparison of experimental data obtained during the operation of heat-insulating structures over a long period of operation is carried out.

Results Experimental data on temperature fluctuations and the distribution of heat flow density of a thermomodernized section of a wall-enclosing structure insulated by various methods were obtained from February 16–17, 2013 and January 16–17, 2022, and a comparison of the values of the actual coefficients of thermal conductivity of various heat-insulating materials in the first approximation was carried out.

Scientific novelty. The need to assess the influence of the service life on the thermal and physical properties of heat-insulating materials used in thermomodernization of buildings of various purposes is experimentally substantiated.

Practical significance. An important factor that is not taken into account when designing heat-insulating shells is presented and constructed, and the way of its research is indicated.

Keywords: thermomodernization; energy efficiency; thermal insulation; heat transfer; heat flow.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.1.3>

УДК 697.1

^{1,2}БІЛОУС І. Ю., ¹БУЯК Н. А., ¹БІРЮКОВ Д. В.,
¹ЯЦЕНКО О. І., ¹ШКЛЯР В. І., ¹ДУБРОВСЬКА В. В.

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

²Інститут загальної енергетики НАН України, Київ, Україна

ЕКСЕРГЕТИЧНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ В БУДІВЛЯХ

Мета. Дослідження динамічних процесів в будівлях з використанням енергетичних та ексергетичних підходів.

Методика. За допомогою сіткової моделі типової квартири сучасної забудови в програмному середовищі Matlab на основі динамічної енергетичної моделі досліджено вплив роботи системи опалення на акумулювання енергії та ексергії оболонкою будівлі, як складної системи «джерело теплоти – людина – огороження будівлі»

Результати. За результатами імітаційного динамічного моделювань, проведено аналіз температурного розподілу у квартирі в залежності від кількості та локації встановлення датчиків контролю температури в приміщеннях системи опалення (контролер ON/OFF). На основі отриманих даних обґрунтовано встановлення датчиків температури в квартирі, що використовуються для налаштування системи автоматизації котла автономної системи опалення. Виконано оцінку потоків ексергії, що акумулюється в різних елементах огорожень для різних точок відліку ексергії.

Наукова новизна. Обґрунтовано вибір точки відліку ексергії для оцінки потоків ексергії, що втрачається та акумулюється в різних елементах огорожень, що дозволяє більш якісно оцінювати коливання ексергії в огороженнях. Також визначено відмінність у споживанні енергії на потреби опалення при різних комбінаціях встановлення датчиків температури в приміщеннях, за якими працює контролер котла автономної системи опалення.

Практична значимість. Наведені результати досліджень доводять доцільність застосування динамічного енергетичного моделювання будівель для оцінки температурного стану зон квартири та теплоакумулюючі властивості огорожень будівлі. Проведені дослідження дають можливість для оптимального налаштування та регулювання роботи системи опалення.

Ключові слова: енергоспоживання; ексергія; внутрішня температура; математичне моделювання будівель.

Вступ. Будівлі є одним із основних споживачів первинних енергоресурсів у світі. Для країн з континентальним та різкоконтинентальним кліматом витрати на потреби опалення складають понад 85% витрат енергоносіїв.

Низький рівень регулювання температури в приміщенні є важливим питанням опалення приміщень для домогосподарств з центральним опаленням Китаю [1]. Стаття [1] присвячена розробці підходів динамічного регулювання температури повітря в приміщеннях. Запропонована авторами система в статті [1] дозволяє забезпечити теплотою групу будівель з однаковим температурним графіком споживання, здійснюючи контроль за допомогою однієї системи управління. Однак, для мешканців багатоквартирних будівель з автономною системою опалення (зазвичай, газовий або електричний котел) налагодження роботи автоматизації системи опалення здійснюється без врахування ряду впливових факторів. Оцінка енергозберігаючого потенціалу для початкових шкіл з контролем температур, орієнтованих на відвідувачів, проведена в статті [2] для 96 шкіл різних кліматичних зон: було встановлено, що потенціал енергозбереження варіюється від 10,2 до 12,41% залежно від кліматичної зони у США. Системи енергетичного менеджменту в будівлях (BEMS) постійно привертають увагу як дієва система контролю будівлі [3, 4], яка потребує використання енергетичного моделювання будівель (BEM). Ці системи в даний час працюють з класичними алгоритмами управління, такими як включення-вимкнення, PID-регулювання (Proportional–integral–

derivative controller) та оптимальними процедурами запуску-зупинки. Теплова взаємодія між зонами будівлі та HVAC (Опалення, вентиляція та кондиціонування) призводять до функціонування, яке не можна точно контролювати за допомогою класичних методів управління [5]. Таким чином, вдосконалені системи керування, які можуть обробляти декілька входів і множинних виходів, є кращим підходом для контролю теплового стану будівель та теплового комфорту [6]. Крім цього, в умовах ефективного використання енергетичних ресурсів в напрямку досягненням NZEBs в системах HVAC особливої уваги потребує дослідження систем вентиляції [7, 8].

Еволюція і застосування ексергетичного підходу до будівель в цілому дозволить узгодити якість енергії, що споживається і генерується. Адже для задоволення потреб в опаленні та охолодженні будівель необхідний низький потенціал ексергії, оскільки температура в приміщеннях (близько 20°C) дуже близька до умов навколишнього середовища. Але зазвичай використовуються високоякісні джерела енергії, такі як викопне паливо, для задоволення цих невеликих потреб у ексергії. З економічної точки зору, ексергію слід використовувати переважно в промисловості для виробництва високоякісної продукції [9]. Першими роботами в напрямку exergy efficient design concept та human body exergy model були праці Shukuya [10–12].

Дослідження ексергетичних моделей теплового комфорту, визначення впливу термомодернізації та енергоефективних режимів опалення на показники теплового комфорту [6] відповідно до ексергетичного підходу дозволяють у комплексі розглянути будівлю як систему «джерело теплоти – людина – огороження будівлі» [13]. Ексергетичний та ексергоекономічний аналіз оболонки будівлі демонструє необхідність більш детального вивчення втрат ексергії в складових огорожень та оцінки величини закумульованої ексергії [8]. Питання акумулювання ексергії в огороженнях будівлі та ексергетична оцінка є не достатньо вивченими, особливо, якщо враховувати акумуляцію не тільки у зовнішніх, а й і у внутрішніх елементах.

Аналіз попередніх досліджень. В статті [14] проведено порівняльний аналіз контролерів типу ON/OFF та PID контролерів, які використовуються для контролю систем теплопостачання з точки зору забезпечення умов комфорту та енергоефективності будівель. Дослідження [14] показало, що використання Simulink/Matlab має високий потенціал для аналізу стратегій контролю, та з врахуванням теплових та інших характеристик будівлі. Найчастіше використовуються контролери типу ON/OFF через їх конструктивну простоту, хоча більшу економію коштів при енергозберігаючих режимах роботи та для забезпечення умов комфорту гарантують PID контролери. Результати моделювання [14] показали, що будівлі з високою тепловою масою можуть значно зменшити коливання температури повітря в приміщеннях, що призводить до економії енергоспоживання. Будівлі України відносяться до будівель з високою масивністю.

В статті [15] проведено аналіз енергоспоживання для приміщення з підігрівом підлоги, де місцеві регулятори ON/OFF найчастіше підтримують температуру внутрішнього повітря з поганою точністю. Відомо, що пропорційно-інтегральні (PI) контролери можуть точніше регулювати більшість процесів [15]. Для будинків з майже нульовим рівнем викидів (nZEB) водяні системи опалення мають більшу інерційність, а отже потребують більш точного налаштування. Аналіз проведений в програмному середовищі Matlab показав, що при відхиленні температури повітря на рівні $\pm 0,5$ K від заданого рівня споживання енергії, на опалення витрачається на 9–5% менше енергії при використанні PI контролерів порівняно з контролером ON/OFF.

В роботі [16] було досліджено використання енергії для радіаторних систем опалення та систем теплої підлоги в поєднанні з ON/OFF та PI контролерами за допомогою програмного

пакету IDA ICE. Для оцінки енергетичних показників систем було проведено калібрування моделей радіаторів та контролерів за результатами експериментальних вимірів на випробувальному комплексі nZEB (репрезентативна кімната) поблизу Талліннського технологічного університету на початку 2018 року. Моделювання показало, що для старих будівель PI регулятор, на відміну від ON/OFF, дозволяє заощадити 6 % енергії на опалення, для nZEB – 12% [16].

Потрібно відмітити, що в статті [17] проведено співставлення використання PI/PID контролерів з контролером увімкнення/вимкнення за точністю регулювання, а також за енергоспоживанням для лікарні. Відзначено, що PI/PID контролери перевершують контролер увімкнення/вимкнення, але водночас являються менш надійними. Контролери увімкнення/вимкнення набагато менш чутливі до змін параметрів системи, що призводить до їх більшої надійності [17].

Постановка завдання. Метою даного дослідження є застосування енергетичних та ексергетичних підходів для дослідження динамічних процесів в будівлях. В ході роботи вирішені наступні задачі:

- створення динамічних моделей квартири з поділом на зони в програмному середовищі Matlab;
- верифікація та налаштування моделі на основі порівняльного аналізу з результатами моделювання в EnergyPlus та ДСТУ Б А.2.2-12:2015;
- порівняння результатів моделювання при встановленні датчиків контролю температури повітря, за якими відбувається робота контролера, в різних кімнатах квартири;
- обґрунтування вибору точки відліку ексергії для оцінки потоків ексергії, що втрачаються та акумулюються в різних елементах огорожень.

Об'єкт дослідження. Для дослідження енергетичних характеристик будівлі було створено енергетичну модель типової двокімнатної квартири 5 поверхового будинку сучасної забудови, яка відповідає вимогам 2013 року та знаходиться в м. Києві, на основі програмного продукту Matlab [18]. Загальна площа квартири 49,44 м². Динамічна модель в програмному середовищі Matlab створена з використанням підсистеми інструментів Simulink [18], яка в свою чергу використовує Simscape. За допомогою Simscape можна швидко створювати моделі фізичних систем у середовищі Simulink та моделі фізичних компонентів на основі фізичних зв'язків, які безпосередньо інтегруються з блок-схемами моделювання. Програмне середовище Matlab дозволяє проектувати системи управління з врахуванням фізичних систем в Simulink. На рис. 1 наведена схема квартири та взаємозв'язок кімнат/зон квартири в Simulink.

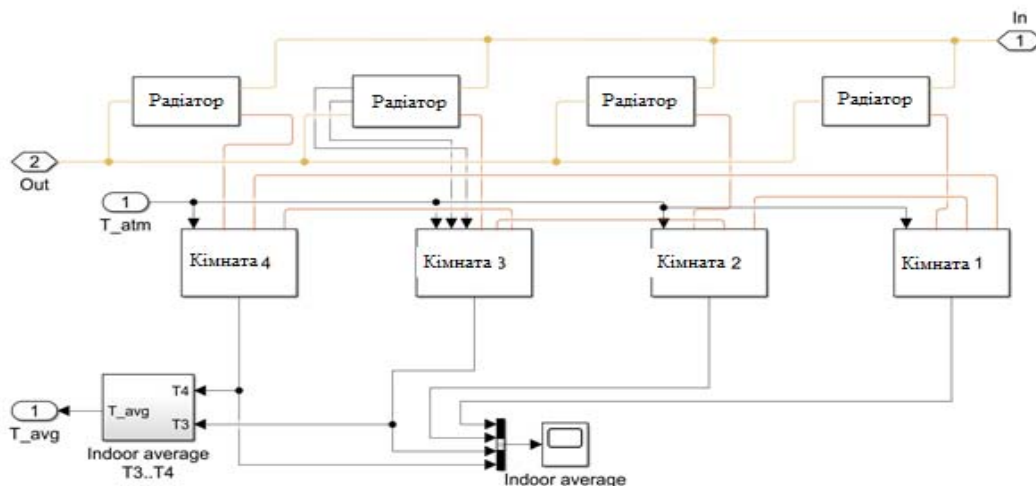


Рис. 1. Теплоенергетична модель квартири

Регулювання системи теплозабезпечення квартири відбувається шляхом ввімкнення/вимкнення автономного газового котла дотримуючись постійної витрати теплоносія, температура подачі теплоносія може досягати 90°C в найбільш холодний період року. ON/OFF контролер не має проміжних станів – повністю увімкнений або повністю вимкнений. Ця схема регулювання є достатньо типовою для автономного опалення багатоквартирних будівель в Україні. Теплова потужність газового котла становить 3,5 кВт, ККД – 79%. Витрата теплоносія в системі опалення становить 0,1 кг/с. Внутрішня температура повітря підтримується на рівні 20°C , діапазон коливань температури повітря в житлових приміщеннях становить $20,1^{\circ}\text{C} \dots 19,5^{\circ}\text{C}$ [8]. Система управління котлом базується на показаннях датчиків контролю температури в приміщенні, які встановлені в двох житлових кімнатах квартири, та використовує якісне регулювання. Для детального аналізу було виділено одну житлову кімнату (room 3 на рис. 2) загальною площею $14,5 \text{ m}^2$, яка має одну зовнішню стіну та вікно (східна орієнтація огорожень), дві стіни – внутрішні міжкімнатні, одна внутрішня міжквартирна та внутрішні міжповерхові перекриття, так як квартира знаходиться на 4 поверсі 5 поверхової будівлі Сіткова модель цієї кімнати в програмному середовищі Matlab наведена на рис. 2.

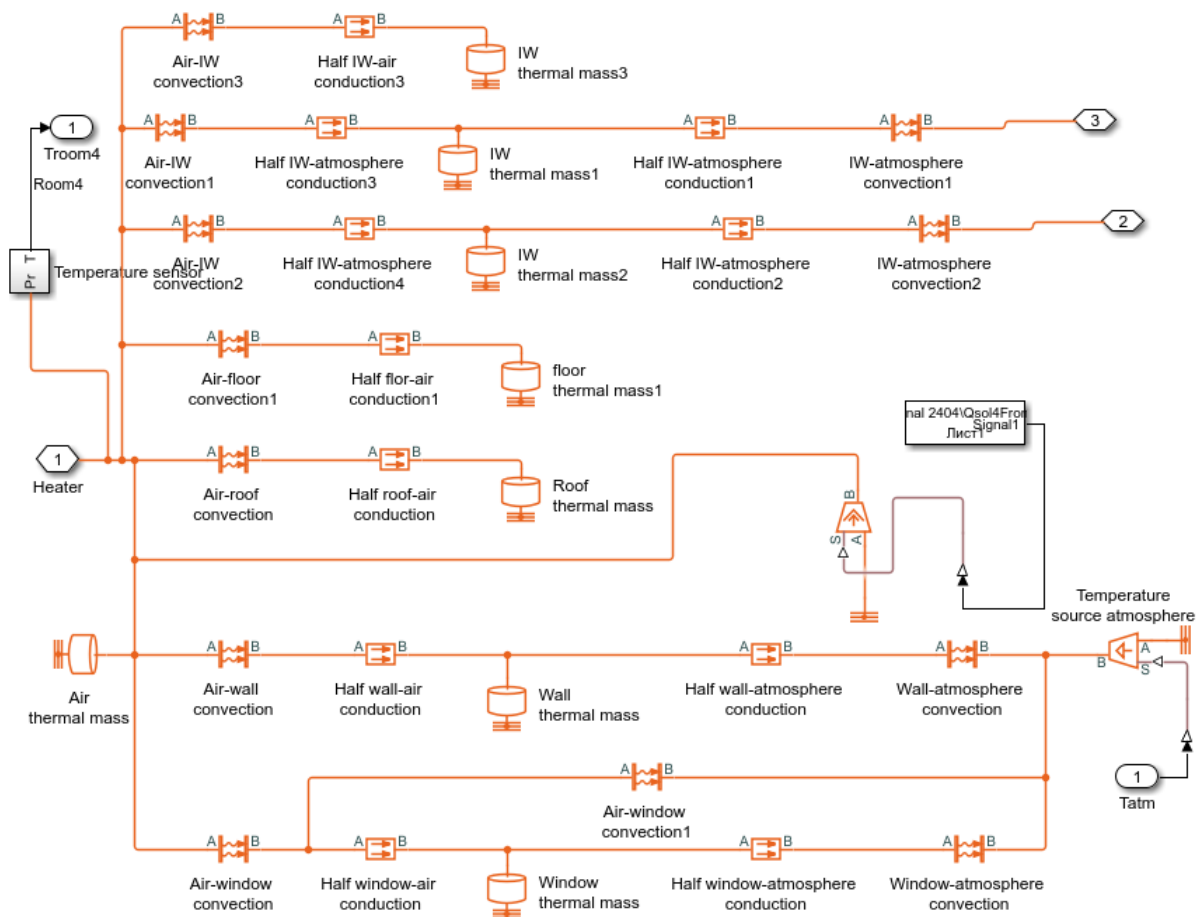


Рис. 2. Сіткова модель кімнати створена в програмному середовищі Matlab

Несуча частина зовнішньої стіни виконана з червоної пустотілої цегли товщиною 0,4 м, утеплена мінеральною ватою – 0,05 м. Внутрішні і зовнішні непрозорі огороження відносяться до масивних огорожень з високими теплоакумуючими властивостями. Вентиляція природна з кратністю повітрообміну $0,6 \text{ год}^{-1}$. У дослідженні використовувалися

погодинні кліматичні дані типового року з міжнародного файлу погоди IWEC [21] для умов міста Києва. Сонячні теплонадходження в погодному файлі IWEC представлені у вигляді global horizontal, diffuse horizontal, direct normal. Для перерахунку сонячних теплонадходжень, які надходять в зону кімнати, використано програмний продукт EnergyPlus [7], який дозволяє враховувати відбиття сонячної радіації від поверхонь огорожень та ґрунту, і оптичні коефіцієнти пропускання сонячної радіації, який становить 0,55 [7]. Погодинні кліматичні дані представлені в статті [8].

Математична модель дозволяє проводити енергетичний аналіз будівлі, визначати споживання енергії, погодинні дані за такими параметрами, як температура повітря в приміщеннях, середня радіаційна температура, температура поверхонь всіх огорожень, розподіл температури в середині огорожень. Модель дозволяє враховувати: перетоки між кімнатами квартири, які виникають внаслідок сонячних теплонадходжень залежно від орієнтації та площі застелення; особливості регулювання котла; теплоакуючі властивості внутрішніх та зовнішніх огорожень, тощо. На основі енергетичних балансів кімнати при заданих погодинних зовнішніх кліматичних умовах проводиться моделювання функціонування системи, яке підтримує температуру внутрішнього повітря в заданих межах.

Особливістю аналізу є те, що розглядається динамічна енергетична та ексергетична модель приміщення квартири з різним часовим кроком, з врахуванням накопичення енергії і ексергії у зовнішніх та внутрішніх огороженнях, теплових потоків між ними та сонячної радіації. Для включення даної моделі в складну систему «джерело теплоти – людина – огорожа будівлі» була оцінена можливість використання різних ексергетичних реперів для розрахунку. Також, попередньо було проведено обґрунтування встановлення датчиків контролю температури, на основі сигналів яких працює автоматика котла системи опалення.

Результати дослідження. Для проектних умов проведений підбір опалювальних приладів на основі математичної моделі, створеної в програмному середовищі Matlab, де враховано тип опалювальних приладів, площа, маса, тепло-інерційні особливості приладу. Під проектними умовами, відповідно до стандарту ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 [19], для міста Києва прийнята температура зовнішнього повітря мінус 22°C та відсутні сонячні теплонадходження. Температура внутрішнього повітря, відповідно до стандарту ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [20], становить 20°C. Встановлено, що потужність опалювальних приладів в кімнатах квартири наступна: спальня 1 / room 4 – 500 Вт, спальня 2 / room 3 – 1200 Вт, кухня / room 2 – 880 Вт, загальні місця (ванна, коридор) / room 1 – 320 Вт.

У річному розрізі різниця результатів моделювання при постійній температурі повітря в квартирі за двома розглянутими моделями за ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [20] та Matlab становить 13%, за еталонну обрано динамічну модель, створену в програмному середовищі Matlab. Менша різниця в результатах спостерігається для міжсезоння (жовтень, квітень) – близько 30 кВт/год, для інших більш холодних місяців – 80...140 кВт/год.

Для перевірки математичної моделі квартири, створеної в програмному середовищі Matlab, проведено співставлення результатів з результатами моделювання в програмному середовищі EnergyPlus з використанням погодинного погодного файлу IWEC [21] в обох моделях. Розглянуті сіткові динамічні моделі враховують теплоінерційні властивості кожного огороження окремо. З математичного моделювання в програмному середовищі Matlab випливає, що загальне теплоспоживання квартири розподіляється: спальня 1 / room 4 – 17%, спальня 2 / room 3 – 40%, кухня / room 2 – 31%, загальні місця / room 1 – 12%. У спальні 1, спальні 2 встановлені сталеві радіатори, на кухні – сталевий радіатор та водяна тепла підлога, у місцях загального користування – водяна тепла підлога та сушарка для рушників.

Робота котла регулюється по середній температурі повітря в кімнатах квартири і в залежності від цього при постійній витраті води в системі опалення змінюється її температура,

що призводить до того, що погодинна температура повітря в різних кімнатах під впливом різних теплопритоків змінюється від 18 до 24°C, при збереженні середньої температури повітря на рівні $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$ в програмному середовищі Matlab.

В реальній практиці контроль підтримання заданої температури повітря в квартирі може здійснюватися за значеннями температури повітря у репрезентативних кімнатах: для малогабаритного типового житла це 1–2 точки встановлення датчиків контролю температури повітря, за показами яких контролер подає сигнал на котел для його ввімкнення/вимкнення. Зазвичай, датчики встановлюються в кімнатах, де мешканці перебувають значну частину часу, тобто в спальнях або вітальні. В даному дослідженні розглянуто три різні варіанти встановлення датчиків температури: 1) два датчики: в спальні 1 та спальні 2; 2) в спальні 1; 3) в спальні 2.

Результати модельного розрахунку наведені на рис. 3 [8]. З нього видно, що при кількісному регулюванні опалення та при відсутності інерційності в опалювальних приладах за математичною моделлю створеною в програмному середовищі EnergyPlus, маємо найменший результат споживання теплоти на потреби опалення будівлі. Для умов України характерним є використання контролерів ON/OFF для автономних систем опалення, тому в залежності від кількості та розташування датчиків контролю температури, температура в приміщеннях може змінюватися в межах $\pm 3\%$. Результати моделювання в середовищі Matlab відрізняються на 4...10% від результатів моделювання в EnergyPlus.



Позначки: room 1-4 – датчик контролю температури повітря за яким відбувається спрацювання контролера в програмі Matlab встановлений в кімнаті 1-4; room 3-4 – датчик в кімнаті 3-4; room 3 – датчик в кімнаті 3; room 4 – датчик в кімнаті 4; EP – моделювання в програмному продукті EnergyPlus.

Рис. 3. Енергоспоживання теплової енергії на обігрів приміщень квартири

За таких умов регулювання середнє навантаження на газовий котел становить: датчики у всіх кімнатах – 1073 Вт; в спальні 1 та 2 – 1058 Вт; в спальні 2 / room 3 – 1100 Вт; в спальні 1 / room 4 – 1010 Вт. В EnergyPlus – 965 Вт.

На рис. 4 представлено погодинні результати моделювання для опалювального сезону в програмних середовищах Matlab та EnergyPlus. Результати моделювання енергоспоживання теплової енергії в Matlab мають більший діапазон коливання навантаження системи опалення, що є характерним для реальних умов роботи. Тенденції зміни навантаження на систему опалення квартири за результатами моделювання в Matlab та EnergyPlus однакові. Максимальне відхилення результатів моделювань за двома динамічними математичними моделями становить до 0,5 кВт, а середнє відхилення – 0,1 кВт.

Для квітня спостерігається висока сонячна активність, яка пояснює, що для цього періоду середня температура повітря в репрезентативних приміщеннях/групах приміщень, де встановлені датчики, перевищує заведене в контролер значення діапазону зміни внутрішньої температури, тобто в момент повного короткострокового відімкнення опалення (в моменти пікової сонячної активності) за рахунок надлишку сонячних теплонадходжень зростає внутрішня температура повітря в кімнатах квартири.

На рис. 5 наведено навантаження на автономну систему опалення квартири для періоду 10-14 січня для якого характерна не висока сонячна активність та зовнішня температура в діапазоні $-10...-2^{\circ}\text{C}$. Пониження графіку добової зміни навантаження характерне для періодів сонячних теплонадходжень. Моделювання в EnergyPlus показує плавне зменшення навантаження на систему опалення в пікові години надходження сонячної радіації, а потім його плавне зростання. В Matlab було проведено чотири серії моделювань для різних локацій встановлення датчиків контролю температури. Для розглянутої квартири кімната 3 є найбільшою, що в свою чергу при встановленні датчика контролю температури повітря тільки в цій кімнаті призводить до менших коливань навантаження, порівняно з аналогічною ситуацією встановлення датчика контролю в кімнаті 4 (має розміри до 10 м^2), яка є вдвічі меншою за площею та великим коефіцієнтом засклення. Для інших комбінацій встановлення датчиків контролю температури повітря в квартирі графіки зміни навантаження будуть коливатися в діапазоні зміни навантаження у випадку встановлення одного датчика в кімнаті 4 та 3.

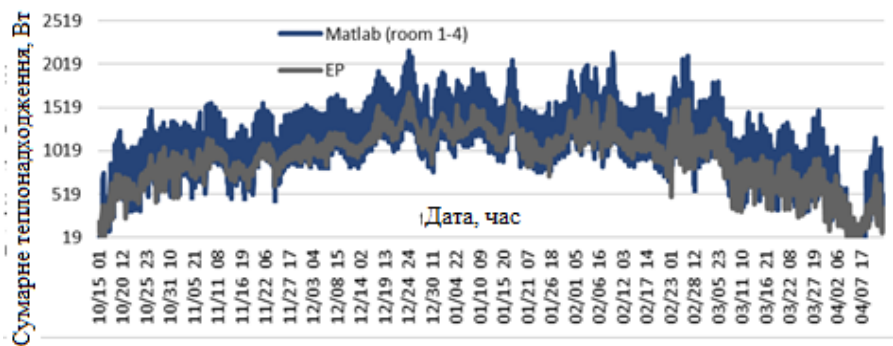


Рис. 4. Навантаження на систему опалення квартири для опалювального сезону

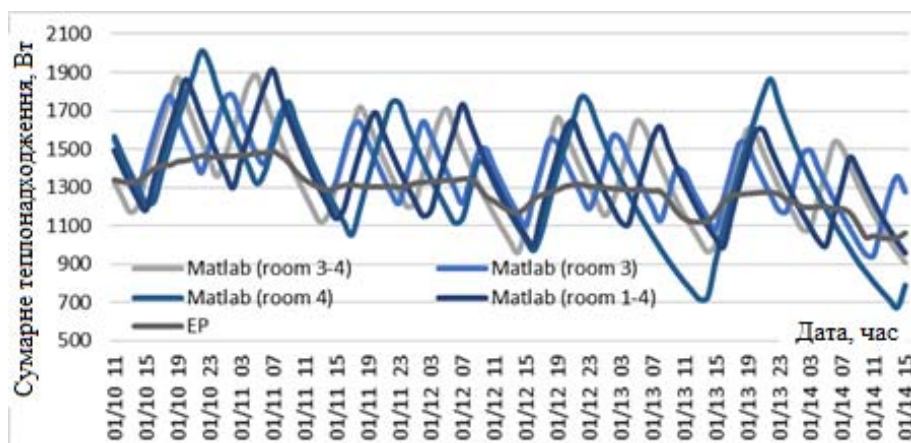


Рис. 5. Навантаження на систему опалення квартири для різних варіантів регулювання системи опалення

В період сонячної активності спостерігається зниження навантаження на систему опалення для різних варіантів регулювання. При якісному регулюванні та роботі газового котла з контролером типу ON/OFF, та з урахуванням теплової інерційності інженерних мереж, спостерігаються значні коливання навантаження на систему опалення, які тривають від 3 до 10 годин в світлу пору доби. При встановленні датчика контролю температури в кімнаті 4, яка характеризується наявністю великої площі засклення (що призводить до значних сонячних теплонадходжень в приміщення в світлий час доби), а також переважна площа огорожень кімнати – внутрішні огороження, призводить до тривалих відключень автономного газового

котла, що обумовлює характер зниження навантаження на рис. 5. Сценарій, коли датчики регулювання температури встановлені у великих кімнатах квартири з двома зовнішніми стінами/більшою площею зовнішніх стін, призводить до значно коротших інтервалів між відключеннями котла [8].

На рис. 6 показано зміну середньої температури повітря в квартирі для різних варіантів розташування датчиків регулювання температури, за результатами моделювання в програмному середовищі Matlab.

Температура в приміщенні підтримується на рівні 20°C в діапазоні відхилення – 0,5...+0,1°C від базового рівня. Верхня межа регулювання дещо нижча за нижню межу регулювання. Такий діапазон регулювання обумовлений інерційністю системи опалення. З метою забезпечення комфортних умов (уникнення перегріву) та енергоефективного використання теплової енергії було встановлено вищевказаний діапазон підтримання внутрішньої температури. У програмному середовищі EnergyPlus система опалення є безінерційною, а температура в приміщенні підтримується відповідно до заданого значення 20 °C за допомогою терморегулятора на опалювальному приладі.

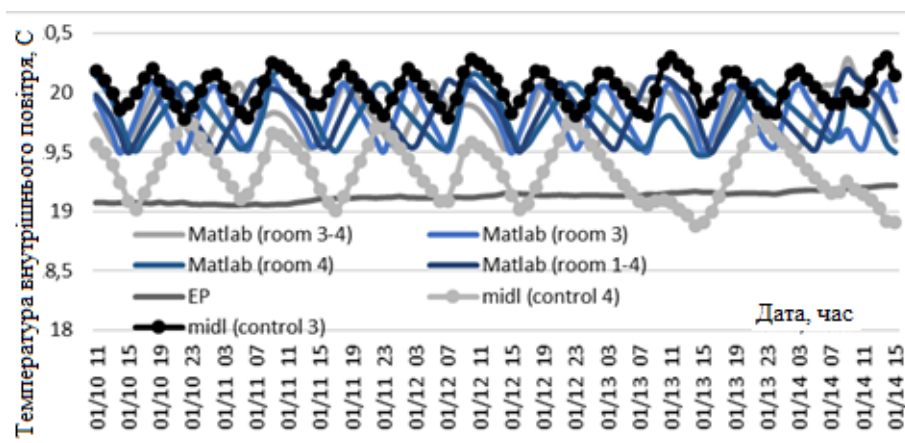


Рис. 6. Середня температура повітря в кімнатах квартири, де встановлені датчики контролю та в квартирі в цілому при різних варіантах регулювання системи опалення

На рис. 6 наведено середню температуру повітря в квартирі за результатами моделювання в програмному середовищі EnergyPlus, яка знаходиться на рівні 20°C. Середня температура повітря в квартирі (середнє значення по чотирьох кімнатах) за результатами моделювання в програмному середовищі Matlab при встановленні датчика температури в кімнаті 4 становить 19,1°C – найнижча, порівняно з іншими варіантами моделювання, при встановленні датчика в кімнаті 3 (найбільша кімната квартири з 2 зовнішніми стінами) – 20,2°C (найбільше значення).

В табл. 1 представлено відхилення температури повітря в кімнатах (зонах) від середньої температури повітря в квартирі для опалювального періоду та різних локаціях встановлення датчиків контролю температури, що передає сигнал на контролер. Отримані результати моделювання показують, що середня температура повітря в квартирі становить: датчики встановлені у всіх кімнатах (room 1-4) – 19,9°C; датчики встановлені у двох спальнях (room 3-4) – 19,7°C; датчик встановлений у room 3 – 20,2°C; датчик встановлений у room 4 – 19,2°C.

З результатів моделювання випливає, що доцільним є встановлення датчика температури повітря в кімнаті 3. Для цієї кімнати проведено детальний енергетичний аналіз. Результати енергетичного моделювання кімнати 3 наведені на рис. 7. Температури огорожень кімнати 3 протягом опалювального періоду, а також зміна температури навколишнього середовища показані на рис. 7а. Температури внутрішніх огорожень, даху та

підлоги коливаються близько до кімнатної температури, найнижчу температуру має зовнішня стіна – біля 16°C, а вікна – 7°C, температура навколишнього середовища найнижча – мінус 15°C. Динаміка зміни теплових надходжень від системи опалення до кімнати 3 протягом опалювального сезону наведена на рис. 7б.

Таблиця 1

Відхилення температури повітря в кімнаті від середнього

Місце встановлення датчика	Номер кімнати	Відхилення від середнього значення, °C		
		середнє	мак	мін
room 1-4	room 1	0,3	0,9	-0,3
	room 2	-0,2	0,6	-3,5
	room 3	0,2	1,3	-1,4
	room 4	-1,1	0,1	-6,1
room 3-4	room 1	0,5	1,3	-0,2
	room 2	-0,1	1,1	-3,6
	room 3	0,4	1,7	-1,2
	room 4	-0,9	0,1	-5,7
room 3	room 1	0,0	0,4	-0,3
	room 2	-0,6	0,1	-4,2
	room 3	-0,2	0,2	-2,1
	room 4	-1,4	0,1	-6,6
room 4	room 1	1,0	2,4	-0,2
	room 2	0,5	2,5	-2,1
	room 3	0,9	3,1	-1,0
	room 4	-0,3	0,3	-4,6

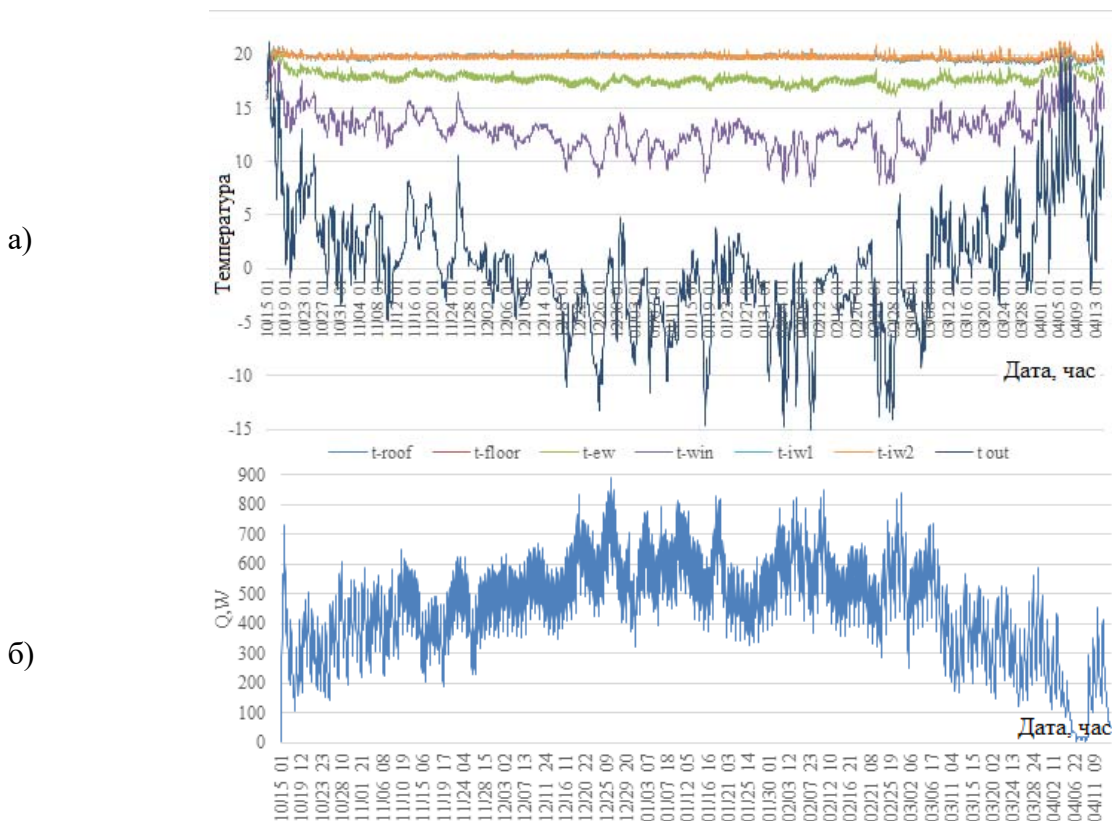
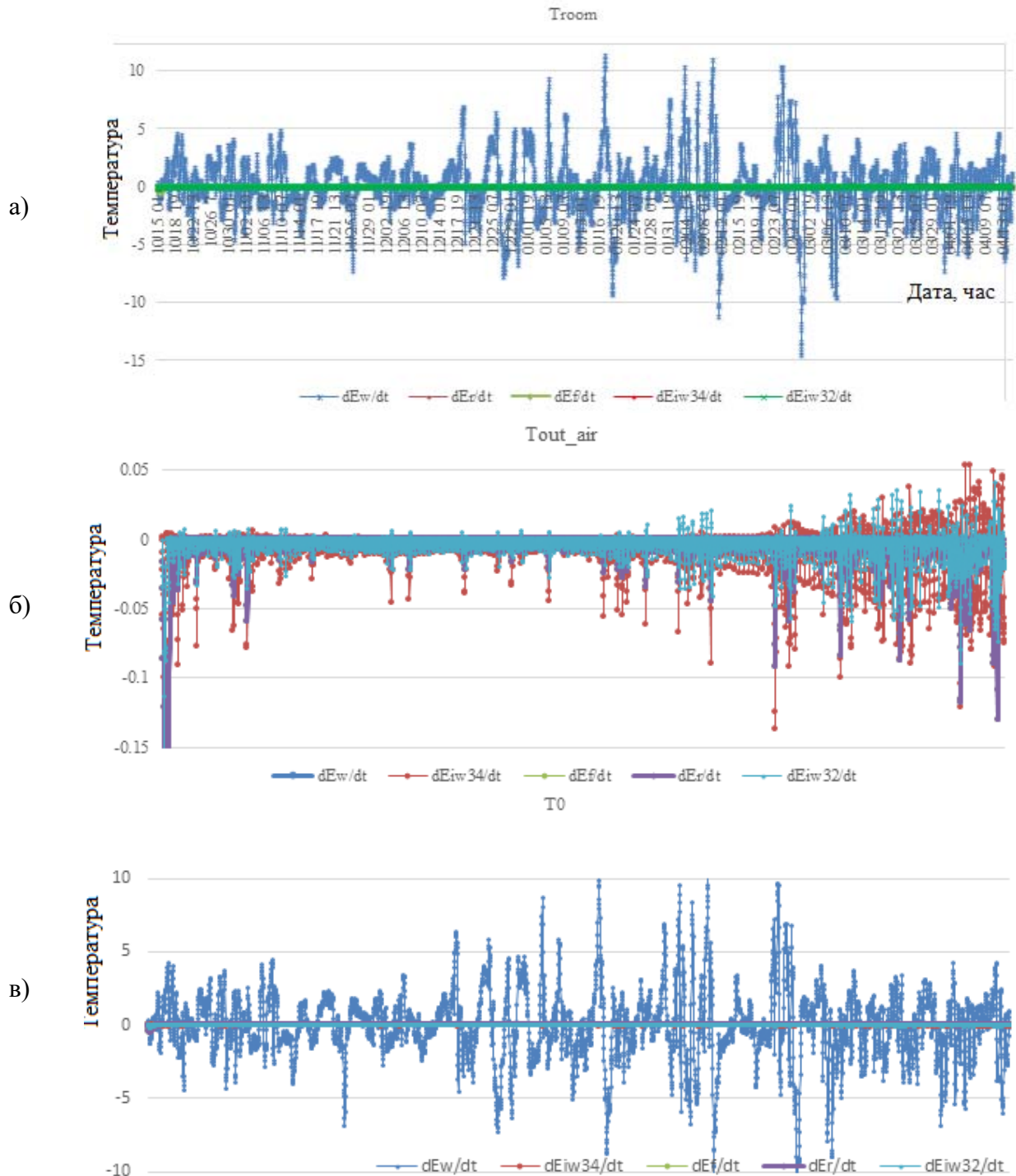


Рис. 7. Зміна температури огорожень кімнати, зовнішньої температури та навантаження на систему опалення протягом опалювального періоду

На основі динамічного енергетичного моделювання з використанням відповідних розрахункових співвідношень ексергії (відповідно до викладеної методології в статті [22]) оцінено значення накопиченої ексергії в огорожувальних конструкціях для різних точок відліку ексергії (рис. 8: а – точка відліку ексергії внутрішня температура повітря, б – зовнішня температура повітря, в – 0°C).



Позначки: dE_w/dt – накопичення ексергії в зовнішніх стінах; dE_{iw34}/dt – накопичення ексергії у внутрішній стіні, яка розділяє кімнату 3 та 4; dE_{iw32}/dt – накопичення ексергії у внутрішній стіні, яка розділяє кімнату 3 та 2; dE_f/dt – накопичення ексергії підлогою; dE_r/dt – накопичення ексергії в перекритті.

Рис. 8. Накопичення ексергії в елементах огорожі для різних орієнтирів

На рис. 8а показано коливання накопиченої ексергії для контрольної точки кімнатної температури, яка підтримується сталою близько 20°C , але є деякі коливання. Амплітуда накопиченої ексергії для внутрішніх оболонок мінімальна, що також відповідає тенденціям щодо відхилень температури. Добова амплітуда коливання для зовнішньої стіни становить 10 Вт, для внутрішніх стін – 0,15, та 0,14 Вт для стелі та підлоги.

Якщо точкою відліку є температура навколишнього середовища (рис. 8б), то амплітуда коливань зменшується, а частота зростає. Добова амплітуда коливання для зовнішніх стін становить 0,13 Вт, для внутрішніх стін – 0,13, а для стелі та підлоги – 0,14 Вт.

Для контрольної точки 0°C результати подібні до першого варіанту. Добова амплітуда коливання для зовнішніх стін становить 8 Вт, для внутрішніх стін – 0,08, для стелі та підлоги близько 0,12 Вт.

Висновки. В статті створено динамічну сіткову модель двокімнатної квартири в програмному середовищі Matlab з використанням підсистем інструментів Simulink, а також в EnergyPlus. Результати моделювання енергоспоживання теплової енергії в Matlab мають більший діапазон коливання навантаження системи опалення, що є характерним для реальних умов роботи системи. Характер зміни навантаження на систему опалення квартири за результатами моделювання в Matlab та EnergyPlus однаковий. Зменшення навантаження на опалення характерне для періодів сонячних теплонадходжень в зону квартири. Моделювання в EnergyPlus показує плавну зміну навантаження на систему опалення зі зменшенням навантаженням в пікові години, а потім з плавним його наростанням. В Matlab було проведено чотири серії моделювань для різної кількості датчиків контролю температури і локації їх встановлення. Різний період зміни навантаження на систему опалення залежить від взаємозв'язку між місцем встановлення датчика в кімнатах квартири та їх тепловим навантаженням відносно загального навантаження квартири. Для розглянутої квартири кімната 3 є найбільшою, що призводить при встановленні датчика контролю температури повітря тільки в цій кімнаті до менших коливань навантаження, порівняно з аналогічною ситуацією встановлення датчика контролю в кімнаті 4, яка є вдвічі меншою за площею та з великим коефіцієнтом засклення. Незалежно від типу контролера, важливим є кількість та місце встановлення датчиків контролю температури, які не лише обумовлюють роботу системи опалення квартири, але й загальне забезпечення комфорту в усій квартирі.

Для детального аналізу ексерго-енергетичних характеристик огорожень будівлі було обрано житлову кімнату 3, де проведено погодинний модельний розрахунок зміни внутрішньої температури, теплового навантаження на систему опалення, робота системи керування котла опалення, акумуляційні властивості огорожень та величину перетоків між суміжними приміщеннями квартири. В розглянутій квартирі величина навантаження на систему опалення досліджуваної кімнати не перевищує 900 Вт для найхолоднішого зимового періоду відповідно до кліматичних даних типового року погодного файлу IWEC для м. Київ. Добові коливання на систему опалення при постійній температурі повітря в приміщенні становлять 100...260 Вт, найбільший діапазон коливань характерний для перехідних періодів. Створена модель дозволяє враховувати теплоаккумуляційні властивості як внутрішніх так і зовнішніх огорожень. У роботі проведено ексергетичний аналіз потоків ексергії, що накопичувалась на протязі опалювального періоду в огороженнях будівлі, та деструкції ексергії для різних точок відліку. Доведено, що акумулювання ексергії у внутрішніх огороженнях потребує урахування у загальному балансі.

Показано, що вибір температури точки відліку ексергії впливає на значення амплітуди коливань накопиченої ексергії. Так, для температури повітря в приміщенні значення амплітуди коливань накопиченої ексергії у внутрішніх і зовнішніх огороженнях суттєво різняться. Для навколишньої температури різниця в амплітуді нівелюється. Для 0°C

результати схожі, очевидно тому, що середня температура повітря опалювального сезону в Києві близька до 0 °С. У свою чергу, вибір точки відліку не має такого суттєвого впливу на коливання деструкції ексергії. Значення характеристик закумульованої ексергії в огороженнях при використанні переривчастого опалення буде предметом подальших досліджень.

References

Література

1. Lu, G., Zhou, X., Yan, J., Yan, G. (2021). A temperature and time-sharing dynamic control approach for space heating of buildings in district heating system. *Energy*, Vol. 221.
2. Ye, Y., Chen, Y., Zhang, J., Pang, Z., O'Neill, Z., Dong, B., Cheng, H. (2021) Energy-saving potential evaluation for primary schools with occupant-centric controls. *Applied Energy*, Vol. 293, 116854.
3. Perera, D. W. U., Halstensen, M., Skeie, N. O. (2015). Prediction of space heating energy consumption in cabins based on multivariate regression modelling. *International Journal of Modeling and Optimization*, Vol. 5, No. 6, P. 385–392.
4. Perera, D. W. U., Winkler, D., Skeie, N. O. (2016). Multi-floor building heating in MATLAB and Modelica environments. *Applied Energy*, Vol. 171, P. 4–57.
5. Perera, D. W. U., Pfeiffer, C., Skeie, N. O. (2014). Control of temperature and energy consumption in buildings. *International Journal of Energy and Environment*, Vol. 5, No. 4, P. 471–484.
6. Deshko, V., Buyak, N., Bilous, I., Shevchenko, O. (2020). The Impact of Energy-Efficient Heating Modes on Human Body Exergy Consumption in Public Buildings. *2020 IEEE 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY SMART SYSTEMS*. Kyiv, Ukraine, May 12–14, 2020.
7. Deshko, V., Bilous, I., Sukhodub, I., Yatsenko, O. (2021). Evaluation of energy use for heating in residential building under the influence of air exchange modes. *Journal of Building Engineering*, 42, 103020.
8. Deshko, V., Bilous, I., Biriukov, D., Yatsenko, O. (2021). Transient Energy Models of Housing Facilities Operation. *Rocznik Ochrona Środowiska*, Vol. 23, P. 539–551.
9. Hepbasli, A. (2021). Low exergy (LowEx) heating and cooling systems for sustainable buildings and societies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16(1), P. 73–104.
1. Lu G., Zhou X., Yan J., Yan G. A temperature and time-sharing dynamic control approach for space heating of buildings in district heating system. *Energy*. 2021. Vol. 221.
2. Ye Y., Chen Y., Zhang J., Pang Z., O'Neill Z., Dong B., Cheng H. Energy-saving potential evaluation for primary schools with occupant-centric controls. *Applied Energy*. 2021. Vol. 293, 116854.
3. Perera D. W. U., Halstensen M., Skeie N. O. Prediction of space heating energy consumption in cabins based on multivariate regression modelling. *International Journal of Modeling and Optimization*. 2015. Vol. 5, No. 6. P. 385–392.
4. Perera D. W. U., Winkler D., Skeie N. O. Multi-floor building heating in MATLAB and Modelica environments. *Applied Energy*. 2016. Vol. 171. P. 4–57.
5. Perera D. W. U., Pfeiffer C., Skeie N. O. Control of temperature and energy consumption in buildings. *International Journal of Energy and Environment*. 2014. Vol. 5, No. 4. P. 471–484.
6. Deshko V., Buyak N., Bilous I., Shevchenko O. The Impact of Energy-Efficient Heating Modes on Human Body Exergy Consumption in Public Buildings. *2020 IEEE 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY SMART SYSTEMS*. Kyiv, Ukraine, May 12–14, 2020.
7. Deshko V., Bilous I., Sukhodub I., Yatsenko O. Evaluation of energy use for heating in residential building under the influence of air exchange modes. *Journal of Building Engineering*. 2021. № 42, 103020.
8. Deshko V., Bilous I., Biriukov D., Yatsenko O. Transient Energy Models of Housing Facilities Operation. *Rocznik Ochrona Środowiska*. 2021. Vol. 23. P. 539–551.
9. Hepbasli A. Low exergy (LowEx) heating and cooling systems for sustainable buildings and societies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012. Vol. 16 (1). P. 73–104.

10. Shukuya, M. (1994). Energy, entropy, exergy and space heating systems. *Proc. 3rd int. conf. healthy buildings* (p. 369–374).
11. Shukuya, M. (1996). Warm exergy and cool energy. *Annual meeting, building science section* (p. 453–454).
12. Schmidt, D. (2004). Methodology for the Modelling of thermally activated building components in low exergy design. Ph.D. Thesis. Kungliga Tekniska Högskolan. The Royal Institute of Technology, Department of Civil and Architectural Engineering, Division of Building Technology, SE-100 44 Stockholm, Sweden; May 2004.
13. Deshko, V., Buyak, N., Voloshchuk, V. (2019). Reference state for the evaluation of energy efficiency of the system “heat source – human – building envelope”. *ECOS 2019 – Proceedings of the 32nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems*. P. 2287–2300.
14. Saleh, A., Mosa, M. (2016). Analysis of control strategies and simulation of heating systems using Simulink/Matlab potential. *Journal of Thermal Engineering*, Vol. 2, Iss. 5, P. 921–927.
15. Kull, T. M., Thalfeldt, M., Kurnitski, J. (2020). PI parameter influence on underfloor heating energy consumption and setpoint tracking in NZEBs. *Energies*, Vol. 13, Iss. 8, 2068.
16. Vösa, K.-V., Ferrantelli, A., Kurnitski, J. (2019). Annual performance analysis of heat emission in radiator and underfloor heating systems in the European reference room. *E3S Web Conf.* 2019, 111.
17. Kaymaz, E. (1995). Adaptive environmental control for optimal energy consumption in hospitals. *Proceedings of the 8th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems* (p. 165–172). Lubbock, TX, USA; 43511.
18. MATLAB – MathWorks – MATLAB & Simulink. The official home of MATLAB software. URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>.
19. DSTU-N B V.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія [Building climatology]. Kyiv, 2011. 127 p. [in Ukrainian].
20. DSTU B A.2.2-12:2015 Enerhetychna efektyvnist budivel. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannia pry opalenni, okholodzhenni, ventyliatsii, osvittleni ta hariachomu vodopostachanni [Energy efficiency of buildings. The method of calculating energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water
10. Shukuya M. Energy, entropy, exergy and space heating systems. *Proc. 3rd int. conf. healthy buildings*. 1994. P. 369–374.
11. Shukuya M. Warm exergy and cool energy. *Annual meeting, building science section*. 1996. P. 453–454.
12. Schmidt D. Methodology for the Modelling of thermally activated building components in low exergy design. Ph.D. Thesis. Kungliga Tekniska Högskolan. The Royal Institute of Technology, Department of Civil and Architectural Engineering, Division of Building Technology, SE-100 44 Stockholm, Sweden; May 2004.
13. Deshko V., Buyak N., Voloshchuk V. Reference state for the evaluation of energy efficiency of the system “heat source – human – building envelope”. *ECOS 2019 – Proceedings of the 32nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems*. 2019. P. 2287–2300.
14. Saleh A., Mosa M. Analysis of control strategies and simulation of heating systems using Simulink/Matlab potential. *Journal of Thermal Engineering*. 2016. Vol. 2, Iss. 5. P. 921–927.
15. Kull T. M., Thalfeldt M., Kurnitski J. PI parameter influence on underfloor heating energy consumption and setpoint tracking in NZEBs. *Energies*. 2020. Vol. 13, Iss. 8, 2068.
16. Vösa K.-V., Ferrantelli A., Kurnitski J. Annual performance analysis of heat emission in radiator and underfloor heating systems in the European reference room. *E3S Web Conf.* 2019, 111.
17. Kaymaz E. Adaptive environmental control for optimal energy consumption in hospitals. *Proceedings of the 8th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems*. 1995. P. 165–172. Lubbock, TX, USA; 43511.
18. MATLAB – MathWorks – MATLAB & Simulink. The official home of MATLAB software. URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>.
19. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія. К., 2011. 127 с.
20. ДСТУ Б А.2.2-12:2015 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. Уведений вперше;

supply]. Introduced for the first time; valid from 01.01.2015. Kyiv: Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2016. 205 p. [in Ukrainian].

21. ASHRAE International Weather for Energy Calculation (IWEC) files. URL: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/ashrae-international-weather-files-for-energy-calculations-2-0-iwec2>.

22. Buyak, N., Deshko, V., Bilous, I., Voloshchuk, V., Biriukov, D. (2022). Applying dynamic energy and exergy analysis to a building envelope. *7th International Conference on Contemporary Problems of Thermal Engineering CPOTE 2022*, 20–23 September 2022, Poland (p. 807–819).

чинний від 2015.01.01. К.: Мінрегіонбуд України, 2016. 205 с.

21. ASHRAE International Weather for Energy Calculation (IWEC) files. URL: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/ashrae-international-weather-files-for-energy-calculations-2-0-iwec2>.

22. Buyak N., Deshko V., Bilous I., Voloshchuk V., Biriukov D. Applying dynamic energy and exergy analysis to a building envelope. *7th International Conference on Contemporary Problems of Thermal Engineering CPOTE 2022*, 20–23 September 2022, Poland. P. 807–819.

BILOUS INNA

*Candidate of Technical Sciences, Docent
Department of Heat and Alternative Power Engineering,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6640-103X>
Scopus Author ID: 57194104035
ResearcherID: J-7070-2017
E-mail: bilous_inna@ukr.net*

BIRIUKOV DMYTRO

*Assistant lecturer,
Department of Heat and Alternative Power Engineering,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1926-6821>
Scopus Author ID: 57562298500
E-mail: biriukov.dmytro@iit.kpi.ua*

SHKLYAR VIKTOR

*Candidate of Technical Sciences, Docent
Department of Heat and Alternative Power Engineering,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6879-7501>
Scopus Author ID: 6701387095
ResearcherID: J-4011-2017
E-mail: shklyar_vi@ukr.net*

BUYAK NADIA

*Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer,
Department of Heat and Alternative Power Engineering,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0597-6945>
Scopus Author ID: 57192821169
ResearcherID: S-2915-2019
E-mail: korovaj.te@gmail.com*

YATSENKO OLENA

*Assistant lecturer
Department of Heat and Alternative Power Engineering,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8001-5987>
Scopus Author ID: 57226536764
ResearcherID: ACV-8484-2022
E-mail: loco-motion@ukr.net*

DUBROVSKA VIKTORIYA

*Candidate of Technical Sciences, Docent
Department of Heat and Alternative Power Engineering,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4765-0484>
Scopus Author ID: 6603969762
ResearcherID: J-7315-2017
E-mail: dubrovska_vv@ukr.net*

**BILOUS I. Yu., BUYAK N. A., BIRIUKOV D. V.,
YATSENKO O. I., SHKLYAR V., DUBROVSKA V. V.**

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

EXERGETIC AND ENERGETIC TRANSIENT PROCESSES IN BUILDINGS

Purpose. Application of energy and exergy approaches for the study of dynamic processes in buildings.

Methodology. Using a grid model of a typical apartment of modern buildings to study the impact of the heating system on the accumulation of energy and exergy by the building envelope as a complex system "heat source – man – building envelope", based on a dynamic energy model of the apartment created in the Matlab software environment.

Findings. According to the results of numerical simulations, the temperature distribution in the apartment was analyzed depending on the number and location of temperature control sensors in the rooms of the heating system (ON/OFF controller). Based on the data obtained, the installation of temperature sensors in the apartment used to set up the automation system of the boiler of the autonomous heating system was justified. The estimation of exergy flows accumulated in different elements of the enclosures for different exergy reference points was carried out.

Originality. The choice of the exergy reference point for estimating the flows of exergy lost and accumulated in different elements of the enclosures is substantiated, which allows a better assessment of exergy fluctuations in the enclosures. Also, determined the difference in energy consumption for heating at different combinations of installation of temperature sensors in the rooms on which the controller of the boiler of the autonomous heating system operates.

Practical value. The results of the research prove to determine the feasibility of using dynamic energy modeling of buildings to assess the temperature state of the apartment zones and the heat-accumulating properties of the building envelope. The conducted research allows to substantiate and correctly adjust the operation of the heating system.

Keywords: energy consumption; exergy; internal temperature; mathematical modeling of buildings.

УДК 697.1

ДЕШКО В. І., НАУМЧУК О. С.

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

АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ NZEB КОНЦЕПЦІЇ ДЛЯ БУДІВЕЛЬ У ЦЕНТРАЛЬНІЙ ТА СХІДНІЙ ЄВРОПІ

Мета. Метою роботи є дослідження різних аспектів реалізації nZEB – концепції будівель в європейських країнах, та визначення основних проблем та перешкод на шляху масштабування та розвитку будівель з майже нульовим енергоспоживанням і використання цього досвіду для України.

Методика. Аналіз нормативних документів, наукових праць та практик щодо використання концепції nZEB в європейських країнах.

Результати. Проведено огляд нормативно-правових документів, наукових праць та практик у напрямку реалізації та закріплення визначення концепції будівель з майже нульовим споживанням енергії у країнах Європи як взаємо доповнення високо енергоефективної будівлі та відновлювальних джерел енергії, енергоефективних матеріалів та технологій. Розглянуто варіанти деталізованої оцінки нового будівництва nZEB житлового сектора. Проаналізовано вплив можливих кліматичних змін на характеристики nZEB протягом життєвого циклу, в тому числі потреб в опаленні та в охолодженні. Наведено приклади реалізації nZEB концепції при реновації будівель різного призначення. Акцент робиться на можливій невідповідності та узгодженні стандартів nZEB з найкращим фінансовим рішеннями та послідовності реалізації підходів щодо забезпечення майже нульового споживання енергії будівлями різного призначення для різних кліматичних регіонів Європи, проаналізовано основні виклики та перешкоди у збільшенні частки використання таких будівель.

Наукова новизна. Згруповано та проаналізовано різні аспекти реалізації nZEB концепції, від нормативно – правових документів, державного стимулювання, балансу в концепції енергоефективних рішень та частки відновлювальних джерел енергії, до технічних та культурно поведінкових бар'єрів.

Практична значимість роботи полягає у використанні наведених підходів та досвіду європейських країн для масштабування будинків nZEB концепції в умовах України.

Ключові слова: енергоефективність; будівлі з майже нульовим споживанням енергії; стан енергоефективності nZEB; відновлювальні джерела енергії; проблеми модернізації будівель рівня nZEB.

Вступ. Європейський Союз, що є політичним та економічним об'єднанням 27 європейських держав [1] у своїй діяльності здійснює реалізацію основних цілей [2], серед яких – досягнення сталого розвитку на основі збалансованого економічного зростання та стабільності цін і висококонкурентної ринкової економіки з повною зайнятістю та соціальним прогресом. Аналіз основних секторів економіки ЄС з оцінкою задіяного персоналу [3] свідчить про велике значення будівельної галузі у досягненні цілі, що виділена вище. Так, згідно даних [4], будівельний сектор (у розгляді проектування та власне будівництва) Європейського Союзу забезпечує робочими місцями близько 18 мільйонів людей (соціальне забезпечення) та близько 9% ВВП всіх країн – членів сумарно (економічне забезпечення).

ЄС є одним з лідерів в розробці та впровадженні технологій відновлюваної енергетики [5]. З метою забезпечення сталого розвитку та раціонального ресурсовикористання, у 2009 році введено в дію Директиву про відновлювані джерела енергії (2009/28/ЄС) [6], реалізація основних принципів якої дозволила досягти поступового зростання у використанні відновлювальних джерел енергії (відсоток забезпечення енергією з ВДЕ у 2022 досягнув позначки у 22% [7]). Подолання енергетичної бідності з одного боку та забезпечення статусу ЄС як «кліматично нейтрального» об'єднання, з іншого, створили необхідність перегляду [6] у 2018 році з визначенням нового курсу у напрямку скорочення викидів [8]. Так, директива

про відновлювальні джерела енергії (2018/2001/ЕС) [8] запроваджує нові заходи для різних секторів економіки, зокрема щодо опалення та охолодження, транспорту, де прогрес заміщення традиційних джерел енергії відновлювальними був дещо повільнішим.

Переглянута директива [8] передбачає активну участь громадян у розвитку відновлюваної енергетики, самостійно чи у співтоваристві споживаючи відновлювальну енергію. Участь громадян у створенні умов сталого розвитку міст, є надзвичайно важливою. Зі слів Кадрі Сімсон, що є Комісаром з енергетики, будівлі є найбільшим споживачем енергії (40%) та найбільшим джерелом викидів парникових газів (36%) [9]. Скорочення частки споживання енергії будівельним сектором є часткою політики, що просувають Директиви про енергетичну ефективність будівель [10] та Директиви про енергоефективність [11] та встановлюють поняття nZEB (nearly zero energy building) або будівель з майже нульовим споживанням енергії. Забезпечення будівництва та/або реконструкції будівель класу nZEB дозволить досягти високоенергоефективного та декарбонізованого будівельного фонду до 2050 року [10] та забезпечити Європі кліматично нейтральний статус. Зобов'язання будівництва та/або реконструкції будівлі рівня nZEB означає створення будівлі дуже високого рівня енергетичної ефективності на ряду з надзвичайно низькою величиною енергопотреби та виділенням кількісного показника споживання первинної енергії в кВт·год/м² за рік. Варто зазначити, що такий показник не є визначеним для всіх країн – членів, що зумовлює потребу у перегляді реформ в сфері енергоефективності та більш широке вивчення будівельного сектору.

Діяльність України щодо забезпечення розвитку енергоефективності у частині збільшення будівель з майже нульовим споживанням енергії, регламентується Концепцією реалізації державної політики у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель у частині збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії та Національним планом збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії [12], та направлена на виконання основних цілей [10, 11].

Завдання. Дослідити основні напрями щодо реалізації та окреслити основні перешкоди на шляху концепції nZEB країнами Європи.

Результати досліджень. Енергоефективність як складова творення сталого розвитку світової спільноти є об'єднуючим поняттям для, практично, всіх сфер економіки. Енергетична ефективність у будівництві – це про всі етапи створення будівлі, від обговорення майбутнього проекту (вибір ділянки, призначення будівлі, особливості експлуатації), власне будівництва (вибір матеріалів, послідовність побудови, вибір джерел(а) енергії) і до експлуатації будівлі (кількість відвідувачів, графік використання будівлі, забезпечення комфортних умов, постійне поліпшення). Загалом, енергоефективність – це про злагоджений механізм, що потребує постійного моніторингу та постійної реакції на ризики, що виникають.

Питання необхідності зменшення залежності від викопного палива ніколи раніше не було таким гострим та вимагаючим негайного вирішення, як сьогодні. Зведений аналіз енергоспоживання країнами – членами ЄС [13] у 2020 році показує, що домогосподарства є одним із найбільш залежних від енергії секторів економіки (рис. 1).

Враховуючи необхідність скорочення частки енергоспоживання такими споживачами та виходячи з цілей Європейського Союзу щодо відновлювальних джерел енергії [6], реформи, описані у [6], [10] та [11] уже знайшли своє впровадження у Європі та стали поштовхом для нових досліджень щодо будівництва будівель, споживання енергії якими близьке до нуля.

Так, робота [14] містить розгорнутий аналіз дій Європейського Союзу щодо розробки моделей проектування активних та з майже нульовим споживанням енергії будівель. У статті [14] представлено, в тому числі, оцінку передових енергоефективних матеріалів та технологій (наприклад, розумне скло та інтегровані фотоелектричні системи) з розрахунком існуючої будівлі, побудованої за принципом nZEB яка використовує відновлювальні джерела енергії у

обсязі, що значно перевищує енергетичну потребу. Запропонований авторами інтегрований проект огорожувальних конструкцій та систем створює надлишок енергії, що можна віддати в мережу. Приватний житловий будинок, побудований у 2013 році на півночі Італії, проектувався як висоенергоєфективний будинок до узгодження мінімальних вимог до огорожувальних конструкцій у Італії [15]. Порівняння отриманих коефіцієнтів теплопередачі будівлі, що розглядається, у 2013 році з вимогами 2015 року представлені у табл. 1.

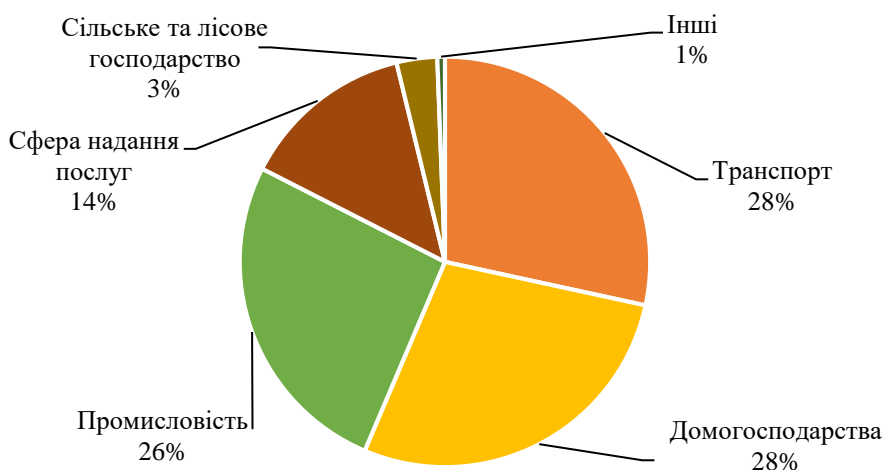


Рис. 1. Кінцеве споживання енергії за секторами у відсотках від загального споживання в Європі

Таблиця 1

Порівняння коефіцієнтів теплопередачі огорожувальних конструкцій будівлі, що розглядається [14] та вимог до огорожувальних конструкцій відповідно до законодавства [15]

Огорожувальні конструкції (кліматична зона F)	Коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій будівлі, що розглядається [14], Вт/м ² ·К	Коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій будівлі, згідно вимог до огорожувальних конструкцій [15], Вт/м ² ·К
Зовнішні стіни	0,19	0,28
Світлопрозорі огорожувальні конструкції	1,3	1,5

Згідно проекту будівництва, джерелом енергії житлового будинку [14] є автономна теплоелектроцентральною, до складу якої входить тепловий насос «повітря – вода» з електричним живленням (корисна теплова потужність 13,1 кВт), який відповідає як за кондиціонування повітря взимку з підключенням «теплої» підлоги, так і за підготовку гарячої води. Наявні відновлювальні джерела енергії – геліосистема (6,6 м²) та фотоелектричні панелі (79,5 м²), що «покривають» 94% споживання енергії.

Більш деталізований підхід щодо оцінки стану енергоєфективності nZEB житлового фонду представлено автором [16], де основна увага приділена новому будівництву у країнах Східної Європи: Болгарії, Хорватії, Чехії, Естонії, Угорщині, Литві, Латвії, Польщі, Румунії та Словаччині. Автор [16], спираючись на національні публікації та законодавчі акти кожної з десяти представлених країн, створює чек – лист (спільно з 14 національними експертами) оцінки відповідності побудови нових будівель наступним параметрам:

- порогове значення енергоефективності будівлі (використання первинної енергії);
- коефіцієнти перетворення первинної енергії;
- політика у сфері ВДЕ (державне заохочення, тарифні умови);
- вимоги до огорожувальних конструкцій;
- вимоги теплового комфорту;
- темпи будівництва житлових будівель;
- динаміка використання теплових насосів домогосподарствами.

Використання енергії, створеної відновлювальними джерелами енергії є вагомим фактором впливу співставлення нової та/або реконструкції існуючої будівлі як такої, споживання енергії якою близьке до нуля. Для прикладу, дослідження історичного становлення основних принципів щодо визначення nZEB, починаючи з 1995 року і до сьогодні, описані у роботі [17], в якій автором підкреслено, що конкретні історичні періоди, починаючи з 1995 і до 2022 року містили згадку про будівлі з нульовим споживанням енергії, проте представлялись здебільшого термінами «зелені будівлі» з акцентом на будівельні матеріали та джерела теплоти, що дало змогу поступового розширення так званих меж визначення самого поняття nZEB. Таку ознаку, зрештою, підтримує велика кількість науковців, що досліджує взаємодоповнюваність високо енергоефективної будівлі та відновлювальних джерел енергії [18–20] для різних регіонів та, відповідно, різних кліматичних умов [21, 22].

Для прикладу, у [21] проведено оцінку параметрів огорожувальних конструкцій та систем відновлювальної енергетики з моделюванням алгоритму багатокритеріальної оптимізації NSGA – II (один з методів програмування) для різних кліматичних умов Туреччини, що дозволило імітувати навантаження на опалення та охолодження будівлі (рис. 2).

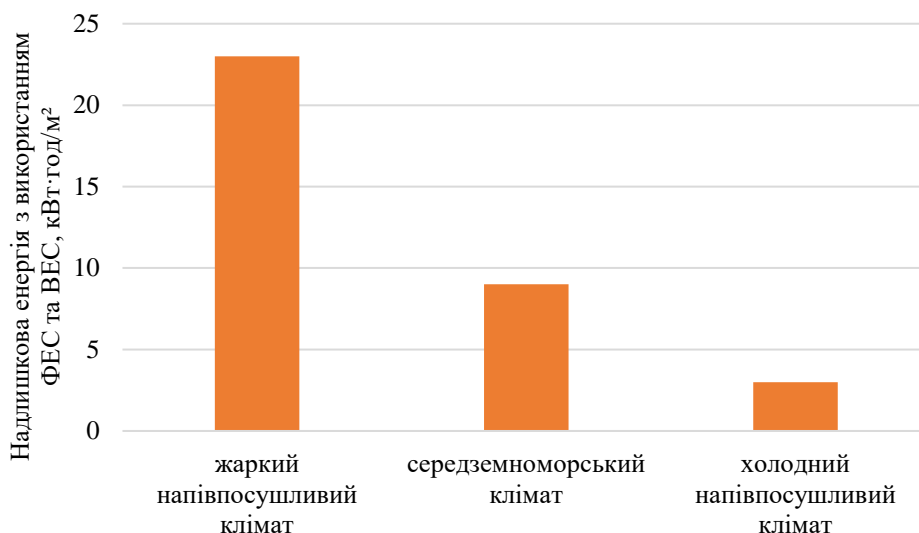


Рис. 2. Величина отриманої надлишкової енергії від ВЕС та ФЕС для різних кліматичних регіонів Туреччини

Запропонована у роботі [21] методологія змогла б використовуватись як загальний підхід проектування будівель з майже нульовим споживанням енергії – від попереднього етапу будівництва до будівництва для досягнення nZEB та оцінки впливу мінімальних кліматичних змін на відсоток використання ВДЕ, враховуючи відсутність стандартизованого підходу та

кількісної частки покриття енергії за рахунок відновлювальних джерел відповідно, у запропонованих стандартах ЄС.

Стаття [22] також є оцінкою впливу кліматичних змін на характеристики будівель, спроектованих з майже нульовим енергоспоживанням (nZEB), та стійкості з точки зору енергобалансу. Аналізуючи будівлю, що розміщена на півдні Італії з середземноморським кліматом, автори доводять, що в типовому середземноморському кліматі зменшення потреби в опаленні може компенсувати збільшення потреби в охолодженні. Тобто, за найгіршого кліматичного сценарію, величина чистої первинної енергії може змінитися з 25,4 кВт·год/м²/рік до 19,5 кВт·год/м²/рік (прогноз до 2050 року з урахуванням середньострокових кліматичних прогнозів, створених за допомогою інструменту CCWorldWeatherGen [23]) із рівнем власного споживання 85%. Проте, при досягненні навесні робочої температури вище 30°C будівля може перегріватись, що створить потребу більш частого використання охолодження, що створить дисбаланс «виробництво – використання» енергії у перехідний період.

Роботи [21, 22] аналізують можливості для будівництва та функціонування готелів класу nZEB. Так, [24] демонструє метод оптимізації будівлі з його системою опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (HVAC) у межах досягнення будівлі з майже нульовим споживанням енергії (nZEB) та розкриває можливості використання ВДЕ для репрезентативної будівлі готелю у Хорватії, виходячи з великого розриву з точки зору первинного споживання енергії між nZEB та системою з оптимальними витратами. Враховуючи цілорічний режим роботи готелю, найбільш перспективним рішенням, з точки зору дослідників, є використання теплового насоса типу «вода – вода з використанням морської води», де морська вода є джерелом теплоти та поглиначем. Якщо використання морської води є неможливим, альтернативою пропонується використання теплонасосної системи типу «повітря – вода». Аналіз отриманих результатів щодо оптимізації системи опалення, вентиляції та кондиціонування свідчать про залежність запропонованих заходів енергоефективності від системи ОВК, яка використовується – оптимальні рішення досягаються лише за відповідності системи ОВК розрахунковому навантаженню. Оптимальні рішення щодо забезпечення nZEB готельним сектором у країні з менш теплим кліматом – Великобританії, представлені у [25]. Авторами [25] використано програмне забезпечення Thermal Analysis Simulation, що дозволяє обрати окремі заходи енергетичної ефективності, створити сценарії модернізації будівлі та розрахувати загальну вартість рішень, що відповідають цілям nZEB. З використанням представленої у статті методики визначено, що поточний стандарт nZEB не можна порівняти з найкращим фінансовим рішенням, тому висновком до виконаної роботи є запропонований оптимальний з точки зору витрат рівень споживання первинної енергії з рекомендаціями щодо оцінки інших готелів nZEB у Великобританії.

Подібні неузгодженості нормативних документів та практичного представлення дають можливість нових досліджень для різного типу будівель – від дошкільних [26] до вищих навчальних закладів [27, 28] та житлових [29] будівель. Будівля дитячого садочку у Італії [26] має округлі форми, оптимально орієнтовані з виконанням екранування, що забезпечує низьке енергоспоживання. Порівняння коефіцієнтів теплопередачі огорожувальних конструкцій дошкільного навчального закладу з вимогами до огорожувальних конструкцій, що діють в регіоні згідно Наказу Міністерства економічного розвитку Італії «Застосування методології розрахунку енергетичної ефективності та визначення розташування та мінімальних вимог до будівель» [15] (кліматична зона D) розглянемо у табл. 2.

Таблиця 2

**Порівняння коефіцієнтів теплопередачі дошкільного навчального закладу,
побудованого згідно концепції nZEB та згідно вимог [15]**

Огороджувальні конструкції (кліматична зона D)	Коефіцієнт теплопередачі огороджувальних конструкцій дитячого садка[26], Вт/м ² ·К	Коефіцієнт теплопередачі огороджувальних конструкцій будівлі, згідно вимог до огороджувальних конструкцій [15], Вт/м ² ·К
Зовнішні стіни	0,189	0,26
Світлопрозорі огороджувальні конструкції	1,653	1,8
Непрозорі горизонтальні або похилі покрівельні конструкції	0,192	0,26
Горизонтальна непрозора підлога назовні, у приміщеннях без кондиціонування або на землі	0,285	0,29

Для повного забезпечення енергопотреб автори пропонують використання фотоелектричної установки на даху та тепловий насос «повітря – вода». Будівлі, архітектурне рішення яких виключає можливості низького енергоспоживання лише за рахунок конструктиву, мають необхідність у термомодернізації, реконструкції інженерних систем повному або частковому технічному переоснащенні як, для прикладу, будівлі вищих навчальних закладів, представлених у [27, 28]. З метою забезпечення узгоджених вимог щодо nZEB у Італії та Румунії відповідно, було проведено основні роботи з енерговідновлення:

- теплоізоляція зовнішніх стін, тераси та підлоги;
- повна заміна існуючої дерев'яної конструкції на високоенергоєфективну;
- модернізація системи освітлення шляхом встановлення світлодіодного освітлення з високою енергоєфективністю та тривалим життєвим циклом, а також встановлення інтелектуальної системи освітлення з дистанційним керуванням;
- впровадження обладнання для виробництва енергії з відновлюваних джерел: фотоелектричних панелей і теплових сонячних панелей;
- заміна труб та радіаторів по всій будівлі;
- встановлення побутової системи підігріву води з тепловими сонячними батареями та її накопиченням у котлах, щоб будівля автоматично від'єднувалася від теплового блоку кампусу щоразу, коли клімат дозволяє нагрівати воду (Румунія);
- заміна термоагентних колонок на опалення;
- встановлення затінюючих пристроїв в екстремально освітлених вікнах;
- повне внутрішнє переоблаштування (повністю реконструйовано оздоблення підлог/стіл/стелі, нові сантехнічні вузли тощо), що підвищило якість комфорту у використанні будівлі.

Варто зазначити, що технічні рішення, представлені у [28] є основою «пілотного» проекту уряду Румунії, мета якого полягає у масштабуванні будівель з майже нульовим споживанням енергії та підвищенні лояльності суспільства до побудових таких будівель. Згідно попередніх розрахунків, термін окупності середньої школи енергетичних технологій (об'єкт дослідження), побудованого відповідно до концепції nZEB, становить три з половиною роки. Урядом Румунії узгоджено періодичний моніторинг виконання планових показників проекту будівництва першої громадської будівлі в країні, що відповідає стандарту nZEB. Використання відновлювальних джерел, як один із основних факторів забезпечення майже

нульового споживання енергії будівлею, представлені фотоелектричними системами на даху [27, 28].

Звісно, всі запропоновані рішення потребують значних грошових інвестицій, тому для домогосподарств практична модернізація будівель рівня nZEB є досить коштовною. Згідно [29], країнами Європи використовуються програми заохочення домовласників у будівництві будівель з майже нульовим споживанням енергії. Існуючий проект Housing 4.0 Energy [30] досліджує розвиток доступних будинків з нульовим енергоспоживанням у трьох країнах: Нідерландах, Бельгії та Ірландії. Для прикладу, політика Нідерландів у питанні розвитку nZEB направлена на людей з середнім та нижче середнього рівнями доходів. У фламандській схемі некомерційні соціальні агентства з оренди надають будинки групам з низькими доходами. В Ірландії місцева влада надає соціальне житло заявникам, які перебувають у списках очікування. Результати запропонованих урядом схем створюють екологічну, соціальну та економічну стійкість для домогосподарств з середнім та/або нижче середнього доходом, надаючи енергоефективні, комфортні та доступні будинки. Проте опитування мешканців будівель з майже нульовим енергоспоживанням визначають ряд перешкод у масштабуванні таких будинків у зв'язку з культурними бар'єрами в дизайні, будівельними матеріалами і правовими та технічними бар'єрами. І якщо технічні бар'єри можна вирішити за відносно короткий час, то подолати культурні та поведінкові бар'єри може бути складніше. Авторами [29] запропоновано бізнес-моделі схем, що допоможуть масштабувати доступні будинки з нульовим або близьким до нуля енергоспоживанням в інших країнах.

Висновки. Робота є представленням огляду наявних досліджень у питанні реалізації будівництва nZEB країнами Європи. Результати демонструють прогрес, досягнутий щодо різних аспектів nZEB. Питання енергетичної ефективності у будівництві стосуються усіх етапів життєвого циклу і різних типів будівель. Знайшли розвиток алгоритми оптимізації та розробки моделей проектування активних та з майже нульовим споживанням енергії будівель, оцінки відповідності побудови нових будівель не тільки вимогам енергоефективності та комфортності, але і передбачувані змінам клімату, тенденціям розвитку систем ОВК, вимогам політики у сфері ВДЕ. Аналізуються культурні та поведінкові аспекти розвитку та заохочення використання nZEB. Аналіз впровадження європейських nZEB демонструє позитивне загальне покращення визначень будівель з майже нульовим споживанням енергії, впровадження, розвитку технологій та рівнів енергоефективності, що можуть бути досягнені і в умовах України, в тому числі, завдяки схожості клімату окремих регіонів України з країнами Європи, що згадуються у статті а також, відповідно до цілей щодо енергоефективності будівельного сектору. Проте, на шляху масштабування та розвитку nZEB, виникає ряд перешкод, що полягають у:

- відсутності єдиного методологічного підходу щодо визначення будівель з майже нульовим споживанням енергії;
- невідповідності технічних рішень щодо забезпечення комфортних умов та вимог рівня первинного споживання енергії;
- відсутності достатнього використання державних мотиваційних програм.

References

1. DIE EUROPÄISCHE UNION (EU). Goethe-Institut. URL: <https://www.goethe.de/prj/mwd/uk/indeutschland/leben/leb/europaeischeunion.html>.
2. Aims and values. European Union. URL: https://european-union.europa.eu/principles-countries-history/principles-and-values/aims-and-values_en#:~:text=The%20

Література

1. DIE EUROPÄISCHE UNION (EU). Goethe-Institut. URL: <https://www.goethe.de/prj/mwd/uk/indeutschland/leben/leb/europaeischeunion.html>.
2. Aims and values. European Union. URL: https://european-union.europa.eu/principles-countries-history/principles-and-values/aims-and-values_en#:~:text=The%20

aims%20of%20the%20European,and%20prevent%20and%20combat%20crime.

3. Facts and figures on the European Union economy. European Union. URL: https://european-union.europa.eu/principles-countries-history/key-facts-and-figures/economy_en#:~:text=The%20European%20Union%20operates%20as,2021%20was%20€%2014.5%20trillion.

4. Construction sector. European Commission. URL: https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/construction_en#:~:text=The%20construction%20industry%20is%20very,social,%20climate%20and%20energy%20challenges.

5. EU's global leadership in renewables. Final synthesis report: July 2021. Publications Office of the European Union. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8a9b9147-3aeb-11ed-9c68-01aa75ed71a1/language-en.>

6. (2009/28/EC). Renewable Energy Directive. Replaces Directive 2001/77/EC; Directive 2003/30/EC; effective from 2009-04-23. Official edition. 2009. 47 p. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:en:PDF.>

7. Renewable energy directive. European Commission. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en.

8. (2018/2001/EC). Renewable Energy Directive. Replaces Directive 2009/28/EC; effective from 2018-12-11. Official edition. 2018. 128 p. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001.>

9. European Green Deal: Commission proposes to boost renovation and decarbonisation of buildings. European Commission. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_6683.

10. 2018/844. Directive on the energy performance of buildings. Replaces Directive 2010/31/EU and Directive 2012/27/EU; effective from 2018-05-30. Official edition. 2018. URL: <https://www.legislation.gov.uk/eudr/2018/844.>

11. 2018/2002. Energy Efficiency Directive. Replaces Directive 2009/28/EC; effective from 2018-12-11. Official edition. 2018. 128 p. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2002&rid=7.>

and-values_en#:~:text=The%20aims%20of%20the%20European,and%20prevent%20and%20combat%20crime.

3. Facts and figures on the European Union economy. European Union. URL: https://european-union.europa.eu/principles-countries-history/key-facts-and-figures/economy_en#:~:text=The%20European%20Union%20operates%20as,2021%20was%20€%2014.5%20trillion.

4. Construction sector. European Commission. URL: https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/construction_en#:~:text=The%20construction%20industry%20is%20very,social,%20climate%20and%20energy%20challenges.

5. EU's global leadership in renewables. Final synthesis report: July 2021. Publications Office of the European Union. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8a9b9147-3aeb-11ed-9c68-01aa75ed71a1/language-en.>

6. (2009/28/EC). Renewable Energy Directive. Replaces Directive 2001/77/EC; Directive 2003/30/EC; effective from 2009-04-23. Official edition. 2009. 47 p. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:en:PDF.>

7. Renewable energy directive. European Commission. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en.

8. (2018/2001/EC). Renewable Energy Directive. Replaces Directive 2009/28/EC; effective from 2018-12-11. Official edition. 2018. 128 p. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001.>

9. European Green Deal: Commission proposes to boost renovation and decarbonisation of buildings. European Commission. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_6683.

10. 2018/844. Directive on the energy performance of buildings. Replaces Directive 2010/31/EU and Directive 2012/27/EU; effective from 2018-05-30. Official edition. 2018. URL: <https://www.legislation.gov.uk/eudr/2018/844.>

11. 2018/2002. Energy Efficiency Directive. Replaces Directive 2009/28/EC; effective from 2018-12-11. Official edition. 2018. 128 p. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2002&rid=7.>

12. Pro skhvalennia Kontseptsii realizatsii derzhavnoi polityky u sferi zabezpechennia enerhetychnoi efektyvnosti budivel u chastyni zbilshennia kilkosti budivel z blyzkym do nulovoho rivnem spozhyvannia enerhii ta zatverdzhennia Natsionalnogo planu zbilshennia kilkosti budivel z blyzkym do nulovoho rivnem spozhyvannia enerhii [On the approval of the Concept of implementation of the state policy in the field of energy efficiency of buildings in terms of increasing the number of buildings with close to zero energy consumption and approval of the National Plan for increasing the number of buildings with close to zero energy consumption: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated January 29, 2020 No. 88-2020]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/88-2020-r#Text> [in Ukrainian].

13. Energy statistics – an overview – Statistics Explained. European Commission. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview#Final_energy_consumption.

14. Magrini, A., Lentini, G., Cuman, S., Bodrato, A., Marengo, L. (2020). From nearly zero energy buildings (NZEB) to positive energy buildings (PEB): The next challenge – The most recent European trends with some notes on the energy analysis of a forerunner PEB example. *Developments in the Built Environment*, Vol. 3, August 2020, 100019.

15. Italian Republic (2015). Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici: Decree of the Ministry of Economic Development 26/06/2015 [Application of the energy performance calculation methodologies, and definition of dispositions and minimum requirements for buildings]. *Official Journal of the Italian Republic*, 15 July 2015 [in Italian].

16. Attia, Sh. (2022). Data on residential nearly Zero Energy Buildings (nZEB) design in Eastern Europe. *Data in Brief*, Vol. 43, August 2022, 108419.

17. Omrany, H., Chang, R., Soebarto, V., Zhang, Y., Ghaffarianhoseini, A., Zuo, J. (2022). A bibliometric review of net zero energy building research 1995–2022. *Energy and Buildings*, Vol. 262, 1 May 2022, 111996.

18. Jurasz, J., Canales, F. A., Kies, A., Guezgouz, M., Beluco, A. (2020). A review on the complementarity of renewable energy sources: Concept, metrics, application and future research directions. *Solar Energy*, Vol. 195, 1 January 2020, P. 703–724.

12. Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель у частині збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії та затвердження Національного плану збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії: Розпорядж. Каб. Міністрів України від 29.01.2020 р. № 88-2020-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/88-2020-p#Text>.

13. Energy statistics – an overview – Statistics Explained. European Commission. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview#Final_energy_consumption.

14. Magrini A., Lentini G., Cuman S., Bodrato A., Marengo L. From nearly zero energy buildings (NZEB) to positive energy buildings (PEB): The next challenge – The most recent European trends with some notes on the energy analysis of a forerunner PEB example. *Developments in the Built Environment*. 2020. Vol. 3, August 2020, 100019.

15. Italian Republic (2015). Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici: Decree of the Ministry of Economic Development 26/06/2015 [Application of the energy performance calculation methodologies, and definition of dispositions and minimum requirements for buildings]. *Official Journal of the Italian Republic*. 15 July 2015 [in Italian].

16. Attia Sh. Data on residential nearly Zero Energy Buildings (nZEB) design in Eastern Europe. *Data in Brief*. 2022. Vol. 43, August 2022, 108419.

17. Omrany H., Chang R., Soebarto V., Zhang Y., Ghaffarianhoseini A., Zuo J. A bibliometric review of net zero energy building research 1995–2022. *Energy and Buildings*. 2022. Vol. 262, 1 May 2022, 111996.

18. Jurasz J., Canales F. A., Kies A., Guezgouz M., Beluco A. A review on the complementarity of renewable energy sources: Concept, metrics, application and future research directions. *Solar Energy*. 2020. Vol. 195, 1 January 2020. P. 703–724.

19. D'Agostino, D., Tsemekidi Tzeiranaki, S., Zangheri, P., Bertoldi, P. (2021). Data on nearly zero energy buildings (NZEBS) projects and best practices in Europe. *Data in Brief*, Vol. 39, December 2021, 107641.
20. D'Agostino, D., Tsemekidi Tzeiranaki, S., Zangheri, P., Bertoldi, P. (2021). Assessing Nearly Zero Energy Buildings (NZEBS) development in Europe. *Energy Strategy Reviews*, Vol. 36, July 2021, 100680.
21. Acar, U., Kaska, O. (2022). Energy and economical optimal of Nzeb design under different climate conditions of Türkiye. *Journal of Building Engineering*, 12 August 2022, 105103.
22. Ascione, F., De Masi, R. F., Gigante, A., Vanoli, G. P. (2022). Resilience to the climate change of nearly zero energy-building designed according to the EPBD recast: Monitoring, calibrated energy models and perspective simulations of a Mediterranean nZEB living lab. *Energy and Buildings*, Vol. 262, 1 May 2022, 112004.
23. Climate Change World Weather File Generator for World-Wide Weather Data – CCWorldWeatherGen. Energy and Climate Change Division | University of Southampton. URL: <https://energy.soton.ac.uk/climate-change-world-weather-file-generator-for-world-wide-weather-data-ccworldweathergen/>.
24. Delač, B., Pavković, B., Lenić, K., Mađerić, D. (2022). Integrated optimization of the building envelope and the HVAC system in nZEB refurbishment. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 211, 5 July 2022, 118442.
25. Salem, R., Bahadori-Jahromi, A., Mylona, A., Godfrey, P., Cook, D. (2020). Energy performance and cost analysis for the nZEB retrofit of a typical UK hotel. *Journal of Building Engineering*, Vol. 31, September 2020, 101403.
26. Misceo, M. et al. (2019). Analysis of energy performances of a nZEB kindergarten building in Bisceglie (Apulia region). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 609, P. 072034. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/609/7/072034>.
27. NZEB: Un edificio pubblico in Umbria riqualificato per un consumo energetico quasi nullo-Progetti. European Commission. URL: https://ec.europa.eu/regional_policy/it/projects/Italy/nzeb-public-building-in-umbria-italy-retrofitted-for-near-zero-energy-use.
28. Premiere in Romania: 'Elie Radu' Energy Technology High School Rehabilitated at NZEB Standard. Energy Industry Review. URL: <https://energyindustryreview.com/>
19. D'Agostino D., Tsemekidi Tzeiranaki S., Zangheri P., Bertoldi P. Data on nearly zero energy buildings (NZEBS) projects and best practices in Europe. *Data in Brief*. 2021. Vol. 39, December 2021, 107641.
20. D'Agostino D., Tsemekidi Tzeiranaki S., Zangheri P., Bertoldi P. Assessing Nearly Zero Energy Buildings (NZEBS) development in Europe. *Energy Strategy Reviews* Volume 36, July 2021, 100680.
21. Acar U., Kaska O. Energy and economical optimal of Nzeb design under different climate conditions of Türkiye. *Journal of Building Engineering*. 2022. 12 August 2022, 105103.
22. Ascione F., De Masi R. F., Gigante A., Vanoli G. P. Resilience to the climate change of nearly zero energy-building designed according to the EPBD recast: Monitoring, calibrated energy models and perspective simulations of a Mediterranean nZEB living lab. *Energy and Buildings*. 2022. Vol. 262, 1 May 2022, 112004.
23. Climate Change World Weather File Generator for World-Wide Weather Data – CCWorldWeatherGen. Energy and Climate Change Division | University of Southampton. URL: <https://energy.soton.ac.uk/climate-change-world-weather-file-generator-for-world-wide-weather-data-ccworldweathergen/>.
24. Delač B., Pavković B., Lenić K., Mađerić D. Integrated optimization of the building envelope and the HVAC system in nZEB refurbishment. *Applied Thermal Engineering*. 2022. Vol. 211, 5 July 2022, 118442.
25. Salem R., Bahadori-Jahromi A., Mylona A., Godfrey P., Cook D. Energy performance and cost analysis for the nZEB retrofit of a typical UK hotel. *Journal of Building Engineering*. 2020. Vol. 31, September 2020, 101403.
26. Misceo M. et al. Analysis of energy performances of a nZEB kindergarten building in Bisceglie (Apulia region). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 609. P. 072034. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/609/7/072034>.
27. NZEB: Un edificio pubblico in Umbria riqualificato per un consumo energetico quasi nullo-Progetti. European Commission. URL: https://ec.europa.eu/regional_policy/it/projects/Italy/nzeb-public-building-in-umbria-italy-retrofitted-for-near-zero-energy-use.
28. Premiere in Romania: 'Elie Radu' Energy Technology High School Rehabilitated at NZEB Standard. Energy Industry Review. URL: <https://energyindustryreview.com/>

energy-efficiency/premiere-in-romania-elie-radu-energy-technology-high-school-rehabilitated-at-nzeb-standard/.

29. Ebrahimigharehbaghi, Sh., der Heijden, H., Elsinga, M. (2022). Sustainable business model of affordable zero energy houses: Upscaling potentials. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 344, 10 April 2022, 130956.

30. Housing 4.0 Energy – South East Energy Agency. South East Energy Agency. URL: <https://southeastenergy.ie/eu-projects/housing-4-0-energy-project-summary/>.

URL: <https://energyindustryreview.com/energy-efficiency/premiere-in-romania-elie-radu-energy-technology-high-school-rehabilitated-at-nzeb-standard/>.

29. Ebrahimigharehbaghi Sh., der Heijden H., Elsinga M. Sustainable business model of affordable zero energy houses: Upscaling potentials. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 344, 10 April 2022, 130956.

30. Housing 4.0 Energy – South East Energy Agency. South East Energy Agency. URL: <https://southeastenergy.ie/eu-projects/housing-4-0-energy-project-summary/>.

DESHKO VALERIY

Doctor of Technical Sciences, Professor
Department of Thermal and Alternative Energy
Educational and Scientific Institute of Atomic and Thermal
Energy, National Technical University of Ukraine “Igor
Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0002-8218-3933>
Scopus Author ID: 6506189670
ResearcherID: J-6517-2017
E-mail: te@kpi.ua

NAUMCHUK OLENA

PhD Student
Department of Thermal and Alternative Energy
Educational and Scientific Institute of Atomic and
Thermal Energy, National Technical University of
Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic
Institute”, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0002-7059-8867>
E-mail: lenanaumchuk13@gmail.com

DESHKO V. I., NAUMCHUK O. S.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ukraine

**ASPECTS OF USE OF NZEB CONCEPT FOR BUILDINGS
IN CENTRAL AND EASTERN EUROPE**

Purpose. The aim of the work is to study various aspects of the implementation of the nZEB – concept of buildings in European countries and to identify the main problems and obstacles to the scaling and development of buildings with near zero energy consumption and the use of this experience for Ukraine.

Methodology. Analysis of regulatory documents, scientific papers and practices on the use of the nZEB concept in European countries.

Findings. A review of legal documents, scientific papers and practices on the implementation and consolidation of the definition of the concept of buildings with almost zero energy consumption in European countries as a complement of a highly energy efficient building and renewable energy sources, energy efficient materials and technologies was carried out. Options for a detailed assessment of the new construction of the nZEB residential sector were considered. The impact of possible climate change on the characteristics of nZEB during the life cycle, including heating and cooling needs, is analyzed. Examples of the implementation of the nZEB concept in the renovation of buildings for various purposes are given. The emphasis is on the possible inconsistency and harmonization of nZEB standards with the best financial solutions and the sequence of implementation of approaches to ensure near zero energy consumption by buildings for various purposes for different climatic regions of Europe, the main challenges and obstacles in increasing the share of use of such buildings are analyzed.

Originality. Various aspects of the implementation of the nZEB concept are grouped and analyzed, from regulatory documents, government incentives, balance in the concept of energy efficient solutions and the share of renewable energy sources, to technical and cultural-behavioral barriers.

Practical Value of the work lies in the use of the above approaches and the experience of European countries for scaling the houses of the nZEB concept in the conditions of Ukraine.

Keywords: energy efficiency; near-zero energy buildings; nZEB state of energy efficiency; renewable energy; nZEB building retrofit challenges.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.1.5>

УДК 687.053.144

МАНОЙЛЕНКО О. П., ДВОРЖАК В. М.,
ГУДИМ А. Г., ШКВИРА В. В., ГРИЦАЙ І. В.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ПРИКЛАДІ СИЛОВОГО РОЗРАХУНКУ НИТКОПРИТЯГАЧІВ ШВЕЙНИХ МАШИН ЧОВНИКОВОГО СТІБКА

Мета роботи полягає в порівняльному аналізі класичних методів динаміки при дослідженні важільних механізмів із застосуванням прикладних CAD/CAE-програм та методів твердотільного комп'ютерного 3D-моделювання, встановлення достовірності результатів дослідження та доцільності застосування комп'ютерного експерименту в інженерному аналізі.

Методика дослідження базується на апараті векторної алгебри; аналітичних методах кінетостатичного розрахунку плоских шарнірно-важільних механізмів; методах твердотільного комп'ютерного 3D-моделювання із застосуванням CAD/CAE-систем.

Результати: отримані діаграми максимальних значень реакцій в кінематичних парах (далі – КП) механізму ниткопритягача в залежності від частоти обертання головного вала та визначена відносна похибка значень максимальних реакцій у КП механізму, які отримані аналітично та методом комп'ютерного твердотільного імітаційного 3D-моделювання.

Наукова новизна: виконано порівняння методів кінетостатичного розрахунку та комп'ютерного імітаційного моделювання шарнірно-важільних механізмів, визначено відносну точність отриманих результатів значень реакцій в КП незалежними методами та доведено актуальність застосування комп'ютерного експерименту в інженерному аналізі із застосуванням CAD/CAE-систем.

Практична значимість роботи полягає у використанні отриманих результатів дослідження для модернізації або розробленні нових механізмів швейних машин човникового стібка та використанні віртуальних твердотільних 3D-моделей в інженерному аналізі при кінематичних та силових розрахунках важільних механізмів.

Ключові слова: комп'ютерне імітаційне моделювання; віртуальна модель; комп'ютерний експеримент; швейна машина; механізм ниткопритягача; кінетостатичний аналіз; реакції в кінематичних парах.

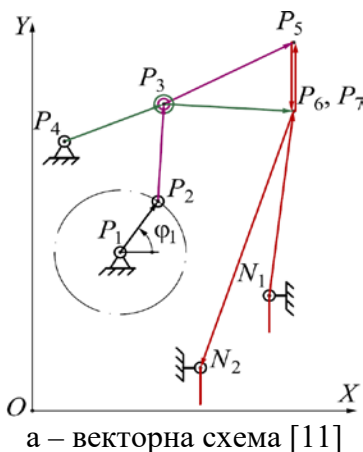
Вступ. Ґрунтовне знання кінематичних та динамічних характеристик цільових механізмів лежить в основі проєктування технологічних машин з раціональними параметрами, які впливають на їхню надійність та довговічність роботи. Для дослідження кінематики та динаміки шарнірно-важільних механізмів технологічних машин загалом використовують класичні аналітичні методи, які мають високу точність результатів та змогу автоматизувати розрахунки із залученням сучасних прикладних комп'ютерних програм. Ці методи засновані на отриманні формальних математичних виразів, що описують функції положення, у вигляді функцій кутів поворотів рухомих ланок або у вигляді функцій переміщень характерних точок механізму. У теперішній час активної інформатизації постійно вдосконалюються прикладні програмні продукти, які широко використовують для дослідження механізмів технологічних машин – це Mathcad, SolidWorks, Creo, Maple, MATLAB тощо [1–5]. Залучення інформаційних технологій пояснюється вимогами до скорочення термінів проєктування та дослідження функціонально-досконалих механізмів, підвищення ефективності роботи конструкторів. В цей же час широке застосування комп'ютерних твердотільних 3D-моделей механізмів машин при проведенні комп'ютерних експериментів та інженерних дослідженнях дозволяє гнучкіше підходити до розв'язування різного роду задач оптимізації та скоротити час розрахунків. Отримані результати дослідження у вигляді об'ємних картин (3D-епюр напружень та

деформацій), графіків кінематичних та силових параметрів (швидкостей, прискорень, реакцій, сил тертя, приведених моментів сил тощо) дозволяють встановити причино-наслідковий зв'язок між конструктивними параметрами ланок механізму, зовнішнім навантаженням, кінематичними характеристиками та внутрішнім навантаженням в ланках механізму. Разом з тим є потреба в проведенні експертної оцінки отриманих результатів дослідження з метою підтвердження їхньої точності при комплексному аналізуванні цільових механізмів з використанням прикладних комп'ютерних програмних продуктів та методів дослідження [6–8]. При цьому актуальним є питання щодо достовірності отриманих результатів при використанні комп'ютерних віртуальних твердотільних моделей для інженерного аналізу.

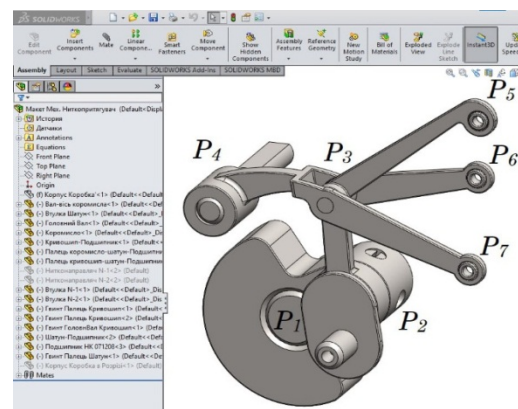
Постановка задачі. Завданням цього дослідження є порівняння результатів силового аналізу механізму, отриманих аналітичним методом на основі апарату векторної алгебри із використанням програмного продукту Mathcad, з аналогічними результатами комп'ютерного імітаційного 3D-моделювання в системі SolidWorks. Кінетостатичний аналіз шарнірно-важільного механізму ниткопритягача [9] проводився аналітичним методом з використанням математичного апарату Mathcad та методики, застосованої в роботах [10, 11]. З метою забезпечення однакових вхідних даних при розрахунках, значення маса-інерційних параметрів (маса, положення центра мас, момент інерції) ланок механізму прийнято з їх 3D-моделей. При розрахунку не враховано сили тертя та навантаження, яке виникає при роботі механізму з ниткою. Ці припущення дозволили зменшити трудомісткість та час розрахунків. Визначення реакцій в КП механізму методом комп'ютерного 3D-моделювання виконано за методикою [8, 12–14]. Точність та доцільності використання методу комп'ютерного 3D-моделювання при проведенні силового аналізу механізму встановлено шляхом порівняння значень реакцій, отриманих різними методами.

Результати досліджень. Для дослідження був обраний функціонально-досконалий механізм ниткопритягача швейної машини човникового стібка (рис. 1), який розроблений авторами [9]. Для визначення максимальних абсолютних значень сил взаємодії ланок (реакцій) у місцях їх стикання (кінематичних парах) виконуємо кінетостатичний аналіз механізму при ряді значень частот обертання ведучої ланки механізму $n = 500, 1000, \dots, 5500$ об/хв.

Кінетостатичний аналіз механізму аналітичним методом виконуємо на основі результатів геометричного синтезу, що представлені в роботі [9] та кінематичного розрахунку, послідовність виконання якого представлена в роботах [10, 11]. Для визначення максимальних значень реакцій у КП механізму (рис. 1) для кожного окремого значення частоти обертання ведучої ланки, виконуємо силовий аналіз механізму згідно з алгоритмом, представленим у роботах [15, 16].



а – векторна схема [11]



б – твердотільна 3D-модель

Рис. 1. Механізм ниткопритягача

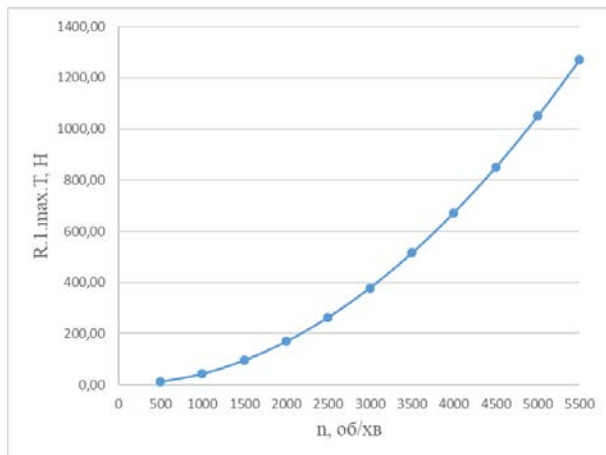
Визначені максимальні значення реакцій в КП наведені в табл. 1.

Таблиця 1

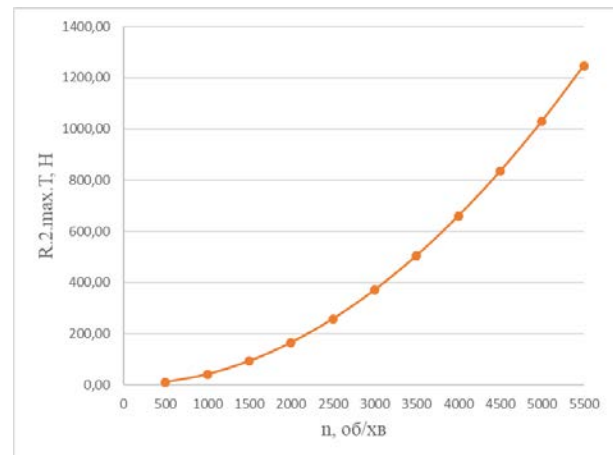
Максимальні значення реакцій в кінематичних парах, отримані з аналітичного розрахунку, залежно від частоти обертання головного вала швейної машини

n, об/хв	R _{1max} , Н	R _{2max} , Н	R _{3max} , Н	R _{4max} , Н
500	11,68	10,26	9,94	10,00
1000	43,13	41,16	40,48	41,33
1500	95,56	92,65	91,38	93,55
2000	168,97	164,75	162,63	166,67
2500	263,36	257,44	254,25	260,67
3000	378,72	370,74	366,22	375,56
3500	515,06	504,63	498,56	511,34
4000	672,37	659,13	651,25	668,01
4500	850,66	834,22	824,30	845,57
5000	1049,92	1029,91	1017,71	1044,02
5500	1270,15	1246,20	1231,48	1263,36

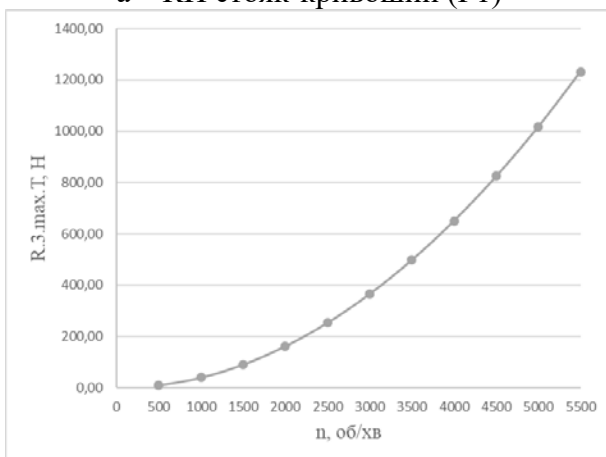
Графіки значень максимальних реакцій у КП механізму за отриманими значеннями наведені на рис. 2.



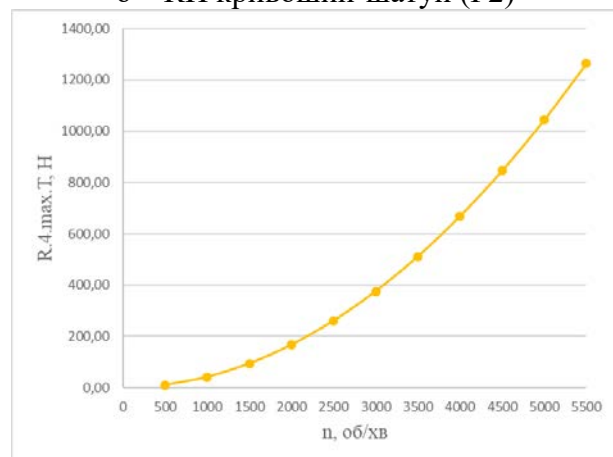
а – КП стояк-кривошип (P1)



б – КП кривошип-шатун (P2)



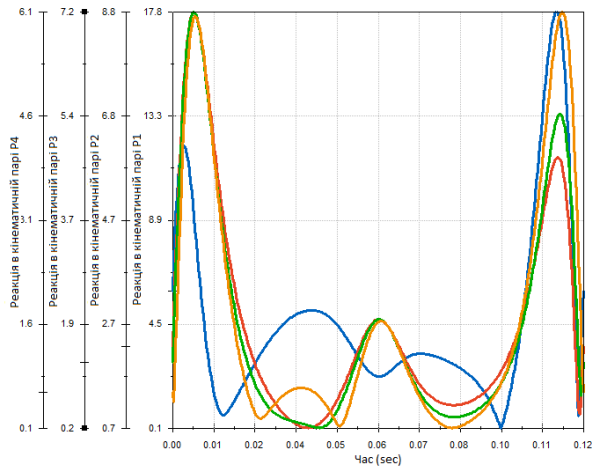
в – КП шатун-коромисло (P3)



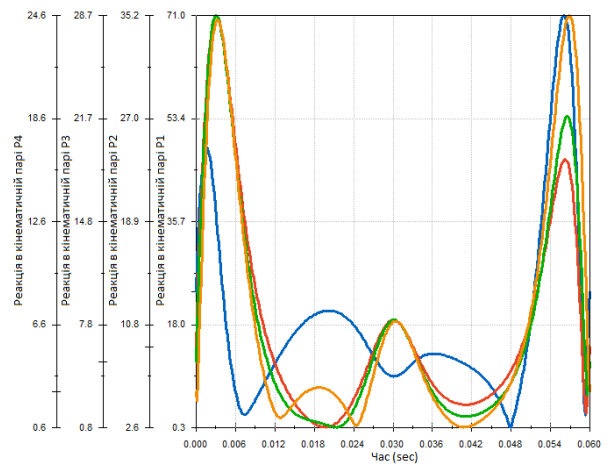
г – КП коромисло-стояк (P4)

Рис. 2. Графіки максимальних реакцій у КП механізму, отриманих з аналітичного розрахунку, залежно від частоти обертання головного вала швейної машини

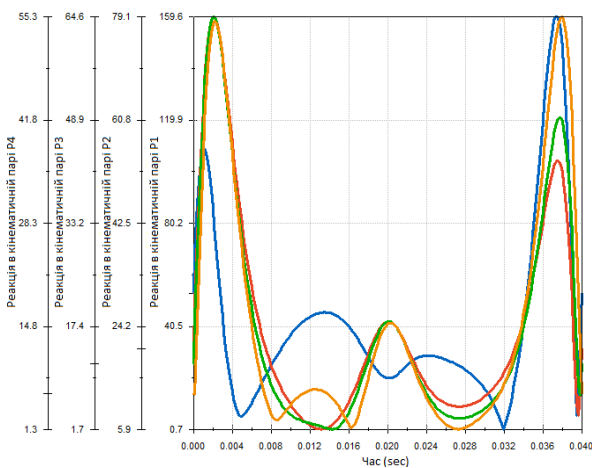
Для визначення максимальних абсолютних значень реакцій у КП механізму методом комп'ютерного 3D-моделювання [8] виконуємо силовий аналіз механізму із застосуванням програми SolidWorks Motion [12–14], яка дозволяє визначати абсолютні значення реакцій на основі 3D-моделі функціонально-досконалого механізму ниткопритягача швейної машини (рис. 16). Визначені значення реакцій в КП представлені на графіках (рис. 3, 4).



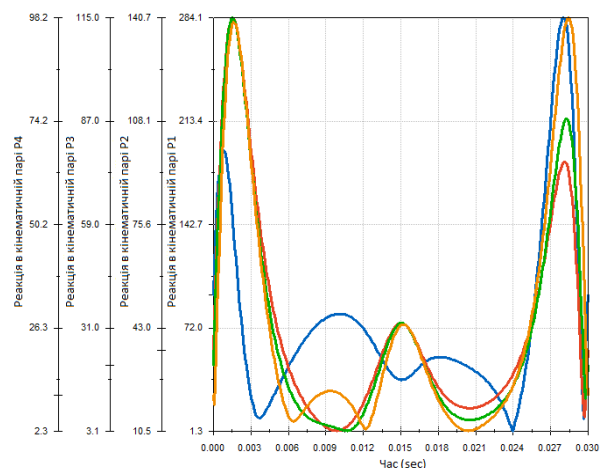
а – при $n = 500$ об/хв



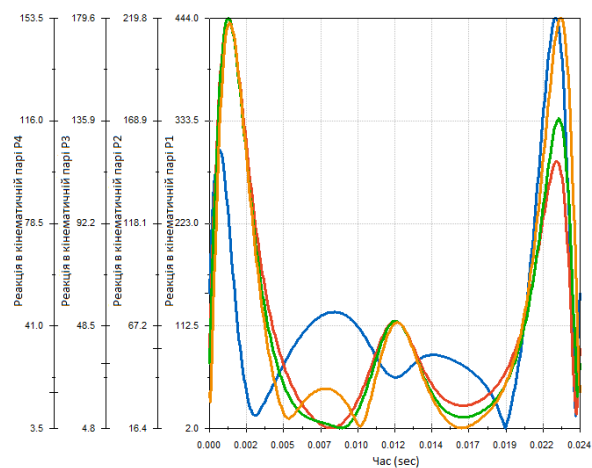
б – при 1000 об/хв



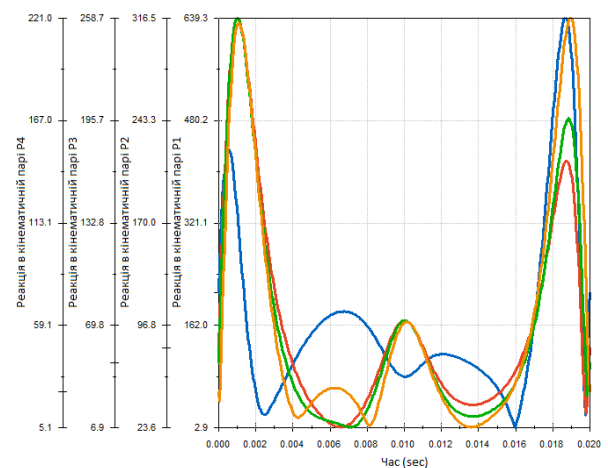
в – при $n = 1500$ об/хв



г – при 2000 об/хв

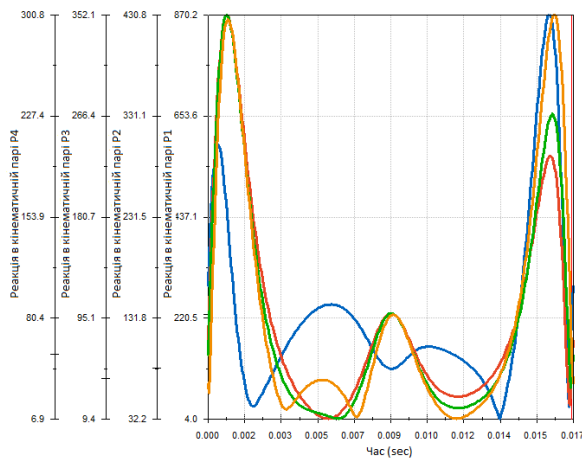


д – при $n = 2500$ об/хв

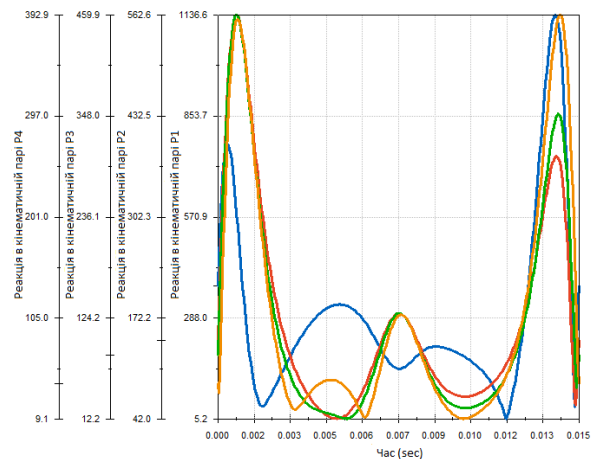


е – при 3000 об/хв

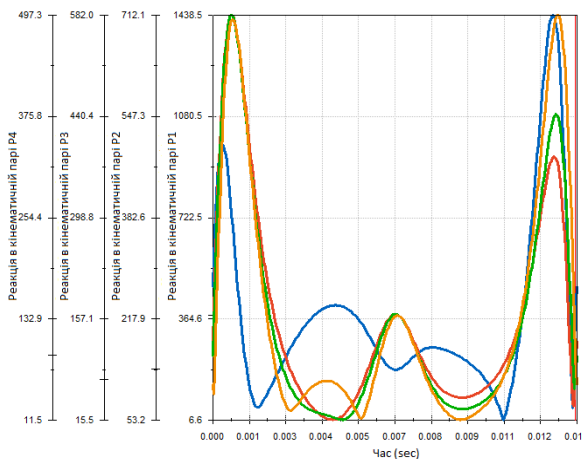
Рис. 3. Графіки реакцій в КП P1-P4 в залежності від частоти обертання ведучої ланки



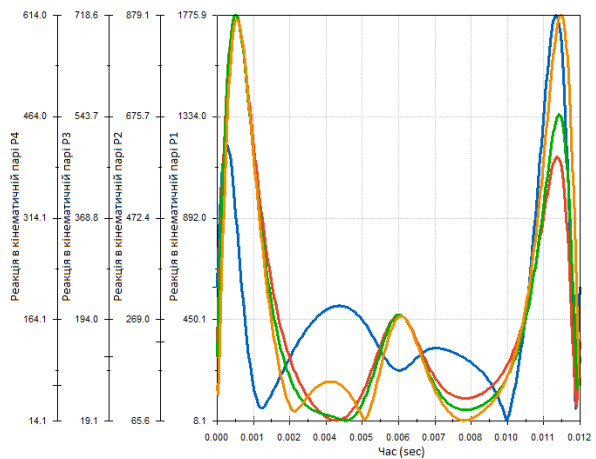
а – при $n = 3500$ об/хв



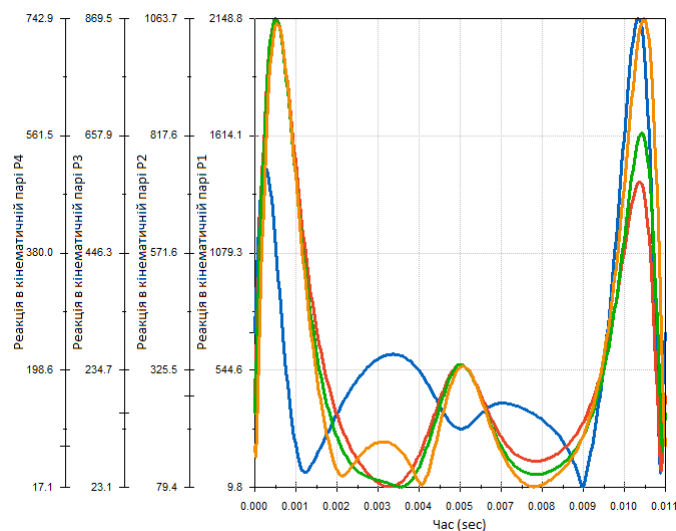
б – при 4000 об/хв



в – при $n = 4500$ об/хв



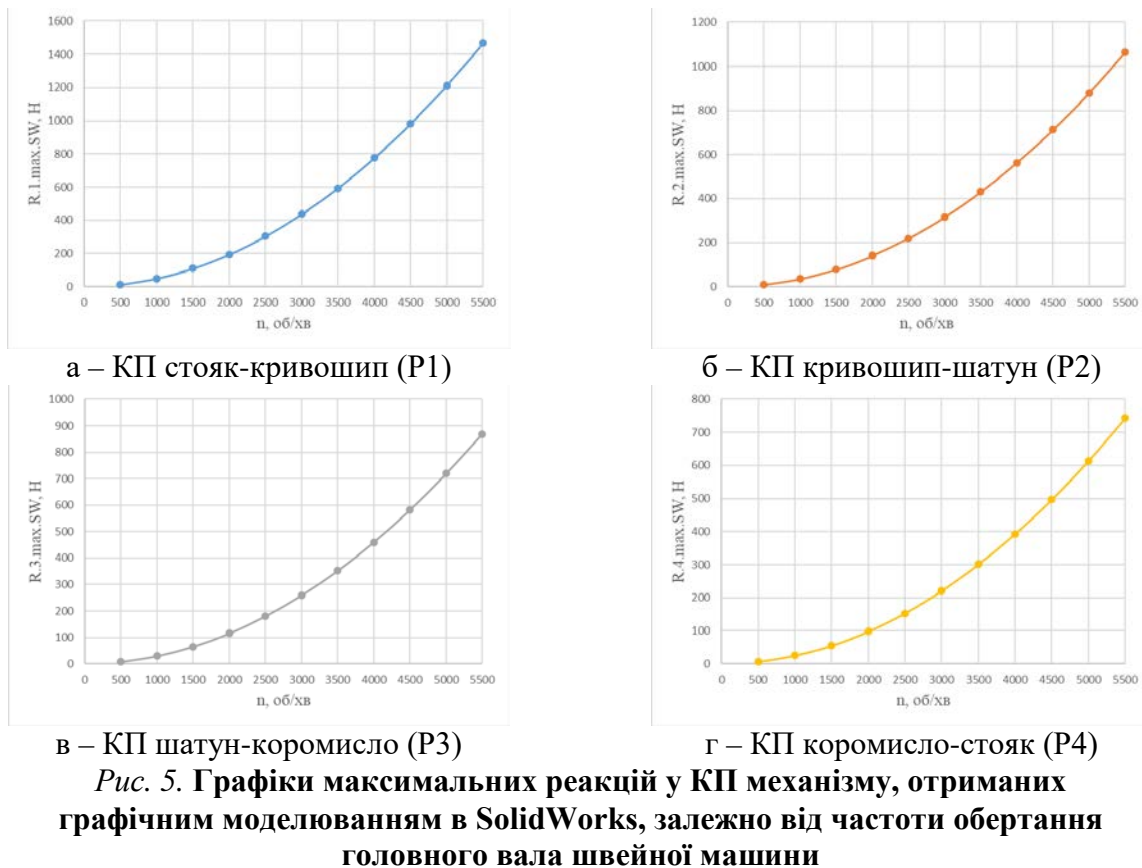
г – при 5000 об/хв



д – при $n = 5500$ об/хв

Рис. 4. Графіки реакцій в КП P1-P4 в залежності від частоти обертання ведучої ланки

На рис. 5 представлені графіки значень максимальних реакцій в КП механізму, отриманих імітаційним комп'ютерним 3D-моделюванням в SolidWorks, залежно від частоти обертання головного вала швейної машини (рис. 5).



Експертну перевірку робимо за максимальними абсолютними значеннями реакцій в кінематичних парах, отриманими для ряду значень частот обертання ведучої ланки механізму: $n = 500, 1000, \dots, 5500$ об/хв. Для співставлення отриманих результатів визначена відносна розбіжність максимальних абсолютних значень реакцій у КП механізму та побудовані графіки розбіжностей залежно від частот обертання головного вала (рис. 6):

$$E_i = \frac{R_i^{MC} - R_i^{SW}}{R_i^{MC}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де R_i^{MC} та R_i^{SW} – відповідно значення реакцій у КП, отриманих з розрахунку в програмах Mathcad та SolidWorks.

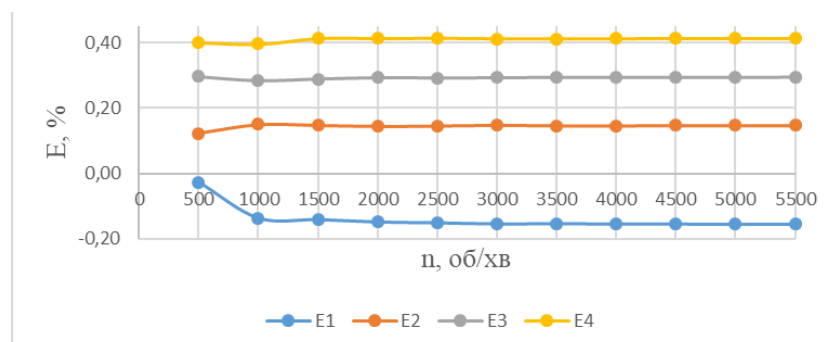


Рис. 6. Графіки відносної похибки значень максимальних реакцій у КП механізму, отриманих з аналітичного розрахунку та імітаційного 3D моделювання в SolidWorks залежно від частоти обертання головного вала швейної машини

Висновки. В результаті проведеного комплексного кінетостатичного аналізу механізму ниткопритягача швейної машини двома незалежними методами: аналітичним та методом комп'ютерного імітаційного 3D-моделювання, було отримано підтвердження, що силовий аналіз на основі 3D-моделювання в програмі SolidWorks виконаний з точністю не менше ніж 95%, що є загальноприйнятим для інженерних розрахунків. Це одночасно підтверджує те, що отримані силові характеристики при комп'ютерному віртуальному експерименті відповідають математичним моделям, що описують функції реакцій в КП механізму та можуть бути рівнозначно застосовані для дослідження важливих механізмів технологічних машин.

References

1. Mathcad Prime. URL: <http://mathcad.com.ua/> [in Russian].
2. Creo(PTC). URL: <https://www.ptc.com/>
3. Dassault Systèmes SolidWorks Corporation. URL: <https://www.solidworks.com/>
4. Maplesoft. URL: <https://www.maplesoft.com/products/Maple/>
5. The MathWorks. URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>.
6. Koshel', S. O., Dvorzhak, V. M., Koshel', G. V., Zalyubovskiy, M. G. (2022). Kinematic Analysis of Complex Planar Mechanisms of Higher Classes. *International Applied Mechanics* this link is disabled, 58(1): 111–122. <https://doi.org/10.1007/s10778-022-01138-1>.
7. Horobets, V. A., Manoilenko, O. P., Dvorzhak, V. M. (2013). Doslidzhennia vplyvu znachen parametriv napriamnoho mekhanizmu holky na yoho tekhnolohichnist [Study of the influence of the parameter values of the needle guide mechanism on its manufacturability]. *Khmelnyskiy: Bulletin of the KhNU*, 3: 56–62. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2013_3_13 [in Ukrainian].
8. Vorokh, D. M., Chyzh, P. R., Yevdokymenko, A. V., Marchenko, V. A., Fedko, I. M., Manoilenko, O. P., Plieshko, S. A. (2020). Dynamic analysis of the movement mechanism of sewing machine materials”, materialy I Vseukrainskoi konferentsii здобувачів вищої освіти і молодих учених [Proceedings of the All-Ukrainian Conference of Graduates of Higher Education and Young Scientists]. *Innovatyka v osviti, nauksi ta biznesi: vyklyky ta mozhlyvosti – Innovation in education, science and business: challenges and opportunities* (Kyiv, Ukraine, 17 November), P. 201–207 [in Ukrainian].
9. Hudym, A. H., Dvorzhak, V. M. (2021). Metrychnyi syntez funktsionalno-doskonaloho mekhanizmu nytkoprytiahacha shveinoi mashyny [Metric synthesis of the functionally perfect mechanism of the thread attractor of the sewing machine]. *Proceedings from Mechatronic systems: innovations and engineering: V Mizhnardna naukovo-praktychna konferenciia* (4 lystopada 2021 r., m.

Література

1. Mathcad Prime. URL: <http://mathcad.com.ua/>
2. Creo(PTC). URL: <https://www.ptc.com/>
3. Dassault Systèmes SolidWorks Corporation. URL: <https://www.solidworks.com/>
4. Maplesoft. URL: <https://www.maplesoft.com/products/Maple/>
5. The MathWorks. URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>.
6. Koshel' S. O., Dvorzhak V. M., Koshel' G. V., Zalyubovskiy M. G. Kinematic Analysis of Complex Planar Mechanismms of Higher Classes. *International Applied Mechanics* this link is disabled. 2022. № 58(1). P. 111–122. <https://doi.org/10.1007/s10778-022-01138-1>
7. Горобець В. А., Манойленко О. П., Дворжак В. М. Дослідження впливу значень параметрів напрямного механізму голки на його технологічність. *Вісник ХНУ. Серія: Технічні науки*. 2013. №3. С. 56–62. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2013_3_13.
8. Ворох Д. М., Чиж П. Р., Євдокименко А. В., Марченко В. А., Федько І. М., Манойленко О. П., Плешко С. А. Динамічний аналіз механізму переміщення матеріалів швейної машини. *Інноватика в освіті, науці та бізнесі: виклики та можливості: матеріали I Всеукраїнської конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених* (17 листопада 2020 р., м. Київ). Київ: КНУТД, 2020. С. 201–207.
9. Гудим А. Г., Дворжак В. М. Метричний синтез функціонально-досконалого механізму ниткопритягача швейної машини. *Мехатронні системи: інновації та інжиніринг: тези доповідей V-ої Міжнар. наук.-практ. конф.* (4 листопада 2021 р., м. Київ). Київ: КНУТД, 2021. С. 36–37.

Kyiv) – 5nd International Scientific and Practical Conference, Kyiv, P. 36–37 [in Ukrainian].

10. Dvorzhak, V. M., Pysarenko, D. D., Shevel, S. O., Karpenko, R. V., Dykusal, V. I., Petrivskyi, M. O. (2021). Doslidzhennia sharnirno-vazhilnoho mekhanizmu nytkoprytiahacha shveinoi mashyny [Research of the hinge-lever mechanism of the thread puller of the sewing machine]. *Tekhnolohiyi ta dizayn*, 1 (38). URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/17363/1/td_2021_N1_09.pdf [in Ukrainian].

11. Pysarenko, D. D., Dvorzhak, V. M. (2020). Doslidzhennia mekhanizmu nytkoprytiahacha shveinykh mashyn [Research of the mechanism of a thread attractor of sewing machines]. *Proceedings from Mechatronic systems: innovations and engineering: IV Mizhnardna naukovopraktychna konferenciia (22 zhovtnia 2020 r., m. Kyiv) – 4nd International Scientific and Practical Conference*, Kyiv, p. 54 [in Ukrainian].

12. What's new SolidWorks 2021. URL: <https://bayanbox.ir/view/6803509840423761839/What-is-new-in-Solidwoks-2021.pdf>.

13. Tickoo, S. (2017). SolidWorks 2017 for Designers. CAD/CIM Technologies, USA, 223 p.

14. Verma, G., Weber, M., (2017). SolidWorks 2017 Black Book, CAD/CAM/CAE Works, USA, 518 p.

15. Dvorzhak, V. M. (2017). Analitichne doslidzhennia dynamiky tyповykh dvokryvoshypnykh mekhanizmiv tekhnolohichnykh mashyn lehkoї promyslovosti [Analytical study of dynamics of typical two-crank mechanisms of technological light industry machines]. *Bulletin of the KNUVD*, 5: 54–64 [in Ukrainian].

16. Dvorzhak, V. M. (2019). Sylovyi analiz mekhanizmu kolyvalnoho rukhu vushkovykh holok osnovoviazalnoi mashyny [Force analysis of the mechanism of oscillating movement of the eyelets of the basic knitting machine]. *Bulletin of the KNUVD*, 3 (134): 26–35 [in Ukrainian].

10. Дворжак В. М., Писаренко Д. Д., Шевель С. О., Карпенко Р. В., Дикусар В. І., Петрівський М. О. Дослідження шарнірно-важільного механізму ниткопритягача швейної машини. *Технології та дизайн*. 2021. № 1 (38). URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/17363/1/td_2021_N1_09.pdf.

11. Писаренко Д. Д., Дворжак В. М. Дослідження механізму ниткопритягача швейних машин. *Мехатронні системи: інновації та інжиніринг: тези доповідей ІV-ої Міжнар. наук.-практ. конф. (22 жовтня 2020 р., м. Київ)*. Київ: КНУТД, 2020. С. 54.

12. What's new SolidWorks 2021. URL: <https://bayanbox.ir/view/6803509840423761839/What-is-new-in-Solidwoks-2021.pdf>.

13. Tickoo S. SolidWorks 2017 for Designers. CAD/CIM Technologies, 2017. 223 p.

14. Verma G., Weber M. SolidWorks 2017 Black Book. CAD/CAM/CAE Works, 2017. 518 p.

15. Дворжак В. М. Аналітичне дослідження динаміки типових двокривошипних механізмів технологічних машин легкої промисловості. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Технічні науки*. 2017. № 5. С. 54–64.

16. Дворжак В. М. Силовий аналіз механізму коливального руху вушкових голок основов'язальної машини. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Технічні науки*. 2019. № 3 (134). С. 26–35.

MANOILENKO OLEKSANDR

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of Department of Mechanical
Engineering, Kyiv National University
of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5670-4977>
Scopus Author ID: 57194469280
E-mail: manoilenko.op@knutd.edu.ua

HUDYM ANDRII

Postgraduate, Department of Mechanical Engineering,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
E-mail: Andrew.Gennadiievich@gmail.com

DVORZHAK VOLODYMYR

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of Department of Mechanical
Engineering, Kyiv National University
of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-1693-9106>
Scopus Author ID: 57814664800
Researcher ID: P-5907-2018
E-mail: dvorzhak.vm@knutd.edu.ua

SHKVYRA VOLODYMYR

Master, Department of Mechanical Engineering,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
E-mail: Vova231081@gmail.com

HRYTSAI IHOR

Master, Department of Mechanical Engineering,
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
E-mail: 8005301@ukr.net

**MANOILENKO O. P., DVORZHAK V. M., HUDYM A. H.,
SHKVYRA V. V., HRYTSAI I. V.**

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

**COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT RESEARCH
METHODS ON THE EXAMPLE OF FORCE CALCULATION OF THREAD
TAKE-UP LEVERS OF LOCKSTITCH SEWING MACHINES**

Purpose of the work consists in a comparative analysis of classical methods of dynamics when researching lever mechanisms using applied CAD/CAE programs and methods of solid-state computer 3D modeling, establishing the reliability of the research results and the feasibility of using a computer experiment in engineering analysis.

Methodology of research is based on the apparatus of vector algebra; analytical methods of kinetostatic calculation of flat hinge-lever mechanisms; methods of solid-state computer 3D modeling using CAD/CAE systems.

Findings: diagrams of the maximum values of reactions in kinematic pairs (KP) of the thread take-up lever mechanism depending on the rotation frequency of the main shaft were obtained, and the relative error of the values of the maximum reactions in the KP of the mechanism, which were obtained analytically and by the method of computer solid-state simulation 3D modeling, was determined.

Originality consists in the comparison of the methods of kinetostatic calculation and computer simulation modeling of hinge-lever mechanisms, the relative accuracy of the obtained results of the reaction values in the KP was determined by independent methods, and the relevance of the use of a computer experiment in engineering analysis with the use of CAD/CAE systems was proven.

Practical value of the work consists in the use of the obtained research results for the modernization or development of new lockstitch sewing machine mechanisms and the feasibility of using virtual solid-state 3D models in engineering analysis for kinematic and force calculations of lever mechanisms.

Keywords: computer simulation; virtual model; computer experiment; sewing machine; thread take-up lever mechanism; kinetostatic analysis; reactions in kinematic pairs.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.1.6>

УДК 661.124

ГАЛСТЯН А. Г., КРАВЧУК М. О., ПАХОМОВА Д. В.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ КАТАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ОКИСНЕННЯ 4-ГІДРОКСИТОЛУЕНУ ОЗОНОМ У РІДКІЙ ФАЗІ

Мета. Дослідити особливості каталітичної дії перехідних металів в сполученні з мінеральними кислотами для створення селективних синтезів оксигенвмісних похідних метилбензолів прямим окисненням озоном у рідкій фазі.

Методика. Для встановлення кінетичних закономірностей реакцій озону з 4-гідрокситолуеном та його ацильованим похідним використовували скляну колонку з пористою перетенкою для диспергування газу. Кінетичні параметри реакції вивчали в реакторі типу «каталітична качка», струшування якого зі швидкістю 8 коливань за секунду забезпечувало кінетичну область протікання процесу. Визначення концентрації озону в газовій фазі та констант швидкостей його реакцій з аренами здійснювали за допомогою спектрофотометричного методу аналізу на спектрофотометрі СФ-46. Кількісний вміст реакційної маси фіксували методом газової хроматографії на хроматографі «ЛХМ-8МД». Концентрацію аліфатичних пероксидів визначали методом йодометричного титрування.

Результати. Вивчено каталітичну реакцію окиснення 4-гідрокситолуену озоном у рідкій фазі. Встановлено, що у відсутності каталізатора перебігає, в основному, озоноліз ароматичного кільця з утворенням аліфатичних продуктів, а сумарний вихід продуктів окиснення за метильною групою субстрату не перевищує 20,5%. Тільки після додавання в систему каталізаторів на основі солей перехідних металів дозволяє підвищити селективність і вихід продуктів окиснення за метильною групою до 77,2%. В умовах дослідження основними продуктами є 4-ацетоксибензилацетат (63,2%) та 4-ацетоксибензилідендіацетат (14,0%).

Показано, що у досліджуваній системі $\text{ArCH}_3\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-As}_2\text{O}_3\text{-O}_3$ найбільшу каталітичну активність проявляє манган(II) ацетат, а солі кобальту в цих умовах каталітичної активності практично не мають.

Додавання до окисної системи калій броміду підвищує не тільки селективність окиснення за метильною групою (94,5%), а і глибину окиснення. Основним продуктом реакції стає 4-ацетоксибензилідендіацетат (78,0%), який при необхідності може легко гідролізуватись до 4-гідроксибензальдегіду.

Наукова новизна. Показана можливість прямого селективного окиснення 4-гідрокситолуену озоном. Підібрані каталітичні системи, які дозволяють зупиняти реакцію на стадії утворення відповідного ароматичного спирту або альдегіду. Встановлено, що відсутність каталітичної активності кобальт(II) ацетату в умовах дослідження пов'язано з високою швидкістю реакції відновлення Co(III) у Co(II) у системі $\text{As}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-O}_3$.

Практична значимість. Отримані експериментальні дані є основою для створення екологічно чистих технологій синтезу ароматичних спиртів і альдегідів, які широко використовуються у якості активних фармацевтичних інгредієнтів для виготовлення лікарських засобів.

Ключові слова: каталізатор; озон; окиснення; 4-гідрокситолуен; манган(II) ацетат; сульфатна кислота; 4-гідроксибензиловий спирт; 4-гідроксибензальдегід.

Вступ. Продукти окиснення 4-гідрокситолуену – 4-гідроксибензиловий спирт та 4-гідроксибензальдегід знаходять широке застосування в органічному синтезі активних фармацевтичних інгредієнтів [1, 2]. На практиці їх отримують різними окиснювальними синтезами, у тому числі із застосуванням кисню повітря [3–5], але усі вони мають суттєві недоліки, і тому постійно ведеться пошук нових методів, які б за умов реалізації наближались до існуючих у природі окиснювально-відновних процесів. Одним із таких є процес окиснення алкіларенів озонвмісними газами у рідкій фазі [7, 8], застосування якого дозволяє вести реакцію при атмосферному тиску і температурах значно нижчих (278–363 К), ніж за умов окиснення молекулярним киснем.

Втім, за літературними даними [6] озонування гідроксибензенів має свої особливості, які виключають пряме окиснення за метильною групою: первинна атака озоном спрямовується за гідроксигрупою з наступним руйнуванням бензинового кільця, продукти окиснення зі збереженою ароматичною системою у цьому випадку не утворюються. Вони з'являються лише за умов попереднього ацилювання гідроксигрупи, проте і у цьому випадку основним напрямком залишається озоноліз з утворенням аліфатичних гідропероксидів [9]. Раніше нами була показана можливість регулювання напрямком озонолітичних перетворень метилбензенів і підвищення селективності їх окиснення за метильною групою введенням в систему сполук перехідних металів (СПМ), особливо кобальт(II) ацетату, а краще в присутності бромідів лужних металів [7]. Втім, практика застосування цього методу показала, що він хоча і дає гарні результати у більшості відомих випадків озонування метилбензенів, але кожне нове дослідження озонолітичних перетворень необхідно починати з підбору каталітичної системи та умов її застосування.

Постановка завдання. У зв'язку з цим в даній роботі приведені результати досліджень, проведених нами щодо виявлення найбільш активної каталітичної системи та умов її застосування для селективного окиснення 4-гідрокситолуєну.

Матеріали та методи дослідження. Для дослідів використовували оцтовий ангідрид кваліфікації «Ч.Д.А.», льодяну оцтову кислоту кваліфікації «Х.Ч.», 4-гідрокситолуол кваліфікації «Х.Ч.»; ацетати мангану(II) і кобальту (II) кваліфікації "Ч", сульфатну та фосфорну кислоти кваліфікації «Х.Ч.».

Аналіз проводили методом газової хроматографії на хроматографі «ЛХМ-8МД» з полум'яно-іонізаційним детектором на колонці завдовжки 3 м, заповненою носієм – хроматон N-AW, з нанесеною на нього неподвижною фазою SE-30 в кількості 5% від ваги носія за наступних умов: температура випарника – 523К; температура термостата – 463К; швидкість газу-носія (азот) – $1,8 \text{ л} \cdot \text{год}^{-1}$; швидкість водню – $1,8 \text{ л} \cdot \text{год}^{-1}$; швидкість повітря – $18 \text{ л} \cdot \text{год}^{-1}$. Пробу реакційної маси в кількості 0,2 мл розбавляли 0,4 мл води, додавали 0,4 мл бензену, і внутрішній стандарт ($20 \text{ г} \cdot \text{дм}^{-3}$ 4-нітрохлорбензен в оцтовому ангідриді). Отриману суміш збовтували, потім з органічного шару відбирали пробу в кількості 3 мкл і вводили в хроматограф. Кількісний розрахунок хроматограм проводили методом внутрішнього стандарту з урахуванням відносних поправочних коефіцієнтів компонентів суміші. Як розрахунковий параметр використовували площу піку (S), яку визначали за формулою:

$$S = h \cdot b,$$

де h – висота піку;

b – ширина піка половині його висоти (рис. 1).

Концентрацію кожного компонента визначали за такою формулою:

$$C_i = \frac{KS_i C_{ст}}{S_{ст}}, \quad (1)$$

де C_i – кількість і-того компонента, г;

$C_{ст}$ – кількість 4-нітрохлорбензолу, г;

$S_i, S_{ст}$ – площі піку відповідно для обумовленого компонента та для стандарту;

K – відносний поправочний коефіцієнт (табл. 1), що залежить від специфічності чутливості детектора до аналізованих речовин та умов хроматографічного поділу.

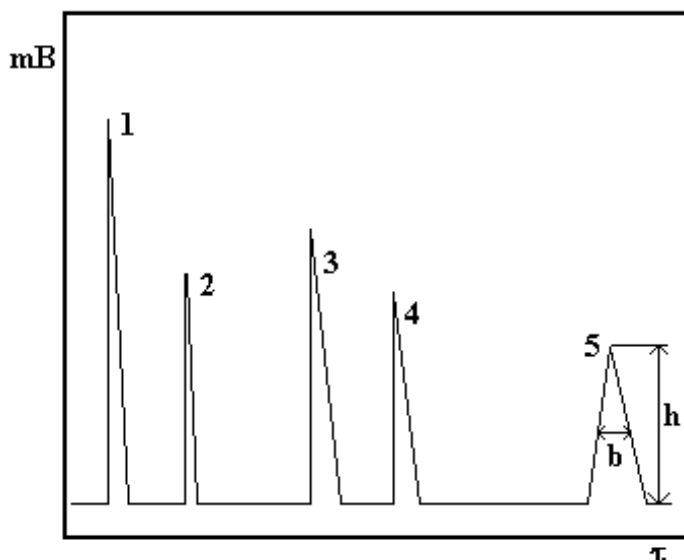


Рис. 1. Хроматограми продуктів окиснення 4-ацетокситолуену в розчині оцтового ангідриду. 1 – розчинник; 2 – 4-ацетокситолуен; 3 – стандарт (4-нітрохлорбензен); 4 – 4-ацетоксибензилідендіацетат; 5 – 4-ацетоксибензилацетат

Таблиця 1

Відносні поправні коефіцієнти 2-ацетокситолуену та продуктів його окиснення

Найменування з'єднання	К
4-Ацетокситолуен	1,0
4-Ацетоксибензилацетат	5,4
4-Ацетоксибензилідендіацетат	4,9
4-Гідроксибензиловий спирт	4,7
4-Гідроксибензальдегід	4,3

Результати дослідження. В молекулі 4-гідрокситолуену у пара-положенні до метильної групи знаходиться НО-група, яка на атомі кисню має дві неподілені пари електронів, супряжених з π -електронною системою бензенового кільця, що суттєво прискорює деструктивне окиснення ароматичної системи молекулою озону без залучення у процес метильної групи. Для нейтралізації негативного впливу замісника на процес окиснення, нами здійснено озонування 4-гідрокситолуену в розчині оцтового ангідриду в присутності мінеральної кислоти – тобто ацилюючої системи, в якій гідроксигрупа перетворюється в ацетоксигрупу, де вплив неподілених пар електронів на бензенове кільце нейтралізується за рахунок супряження з електронною системою карбонільної групи [10], що забезпечує часткове окиснення метильної групи. Характерно, що природа мінеральної кислоти практично не впливає на селективність окиснення, але помітно змінює швидкість процесу (рис. 2). Серед досліджених кислот кращі результати дає окиснення в присутності сульфатної кислоти (рис. 2).

Ацилювання оцтовою кислотою в присутності H_2SO_4 відбувається досить повільно і при ступені перетворення субстрату 50% виникає рівновага з припиненням подальшого ацилювання (рис. 3). В середовищі оцтового ангідриду навіть за відсутності H_2SO_4 субстрат кількісно перетворюється у ацильоване похідне, а за умов каталізу мінеральною кислотою процес закінчується за 7–8 хв, тобто за час приготування розчину 4-гідрокситолуену для окиснення (рис. 3). У зв'язку з цим у подальшому в роботі обговорюється окиснення ні 4-гідрокситолуену, а його ацильованого похідного – 4-ацетокситолуену (4-АОТ).

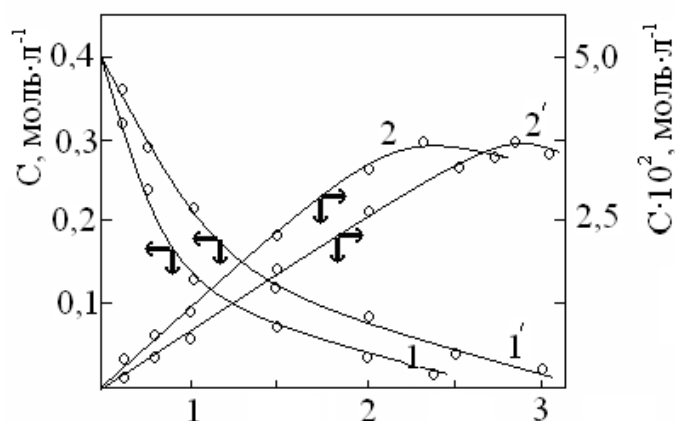


Рис. 2. Вплив природи мінеральної кислоти на швидкість і селективність окиснення 4-ацетокситолуену озonom в оцтовому ангідриді при 288 К: 1 – витрата 4-ацетокситолуену; 2 – сумарне накопичення продуктів окиснення за метильною групою. Цифри без штриха – в присутності H_2SO_4 , зі штрихом – в присутності H_3PO_4

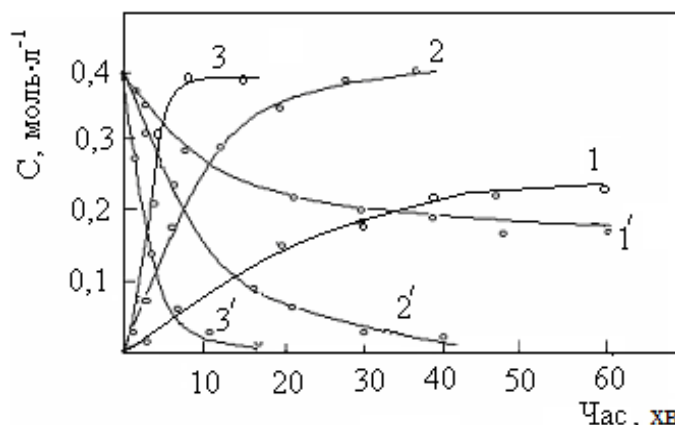


Рис. 3. Кінетичні закономірності ацилювання 4-гідрокситолуену при 293К: 1 – в оцтовій кислоті в присутності сульфатної кислоти; 2 – в оцтовому ангідриді без сульфатної кислоти; 3 – в оцтовому ангідриді в присутності сульфатної кислоти; цифри зі штрихом – витрата 4-гідрокситолуену; цифри без штриха – нагромадження 4-ацетокситолуену. $[ArCH_3]_0=0,4$; $[H_2SO_4]_0 = 1,2$ моль·л⁻¹; $V_p=0,01$ л. (C – концентрація; τ - час)

Дослідженнями встановлено, що окиснення 4-АОТ за метильною групою в оцтовому ангідриді відбувається через утворення відповідних 4-ацетоксибензилового спирту (4-АОБС) та 4-ацетоксибензальдегіду (4-АОБА) з подальшим їх ацилюванням і перетворенням у 4-ацетоксибензойну кислоту (4-АОБК) (рис. 4, (III)).

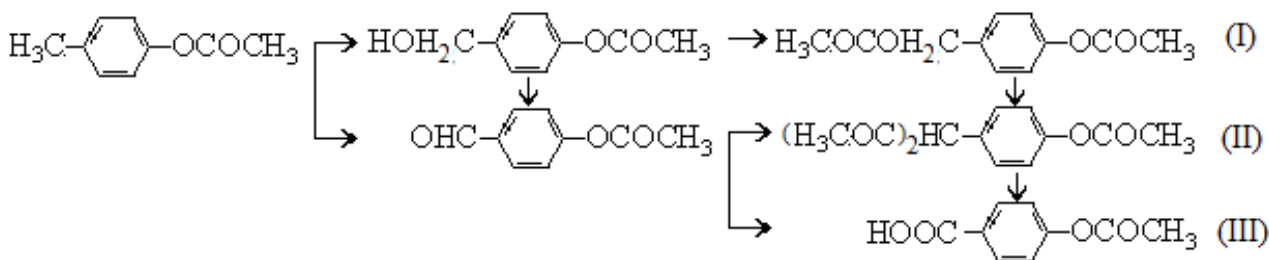


Рис. 4. Схема окиснення 4-ацетокситолуолу озonom у рідкій фазі

Ця схема реалізується за наявності принаймні двох умов: 1. Швидкість ацилювання утворених спирту і альдегіду повинна бути значно вищою за швидкість їх озонування. 2. Швидкість озонування 4-ацетоксибензилацетату (4-АОБА, (I)) та 4-ацетоксибензилідендіацетату (4-АОБДА, (II)) не може перевищувати швидкість озонування 4-АОТ.

Для якісної оцінки виконання першої умови були визначені константи швидкості реакцій озонування і ацилювання незаміщеного бензилового спирту. Одержані їх значення (відповідно $3,4 \text{ л} \cdot (\text{моль} \cdot \text{с})^{-1}$ та $500 \text{ л} \cdot (\text{моль} \cdot \text{с})^{-2}$) показали, що швидкість ацилювання спирту на два порядки вища за швидкість його озонування. Вочевидь, подібна закономірність спостерігається і для заміщених бензилового спирту та альдегіду, у тому числі і для 4-АОБС та 4-АОБА.

Друга умова також виконується. З табл. 2 видно, що швидкість озонування 4-АОБА і 4-АОБДА приблизно у два-три рази нижча за швидкість озонування 4-АОТ.

Таблиця 2

Константи швидкості реакції озону з 4-АОТ та продуктами його окиснення в оцтовому ангідриді при 278 К

Сполука	$[\text{O}_3]_0 \cdot 10^4$ моль·л ⁻¹	$[\text{ArH}]_0 \cdot 10^2$, моль·л ⁻¹	$k_{\text{эф}}$, л·(моль·с) ⁻¹
4-АОТ	0,28÷0,57	15,1÷35,9	0,59±0,06
4-АОБА	0,37÷0,57	0,8÷0,9	0,24±0,02
4-АОБДА	0,40÷0,57	0,5÷0,8	0,21±0,02

Основним продуктом окиснення 4-АОТ у середовищі оцтового ангідриду при 278 К є пероксидні сполуки – продукти руйнування бензенового кільця і у меншій мірі – продукти окиснення за метильною групою: 4-АОБА, 4-АОБДА та 4-АОБК. При озонуванні в присутності сульфатної кислоти – каталізатора реакції ацилювання, при тій же селективності основними продуктами є 4-АОБА і 4-АОБДА, а 4-АОБК в цих умовах на утворюється (табл. 3).

Таблиця 3

Окиснення 4-АОТ в оцтовому ангідриді при 278К. $[\text{O}_3]_0 = 4 \cdot 10^4$; $[\text{ArCH}_3]_0 = 0,4 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$

$[\text{H}_2\text{SO}_4]_0$, моль·л ⁻¹	Вихід продуктів окиснення, %			
	Пероксиди	4-АОБА	4-АОБДА	4-АОБК
–	78,6	7,8	3,4	9,2
1,2	78,0	13,0	7,5	–

Подібне протікання реакції озону з 4-АОТ пов'язане з каталітичними властивостями мінеральної кислоти в реакціях ацилювання [9]. За її відсутності швидкість ацилювання у 2 рази нижча, ніж за умов каталізу (рис. 2). Тому у першому випадку певна частина утвореного альдегіду – проміжного продукту при утворенні бензойних кислот, не встигає ацилюватись і окиснюється до 4-АОБК за відомим механізмом [10].

З вище наведеного витікає, що окиснення 4-АОТ за метильною групою зупиняється на стадії утворення 4-АОБА і 4-АОБДА при озонуванні у розчині оцтового ангідриду в присутності сульфатної кислоти. Але, навіть за цих умов основним напрямком окиснення залишається озоноліз ароматичного кільця, сумарний вихід продуктів окиснення за метильною групою не перевищує 20,5 %.

Зважаючи на існуючі методи селективного окиснення алкіларенів [7], нами з метою підвищення селективності були проведені дослідження реакції озону з 4-АОТ в присутності каталізаторів – солей перехідних металів (табл. 4).

Як каталізатори були вивчені ацетати перехідних металів. Виявилось, що, за винятком кобальт(II) ацетату, швидкість і селективність окиснення 4-АОТ залежить від редокс-

потенціалу пари Me^{n+}/Me^{n+1} , зростають в ряду $Ni(II) < Cr(III) < Mn(II)$ і є максимальними за умов каталізу реакції окиснення манган(II) ацетатом (табл. 4).

Таблиця 4

Вплив природи металу на швидкість і селективність окиснення 4-ацетокситолуену в оцтовому ангідриді при 293К.
 $[AcOArCH_3]_0=0,4; [Me(OAc)_2]_0=0,1; [H_2SO_4]_0=1,2; [O_3]_0=4,0 \cdot 10^{-4}$ моль·л⁻¹

Каталізатор	E_p^{298} М/М ⁺ [11]	$r \cdot 10^4$, моль·л ⁻¹ ·с ⁻¹	Вихід продуктів ароматичного характеру, %	
			4-Ацетокси-бензилацетат	4-Ацетоксибензиліден-діацетат
Co(OAc) ₂	1,810	1,5	4,2	15,5
Mn(OAc) ₂	1,510	1,9	40,6	10,2
Cr(OAc) ₃	0,740	0,6	36,1	6,2
Ni(OAc) ₂	0,407	0,9	30,2	3,0

Селективність окиснення за метильною групою за умов каталізу манган(II) ацетатом досягає 77,2%, основним продуктом окиснення є 4-АОБА (63,2 %), 4-АОБДА утворюється в значно менших кількостях (14,0 %).

Кінетика окиснення 4-АОТ озonom у присутності манган(II) ацетату приведена на рис. 5. При температурі 278 К Mn(II) за перші 7 хв переходить у Mn(III) і далі його концентрація у розчині не змінюється. Досягнення максимальної швидкості утворення 4-АОБА і 4-АОБДА за часом співпадає переходом каталізатора у тривалентний стан. Якщо манган вводиться у систему у вигляді Mn(III), продукти реакції накопичуються відразу з максимальною швидкістю. Подачу озону необхідно здійснювати безперервно. Призупинення його подачі призводить до затухання процесу окиснення, при цьому Mn(III) переходить у Mn(II). Витрата озону на окиснення 4-АОТ перевищує теоретичне значення і досягає 114%.

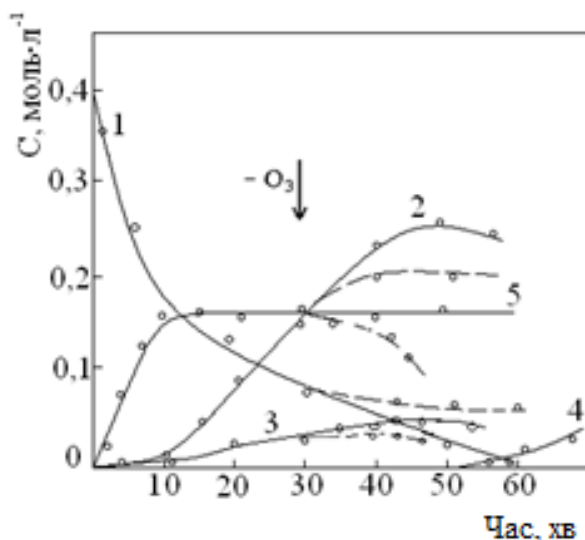
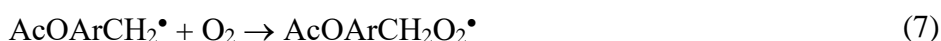
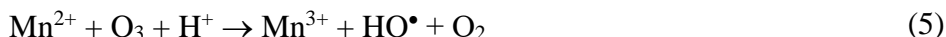
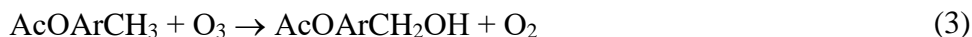
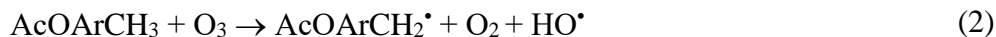


Рис. 5. Кінетичні криві окиснення 4-АОТ озonom в оцтовому ангідриді в присутності манган(II) ацетату при 278 К. $[4\text{-АОТ}]_0 = 0,4; [Mn(OAc)_2]_0 = 0,18; [H_2SO_4]_0 = 1,2; [O_3]_0 = 4,0 \cdot 10^{-4}$ моль·л⁻¹; $V_p = 0,01$ л; $\tau = 1$ ч; стрілкою показано припинення подачі озону у систему. 1 – 4-АОТ; 2 – 4-АОБА; 3 – 4-АОБДА; 4 – 4-АОБК; 5 – манган(III) ацетат

Аналіз одержаних кінетичних даних свідчить про те, що озонування 4-АОТ в присутності манган(II) ацетату протікає за схемою, яка не відрізняється від прийнятої схеми селективного окиснення інших метилбензенів [7]: руйнівний вплив озону на ароматичну

систему запобігається його швидкою реакцією з Mn(II) з утворенням активної частинки Mn(III) (5), яка і залучає 4-АОТ в окиснення за метильною групою (6). Далі в атмосфері кисню утворюється 4-ацетоксипероксидний радикал (7), подальше перетворення якого, вочевидь, не відрізняється від схеми іон-радикального окиснення вуглеводнів [7, 8, 10]:



У відсутності манган (II) ацетату переважає реакція деструктивного окиснення бензенового кільця (4). За умов каталізу відбувається швидка реакція утворення Mn(III) (5), яка за швидкістю значно перевищує реакцію (4). Реакція (6) утворення ацетоксибензильного радикалу хоча і досить повільна (табл. 5), але за рахунок високої концентрації каталізатора її швидкість перевищує швидкість реакції (4) і тому відбувається селективне окиснення за метильною групою.

Таблиця 5

Кінетичні параметри реакцій каталітичної схеми при озонуванні 4-АОТ

Номер реакції	k, л·(моль·с) ⁻¹	г, моль·(л·с) ⁻¹
4	0,47	1,9·10 ⁻⁵
5	19,20	1,4·10 ⁻³
6	0,01	7,2·10 ⁻⁴
7	~10 ⁸	

Примітка: умови див. рис. 5.

Як відмічалось вище, кобальт(II) ацетат не проявляє каталітичної активності в реакції окиснення 4-АОТ озonom в оцтовому ангідриді з добавками сульфатної кислоти, що є досить несподіваним, оскільки Со(II) володіє найвищим серед досліджених нами СПМ редокс-потенціалом (табл. 4). Для порозуміння цього факту були проведені дослідження, в результаті яких встановлені наступні факти (рис. 6):

1. При озонуванні Со(III) в присутності сульфатної кислоти колір розчину залишається рожевим, характерним для розчину двовалентного кобальту.

2. В системі Ac₂O-H₂SO₄-O₃-4-АОТ окиснюється дуже повільно (кр. 1).

3. В оцтовому ангідриді без сульфатної кислоти Co(II) швидко окиснюється до Co(III), який досить повільно реагує з оцтовим ангідридом (за нашими даними при 293 К $k_{\text{Co(III)+Ac}_2\text{O}} = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ л} \cdot (\text{моль} \cdot \text{с})^{-1}$), в результаті чого і після 10 хв витримки розчину (без подачі озону) концентрація Co(III) у розчині практично не змінюється (кр. 2).

4. Введення у систему Co(III)-Ac₂O сульфатної кислоти (1,2 моль·л⁻¹) призводить до швидкого (протягом хвилини) відновлення Co(III) до Co(II) (кр. 3). Характерно, що доданий до системи одночасно з сульфатною кислотою 4-АОТ протягом контрольованого часу практично не витрачається.

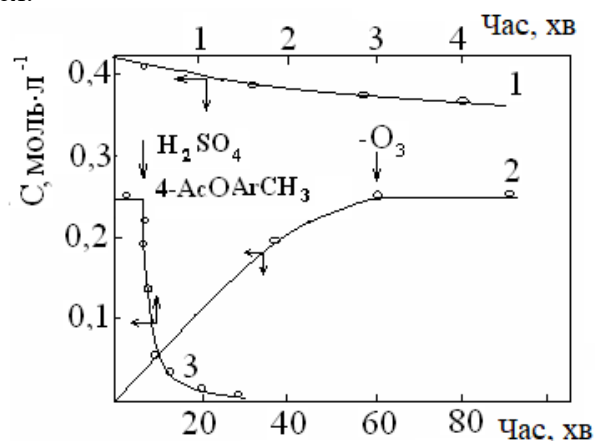


Рис. 6. Кінетичні криві окиснення 4-АОТ Co(III) у присутності сульфатної кислоти (1); накопичення Co(III) в реакції Co(II) з озоном без сульфатної кислоти (2); витрачання Co(III) у присутності сульфатної кислоти та 4-АОТ (3)

Сукупність цих експериментальних даних є досить переконливим доказом швидкого відновлення Co(III) в реакції з оцтовим ангідридом в присутності сульфатної кислоти. Кінетичні дослідження підтверджують цей висновок: константа швидкості Co(III) з оцтовим ангідридом при 278 К дорівнює $2,1 \cdot 10^{-3} \text{ л} \cdot (\text{моль} \cdot \text{с})^{-1}$, а в присутності сульфатної кислоти вона зростає на два порядки $k = 0,1 \text{ л} \cdot (\text{моль} \cdot \text{с})^{-1}$, при цьому швидкість реакції витрачання Co(III) (6) $r = 7,2 \cdot 10^{-4} \text{ моль} \cdot (\text{л} \cdot \text{с})^{-1}$, а за реакцією з оцтовим ангідридом $r = 0,18 \text{ моль} \cdot (\text{л} \cdot \text{с})^{-1}$. Таким чином Co(III) в системі, що досліджується, втрачає свої каталітичні здібності за рахунок високої швидкості відновлення за реакцією з оцтовим ангідридом в присутності сульфатної кислоти. Манган(II) ацетат за цих умов зберігає каталітичну активність і забезпечує селективне окиснення 4-АОТ до 4-АОБА. Подальше окиснення ацильованого спирту протікає досить повільно (табл. 6), тому 4-АОБДА утворюється не більше 14%.

Таблиця 6

Кінетичні параметри реакцій каталітичного циклу при 278 К

Номер реакції	Реакція	$k, \text{ л} \cdot (\text{моль} \cdot \text{с})^{-1}$	$r, \text{ моль} \cdot (\text{л} \cdot \text{с})^{-1}$
(5)	$\text{Mn}^{2+} + \text{O}_3$	19,20	$1,4 \cdot 10^{-3}$
(14)	$\text{Mn}^{2+} \text{Br}^- + \text{O}_3$	20,30	$0,8 \cdot 10^{-3}$
(2,3,4)	$\text{O}_3 + 4\text{-АОТ}$	0,47	$1,9 \cdot 10^{-5}$
(6)	$\text{Mn}^{3+} + 4\text{-АОТ}$	$10,00 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-4}$
(15)	$\text{Mn}^{2+} \text{Br}^\bullet + 4\text{-АОТ}$	$3,10 \cdot 10^{-2}$	$12,4 \cdot 10^{-4}$
(10)	$\text{Mn}^{3+} + 4\text{-АОБА}$	$4,70 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$
(16)	$\text{Mn}^{2+} \text{Br}^\bullet + 4\text{-АОБА}$	$9,21 \cdot 10^{-3}$	$3,7 \cdot 10^{-4}$
(12)	$\text{Mn}^{3+} + 4\text{-АОБДА}$	$1,87 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$
	$\text{Mn}^{2+} \text{Br}^\bullet + 4\text{-АОБДА}$	$4,92 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$

Примітка: умови див. рис. 7.

Більш глибоке окиснення 4-АОТ досягається в присутності манган(II) ацетату з домішками калій броміду. Відомо, що в присутності бромідів лужних металів СПМ утворюють металбромідні радикали, які за своєю каталітичною активністю перевищують СПМ [12], що сприяє подальшому окисненню 4-АОБА до 4-АОБДА:

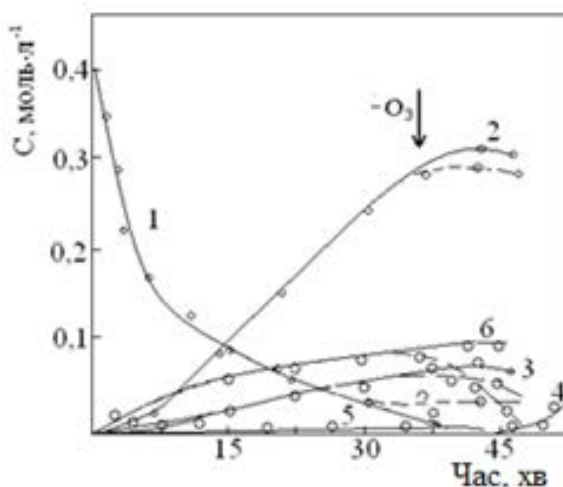
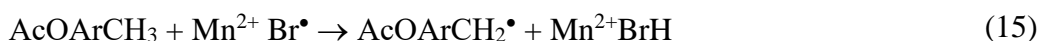
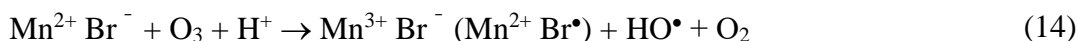


Рис. 7. Кінетичні криві окиснення 4-АОТ озonom в оцтовому ангідриді при 278 К в присутності манганбромідного каталізатора.

$[\text{4-АОТ}]_0 = 0,4$; $[\text{O}_3]_0 = 4,0 \cdot 10^{-4}$; $[\text{H}_2\text{SO}_4]_0 = 1,2$; $[\text{Mn}(\text{OAc})_2]_0 = 0,1$; $[\text{KBr}]_0 = 0,1$ моль·л⁻¹;
 1 – 4-АОТ; 2 – 4-АОБДА; 3 – 4-АОБА; 4 – 4-АОБК; 5 – 4-АОББ; 6 – манган(III) ацетат.
 (стрілкою позначено момент припинення подачі озону до системи)

З рис. 7 видно, що при озонуванні 4-АОТ в оцтовому ангідриді в присутності манганбромідного каталізатора і сульфатної кислоти при 278 К швидкість і глибина окиснення підвищується, основним продуктом реакції є 4-АОБДА (78,0%), крім того ідентифіковано 4-АОБА (16,5%) та 4-ацетоксибензилбромід (4-АОББ) (1,5%).

За вичерпним окисненням 4-АОТ в системі починає накопичуватись 4-АОБК. Призупинення подачі озону у систему, як і у випадку каталізу манган (II) ацетатом, гальмує процес окиснення. Витрата озону на моль субстрату вище теоретично необхідної кількості і дорівнює 110%.

Висновок:

1. На підставі вивчення кінетичних закономірностей та механізму рідиннофазного окиснення 4-гідрокситолуену озonom розроблені нові каталітичні системи, які дозволяють спрямовувати окиснення переважно за метильною групою субстрату та зупиняти реакцію на різних глибинах окиснення. Виявлено шляхи підвищення активації каталітичної активності перехідних металів.

2. Показано, що манган(II) ацетат, який має відносно низький редокс-потенціал, в системі $\text{Ac}_2\text{O}-\text{ArCH}_3-\text{H}_2\text{SO}_4-\text{O}_3$ при температурах до 313 К володіє високою субстратною селективністю в реакціях утворення 4-гідроксибензилового спирту. Манган(II) ацетат в

присутності калій броміду утворює манганбромідний комплекс з підвищеною каталітичною активністю, який за тих же умов сприяє переважному одержанню 4-гідроксибензальдегіду.

3. Запропоновано важелі запобігання озонлізу 4-гідрокситолуену і управління глибиною озонування за метильною групою. Показано, що відсутність каталітичної активності кобальт(II) ацетату, який є ефективним каталізатором озонування метилбензенів до бензойних кислот, пов'язано з високою швидкістю реакції відновлення Co(III) у Co(II) у системі $As_2O-H_2SO_4-O_3$.

4. Отримані дані можуть бути основою для розробки основ технології бензилових спиртів та бензальдегідів шляхом каталітичного окиснення алкілбензенів озоном у рідкій фазі.

References

1. Jun-Hui Choi, Soo-Hwan Yeo, Myung-Kon Kim, Hyo-Jeong Lee, Seung Kim (2018). *p*-Hydroxybenzyl alcohol inhibits four obesity-related enzymes in vitro. *J. Biochem Mol. Toxicol.*, Vol. 32, № 12. P. 745–750.
2. Bora Shin, Chulwoo Park, James A. Imlay, Woojun Park (2018). 4-Hydroxybenzaldehyde sensitizes *Acinetobacter baumannii* to amphenicols. *Applied microbial and cell physiology*, Vol. 102, P. 2323–2325.
3. Geetha Sarasan (2011). Kinetics of Micellar Catalyzed Oxidation of *m*-Cresol by Chloramine-T. *Asian Journal of Chemistry*, Vol. 23, № 7, P. 2977–2980.
4. Bhaskar, M., Surekha, M., Suma, N. (2018). Esterification of phenyl acetic acid with *p*-cresol using metal cation exchanged montmorillonite nanoclay catalysts. *R Soc Open Sci.*, Vol. 5, № 2, P. 171378.
5. Ignaczak, M., Dziegiec, J. (1984). Oxidation reactions of cresols with cerium (IV) in aqueous solutions of perchoric acid. *Pol. J. Chem.*, Vol. 58, № 1, P. 23–30.
6. Galstyan, G. A., Tyupalo, N. F., Razumovskiy, S. D. (2004). Ozon i ego reaktsii s aromaticeskimi soedineniyami v zhidkoy faze [Ozone and its reactions with aromatic compounds in the liquid phase]. Lugansk: VUNU. 272 p. [in Ukrainian].
7. Galstyan, G. A., Tyupalo, N. F., Galstyan, A. G. (2009). Zhidkofaznoe kataliticheskoe okislenie aromaticeskikh soedineniy ozonom [Liquid-phase catalytic oxidation of aromatic compounds with ozone]. Lugansk: Izd. VNU im. V. Dalya. 415 p. [in Ukrainian].
8. Pan, H., Li, S., Shu, M., Cui, Q., Zhao, Z. (2018). *p*-Xylene catalytic oxidation to terephthalic acid by ozone. *Science Asia*, Vol. 44, P. 212–217.
9. Potapenko, E. V., Andreev, P. Y., Isayenko, I. P. (2018). Catalytic oxidation of 4-nitrotoluene with ozone in the system acetic anhydride–trichloroacetic acid. *Pytannia khimii ta khimichnoi tekhnolohii = Questions of chemistry and chemical technologies*, № 4, P. 43–47.

Література

1. Jun-Hui Choi, Soo-Hwan Yeo, Myung-Kon Kim, Hyo-Jeong Lee, Seung Kim. *p*-Hydroxybenzyl alcohol inhibits four obesity-related enzymes in vitro. *J. Biochem Mol. Toxicol.* 2018. Vol. 32, № 12. P. 745–750.
2. Bora Shin, Chulwoo Park, James A. Imlay, Woojun Park. 4-Hydroxybenzaldehyde sensitizes *Acinetobacter baumannii* to amphenicols. *Applied microbial and cell physiology*. 2018. Vol. 102. P. 2323–2325.
3. Geetha Sarasan. Kinetics of Micellar Catalyzed Oxidation of *m*-Cresol by Chloramine-T. *Asian Journal of Chemistry*. 2011. Vol. 23, № 7. P. 2977–2980.
4. Bhaskar M., Surekha M., Suma N. Esterification of phenyl acetic acid with *p*-cresol using metal cation exchanged montmorillonite nanoclay catalysts. *R Soc Open Sci.* 2018. Vol. 5. № 2. P. 171378.
5. Ignaczak M., Dziegiec J. Oxidation reactions of cresols with cerium (IV) in aqueous solutions of perchoric acid. *Pol. J. Chem.* 1984. Vol. 58, № 1. P. 23–30.
6. Галстян Г. А., Тюпало Н. Ф., Розумовський С. Д. Озон та його реакції з ароматичними сполуками у рідкій фазі. Луганськ: ВУНУ, 2004. 272 с.
7. Галстян Г. А., Тюпало Н. Ф., Галстян А. Г. Рідиннофазне каталітичне окиснення ароматичних сполук озоном. Луганськ: Вид. ВНУ ім. В. Даля, 2009. 415 с.
8. Pan H., Li S., Shu M., Cui Q., Zhao Z. *p*-Xylene catalytic oxidation to terephthalic acid by ozone. *Science Asia*. 2018. Vol. 44. P. 212–217.
9. Potapenko E. V., Andreev P. Y., Isayenko I. P. Catalytic oxidation of 4-nitrotoluene with ozone in the system acetic anhydride–trichloroacetic acid. *Питання хімії та хімічної технології*. 2018. № 4. P. 43–47.

10. Bailey, P. S. (1982). Ozonation in organic chemistry. Nonolefinic Compounds. N-Y, L. Academic Press. Vol. 2. 497 p.
11. Halstian, A. H., Baula, O. P., Bushuiev, A. S., Halstian, H. A. (2022). Katalitychne okysnennia 4-nitroetylbenzenu ozonom v otstovii kysloti [Catalytic oxidation of 4-nitroethylbenzene by ozone in acetic acid]. *Pytannia khimii ta khimichnoi tekhnolohii = Questions of chemistry and chemical technology*, № 2, P. 38–42 [in Ukrainian].
12. Nakamura, A., Tsutsui, M. (1981). Principles and applications of homogeneous catalysis. *J. Chem. Educ.*, Vol. 58, № 7, P. 225–231.
10. Bailey P. S. Ozonation in organic chemistry. Nonolefinic Compounds. N-Y, L. Academic Press, 1982. Vol. 2. 497 p.
11. Галстян А. Г., Баула О. П., Бушуєв А. С., Галстян Г. А. Каталітичне окиснення 4-нітроетилбензену озonom в оцтовій кислоті. *Питання хімії та хімічної технології*. 2022. № 2. С. 38–42.
12. Nakamura A., Tsutsui M. Principles and applications of homogeneous catalysis. *J. Chem. Educ.* 1981. Vol. 58, № 7. P. 225–231.

HALSTIAN ANDRII

Doctor of Chemical Sciences, Professor,
Department of Industrial Pharmacy, Kyiv National
University of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8475-8166>
Scopus Author ID: 7003679858
E-mail: aggaalst@gmail.com

KRAVCHUK M.

Student, Department of Industrial Pharmacy,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine

PAKHOMOVA D.

Student, Department of Industrial Pharmacy,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine

HALSTIAN A., KRAVCHUK M., PAKHOMOVA D.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

**THE STUDY OF A CATALYTIC SYSTEM FOR THE SELECTIVE OXIDATION OF
4-HYDROXYTOLUENE BY OZONE IN THE LIQUID PHASE**

Purpose. To investigate the peculiarities of the catalytic action of transition metals in combination with mineral acids for the creation of selective syntheses of oxygen-containing derivatives of methylbenzenes by direct oxidation by ozone in the liquid phase.

Methodology. A glass column with a porous membrane was used to disperse the gas to establish the kinetic regularities of the reactions of ozone with 4-hydroxytoluene and its acylated derivative. The kinetic parameters of the reaction were studied in a reactor of the "catalytic duck" type, the shaking of which at a speed of 8 oscillations per second provided the kinetic region of the process. The concentration of ozone in the gas phase and the rate constants of its reactions with arenes were determined using the spectrophotometric method of analysis on the SF-46 spectrophotometer. Quantitative content of the reaction mass was recorded by the method of gas-liquid chromatography on the LHM-8MD chromatograph. The concentration of aliphatic peroxides was determined by the method of iodometric titration.

Findings. The catalytic reaction of the oxidation of 4-hydroxytoluene by ozone in the liquid phase was studied. It was established that, in the absence of a catalyst, ozonolysis of the aromatic ring with the formation of aliphatic products takes place, and the total yield of oxidation products by the methyl group of the substrate does not exceed 20.5%. Only after adding to the system catalysts based on transition metal salts, it is possible to increase the selectivity and yield of oxidation products by the methyl group up to 77.2%. Under the conditions of the experiment, the main products are 4-acetoxybenzyl acetate (63.2%) and 4-acetoxybenzylidene diacetate (14.0%).

It is shown that in the studied system $\text{ArCH}_3\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-Ac}_2\text{O-O}_3$, manganese(II) acetate exhibits the greatest catalytic activity, while cobalt salts have practically no catalytic activity under these conditions.

Addition of potassium bromide to the oxidation system increases not only the selectivity of oxidation by the methyl group (94.5%), but also the depth of oxidation. The main reaction product is 4-acetoxybenzylidene diacetate (78.0%), which, if necessary, can be easily hydrolyzed to 4-hydroxybenzaldehyde.

Originality. The possibility of direct selective oxidation of 4-hydroxytoluene by ozone is shown. Selected catalytic systems that allow stopping the reaction at the stage of formation of the corresponding aromatic alcohol or aldehyde. It was established that the lack of catalytic activity of cobalt(II) acetate under the conditions of the experiment is related to the high reaction rate of reduction of Co(III) to Co(II) in the As_2O_3 – H_2SO_4 – O_3 system.

Practical value. The obtained experimental data are the basis for the creation of environmentally friendly technologies for the synthesis of aromatic alcohols and aldehydes, which are widely used as active pharmaceutical ingredients for the manufacture of medicinal products.

Keywords: catalyst; ozone; oxidation; 4-hydroxytoluene; manganese(II) acetate; sulfuric acid; 4-hydroxybenzyl alcohol; 4-hydroxybenzaldehyde.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.1.7>

УДК 677.494

¹ПЛАВАН В. П., ¹ЩЕНКО О. В., ²ТАРАСЕНКО Н. В.,
¹БУДАШ Ю. О., ¹КОЛОДІЙ А. І.

¹ Київський національний університет технологій і дизайну, Україна

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

ЗАСТОСУВАННЯ НАПОВНЕНИХ ДИСПЕРСІЙ ВОДОРОЗЧИННИХ ПОЛІМЕРІВ ДЛЯ ФУНКЦІОНАЛІЗАЦІЇ ВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета дослідження – визначення впливу типу та концентрації полімерної сполучної речовини та кількості введеного адсорбенту на реологічні характеристики наповнених полімерних дисперсій і фізико-механічні властивості комбінованих волокнистих матеріалів для технологій водоочищення.

Методика. Як основа для отримання волокнистих сорбційних матеріалів в роботі був використаний голкопробивний нетканний матеріал з поверхневою щільністю 227 г/м² (ПУ/ПА-6,6), отриманий з еластичних волокнистих відходів текстильної промисловості. Для підвищення сорбційної здатності матеріалів вводили порошок глини монтморилітового типу в кількості до 5–10% від маси. Як водорозчинні полімери для просочення волокнистої основи було обрано полівініловий спирт і крохмаль. Досліджували вплив концентрації полімерних розчинів на реологічні характеристики наповнених полімерних дисперсій. Реологічні властивості наповнених полімерних композицій визначалися за допомогою ротаційного віскозиметра NDJ-9S (КНП). Механічні характеристики нетканних матеріалів визначали на розривній машині типу РМ-30, відповідно стандарту ДСТУ ISO 9073-3:2003.

Результати. Встановлено, що концентрація полімерного сполучного та кількість мінерального сорбенту впливають на поверхневу щільність волокнистих матеріалів, просочених дисперсіями крохмалю і ПВС. Введення глини до 10% від маси сполучного призводить до значного зростання поверхневої щільності волокнистих матеріалів, хоча одночасно спостерігається зниження їх міцності. Нанесення наповненої дисперсії ПВС призводить до зниження розривного навантаження майже вдвічі із збільшенням кількості введеної глини. Розривне навантаження знижується майже на чверть із збільшенням кількості введеної глини в розчині крохмалю вищої концентрації.

Нанесення 3% дисперсії ПВС або 2–3% дисперсії крохмалю з введенням 5% глини забезпечує отримання достатньо еластичних волокнистих матеріалів з хорошими показниками міцності. А враховуючи раніше отримані результати про те, що обробка волокнистої основи 3%-вими дисперсіями ПВС і крохмалю, наповненими глинистими мінералами, сприяє підвищенню сорбційної здатності отриманих матеріалів, ці волокнисті композити для технологій водоочищення можуть бути рекомендовані.

Наукова новизна. Визначили раціональні умови отримання наповнених полімерних дисперсій з необхідними реологічними властивостями для просочення нетканних матеріалів на основі волокнистих відходів і отримання волокнистих композитів з сорбційними властивостями з відповідними фізико-механічними властивостями.

Практична значимість. Сорбційні матеріали, отримані на основі волокнистих відходів ПУ/ПА-6,6, просочені наповненими дисперсіями водорозчинних полімерів, можуть бути в подальшому використані для очищення стічних вод підприємств легкої і хімічної промисловості від іонів важких металів, що може мати важливе значення для захисту довкілля і здоров'я людей.

Ключові слова: полімерні дисперсії; неткані матеріали; глинисті мінерали; фізико-механічні властивості; волокнисті композити; сорбційні властивості; технології водоочищення.

Вступ. Сучасні технології вимагають застосування матеріалів, що відповідають вимогам, яким не можуть задовольнити звичайні металеві сплави, кераміка чи полімерні матеріали. Особливо це стосується матеріалів спеціального призначення, зокрема теплоізоляційних [1], звукоізоляційних чи для технологій водоочищення [2]. Наприклад, збільшується попит на матеріали, які мають низьку щільність, міцні, жорсткі, стійкі до стирання та ударів і не піддаються корозії. Це досить нетипове поєднання характеристик,

оскільки дуже часто збільшення міцності або жорсткості призводить до зниження ударної в'язкості [3]. Удосконалені матеріали, залежно від функцій, які виконують, володіють специфічними властивостями, унікальними для них.

Є багато прикладів використання волокнистих матеріалів у процесах водоочищення [4]. Це розділові мембрани, виготовлені із ультратонкого волокна, іонообмінні волокна, мембрани з порожнистих волокон і ароматичні поліаміди у мембранних матеріалах зворотного осмосу. Ці мембранні технології використовуються в багатьох галузях застосування від невеликого очищення води в домашніх умовах до широкомасштабної фільтрації прісної води з морських джерел. Мікротонка фільтрація з використанням ультратонких мембран та мембрани зворотного осмосу використовуються для видалення дрібних домішок, таких як червона іржа, бактерії, хімічні продукти та солі з води. Багато видів фільтрації використовують натуральні, неорганічні, металеві та синтетичні волокна. Неткані матеріали успішно використовуються в промисловості для підсилення мембран для мікротонкого, ультратонкого та зворотного осмосу чи фільтрації. У фільтрації гарячого газу використовуються як фільтрувальні матеріали мінеральні, керамічні або металеві волокна.

Характеристики сучасного обладнання дозволяють інтенсифікувати процес формування волокнистих композиційних матеріалів. Мета такої інтенсифікації – прискорення фізико-хімічних процесів, що лежать в основі просочення, сушіння та термообробки волокнистих матеріалів, при цьому необхідно забезпечити збереження і покращення їх властивостей, за умов зниження енерговитрат і підвищення екобезпеки виробництва.

Дієвими способами інтенсифікації процесів просочування є: підвищення змочувальної здатності просочувальної рідини та її температури, примусова фільтрація розчину через товщу нетканого полотна, видалення повітря з матеріалу перед просочуванням, підвищення гідрофільності оброблюваного матеріалу.

Зокрема для покращення гідрофільності текстильного матеріалу використовували попередню його обробку в низькотемпературній плазмі [5]. Найбільш ефективним способом покращення поглинальної здатності волокон і наповнювача та полегшення проникнення полімерного сполучного розчину є фізична модифікація під впливом ультразвукових коливань високої інтенсивності. Ультразвукова технологія просочення, яка дозволяє вводити в структуру текстильного матеріалу наночастинки мінералів або благородних металів [6], ефективна при створенні щільних текстильних полімерних матеріалів для авіа- і ракетобудування.

Поєднання нетканних матеріалів та полімерного сполучного призводить до утворення нової волокнистої системи, властивості якої кардинально відрізняються від властивостей кожної із складових. Ознакою композиційного, комбінованого волокнистого матеріалу є значний взаємний вплив складових елементів композиту, їхні нові якості чи ефекти [7].

Повнота та ефективність перебігу основних процесів, що забезпечують формування комбінованих волокнистих матеріалів, визначається [8]:

- властивостями полімерного сполучного (здатність до змочування, в'язкість);
- властивостями волокнистих компонентів (природа волокнистого матеріалу, пористість та структура);
- вибором режимів формування (тривалість, температура).

Волокнисті матеріали мають пористу структуру, шорсткувату поверхню і велику кількість виступаючих волокон, завдяки чому створюються сприятливі умови для просочування або склеювання. Наявність у нитках, пряжі, волокнах та тканинах системи пор дозволяє полімерному сполучному затікати в них, що покращує площу контакту, збільшує змочування та дифузю, при цьому якість просочення та міцність адгезійного з'єднання також покращуються за рахунок механічної складової [9].

Вид полімерного сполучного та його склад вибираються в залежності від виду нетканого матеріалу і призначення готового виробу. Додатки, що вводяться в полімерну

композицію, можуть кардинально впливати на властивості полімерного сполучного: регулювати в'язкість, знижувати температуру розм'якшення, надавати спеціальні властивості (вогне-, термостійкість, антистатичні, бактерицидні властивості, водовідштовхування тощо).

Неткані матеріали фільтрувального призначення [10], отримані переважно за механічною технологією, знайшли застосування для очищення рідких і газоподібних середовищ від домішок методом механічного уловлювання нерозчинних і твердофазних частинок.

Найбільш перспективним, з точки зору вимог до очищення стічних вод, є метод фізичної (структурної) модифікації за допомогою введення в волокнисту основу різних типів твердих наповнювачів-адсорбентів, що дозволить поєднувати сорбційні і фільтрувальні властивості матеріалів, забезпечить потрібну селективність і підвищить ефективність водоочищення.

Постановка завдання. Мета дослідження – визначення впливу типу та концентрації полімерної сполучної речовини та кількості введеного адсорбенту на реологічні характеристики наповнених полімерних дисперсій і фізико-механічні властивості комбінованих волокнистих матеріалів для технологій водоочищення.

Методологія досліджень. Як основа для отримання волокнистих сорбційних матеріалів в роботі був використаний голкопробивний нетканий матеріал з поверхневою щільністю 227 г/м² (ПУ/ПА-6,6), отриманий з еластичних волокнистих відходів текстильної промисловості. Складається з комплексних волокон Lycra 162C (лінійна густина 4,4 текс) (ПУ), та волокон Nylon 6.6 f20/1 (лінійна густина 3,3 текс) (ПА-6,6) у співвідношенні 70/30 мас. %.

Для підсилення сорбційної здатності до волокнистих матеріалів вводили порошок глини в кількості 5 та 10% від маси. В результаті попередніх досліджень було визначено, що кращі сорбційні властивості мають неткані матеріали, наповнені глиною монтморилонітового типу [11]. Тому для подальших досліджень використали саме цю глину.

Глина М-3 (Монтморилоніт) – це шаруватий силікат із загальною формулою $(Ca,Na)(Al,Mg,Fe)_2(OH)_2[(Si,Al)_4O_{10}] \cdot nH_2O$. Хімічний склад мінералу: SiO₂ – 51,9%, Al₂O₃ – 17,10%, Fe₂O₃ – 7,92%, MgO – 1,18%, Na₂O, K₂O і CaO до 2% і H₂O – 8,78%. Глина М-3 – глина формовочна вогнестійка маломіцна за межею міцності при стисканні у вологому стані та малов'язка у сухому стані (ГОСТ 3226-93).

Як водорозчинні полімери для просочування волокнистої основи обрали полівініловий спирт (ПВС) і крохмаль (Кр). Вибір крохмалю як сполучного полімерного компоненту обумовлений його екологічністю, хорошою розчинністю у воді, стійкістю до мікробіологічних уражень, наявністю певних поверхнево-активних та сорбційних властивостей.

В практиці отримання полімерних покриттів методом поливу є необхідність використовувати розчини полімерів з різним значенням в'язкості, що визначається характеристиками устаткування та властивостями отримуваних матеріалів. Регулювання в'язкості відбувається шляхом зміни концентрації полімеру в розчині. Тому в роботі досліджували вплив концентрації полімерних розчинів на реологічні характеристики наповнених полімерних дисперсій.

В'язкість η визначається як коефіцієнт пропорційності між напругою зсуву τ та градієнтом швидкості зсуву γ :

$$\eta = \tau / \gamma.$$

Для більшості полімерних розчинів значення η залежить від швидкості та напруження зсуву. В досліджуваному інтервалі швидкостей зсуву, в'язкість розчинів полімерної композиції відповідає ступеневому закону та описується рівнянням Оствальда–де Вілла:

$$\eta = K \cdot \gamma^{n-1}$$

де K – коефіцієнт консистенції, що залежить як від природи матеріалу, так і від виду вимірювальної апаратури; n – індекс течії. Коефіцієнт K найбільш чутливий, в порівнянні з n , до зміни температури розчину. Константи рівняння справедливі тільки для певного діапазону швидкостей зсуву. Для ньютонівських рідин $n = 1$, але з ростом структурованості розчину та збільшенням аномальної в'язкості течії, показник n знижується [12].

Реологічні властивості наповнених полімерних композицій визначалися за допомогою ротаційного віскозиметра NDJ-9S (КНР).

Спочатку готували водні розчини полімерних сполучних речовин різних концентрацій, в які вводили глинисті мінерали, а потім отриману дисперсію наносили ракельним ножом на поверхню волокнистих матеріалів. Після нанесення наповненої дисперсії водорозчинного полімеру на поверхню волокнистого матеріалу візуально оцінювали стан зразків: рівномірність нанесення наповнювача, міцність його утримування зразком матеріалу, пористість структури. Результати оцінювання зразків наведені в табл. 1.

Механічні характеристики нетканих матеріалів визначали на розривній машині типу РМ-30, відповідно до стандарту [13]. Розривне навантаження нетканого матеріалу (P , Н) визначали для елементарної проби шириною 5 см, при попередньому навантаженні 100 сН та швидкості опускання нижнього затискача 100 мм/хв. Питоме розривне навантаження нетканого матеріалу (P_0 , Н·м/г) розраховували за формулою:

$$P_0 = P / M \cdot B$$

де P – розривне навантаження, Н; M – поверхнева щільність нетканого матеріалу, г/м²; B – ширина елементарної проби, м; Результати визначення фізико-механічних характеристик наведені в табл. 2.

Результати та їх обговорення. Характеристики зразків нетканого матеріалу складу ПУ/ПА-6,6, на які нанесли дисперсії водорозчинних полімерів різної концентрації (від 1 до 3%), наповнені глинистими мінералами наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати нанесення дисперсії водорозчинних полімерів з наповнювачем на поверхню нетканого матеріалу складу ПУ/ПА-6.6

Варіант	Полімерна сполучна речовина*	Концентрація розчину полімерної сполучної речовини %	Фактичний приріст маси зразка після нанесення дисперсії, %	Поверхнева щільність матеріалу M , г/ м ²	Якісна характеристика зразка**
1	Кр	1	68,6	347	4
2	Кр	2	80,4	374	4
3	Кр	3	107,8	383	5
4	ПВС	2	146,3	493	5
5	ПВС	3	190,2	525	5
6	Кр	1	137,3	449	3
7	Кр	2	139,8	467	4
8	Кр	3	159,1	486	5
9	ПВС	2	231,5	693	4
10	ПВС	3	258,4	863	5

* Кількість глини в розчині полімерної сполучної речовини 5% для варіантів 1–5; 10% – для варіантів 6–10;

** Якісна характеристика зразка вказується в балах від 1 до 5, де 5 – рівномірно нанесена наповнена дисперсія полімерів; однорідна пориста структура волокнистого матеріалу, міцно зафіксовані частинки глини у волокнистому матеріалі без просипання.

Як видно із наведених даних, підвищення концентрації полімерної сполучної речовини призводить до ущільнення структури волокнистих матеріалів і, як наслідок, до зростання їх поверхневої щільності. Також на величину поверхневої щільності впливає кількість мінерального сорбенту, нанесеного на волокнисту основу у складі дисперсії водорозчинних полімерів.

Зокрема, якщо поверхнева щільність волокнистого матеріалу вихідного становить 227 см/м^2 , то введення 5% глини з 1% розчином крохмалю призводить до зростання поверхневої щільності більше ніж на 50% (347 см/м^2), а введення 10% глини з 1% розчином крохмалю призводить до зростання поверхневої щільності майже на 100% (449 см/м^2 , табл. 1). Спостерігається безпосередній зв'язок між поверхневою щільністю матеріалів і кількістю введеної глини, про що свідчить значення фактичного приросту маси зразка, %.

Дослідження реологічних властивостей полімерних композицій. Реологічні властивості полімерних композицій на основі крохмалю і ПВС обумовлюються особливостями їх структури та становлять практичний інтерес, зокрема визначають найбільш раціональний спосіб формування волокнистого композиту. На в'язкість полімерної композиції впливають концентрація, температура, спорідненість полімеру до розчинника, тощо.

На рис. 1–2 наведена залежність в'язкості розчинів полімерних композицій на основі 2% розчинів крохмалю і ПВС, наповнених глиною, від градієнту швидкості зсуву. Як і для більшості високомолекулярних систем, зі збільшенням швидкості зсуву відбувається аномальне зниження в'язкості.

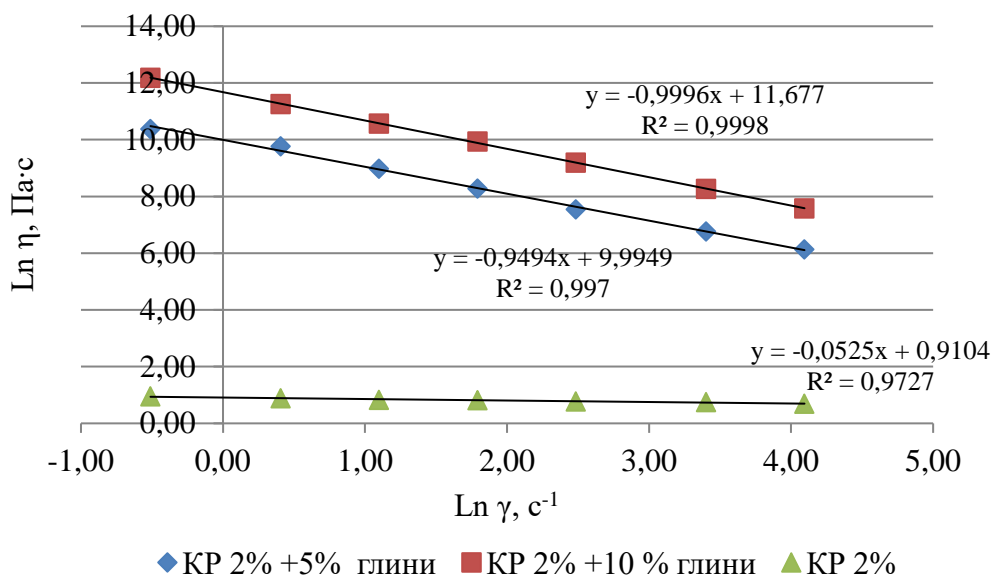


Рис. 1. Залежність в'язкості розчину полімерної композиції на основі крохмалю 2% з глиною від швидкості зсуву

З отриманих даних можна зробити висновок про те, що зі збільшенням вмісту глини в полімерній композиції відбувається зростання показника в'язкості.

Визначали константи K та n рівняння Оствальда–де Вілла для наповнених дисперсій крохмалю, ПВС з різним вмістом глини (табл. 2). Отримані експериментальні дані вказують на те, що дисперсії крохмалю та ПВС з додаванням глини 5 та 10% відносяться до псевдопластичних систем, але індекс течії вказує на низький ступінь псевдопластичності. Чисті розчини крохмалю різної концентрації (1–3%) та ПВС (2–3%) за показниками індексу течії $n = 0,93 - 0,96$ наближаються до ньютонівських рідин з $n = 1$, таким чином, швидкість зсуву фактично не впливає на в'язкість розчинів.

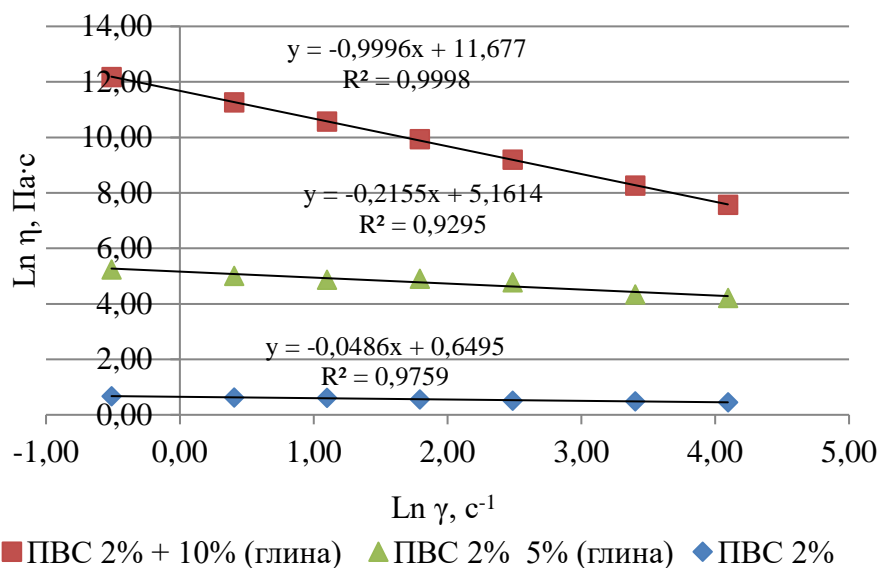


Рис. 2. Залежність в'язкості розчину полімерної композиції на основі ПВС 2% з глиною від швидкості зсуву

Таблиця 2

Значення констант K та n рівняння Оствальда–де Вілла для наповнених дисперсій крохмалю, ПВС з різним вмістом глини

Склад композицій	K , Па*с	n
Кр 1% без глини	0,77	0,96
Кр 1% + 5% глини	8,87	0,14
Кр 1% + 10% глини	11,53	0,05
Кр 2% без глини	0,91	0,95
Кр 2% + 5% глини	9,99	0,06
Кр 2% + 10% глини	11,67	0,01
Кр 3% без глини	1,27	0,93
Кр 3% + 5% глини	10,28	0,01
Кр 3% + 10% глини	11,67	0,01
ПВС 2% без глини	0,65	0,96
ПВС 2% + 5% глини	5,16	0,79
ПВС 2% + 10% глини	11,67	0,01
ПВС 3% без глини	1,51	0,88
ПВС 3% + 5% глини	5,16	0,79
ПВС 3% + 10% глини	11,67	0,01

Аналізуючи отримані дані (табл. 2), бачимо, що при додаванні глини індекс течії розчину n знижується порівняно з ПВС та крохмалем без глини, що свідчить про зростання структурованості системи. У більш концентрованих розчинах крохмалю з додаванням однакової кількості глини зниження індексу течії n відбувається більш помітно: $n = 0,14$ для розчину крохмалю 1% з додаванням 5% глини, відповідно 0,06 і 0,01 для розчинів крохмалю 2 і 3%. Це в свою чергу вказує на те, що наповнені дисперсії крохмалю мають достатньо розвинуту просторову структуру.

Для полімерної композиції крохмалю та ПВС з додаванням 10% глини спостерігаємо зниження індексу течії до 0,01, що свідчить про зростання структурованості системи та високий ступінь псевдопластичності.

Екстраполюючи отримані дані, для наповнених полімерних композицій на основі крохмалю і ПВС розрахували в'язкість за нульової швидкості зсуву η_0 та встановили її зміну залежно від вмісту глини (рис. 3).

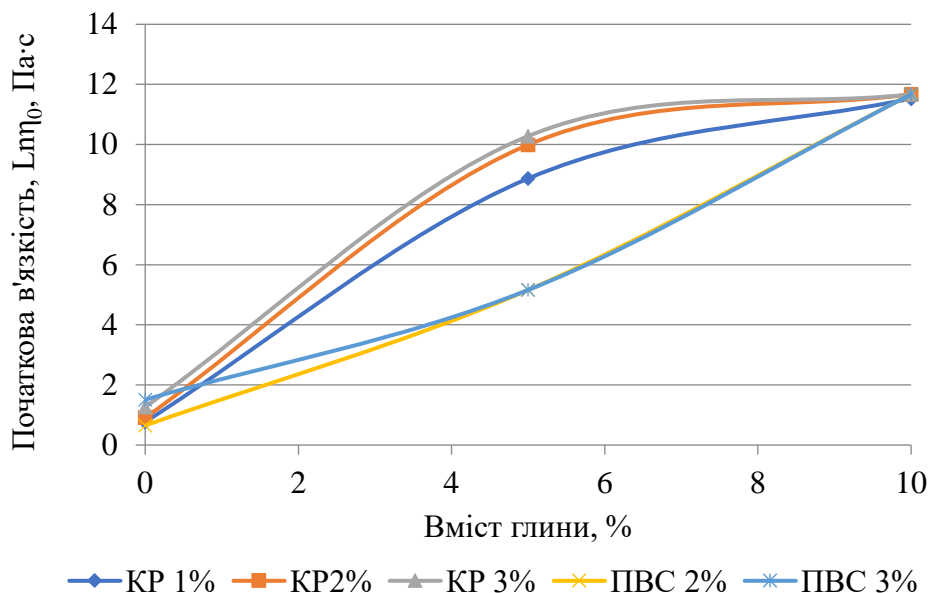


Рис. 3. Залежність в'язкості за нульової швидкості зсуву від вмісту глини в наповнених полімерних композиціях на основі крохмалю і ПВС

Встановлено, що мінімальна в'язкість характерна для розчинів ненаповнених композицій крохмалю і ПВС. В наповнених полімерних композиціях на основі ПВС з додаванням глини спостерігається поступове рівномірне зростання в'язкості. Для полімерних композицій на основі крохмалю спостерігається різке збільшення початкової в'язкості в присутності глини. При вмісті глини 10% в'язкість для всіх композицій однакова. Тобто встановлено, що при вмісті глини 10% в'язкість композиції не залежить від типу полімеру.

Результати визначення показників фізико-механічних властивостей волокнистих матеріалів, просочених наповненими дисперсіями крохмалю, наведені на рис. 4–6 і в табл. 3 (для зразків нетканих матеріалів ПУ/ПА-6,6, отриманих із волокнистих відходів).



Рис. 4. Результати визначення розривного навантаження для зразків нетканих матеріалів, отриманих із волокнистих відходів ПУ/ПА-6.6

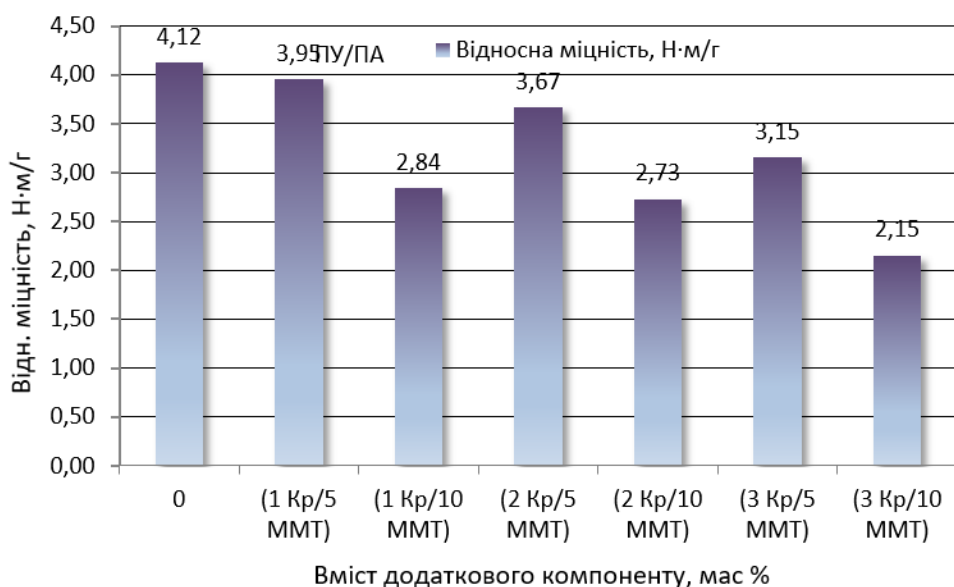


Рис. 5. Результати визначення відносної міцності, Н·м/г, для зразків нетканих матеріалів, отриманих із волокнистих відходів ПУ/ПА-6.6

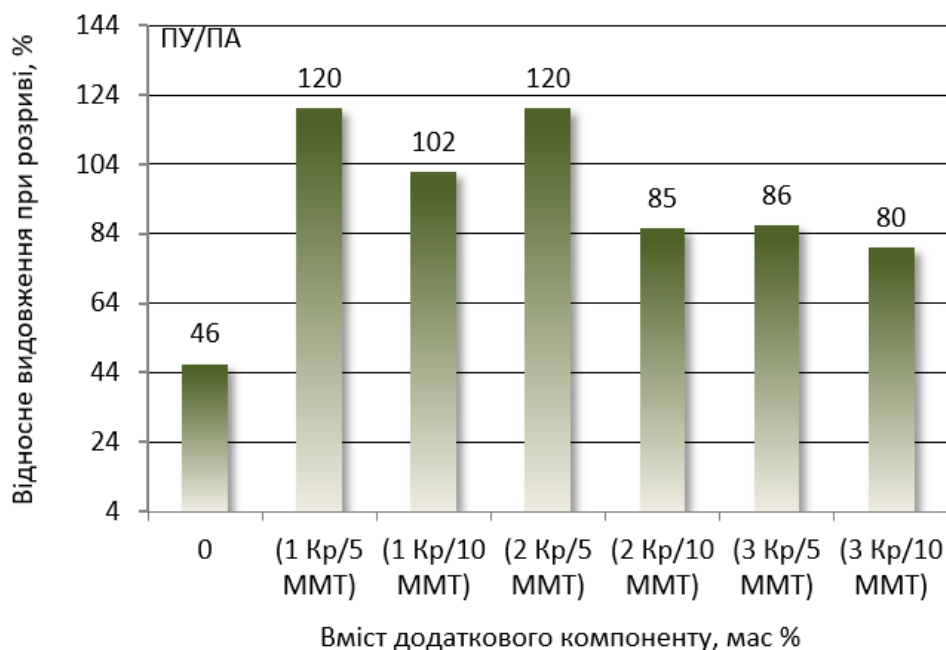


Рис. 6. Результати визначення відносного видовження при розриві, %, для зразків нетканих матеріалів, отриманих із волокнистих відходів ПУ/ПА-6.6

Як видно із наведених даних (рис. 4–6), для зразків нетканого матеріалу на основі волокнистих відходів ПУ/ПА-6,6 в результаті просочення розчинами ПВС спостерігається підвищення розривного навантаження майже втричі (з 49,0 до 140,14 Н/5 см). Нанесення наповненої дисперсії ПВС призводить до зниження розривного навантаження майже вдвічі із збільшенням кількості введеної глини (76,44 проти 140,14 Н/5 см). Підвищення концентрації розчину ПВС призводить до підвищення міцності просоченого волокнистого матеріалу майже втричі (202,37 проти 76,44 Н/5 см). Тобто нанесення 3% дисперсії ПВС з введенням 5% глини забезпечує отримання волокнистого матеріалу з хорошими показниками міцності.

Таблиця 3

Результати визначення фізико-механічних властивостей волокнистих матеріалів

Додатковий компонент, мас. %	Поверхнева щільність, г/м ²	Розривне навантаження			Відносна міцність, Н·м/г	Розривне видовження, %
		Н	Н/5 см	Н/м		
Вихідний нетканий матеріал	227	9,36	46,80	935,90	4,12	46
1% Кр 5% ММТ	347	13,72	68,60	1372,00	3,95	120
1% Кр 10% ММТ	449	12,74	63,70	1274,00	2,84	102
2% Кр 5% ММТ	374	13,72	68,60	1372,00	3,67	120
2% Кр 10% ММТ	467	12,74	63,70	1274,00	2,73	85
3% Кр 5% ММТ	383	12,08	60,42	1208,34	3,15	86
3% Кр 10% ММТ	486	10,45	52,23	1044,68	2,15	80
2% ПВС без глини	285	9,80	49,00	980,00	3,44	13,0
2% ПВС 5% ММТ	493	28,03	140,14	2802,80	5,69	64,2
2% ПВС 10% ММТ	893	15,29	76,44	1528,80	1,71	63,3
3% ПВС без глини	253	15,68	78,40	1568,00	6,20	9,4
3% ПВС 5% ММТ	525	45,67	228,34	4566,80	8,70	37,8
3% ПВС 10% ММТ	664	40,47	202,37	4047,40	6,10	50,0

У випадку застосування дисперсій крохмалю спостерігаються дещо інші закономірності. В результаті просочування дисперсіями 1% крохмалю при додаванні 10% глини замість 5%, спостерігається підвищення розривного навантаження майже на 50% (з 49,0 до 68,6 Н/5 см). Збільшення кількості введеної глини в дисперсії крохмалю вищої концентрації призводить до зниження розривного навантаження майже на чверть (52,2 проти 68,6 Н/5 см). Тобто нанесення 2–3% дисперсії крохмалю з введенням 5% глини забезпечує отримання волокнистого матеріалу з хорошими показниками міцності та еластичності.

Відносна міцність зразків, яку розраховували з урахуванням поверхневої щільності зразків, очікувано знижується в результаті нанесення наповненої дисперсії крохмалю. Підвищення міцності зразків, яке відбувається в результаті нанесення наповнених дисперсій крохмалю і ПВС на поверхню волокнистих матеріалів, супроводжується зростанням показника відносного видовження при розриванні майже втричі (з 46 до 120% для крохмалю та з 13 до 64,2% для ПВС). По мірі збільшення кількості введеної глини, відносне видовження при розриванні знижується, що пов'язано з втратою еластичності матеріалів в результаті структурування, причому ступінь структурування в разі застосування наповнених дисперсій ПВС вища.

Як було зазначено в роботі [14], обробка волокнистої основи 3%-вими дисперсіями ПВС і крохмалю, наповненими глинистими мінералами, сприяє підвищенню сорбційної здатності отриманих матеріалів. Про що свідчить вищий ступінь поглинання метиленового синього із розчину, 78,4 і 77,1%, відповідно. А введення 5% монтморилонітової глини в 3%-ві дисперсії полімерного сполучного дозволяє отримати матеріали з кращими фізико-механічними характеристиками. Сорбційні матеріали, модифіковані глинистими мінералами, можуть бути в подальшому використані для очищення стічних вод підприємств легкої і хімічної промисловості від іонів важких металів.

Висновки. В результаті досліджень було встановлено, що концентрація полімерного сполучного та кількість мінерального сорбенту впливають на поверхневу щільність волокнистих матеріалів, просочених дисперсіями крохмалю і ПВС.

Встановлено, що мінімальна в'язкість характерна для розчинів ненаповнених композицій крохмалю і ПВС. В дисперсіях наповнених полімерних композицій на основі ПВС

з додаванням глини спостерігається поступове рівномірне зростання в'язкості. Для полімерних композицій на основі крохмалю спостерігається різке збільшення початкової в'язкості в присутності глини. При вмісті глини 10% в'язкість всіх композицій однакова. Тобто встановлено, що при вмісті глини 10% в'язкість композиції не залежить від типу полімеру, а зниження індексу течії до 0,01 свідчить про зростання структурованості системи. Введення глини до 10% від маси сполучного призводить до значного зростання поверхневої щільності волокнистого матеріалу. Одночасно спостерігається зниження міцності отриманих волокнистих матеріалів. Нанесення наповненої дисперсії ПВС призводить до зниження розривного навантаження майже вдвічі із збільшенням кількості введеної глини, а збільшення кількості введеної глини в розчини крохмалю вищої концентрації призводить до зниження розривного навантаження майже на чверть.

За результатами досліджень визначили, що нанесення 3% дисперсії ПВС або 2–3% дисперсії крохмалю з введенням 5% глини забезпечує отримання достатньо еластичних волокнистих матеріалів з хорошими показниками міцності. А враховуючи раніше отримані результати про те, що обробка волокнистої основи 3%-вими дисперсіями ПВС і крохмалю, наповненими глинистими мінералами, сприяє підвищенню сорбційної здатності отриманих матеріалів, можна рекомендувати ці волокнисті композити для технологій водоочиснення.

Сорбційні матеріали, отримані на основі відходів ПУ/ПА6-6 і просочені наповненими дисперсіями водорозчинних полімерів, можуть бути в подальшому використані для очищення стічних вод підприємств легкої і хімічної промисловості від іонів важких металів, що може мати важливе значення для захисту довкілля і здоров'я людей.

References

Література

1. Kucherenko, Y., Plavan, V., Budash, Y., Romanyuk, O. (2019). Analysis of thermal-physical properties of fibrous nonwoven materials of different composition. [Analysis of thermophysical properties of fibrous non-woven materials of different composition]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu. Seriya: Tekhnichni nauky = Bulletin of the Kyiv National University of Technology and Design. Series: Technical sciences*, No. 3, P. 94–101. <https://doi.org/10.30857/1813-6796.2019.3.10> [in Ukrainian].
2. Tarasenko, N. V., Plavan, V. P., Budash, Yu. O., Koliada, M. K., Rachynska, O. V. (2019). Doslidzhennia khemosorbtsiinykh vlastyvoitei voloknystykh sorbentiv dlia ochyshchennia stichnykh vod vid ioniv Fe³⁺. [Investigation of chemisorption properties of fibrous sorbents for wastewater treatment from Fe³⁺ ions]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu. Seriya Tekhnichni nauky = Bulletin of the Kyiv National University of Technology and Design. Series: Technical sciences*, No. 5 (138), P. 150–159 [in Ukrainian].
3. Moy, S. (2013). Advanced fiber-reinforced polymer (FRP) composites for civil engineering applications in Developments in Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Composites for Civil Engineering by Woodhead. Publishing Series in Civil and Structural Engineering, pp. 177–204.
1. Кучеренко Є. В., Плаван В. П., Будащ Ю. О., Романюк О. О. Аналіз теплофізичних властивостей волокнистих нетканих матеріалів різного складу. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки*. 2019. № 3. С. 94–101. <https://doi.org/10.30857/1813-6796.2019.3.10>.
2. Тарасенко Н. В., Плаван В. П., Будащ Ю. О., Коляда М. К., Рачинська О. В. Дослідження хемосорбційних властивостей волокнистих сорбентів для очищення стічних вод від іонів Fe³⁺. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки*. 2019. № 5 (138). С. 150–159.
3. Moy S. Advanced fiber-reinforced polymer (FRP) composites for civil engineering applications in Developments in Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Composites for Civil Engineering by Woodhead. Publishing Series in Civil and Structural Engineering. 2013. P. 177–204. <https://doi.org/10.1533/9780857098955.2.177>.

4. Jinlian Hu, Md A. Jahid, Narayana Harish Kumar, Venkatesan Harun (2020). Fundamentals of the Fibrous Materials. In: *Handbook of Fibrous Materials*. 1st ed. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Published by Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. URL: https://application.wileyvch.de/books/sample/3527342206_c01.pdf.
5. Kim, H. N., Joo, J. Y., Lee, K. R., Lee, Y. W., Im, S. S., Kim, S. J., Lee, Y. H. (2013). Low-temperature plasma modification of cotton for improving its hydrophilicity. *Fibers and Polymers*, Vol. 14, No. 4, P. 1044–1067.
6. Vasylyev, M. A., Chenakin, S. P., Yatsenko, L. F. (2016). Ultrasonic impact treatment induced oxidation of Ti6Al4V alloy. *Acta Materialia*, Vol. 103, P. 761–774.
7. Sportiagin, E. O., Varlan, K. Ye. (2012). Teoretychni osnovy ta tekhnolohiia vyrobnytstva polimernykh kompozytsiinykh materialiv: navch. posib [Theoretical principles and technology of production of polymer composite materials: a textbook]. Dnipropetrovsk: DNU Publishing [in Ukrainian].
8. Kogan, A. G., Yasinskaya N. N., Skobova N. V., Medvetskii S. S. (1999). Same possibilities for expanding the assortment of chemical fibres and filaments of new structures. *Fibre Chemistry*, Vol. 31, No. 2, P. 102–104.
9. Khokhotva, O. P., Kondratenko, O. I., Shkel, K. O. (2016). Vykorystannia kompozytsiinoho sorbentu tseolitu-huminovi kysloty dlia vyluchennia ioniv midi z vodnykh rozchyniv [Use of zeolite-humic acid composite sorbent for extraction of copper ions from aqueous solutions]. *Visnyk NTU "KhPI". Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiah = Bulletin of NTU "KhPI". New solutions in modern technologies*, No. 18 (1102), P. 180–185 [in Ukrainian].
10. Mao, N. (2016). Nonwoven fabric filters. In: *Advances in Technical Nonwovens, Woodhead Publishing Series in Textiles*, pp. 273–310.
11. Tarasenko, N. V., Plavan, V. P., Budash, Yu. O., Tkachenko, I. M. (2021). Doslidzhennia sorbttsiinykh vlastyvostei voloknystykh materialiv, modyfikovanykh hlynystymy mineralamy [Study of sorption properties of fibrous materials modified with clay minerals]. *Tekhnolohii ta inzhynirynh = Technologies and engineering*, No. 3, P. 70–78. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.3.7> [in Ukrainian].
12. Morrison, F. A. (2001). Understanding Rheology. New York: Oxford University Press. 560 p.
13. Derzhavnyi standart Ukrainy (DSTU) ISO 9073-3:2003 Materialy Tekstyl'ni. Metody vyprobuvannya netkanykh materialiv. Chastyna 3. Vyznachennya rozryval'noho navantazhennya ta vydovzhennta pid chas rozryvu [State
4. Jinlian Hu, Md A. Jahid, Narayana Harish Kumar, Venkatesan Harun. Fundamentals of the Fibrous Materials. In: *Handbook of Fibrous Materials*. 1st ed. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Published by Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2020. URL: https://application.wileyvch.de/books/sample/3527342206_c01.pdf.
5. Kim H. N., Joo J. Y., Lee K. R., Lee Y. W., Im S. S., Kim S. J., Lee Y. H. Low-temperature plasma modification of cotton for improving its hydrophilicity. *Fibers and Polymers*. 2013. Vol. 14, No. 4. P. 1044–1067.
6. Vasylyev M. A., Chenakin S. P., Yatsenko L. F. Ultrasonic impact treatment induced oxidation of Ti6Al4V alloy. *Acta Materialia*. 2016. Vol. 103. P. 761–774.
7. Спорягін Е. О., Варлан К. Є. Теоретичні основи та технологія виробництва полімерних композиційних матеріалів: навч. посіб. Дніпропетровськ: Вид-во ДНУ, 2012. С. 190.
8. Kogan A. G., Yasinskaya N. N., Skobova N. V., Medvetskii S. S. Same possibilities for expanding the assortment of chemical fibres and filaments of new structures. *Fibre Chemistry*. 1999. Vol. 31, № 2. P. 102–104.
9. Хохотва О. П., Кондратенко О. І., Шкель К. О. Використання композиційного сорбенту цеоліт-гумінові кислоти для вилучення іонів міді з водних розчинів. *Вісник НТУ «ХПІ». Нові рішення в сучасних технологіях*. 2016. № 18 (1102). С. 180–185.
10. Mao N. Nonwoven fabric filters. In: *Advances in Technical Nonwovens, Woodhead Publishing Series in Textiles*, 2016. P. 273–310.
11. Тарасенко Н. В., Плаван В. П., Будащ Ю. О., Ткаченко І. М. Дослідження сорбційних властивостей волокнистих матеріалів, модифікованих глинистими мінералами *Технології та інжиніринг*. 2021. № 3. С. 70–78. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.3.7>.
12. Morrison F. A. Understanding Rheology. New York: Oxford University Press, 2001. P. 560.
13. Державний стандарт України (ДСТУ) ISO 9073-3:2003 Матеріали текстильні. Методи випробування нетканних матеріалів. Частина 3. Визначення розривального

Standard of Ukraine (DSTU) ISO 9073-3:2003 TEXTILES. Test methods for nonwovens. Part 3. Determination of tensile strength and elongation] [in Ukrainian].

14. Plavan, V. P., Tarasenko, N. V., Dutchyn, T., Budash, Yu. O. (2021). Rehuliuвання sorbtsiinoi zdatnosti kombinovanykh voloknystykh materialiv, napovnenykh hlynystymy mineralamy [Regulation of the sorption capacity of combined fibrous materials filled with clay minerals]. *Tekhnolohii ta inzhynirynh = Technologies and engineering*, No. 4 (26), P. 113–120. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-4\(26\)-113-120](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-4(26)-113-120) [in Ukrainian].

навантаження та видовження під час розриву.

14. Плаван В. П., Тарасенко Н. В., Дутчин Т., Будаш Ю. О. Регулювання сорбційної здатності комбінованих волокнистих матеріалів, наповнених глинистими мінералами. *Технічні науки і технології*. 2021. № 4 (26). С. 113–120. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-4\(26\)-113-120](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-4(26)-113-120).

PLAVAN VIKTORIIA

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of Department of Chemical Technologies and
Resource Saving, 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

ISHCHENKO OLENA

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Department of Chemical Technologies and Resource
Saving, Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9510-6005>
SCOPUS Author ID: 57200013816
Researcher ID: GYV-0809-2022
E-mail: ishhenko.ov@knutd.com.ua

TARASENKO NATALIA

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

BUDASH YURII

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Department of Chemical Technologies and Resource
Saving, 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.yo@knutd.edu.ua

KOLODII ARTEM

PhD student, Department of Chemical Technologies and Resource Saving,
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
E-mail: artem.kolodii@w-chem.com.ua

**¹PLAVAN V. P., ¹ISHCHENKO O. V., ²TARASENKO N. V.,
¹BUDASH Yu. O., ¹KOLODII A. I.**

¹ Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

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

**APPLICATION OF FILLED DISPERSIONS OF WATER-SOLUBLE POLYMERS
FOR FUNCTIONALIZATION OF FIBROUS MATERIALS**

Purpose. Determination of the influence of the type and concentration of the polymer binder and the amount of introduced adsorbent on the rheological characteristics of filled polymer dispersions and the physical and mechanical properties of combined fibrous materials for water purification technologies.

Methodology. As a basis for obtaining fibrous sorption materials in the work, a needle-punched non-woven material with a surface density of 227 g/m² (PU/PA-6.6) obtained from elastic fibrous waste of the textile industry was used. To increase the sorption capacity of materials, montmorillonite-type clay powder was introduced in an amount of up to 5 and 10% by mass. Polyvinyl alcohol and starch were chosen as water-soluble polymers for impregnating the fibrous base. The influence of the concentration of polymer solutions on the rheological characteristics of filled polymer dispersions was studied. The rheological properties of the filled polymer compositions were determined using a rotary viscometer NDJ-9S (China). The mechanical

characteristics of nonwoven materials were determined on a PM-30 type breaking machine, in accordance with the standard DSTU ISO 9073-3:2003.

Findings. It was established that the concentration of the polymer binder and the amount of mineral sorbent affect the surface density of fibrous materials impregnated with dispersions of starch and PVA. The introduction of clay up to 10% of the mass of the binder leads to a significant increase in the surface density of fibrous materials. At the same time, there is a decrease in their strength. Applying the filled dispersion of PVA leads to a decrease in the breaking load almost by half with an increase in the amount of added clay. The breaking load decreases by almost a quarter with an increase in the amount of added clay in starch solutions of higher concentration.

The application of 3% PVA dispersion or 2-3% starch dispersion with the added of 5% clay minerals provides sufficiently elastic fibrous materials with good strength properties. And taking into account the previously obtained results that the treatment of the fibrous base by 3% dispersions of PVA and starch filled with clay minerals helps to increase the sorption capacity of the obtained materials, these fibrous composites for water treatment technologies can be recommended.

Originality. Rational conditions for obtaining filled polymer dispersions with the necessary rheological properties for impregnation of non-woven materials based on fibrous waste to obtain fibrous composites with sorption properties with appropriate physical and mechanical properties were determined.

Practical value. Sorption materials obtained on the basis of fibrous waste PU/PA-6,6, impregnated with filled dispersions of water-soluble polymers, can be used in the future for the purification of wastewater of chemical industry enterprises from heavy metals ions, which can be important for the protection of the environment and people's health.

Keywords: polymer dispersions; nonwoven materials; clay minerals; physical and mechanical properties; fibrous composites; sorption properties; water purification technologies.

ЗАПРОШУЄМО ДО СПІВРОБІТНИЦТВА

Київський національний університет технології та дизайну з 19.04.2021 р. видає періодичне наукове видання «Технології та інжиніринг», яке 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).

Програмні цілі журналу «Технології та інжиніринг»: публікація оригінальних статей, висвітлення результатів новітніх досліджень та актуальних досягнень у галузі технічних наук.

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

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).

Тематична спрямованість журналу «Технології та інжиніринг»:

- **ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕЛЕКТРОНІКА, МЕХАНІЧНА ТА ЕЛЕКТРИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ.**
- **МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ІНДУСТРІЇ МОДИ, ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ, ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ.**
- **ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ.**

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

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ: 01011, м. Київ-11, вул. Немировича-Данченка, 2,
корп. №1, кім. 1-0347, (044) 256-21-39

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

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

Одержувач: Київський національний університет технологій та дизайну

Код ЄДРПОУ отримувача: 02070890

Банк отримувача: ДКСУ у м. Києві

Код банку отримувача: 820172

Розрахунковий рахунок: **UA038201720313251003202003551**

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

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖИНІРИНГ

Комп'ютерний набір та макетування	КРИВОНОС Олена
Технічний редактор	ПАНАСЮК Ігор
Відповідальний за поліграфічне виконання	ОВЕЧКІНА Лілія

Підп. до друку 15.02.2023. Формат 60×84 1/8.
Ум. друк. арк. 10,22. Облік. вид. арк. 8,00. Наклад 100 пр. Зам. ____.

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 Olena
Technical Editor	PANASIUK Ihor
Responsible for printing	OVECHKINA Liliia

Printing proof 15.02.2023. Format 60×84 1/8.
Conditional sheet 10.22. Calculated sheet 8.00. Circulation 100 copies. Order N ____.

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

Certificate КВ №24822–14762 ПР від 19.04.2021 р.

Certificate ДК № 993, 24.07.2002.