

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ТЕХНОЛОГІЇ
ТА
ІНЖИНІРИНГ**

№ 1(6), 2022

DOI:10.30857/2786-5371.2022.1

Наукове фахове видання

Періодичність виходу: 6 разів на рік

Дата заснування: грудень 1999 р.

Київ 2022

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(6), 2022

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

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

Журнал входить до переліку наукових фахових видань України.

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

ISSN 2786-5371 print

ISSN 2786-538X online

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

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

Засновник і видавець:

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

Головний редактор:

Панасюк І.В., д.т.н., професор

Заступник

головного редактора:

Злотенко Б. М., д.т.н., професор

**Відповідальний
секретар:**

Кривонос О. О.

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

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

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

01011, м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2, корп. 1, к. 1-331а

тел./факс: +38 (044) 256-84-27

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

Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну, протокол № 7 від 21.02.2022 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(6), 2022

DOI:10.30857/2786-5371.2022.1

Scientific Specialized Edition

Issued: 6 times a year

Founded: December, 1999

Kyiv 2022

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(6), 2022

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

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

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

ISSN 2786-5371 print
ISSN 2786-538X online

The journal is registered in ISSN International Centre, Paris.

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

Owner and Publisher:

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

Editor-in- Chief:

Igor V. Panasiuk - Dr., professor

Deputy Editor:

Borys M. Zlotenko - Dr., professor

Executive secretary:

Olena O. Kryvonos

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

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

EDITORIAL OFFICE:

01011, Ukraine, Kyiv, 2, Nemyrovych-Danchenka, Str., office 1-331a

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

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

Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 7, originating date 21.02.2022.

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*.

Злотенко Борис Миколайович – доктор технічних наук, професор Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник головного редактора*.

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

Шведчикова Ірина Олексіївна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *відповідальний редактор секції*.

Осипенко Володимир Васильович – доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*.

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

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

Жуйков Валерій Якович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна.

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

Стаценко Володимир Володимирович – доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

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

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

Чорний Олексій Петрович – доктор технічних наук, професор, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Україна.

Шавьолкін Олександр Олексійович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Atef Saleh Almashakbeh, Doctor of Engineering, Tafila Technical University, Aţ Tafilah, Jordan.

Jasim Mohmed, Docent, PhD, Al-Furat Al-Awsat Technical University – Al-Musssaib Technical college, Kufa, Iraq.

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

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

Березненко Сергій Миколайович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *відповідальний редактор секції*.

Галавська Людмила Євгеніївна – доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*.

Арабулі Світлана Іванівна – кандидат технічних наук, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Гараніна Ольга Олександрівна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

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

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

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

Славінська Алла Людвигівна – доктор технічних наук, професор, Хмельницький національний університет, Україна.

Хімичева Анна Іванівна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

СЕКЦІЯ: ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

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

Плаван Вікторія Петрівна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*.

Андрєєва Ольга Адіславівна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

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

Бессарабов Володимир Іванович, доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Будаш Юрій Олександрович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

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

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

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

Савченко Богдан Михайлович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

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

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

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

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

ЗМІСТ

МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ. РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

- 1. ГЕРАСИМЕНКО Ю. Ю., СОКОЛЬСЬКИЙ О. Л.**
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ УТВОРЕННЯ
ТЕРМОКЛЕЙОВОГО З'ЄДНАННЯ 9
- 2. ДЕШКО В. І., БІЛОУС І. Ю., МАКСИМЕНКО О. Е.**
ВПЛИВ МІСЦЕВОГО ПОКВАРТИРНОГО
РЕГУЛЮВАННЯ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ ЖИТЛОВИХ
БУДИНКІВ НА ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ 20

ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

- 3. ГАЛСТЯН А. Г., ЗАДВОРНИХ І. С., КОСЕНКО О.**
ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАКЦІЇ ОКИСНЕННЯ
БЕНЗИЛІДЕНДІАЦЕТАТУ ОЗОНОМ У РОЗЧИНІ
АЦЕТАТНОГО АНГІДРИДУ 32
- 4. ІЩЕНКО О. В., БАУЛА О. П., ПЛАВАН В. П.,
ЛЯШОК І. О.**
ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ТА ФАРМАКОТЕХНОЛОГІЧНІ
ВЛАСТИВОСТІ ПЛІВОК З НІМЕСУЛІДОМ НА ОСНОВІ
МОДИФІКОВАНИХ ПОЛІСАХАРИДІВ 40

TABLE OF CONTENTS

MECHATRONIC SYSTEMS. RESOURCE SAVING & ENERGY EFFICIENCY

1. **HERASYMENKO Yu., SOKOLSKYI O.**
STUDY OF THE THERMAL GLUE JOINT FORMATION PROCESS 9
2. **DESHKO V. I., BILOUS I. Y., MAKSYMENKO O. E.**
INFLUENCE OF LOCAL APARTMENT REGULATION OF HOUSEHOLD HEATING SYSTEMS ON ENERGY CONSUMPTION 20

CHEMICAL AND BIOPHARMACEUTICAL TECHNOLOGIES

3. **HALSTIAN A., ZADVORNYKH I., KOSENKO O.**
THE STUDY OF THE REACTION OF OXIDATION OF BENZYLIDENDIACETATE BY OZONE IN SOLUTION OF ACETATE ANHYDRIDE 32
4. **ISHCHENKO O. V., BAULA O. P., PLAVAN V. P., LYASHOK I. O.**
PHYSICO-MECHANICAL AND PHARMACOTECHNOLOGICAL PROPERTIES OF NIMESULIDE FILMS BASED ON MODIFIED POLYSACCHARIDES 40

УДК
678.029.43:
[621.791.042+
678.073]

ГЕРАСИМЕНКО Ю. Ю., СОКОЛЬСЬКИЙ О. Л.

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ УТВОРЕННЯ ТЕРМОКЛЕЙОВОГО З'ЄДНАННЯ

Мета. Розробити числовий метод прогнозування товщини та ширини термоклейового шва під дією механічного зусилля та охолодження, а також дослідити вплив притискового зусилля та витрати термоклею на ширину шва, яка впливає на міцність та герметичність термоклейового з'єднання.

Методика. Для прогнозування утворення термоклейового шва під дією механічного зусилля та охолодження розроблено комп'ютерну розрахункову модель і проведено числовий розрахунок розподілу температур та деформації шару термоклею від притискового зусилля валків та витрати термоклею. Результати числового моделювання підтверджено експериментально із застосуванням створеної дослідної установки для термоклейового з'єднання.

Результати. Запропонована математична модель процесу охолодження розплаву полімеру та його деформації з врахуванням закону в'язкості Кросса (Cross Law) від швидкості деформації та залежності в'язкості від температури. Розрахунковим та експериментальним шляхом встановлено початкові та граничні умови, що визначають даний процес. Отримано залежності ширини шва від притискового зусилля валків, а також залежності ширини шва від витрати термоклею. Встановлено, що зі збільшенням витрати термоклею ширина шва зростає за логарифмічною залежністю. При збільшенні притискового зусилля валків ширина шва зростає за квадратичною залежністю.

Наукова новизна. Визначено вплив притискового зусилля валків та витрати термоклею на ширину шва. Встановлено, що при збільшенні значення притискового зусилля від 10,5 Н до 20,5 Н, ширина шва збільшується з 8 мм до 17 мм (майже у два рази).

Практична значимість. Числове моделювання процесу утворення термоклейового з'єднання дозволяє прогнозувати оптимальні значення витрати термоклею та притискового зусилля валків, щоб отримати необхідну ширину шва, яка б забезпечувала як оптимальну для споживача міцність з'єднання, так і достатню для підтримки герметичності пакування.

Ключові слова: термоклей; клейове з'єднання; математична модель; числове моделювання.

Вступ. На сьогоднішній день склеювання є найбільш універсальною та високопродуктивною технікою з'єднання. Майже всі технічно корисні матеріали у різній їх комбінації піддаються склеюванню та зберігають при цьому необхідні характеристики. Переважну більшість вихідних натуральних сполучних матеріалів замінено синтетичними клеями у вигляді розчинів, мономерів та клею-розплаву (термоклею) [1].

Склеювання як процес з'єднання дозволяє поєднувати тонкі матеріали. Це є перевагою і дозволяє знизити вагу готового виробу при його виготовленні. Крім того, термоклей є основою для виготовлення різних плівкових ламінатів у пакувальній промисловості.

Клейові з'єднання мають переваги над іншими видами механічних з'єднань, оскільки забезпечують рівномірний розподіл напружень у зоні склеювання, що в свою чергу підвищує жорсткість та передачу навантажень.

Для оптимізації міцності та герметичності термоклейового з'єднання необхідно враховувати низку параметрів:

- хімічний склад та рецептура термоклею, його робоча температура, механічні, реологічні та теплофізичні властивості;
- процес підготовки розплаву та спосіб нанесення;
- температура твердіння.

Наведені параметри безпосередньо впливають на якість утвореного з'єднання.

Існують роботи, які описують процес утворення нероз'ємних зварних та клейових з'єднань [2] та їх руйнування [3, 4], проте прогнозування геометричних та міцнісних параметрів з'єднань гнучких деформівних матеріалів розглянуто недостатньо.

Постановка завдання.

В наявних наукових джерелах як правило розглядається два типи задач деформації матеріалу між обертовими валками:

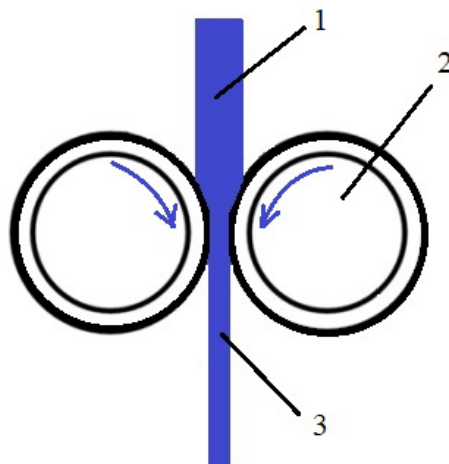
1) прокатка металевих матеріалів, де розглядаються задачі їх охолодження після проходження валків [5, 6], причому кінцева товщина стрічки однозначно задана зазором між валками, а властивості матеріалу вважаються лінійними;

2) каландрування полімерних матеріалів між валками з фіксованим зазором з урахуванням нелінійних властивостей полімерів і неізотермічності процесу [7–9], причому товщина матеріалу на виході залежить від еластичних властивостей матеріалу. Але зміна ширини стрічки при цьому не розглядається.

В основу даного дослідження покладено мету розробити числовий метод прогнозування товщини та ширини термоклейового шва під дією притискного зусилля валків та охолодження. Проаналізувати вплив притискного зусилля та витрати термоклею на ширину шва з метою подальшого прогнозування оптимальних значень цих параметрів для забезпечення необхідної міцності з'єднання.

Результати дослідження. Дослідження процесу утворення термоклейового з'єднання проводилось згідно методики наведеної у [10]. Цей процес складається з декількох стадій. Він потребує контролю над такими параметрами як: початкова температура розплаву, швидкість подачі розплаву, притискне зусилля валків, кількість розплаву термоклею. Також важливо розуміти взаємовплив цих параметрів.

Схема процесу утворення термоклейового з'єднання між валками зображена на рис. 1.



1 – розплав термоклею; 2 – валки, що обертаються в протилежних напрямках; 3 – стрічка термоклейового шва

Рис. 1. Схема процесу утворення термоклейового шва між валками

Розплав термоклею під дією сили тяжіння подається у зону, утворену двома валками, що обертаються назустріч один одному, де відбувається процес прикатки валками (рис. 1). У цій зоні відбувається деформування шару термоклею під дією притискного зусилля валків та подальше його охолодження. Термоклей за короткий час починає тверднути і на виході перетворюється на стрічку. Процес утворення термоклейового шва можна розділити на 3 стадії: процес течії розплаву термоклею, теплопередача та затвердіння.

Розглянемо зв'язану термомеханічну задачу твердіння та деформації шва термоклею під дією механічного зусилля та охолодження.

Математичну модель охолодження розплаву полімеру можна представити системою рівнянь, яка складається з рівняння нерозривності, нестационарних рівнянь збереження кількості руху та енергії [11]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla \cdot \mathbf{v} = 0; \\ \rho \left[\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} \right] = -\nabla p + \nabla \cdot \bar{\bar{\tau}}; \\ \rho \left[\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{v}h) \right] = \nabla \cdot [\lambda(T) \nabla T] + \bar{\bar{\tau}} : \nabla \mathbf{v}, \end{array} \right.$$

де ∇ – оператор Гамільтона, м^{-1} ;

\mathbf{v} – вектор швидкості, м/с ;

ρ – густина, кг/м^3 ;

t – час, с ;

p – зовнішній гідростатичний тиск, Па ;

$\bar{\bar{\tau}} = 2\eta(\dot{\gamma})\dot{\mathbf{D}}$ – тензор в'язких напружень другого рангу, Па ;

$\dot{\mathbf{D}} = \frac{1}{2}(\nabla \mathbf{v} + \mathbf{v} \nabla)$ – тензор швидкості деформації, с^{-1} ;

$\eta(\dot{\gamma})$ – динамічна в'язкість термोकлею як функція градієнта швидкості $\dot{\gamma}$ (швидкості зсуву), $\text{Па}\cdot\text{с}$;

$h = \int_0^T c_p(T) dT$ – масова ентальпія, Дж/кг ;

c_p – масова теплоємність, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;

λ – коефіцієнт теплопровідності, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;

$\bar{\bar{\tau}} : \nabla \mathbf{v}$ – член, що визначає дисипацію механічної енергії, Вт/м^3 ;

T – абсолютна температура, К ;

(:) – оператор подвійного скалярного добутку.

В математичній моделі використовувався закон в'язкості Кросса (Cross Law) від швидкості деформації та залежності в'язкості від температури.

Закон з врахуванням температурної залежності в'язкості для даного класу матеріалів має вигляд:

$$\eta(\dot{\gamma}, T) = \frac{\eta_0}{1 + (\varepsilon \dot{\gamma})^m} H(T),$$

де η_0 – в'язкість розплаву полімеру за мінімальної швидкості зсуву, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

ε – період релаксації, с ;

$\dot{\gamma}$ – швидкість зсуву, с^{-1} ;

m – показник ступеня, який визначає неньютонівські властивості термोकлею;

$$H(T) = \exp \left[\frac{E_a}{RT_a} \left(\frac{1}{T - T_0} - \frac{1}{T_a - T_0} \right) \right];$$

E_a – енергія активації течії, Дж/моль;

R – газова стала, Дж/(моль·К);

T_a – абсолютна температура активації, К;

T_0 – абсолютна температура відліку, К.

За початкові умови приймаються розподіл полів компонент вектора швидкості \mathbf{v}_0 , й температури T_0 в момент часу $t = 0$:

$$\begin{cases} \mathbf{v}_0 = \mathbf{v}(x, y, z); \\ T_0 = T(x, y, z), \end{cases}$$

де $(x, y, z) \in \Omega$ – декартові координати, м;

Ω – розрахункова область.

Для граничних умов задають:

– на площині перерізу – температуру й нормальну компоненту швидкості або масову витрату матеріалу:

$$\begin{cases} \mathbf{n} \cdot \mathbf{v} = v_{inlet}(t); \\ T = T_{inlet}(t), \end{cases}$$

де \mathbf{n} – вектор зовнішньої нормалі до поверхні площини перерізу;

v_{inlet}, T_{inlet} – швидкість (м/с), масова витрата (кг/с) та абсолютна температура (К) у початковій площині перерізу, відповідно;

– на поверхнях контакту термоклею з валком задаються умови прилипання:

$$\mathbf{v}_w = \mathbf{v}_{wt}; \quad \mathbf{v}_t = \mathbf{v}_{tt},$$

де $\mathbf{v}_w, \mathbf{v}_t$ – вектори результуючої та тангенціальної швидкості поверхні валка, м/с;

v_{wt}, v_{tt} – тангенціальні компоненти векторів результуючої та тангенціальної швидкості термоклею на поверхні валка, м/с;

– на зовнішній поверхні, що контактує з валком – граничні умови III роду:

$$\mathbf{n} \cdot \mathbf{q} = \alpha(T - T_\infty),$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі на поверхні, який знаходиться експериментально, Вт/(м²·К);

T_∞ – абсолютна температура поверхні валка, К;

\mathbf{q} – вектор густини теплового потоку, Вт/м².

Для дослідження процесу утворення термоклейового шва розроблено комп'ютерну розрахункову модель на базі методу скінченних елементів і проведено числові розрахунки. Виконано порівняння результатів моделювання з експериментальними даними.

Процес утворення термоклейового шва між валками – є складним завданням тривимірного моделювання. Тому для зручності моделювання та побудови комп'ютерної моделі виконано спрощення. Оскільки товщина шару термоклею набагато менша ніж довжина поверхні валків та ширина утвореної стрічки, то для розрахунків з 3D моделі переходимо до 2D моделі. Через те що задача є симетричною, тому для 2D аналізу створено геометрію половинки шару термоклею з початковими розмірами: ширина – 3 мм, товщина – 0,5 мм (рис. 2). Використовувався термоклей на основі співполімеру етилену з вінілацетатом (СЕВА). Для заданої геометрії проведено комп'ютерне моделювання розподілу температур та деформації шару термоклею від притискного зусилля валків.

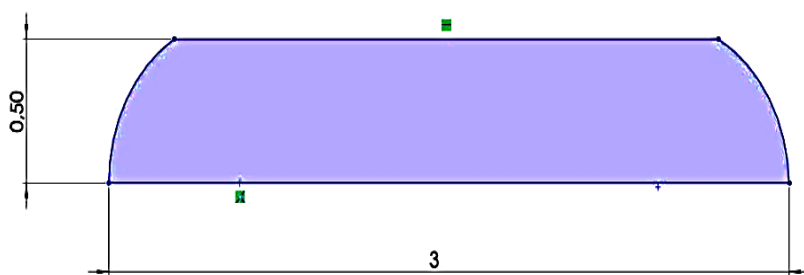


Рис. 2. Початкова геометрія шару термоклею

Числові експерименти здійснювалися для різних значень притискного зусилля валків в межах 8...22 Н за часом до 1 с. Отримано розподіл температур та форму шару термоклею при притискному зусиллі валків 8,66 Н (рис. 3).

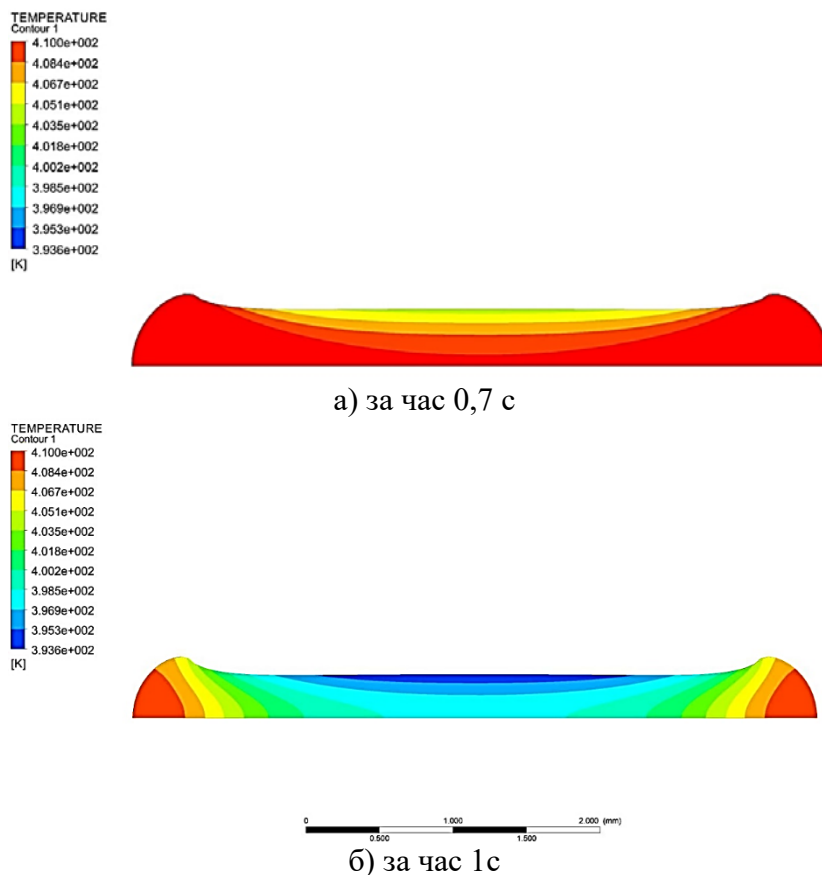


Рис. 3. Розподіл температур та форма шару термоклею при притискному зусиллі валків 8,66 Н

З рис. 3 видно, що термоклей при притискному зусиллі валків в 8,66 Н поступово охолоджується і через 1 с майже на всій поверхні досягає температур нижчих за температуру текучості та починає тверднути. Початкова товщина шару термоклею за час 0,7 с з 1 мм зменшилась до 0,66 мм, а за 1 с становила – 0,58 мм. Ширина шва після 1 с збільшилася з 3 мм до 4,66 мм, тобто у 1,55 рази.

Приклад розподілу температур та форми шару термоклею при притискному зусиллі валків в 13 Н наведено на рис. 4.

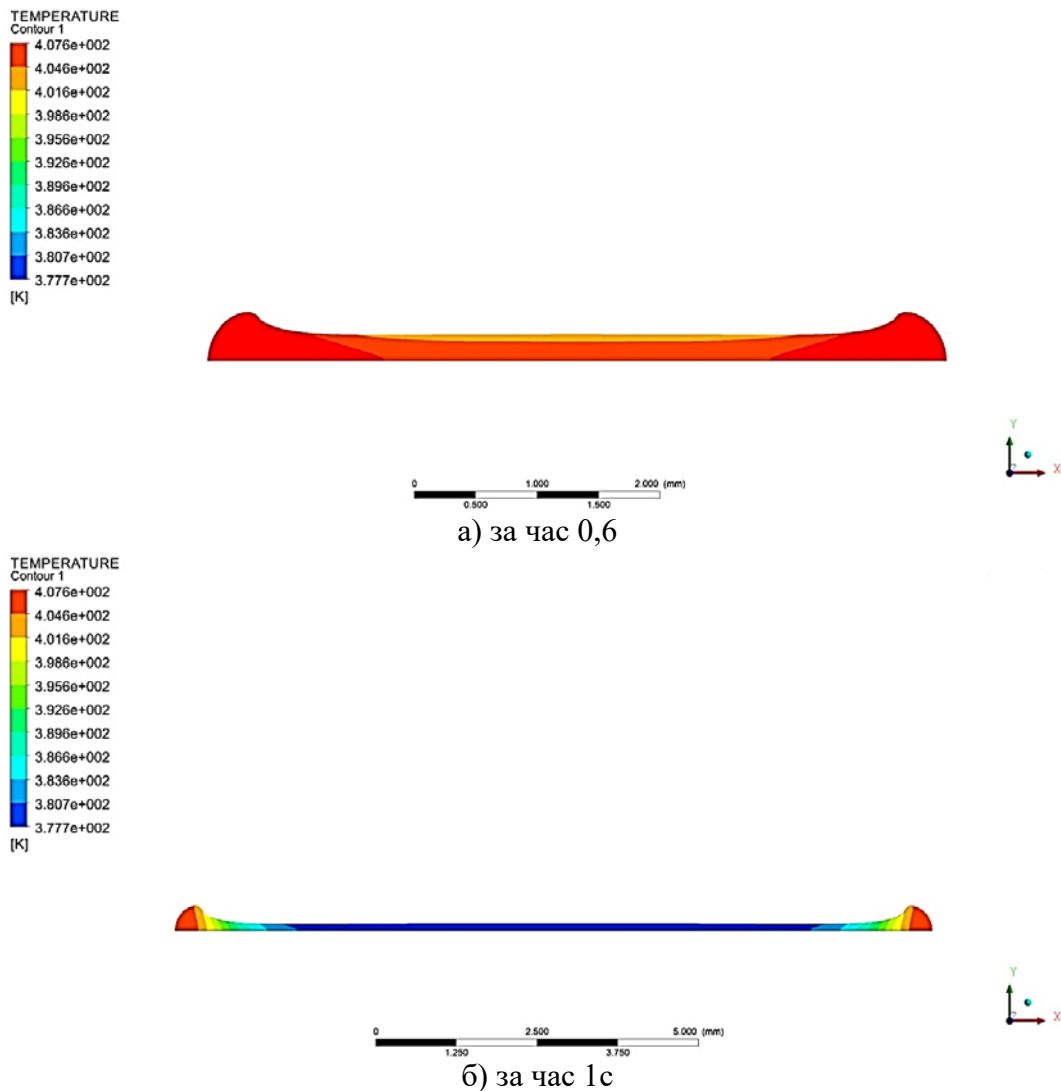


Рис. 4. Розподіл температур та форма шару термоклею при притискному зусиллі валків 13 Н

З рис. 4 видно, що термоклей при притискному зусиллі валків в 13 Н поступово охолоджується і через 1 с на своїй поверхні досягає температур нижчих за температуру текучості та затвердів. Початкова товщина шару термоклею за час 0,6 с з 1 мм зменшилась у 2 рази до 0,44 мм, а за 1 с становила – 0,22 мм (в 4,5 рази менше за початкове значення товщини). Ширина шва після 0,6 с збільшилась у 2 рази, а після 1 с становила – 11,63 мм, що у 3,9 рази більше за початкове значення ширини.

Приклад розподілу температур та форми шару термоклею при притискному зусиллі валків в 21,66 Н наведено на рис. 5.

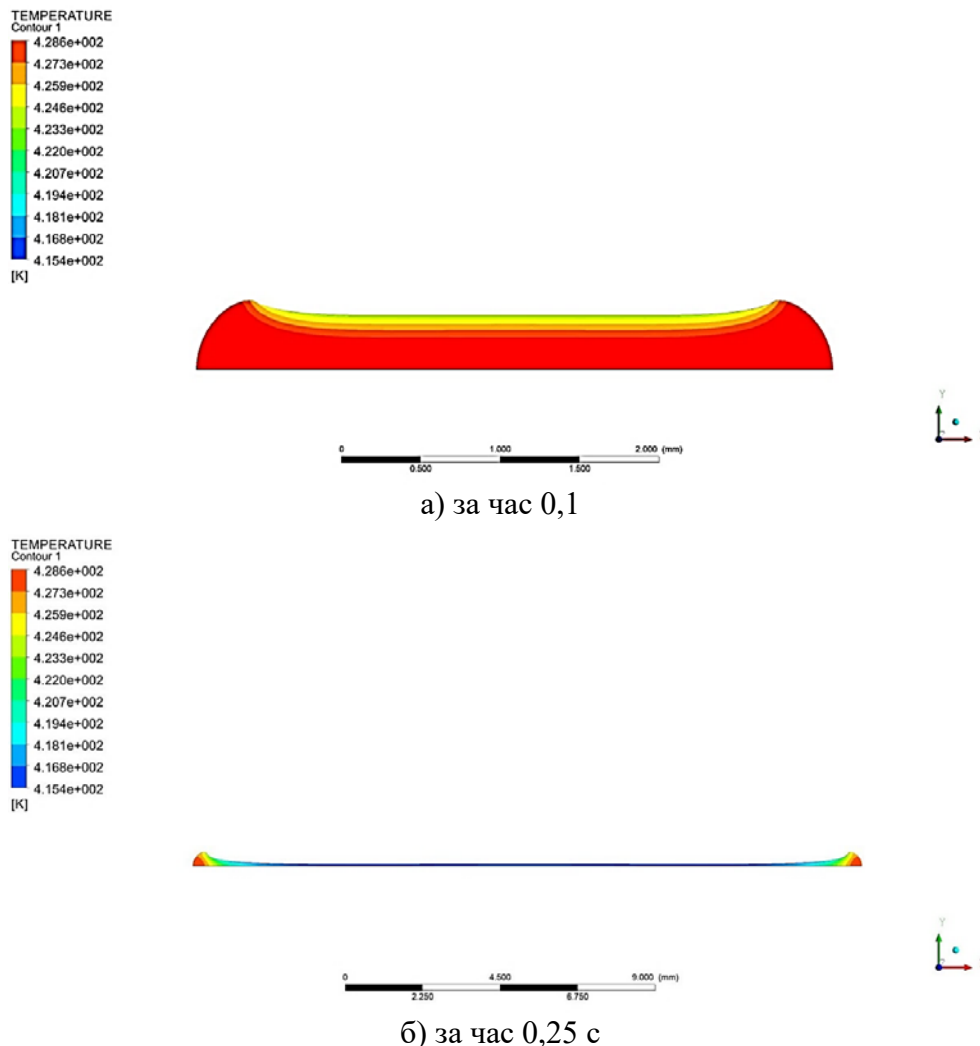


Рис. 5. Розподіл температур та форма шару термоклею при притисковому зусиллі валків 21,66 Н

З рис. 5 видно, що термоклей при притисковому зусиллі валків в 21,66 Н поступово охолоджується і після 0,25 с досягає температур нижчих за температуру текучості та твердне. Початкова товщина шару термоклею за час 0,1 с з 1 мм зменшилась до 0,68 мм, а за 0,25 с становила – 0,14 мм (в 7 разів менше за початкове значення товщини). Ширина шва після 0,25 с становила 18,09 мм, що у 6 разів більше за початкове значення ширини.

Наступною задачею було оцінити вплив витрати термоклею та притискового зусилля валків на ширину термоклейового шва та виконати порівняння числових розрахунків з експериментальними даними.

Отримано залежність ширини шва від витрати термоклею рис. 6. Притискове зусилля валків складало 13 Н.

На графіку рис. 6 спостерігається, що зі збільшенням витрати термоклею ширина шва зростає за логарифмічною залежністю. Розбіжність експериментальних даних з числовими розрахунками складає від 1 до 2 мм, що складає 10–13% і є допустимим.

Отримано залежність ширини шва від притискового зусилля валків (рис. 7). Витрата термоклею складала 0,0011 г/мм.

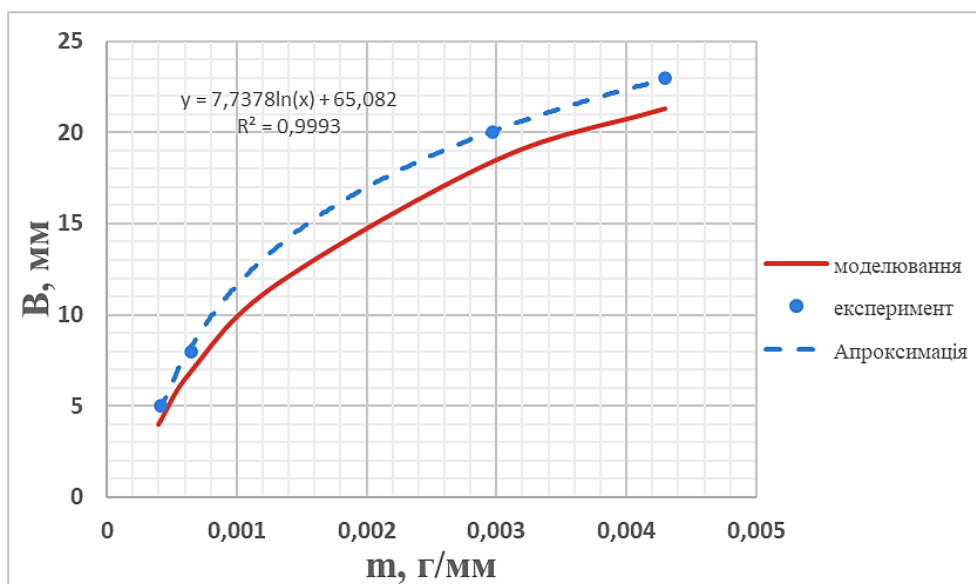


Рис. 6. Залежність ширини шва від витрати термоклею

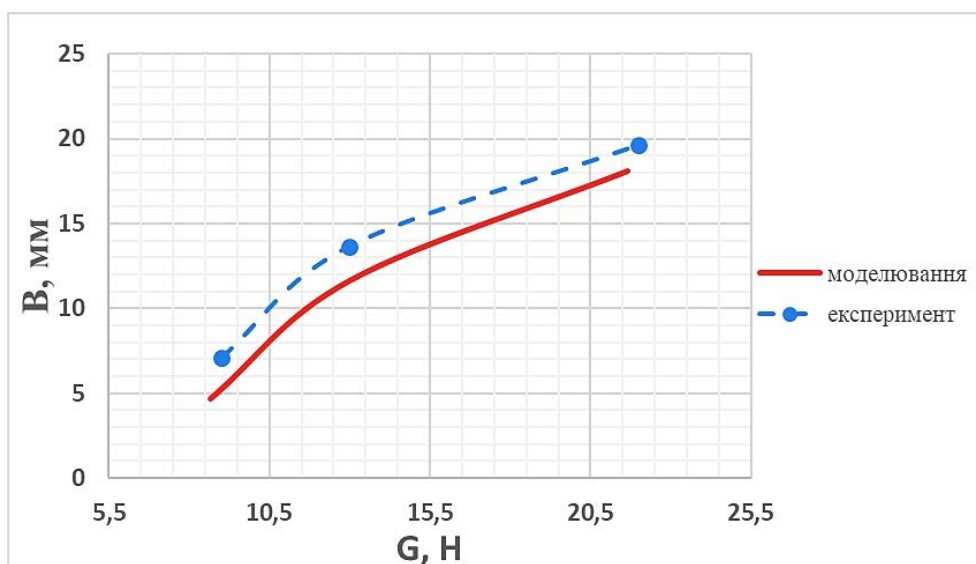


Рис. 7. Залежність ширини шва від притискового зусилля валків

На графіку (рис. 7) спостерігається, що при збільшенні притискового зусилля валків ширина шва зростає за квадратичною залежністю. Збільшення притискового зусилля від 10,5 Н до 20,5 Н дозволяє збільшити ширину шва з 8 мм до 17 мм (майже у два рази). Розбіжність експериментальних даних з числовими розрахунками не перевищує 2 мм, що складає до 12% і є допустимим.

Отже, наведені залежності дозволяють врахувати вплив притискового зусилля та витрати термоклею на ширину шва.

Наведене числове моделювання дозволяє прогнозувати оптимальні значення витрати термоклею та притискового зусилля валків, щоб отримати необхідну ширину шва, яка б забезпечувала як оптимальну для споживача міцність з'єднання, так і достатню для підтримки герметичності пакування.

Висновки. Для дослідження процесу утворення термоклейового з'єднання розроблено комп'ютерну розрахункову модель на базі методу скінченних елементів і проведено числовий

розрахунок розподілу температур та деформації шару термоклею від притискного зусилля валків та витрати термоклею. Такий підхід у дослідженні дозволить обрати оптимальне поєднання значень витрати термоклею та притискного зусилля валків для утворення якісного з'єднання, яке б було достатньо міцне та герметичне.

Для оцінки якості термоклейового з'єднання отримано залежності ширини шва від притискного зусилля валків, а також залежності ширини шва від витрати термоклею. Показано, що при збільшенні значення притискного зусилля від 10,5 Н до 20,5 Н, ширина шва збільшується з 8 мм до 17 мм (майже у два рази).

References

Література

1. Adhesive application methods and equipment. *Adhesiveplatform*. URL: <https://www.adhesiveplatform.com/adhesive-application-methods-and-equipment/>.
 2. Hallbäck, N., Korin, C., Barbier, C., Nygårds, M. (2014). Finite Element Analysis of Hot Melt Adhesive Joints in Carton Board. *Packaging Technology and Science*, 27 (9), 701–712.
 3. Banea, M. D., da Silva, L. F. M. (2009). Adhesively bonded joints in composite materials: An overview. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 223 (1), 1–18.
 4. Gondlyakh, A., Chemeris, A., Kolosov, A. at al. (2021). Iterative-Analytical Model of Nonlinear Deformation and Fracture of Multilayer Composite Panels. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 33–51.
 5. Lee, Y. S., Kim, H. W., Cho, J. H. (2015). Process parameters and roll separation force in horizontal twin roll casting of aluminum alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 218, 48–56.
 6. Hadadzadeh, A., Wells, M. A. (2013). Mathematical modeling of thermo-mechanical behavior of strip during twin roll casting of an AZ31 magnesium alloy. *Journal of Magnesium and Alloys*, 1(2), 101–114.
 7. Hernández, A., Arcos, J., Méndez, F., Bautista, O. (2013). Effect of pressure-dependent viscosity on the exiting sheet thickness in the calendering of Newtonian fluids. *Applied Mathematical Modelling*, 37 (10–11), 6952–6963.
 8. Javed, M. A., Ali, N., Arshad, S. (2019). Numerical analysis of the calendering process by using Giesekus fluid model. *Journal of Plastic Film & Sheeting*, 36 (2), 167–190.
 9. Javed, M. A., Ali, N., Arshad, S., Shamshad, S. (2021). Numerical approach for the calendering process using
1. Adhesive application methods and equipment. *Adhesiveplatform*. URL: <https://www.adhesiveplatform.com/adhesive-application-methods-and-equipment/>.
 2. Hallbäck N., Korin C., Barbier C., Nygårds M. Finite Element Analysis of Hot Melt Adhesive Joints in Carton Board. *Packaging Technology and Science*. 2014. No. 27 (9). P. 701–712.
 3. Banea M. D., da Silva L. F. M. Adhesively bonded joints in composite materials: An overview. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*. 2009. No. 223 (1). P. 1–18.
 4. Gondlyakh A., Chemeris A., Kolosov A. at al. Iterative-Analytical Model of Nonlinear Deformation and Fracture of Multilayer Composite Panels. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2021. P. 33–51.
 5. Lee Y. S., Kim H. W., Cho J. H. Process parameters and roll separation force in horizontal twin roll casting of aluminum alloys. *Journal of Materials Processing Technology*. 2015. No. 218. P. 48–56.
 6. Hadadzadeh A., Wells M. A. Mathematical modeling of thermo-mechanical behavior of strip during twin roll casting of an AZ31 magnesium alloy. *Journal of Magnesium and Alloys*. 2013. No. 1(2). P. 101–114.
 7. Hernández A., Arcos J., Méndez F., Bautista O. Effect of pressure-dependent viscosity on the exiting sheet thickness in the calendering of Newtonian fluids. *Applied Mathematical Modelling*. 2013. No. 37 (10–11). P. 6952–6963.
 8. Javed M. A., Ali N., Arshad S. Numerical analysis of the calendering process by using Giesekus fluid model. *Journal of Plastic Film & Sheeting*. 2019. No. 36 (2). P. 167–190.
 9. Javed M. A., Ali N., Arshad S., Shamshad S. Numerical approach for the calendering process

Carreau-Yasuda fluid model. *Journal of Plastic Film & Sheeting*, <https://doi.org/10.1177/8756087920988748>.

10. Herasimenko, Y. Y., Sokolskyi, A. L. (2020). Investigation of the flexible packaging elements joining by hot melt adhesive. *Modern engineering and innovative technologies*, Germany, 11 (1), 5–8.

11. Sokolskyi, O. L., Karvatskii, A. Ya., Mikulionok, I. O., Herasimenko, Yu. Yu. (2018). Improvement of the technology of thermal gluing by a melt of polymer additive material. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 5, 154–160.

using Carreau-Yasuda fluid model. *Journal of Plastic Film & Sheeting*. 2021. <https://doi.org/10.1177/8756087920988748>.

10. Herasimenko Y. Y., Sokolskyi A. L. Investigation of the flexible packaging elements joining by hot melt adhesive. *Modern engineering and innovative technologies*, Germany. 2020. No. 11 (1). P. 5–8.

11. Sokolskyi O. L., Karvatskii A. Ya., Mikulionok I. O., Herasimenko Yu. Yu. Improvement of the technology of thermal gluing by a melt of polymer additive material. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2018. No. 5. P. 154–160.

HERASYMENKO YULIIA

Assistant

Department of Chemical, Polymer and Silicate
Engineering of the National Technical University of
Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
<https://orcid.org/0000-0002-7791-6821>
E-mail: yuliiaherasimenko@gmail.com

SOKOLSKYI OLEKSANDR

Dr., as.prof.

Department of Chemical, Polymer and Silicate
Engineering of the National Technical University of
Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
Scopus Author ID: 47861385600
Researcher ID: J-9284-2017
<https://orcid.org/0000-0002-7929-3576>
E-mail: sokolkiev@ukr.net

ГЕРАСИМЕНКО Ю. Ю., СОКОЛЬСКИЙ А. Л.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ТЕРМОКЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ

Цель. Разработать числовой метод прогнозирования толщины и ширины термоклеевого шва под действием механического усилия и охлаждения, а также исследовать влияние прижимного усилия и расхода термокля на ширину шва, влияющих на прочность и герметичность термоклеевого соединения.

Методика. Для прогнозирования образования термоклеевого шва под действием механического усилия и охлаждения разработана компьютерная расчетная модель и произведен числовой расчет распределения температур и деформации слоя термокля от прижимного усилия валков и расхода термокля. Результаты числового моделирования подтверждены экспериментально с применением созданной опытной установки для термоклеевого соединения.

Результаты. Предложена математическая модель процесса охлаждения расплава полимера и его деформации с учетом закона вязкости Кросса от скорости деформации и зависимости вязкости от температуры. Расчетным и экспериментальным путем установлены начальные и предельные условия, определяющие этот процесс. Получены зависимости ширины шва от прижимного усилия валков, а также зависимости ширины шва от расхода термокля. Установлено, что при увеличении расхода термокля ширина шва растет по логарифмической зависимости. При увеличении прижимного усилия валков ширина шва растет по квадратичной зависимости.

Научная новизна. Определено влияние прижимного усилия валков и расхода термокля на ширину шва. Установлено, что при увеличении значения прижимного усилия от 10,5 Н до 20,5 Н ширина шва увеличивается с 8 мм до 17 мм (почти в два раза).

Практическая значимость. Числовое моделирование процесса образования термоклеевого соединения позволяет прогнозировать оптимальные значения расхода термокля и прижимного

усилия валков, чтобы получить необходимую ширину шва, обеспечивающую оптимальную для потребителя прочность соединения, так и достаточную для поддержания герметичности упаковки.

Ключевые слова: термоклей; клеевое соединение; математическая модель; числовое моделирование.

HERASYMENKO Yu., SOKOLSKYI O.

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

STUDY OF THE THERMAL GLUE JOINT FORMATION PROCESS

Purpose. Develop a numerical method for predicting the thickness and width of a hot-melt joint under the action of mechanical force and cooling, as well as investigate the effect of pressing force and hot-melt adhesive consumption on the joint width, which affect the strength and tightness of the hot-melt joint.

Methodology. To predict the formation of a hot-melt adhesive seam under the action of mechanical force and cooling, a computer calculation model was developed and a numerical calculation was made of the distribution of temperatures and deformation of the hot-melt adhesive layer from the pressing force of the rolls and the consumption of hot-melt adhesive. The results of numerical simulation are confirmed experimentally using the created pilot plant for hot-melt bonding.

Findings. A mathematical model of the process of polymer melt cooling and its deformation is proposed taking into account the Cross viscosity law on the strain rate and the dependence of viscosity on temperature. The initial and limiting conditions that determine this process are established by calculation and experiment. The dependences of the seam width on the pressing force of the rolls, as well as the dependence of the seam width on the consumption of hot-melt adhesive, are obtained. It has been established that with an increase in the consumption of hot-melt adhesive, the width of the seam increases according to a logarithmic dependence. With an increase in the pressing force of the rolls, the width of the seam increases according to a quadratic dependence.

Originality. The influence of the clamping force of the rolls and the consumption of hot-melt adhesive on the width of the seam is determined. It has been established that with an increase in the clamping force from 10.5 N to 20.5 N, the width of the seam increases from 8 mm to 17 mm (almost twice).

Practical value. Numerical modeling of the formation process of a hot-melt adhesive allows predicting the optimal values of the hot-melt adhesive consumption and the clamping force of the rolls to obtain the required seam width, which provides the optimum joint strength for the consumer, and is sufficient to maintain the tightness of the package.

Keywords: hot-melt adhesive; adhesive bond; mathematical model; numerical simulation.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2022.1.2>

УДК 620.9

ДЕШКО В. І., БІЛОУС І. Ю., МАКСИМЕНКО О. Е.

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

ВПЛИВ МІСЦЕВОГО ПОКВАРТИРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ НА ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

Мета. Аналіз розподілу витрат теплової енергії на опалення типових будівель до та після термомодернізації з урахуванням місцевого поквартирного регулювання, а також дослідження впливу перетоків теплоти між суміжними зонами (квартирами).

Методика. В роботі проведено дослідження регулювання розподілу опалення однотрубної системи з замикаючими ланками 5-ти поверхової типової будівлі масової забудови 80-х років до та після термомодернізації на основі імітаційної моделі створеної в програмному середовищі Mathcad для проектних/розрахункових та середніх умов.

Результати. Досліджено вплив внутрішніх перетоків тепла в суміжні приміщення, зміна внутрішньої температури повітря під впливом локальної зміни коефіцієнтів затікання в опалювальний прилад.

Наукова новизна. Показано вплив та обмеження локального регулювання опалення вертикальних однотрубних систем в умовах теплової взаємодії приміщення з прилеглими зонами будівлі до та після теплової модернізації будівлі. Надано оцінку можливих додаткових витрат на опалення за рахунок перетоків через внутрішні огороження при регулюванні рівня температури внутрішнього повітря в сусідніх приміщеннях.

Практична значимість. Розроблені підходи, отримані результати по впливу локального регулювання приладів вертикальних однотрубних систем опалення можуть бути використані при уточненні розподілу споживання енергії на опалення між окремими зонами багатоквартирних будинків.

Ключові слова: енергозбереження; внутрішня температура; регулювання та витрати енергії на опалення; житлові будівлі; моделювання.

Вступ. Враховуючи енергетичну залежність України від іноземних постачальників, скінченність енергетичних ресурсів, зміни клімату та екологічні проблеми, все гостріше постає питання ефективного використання енергоносіїв. Потрібно зазначити, що сектор громадських та житлових будівель споживає левову частку енергії, як у світових масштабах, загалом, так і межах України зокрема [1]. В даний час внесок житлових будівель в глобальне споживання енергії становить приблизно 30–40% [2], і є однією з найвищих у світі, що обумовлює першочергову необхідність підвищення енергоефективності саме в цьому секторі.

Тому, зараз в Україні, як і в інших країнах світу ведеться активна політика щодо підвищення енергоефективності будівель, яка включає в себе розробку нормативної бази, організаційних, техніко-економічних, технологічних аспектів виробництва, розподілу, транспортування та споживання енергії [3]. Відповідно до [4] зростають вимоги до ефективного використання енергії не лише на опалення, але й на охолодження та гаряче водопостачання.

Таким чином, на даному етапі єдиним способом скорочення витрат є суттєве зменшення кількості споживання теплової енергії. Зазвичай даного ефекту можна досягти багатьма шляхами. Найбільш розповсюдженим (простий в реалізації) є термомодернізація будівлі, оскільки основна частина будинків житлово-комунальної сфери в Україні побудована в період масової забудови 80-тих років ХХ століття, при будівництві яких акцент робився на вартості будівництва, тобто мінімізувалися капітальні затрати і майже не враховувалися експлуатаційні витрати [5, 6]. Як наслідок, 80% будівель не відповідають сучасним вимогам енергоефективності: мають низький рівень теплозахисту, обладнані залежними однотрубними

системами опалення, енерговитратними системами механічної вентиляції, які у більшості випадків не використовуються, а середнє питоме енергоспоживання у 2–3 рази вище, ніж відповідний показник у розвинутих державах-членах ЄС [7].

Найменш затратним засобом підвищення енергоефективності є регулювання систем опалення. Але воно можливе лише при забезпеченні умов комфортності та достатньому рівні теплового захисту і зацікавленості мешканців в індивідуальному запровадженні енергоефективних режимів опалення. Розосередження наслідків індивідуального регулювання в просторі і в часі ускладнює їх аналіз та потребує додаткових досліджень.

Відповідно до [8] зниження витрат енергоносіїв на опалення будівель може досягатися різними шляхами. В даний час більшість багатопверхових житлових будинків в Україні реалізують термомодернізацію шляхом використання сучасних теплоізоляційних матеріалів та технологій з обов'язковою модернізацією системи опалення, адже утеплення будівлі без модернізації системи опалення може не дати позитивного результату в економії енергії, і навіть призвести до негативного результату – збільшення енергоспоживання [9]. Ці проблеми експлуатаційного характеру пов'язані зі зміною температурних графіків систем опалення, локальним регулюванням мешканцями умов опалення і так далі.

Сучасні дослідження питань енергоефективності будівель спираються на концепцію будівлі як енергетичної системи, до складу якої як активний елемент входить людина [10, 11]. Досліджується активний вплив користувачів перш за все для громадських будівель [12, 13]. Розосередження впливу мешканців має не менше значення для багатоквартирних будинків, в тому числі на визначення розподілу споживання енергії на опалення [14–16], і потребує додаткового вивчення.

Оскільки основним орієнтиром при реалізації комплексу енергозберігаючих заходів є зменшення енергоспоживання при дотриманні нормативної внутрішньої температури повітря в приміщеннях, актуальним є дослідження не лише досліджуваної квартири, а й сусідніх приміщень, оскільки при різниці температурних умов виникає такий ефект, як теплові перетоки через внутрішні огорожувальні конструкції. Теплові перетоки спричиняють додаткові тепловтрати, зменшують енергоефективність регулювання та будівлі в цілому. Зміна температурних умов за допомогою регулювання системи опалення окремими мешканцями лише в одній квартирі може мати значний вплив на тепловтрати через внутрішні огорожувальні конструкції та умови комфортності в сусідніх квартирах.

Постановка задачі. Враховуючи експлуатаційні особливості, які виникають під впливом соціально-поведінкових особливостей мешканців будинку **метою роботи** є аналіз розподілу витрат теплової енергії на опалення типових будівель до та після термомодернізації з урахуванням місцевого поквартирного регулювання, а також дослідження впливу перетоків теплоти між суміжними зонами (квартирами).

Відповідно до поставлено мети мають бути виконані наступні **завдання**:

- 1) створення та налаштування математичної моделі житлової будівлі, особливістю якої є теплова взаємодія окремих приміщень по стояку однотрубною системи опалення;
- 2) визначення витрат на опалення та температур окремих приміщень під впливом індивідуального регулювання;
- 3) аналіз перетоків теплоти між сусідніми квартирами при умові впровадження комплексу енергозберігаючих заходів щодо покращення теплофізичних характеристик огорожуючих конструкцій будівлі і місцевого регулюванні системи опалення.

Результати досліджень.

Вихідні дані. Об'єктом дослідження, відповідно до поставленої мети, обрано типову багатоквартирну п'ятиповерхову житлову будівлю, без складних архітектурно-планувальних чи конструктивних рішень, яка розташована в місті Київ. Як і в більшості будинків,

побудованих у 60–80-х роках передбачена однотрубна система опалення, з верхньою розводкою, проточною схемою підключення опалювальних приладів (радіатори типу МС-140) із замикаючою ділянкою та можливістю місцевого регулювання за допомогою байпасу. Температурний графік системи опалення будівлі для розрахункових умов становить «95/70». За проектом передбачено коефіцієнт затікання для опалюваних приладів $\alpha = 0,5$. Потужність приладів опалення для чавунних радіаторів обрана для забезпечення в приміщеннях внутрішньої температури 18°C при розрахункових умовах зовнішньої температури та температурного графіку системи опалення. Будинок має плоский дах ($R = 2,13 \text{ м}^2\text{K/Вт}$) та підлогу розташовану на ґрунті ($R = 2,56 \text{ м}^2\text{K/Вт}$).

Для імітаційного моделювання створена модель блоку п'яти однакових приміщень, які опалюються, розташованих на різних поверхах. Розміри кімнати $4,5 \times 4$ м, висота приміщення 2,8 м. Кімната має одну зовнішню стіну з вікном $1,2 \times 1,5$ м (рис. 1). Вікно – з подвійним заскленням у дерев'яних спарених плетіннях. Несучі стіни виконані з червоної пористої цегли з термічним опором огородження $0,9 \text{ м}^2\text{K/Вт}$, а внутрішні стіни – з термічним опором огородження $0,54 \text{ м}^2\text{K/Вт}$. Міжповерхові перекриття – залізобетонна плита товщиною 22 см.

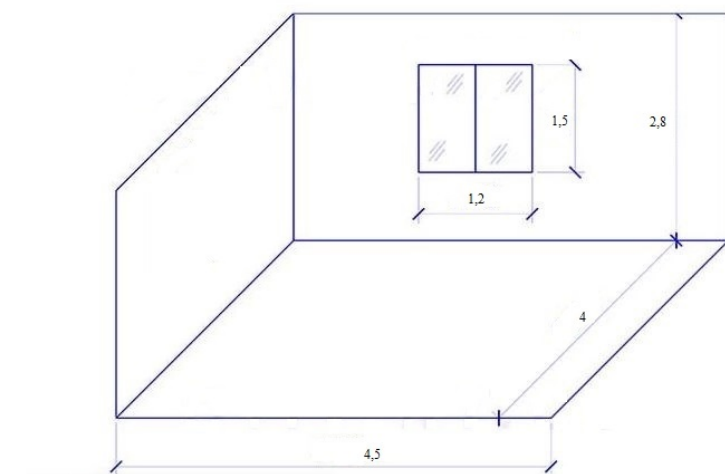


Рис. 1. Модель репрезентативного приміщення

В роботі також розглянуто термомодернізацію будівлі із дотриманням мінімально допустимих вимог до енергоефективності: проведено утеплення стіни шаром мінеральної вати товщиною 10 см та заміну вікон на сучасні. Розрахунок теплофізичних властивостей огорожень для моделювання проведено за стандартом ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [17] і наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Загальні характеристики огорожувальних конструкцій

Вид огорожувальної конструкції	Площа $A, \text{ м}^2$	Значення коефіцієнту теплопередачі огорожувальної конструкції	
		існуючої будівлі	після термомодернізації
		$U, \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{K})$	$U_{\text{min}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{K})$
Зовнішня стіна	12,6	1,2	0,3
Внутрішня стіна	35	1,86	1,86
Вікно	1,8	2,94	1,33
Дах	18	0,47	0,2
Підлога	18	0,39	0,22

Опис моделі. В програмному середовищі Mathcad моделі розглядається стояк однотрубною системи опалення із замикаючою ділянкою, який проходить крізь однакові житлові приміщення п'ятиповерхового будинку. На основі рівнянь балансів теплових потоків для приміщень та опалювальних приладів для стаціонарних умов розв'язується система із 48 рівнянь. Для першого та п'ятого поверхів в якості зовнішніх горизонтальних огорожень розглядаються, відповідно, підлога та дах.

В рівнянні теплового балансу приміщень враховується: тепловий потік від опалювальних приладів (ОП), теплові втрати через зовнішні та внутрішні огороження, перекриття, підлогу та коефіцієнт затікання α .

Система рівнянь для приміщення внутрішнього (четвертого) поверху представлена нижче. Це система рівнянь теплового балансу: теплопередачі від приладу опалення до повітря у кімнаті (1), від кімнати назовні (2) та теплового потоку від води до опалювального приладу ОП (3), приєднаного до стояка однотрубною системи опалення (СО). Приймалося, що внутрішні тепло надходження у приміщенні відсутні.

$$Q = Q_p \cdot \left[\frac{t_{pod4} + t_{zvor} - t_{vn4}}{70} \right]^{1,3}$$

$$Q = m \cdot \alpha \cdot c \cdot (t_{pod4} - t_{zvor})$$

$$Q = Q_{zovn} + Q_{vn} + Q_{fl} + Q_{ceil} - Q_{dod} \quad (1-7)$$

$$Q_{zovn} = h_{zovn} \cdot (t_{vn4} - t_{zovn})$$

$$Q_{vn} = h_{vn} \cdot (t_{vn4} - t_{vn4 \text{ exp}})$$

$$Q_{fl} = h_{fl} \cdot (t_{vn4} - t_{vn3})$$

$$Q_{ceil} = h_{fl} \cdot (t_{vn4} - t_{vn5})$$

де Q_p – номінальний тепловий потік ОП при $\Delta t = 70^\circ\text{C}$, кВт/м²;

$\square t = \frac{t_{pod4} + t_{zvor}}{2}$ – середня температура ОП, °С;

t_{pod4} – температура теплоносія на вході в ОП, °С;

t_{zvor} – температура теплоносія на виході з ОП, °С;

t_{vn4} – внутрішня температура повітря в приміщенні, °С;

m – витрата теплоносія через стояк, кг/с;

α – коефіцієнт затікання;

$c = 4,183$ кДж/кг·°С – питома теплоємність теплоносія (води);

$Q_{zovn}, Q_{vn}, Q_{fl}, Q_{ceil}$ – тепловтрати через зовнішні огороження, через бокові стіни до сусідніх приміщень, через підлогу та через стелю відповідно, кВт;

Q_{dod} – додаткові теплонадходження, кВт;

t_{zovn} – зовнішня температура повітря в приміщенні, °С;

h – приведений коефіцієнт теплової провідності огорожень, визначається згідно характеристик огорожувальних конструкцій, наведених в таблиці 1, Вт/К.

Крім теплофізичних властивостей огорожень задавалися: зовнішня температура, температура на вході в систему опалення стояка будівлі відповідно температурного графіку:

$$t_{под} = 18 + 64,5 \cdot k_{o.в}^{0,8} + 12,5 \cdot k_{o.в}, \quad (8)$$

де $k_{o.в} = \frac{t_{вн} - t_{зовн}}{t_{вн} - t_{р.о.}}$ – коефіцієнт зниження витрати теплоти на опалення та вентиляцію

залежно від температури зовнішнього повітря.

Характеристика приладів опалення визначалась із проектного розрахунку для внутрішньої температури 18°C , зовнішнього повітря $t_{зовн} = -22^{\circ}\text{C}$ [18] та відсутності внутрішніх та зовнішніх теплонадходжень при коефіцієнті затікання на всіх поверххах $\alpha = 0,5$, температура на вході/виході в стояк системи опалення $95/70^{\circ}\text{C}$.

Розроблена модель дає змогу визначити температуру теплоносія на вході та виході з опалювального приладу, тепловий потік від радіатора, теплові втрати через зовнішні огороження, перетоки через внутрішні огороження приміщень та внутрішню температуру повітря в приміщеннях різних поверхів з приладами опалення, приєднаними до одного стояка вертикальної однотрубною системи.

Результати моделювання.

В роботі проведено моделювання для розрахункових умов міста Київ при зовнішній температурі $t_{зовн} = -22^{\circ}\text{C}$ [18], а також серію моделювань для середніх умов для опалювального сезону $t_{зовн} = -0,1^{\circ}\text{C}$. Досліджується вплив місцевого регулювання системи опалення на 4 поверсі за допомогою регуляторів на опалювальних приладах при різних коефіцієнтах затікання, для різних зовнішніх умов, відповідних температур подачі води в стояк.

Сонячні теплонадходження не враховувались для виокремлення впливу кожної з складових, які досліджуються, і можливості співставлення їх при розрахункових та середніх зовнішніх умовах.

На рис. 2 представлено залежність зміни величини теплового потоку від опалювального приладу на 4-му поверсі залежно від коефіцієнту затікання α для розрахункової температури -22°C та зовнішній середній температурі для опалювального сезону $-0,1^{\circ}\text{C}$ з врахуванням внутрішніх перетоків в суміжні приміщення (Q), теплового потоку через зовнішні огороження ($Q_{зовн}$) та температури внутрішнього повітря в приміщенні $t_{вн}$. Для середніх зовнішніх умов температура води в подавальному трубопроводі на вході в прилад опалення

5-го поверху становить 58°C , визначеною за (8) відповідно для температурного графіку «95/70».

З рис. 2 слідує, що залежність теплового потоку від коефіцієнта затікання α має типову нелінійну залежність, що пояснюється показником ступеню 1,3 для чавунних радіаторів у рівнянні теплового потоку від опалювальних приладів. До малих коефіцієнтів затікання ($\alpha = 0 \dots 0,2$) тепловий потік більш чутливий, а при подальшому зростанні α – тепловий потік змінюється не суттєво. Для малих витрат теплоносія через опалювальний прилад температура внутрішнього повітря змінюється приблизно на 6°C для проектних умов та 3°C – для середніх умов. Зменшення температури в приміщенні призводить до зменшення тепловтрат $Q_{зовн}$ на 200 та 50 Вт, відповідно. Подальше збільшення витрати теплоносія ($\alpha=0,5 \dots 1$) не має суттєвого впливу на тепловий потік від приладу опалення та температуру внутрішнього повітря. Для двотрубних систем опалення характерним є робота на зменшених витратах теплоносія через опалювальний прилад, для однотрубних – характерним є робота зі збільшеними коефіцієнтами затікання.

На рис. 3 показано залежність зміни величини теплового потоку від опалювального приладу 4-го поверху в будівлі існуючого стану та після утеплення залежно від внутрішньої температури в приміщенні для розрахункової температури -22°C та середній температурі опалювального сезону $-0,1^{\circ}\text{C}$ з врахуванням внутрішніх перетоків в суміжні приміщення та

без, останнє значення відповідає тепловим втратам через зовнішні огороження (Q_{zovn}) при відповідній температурі внутрішнього повітря.

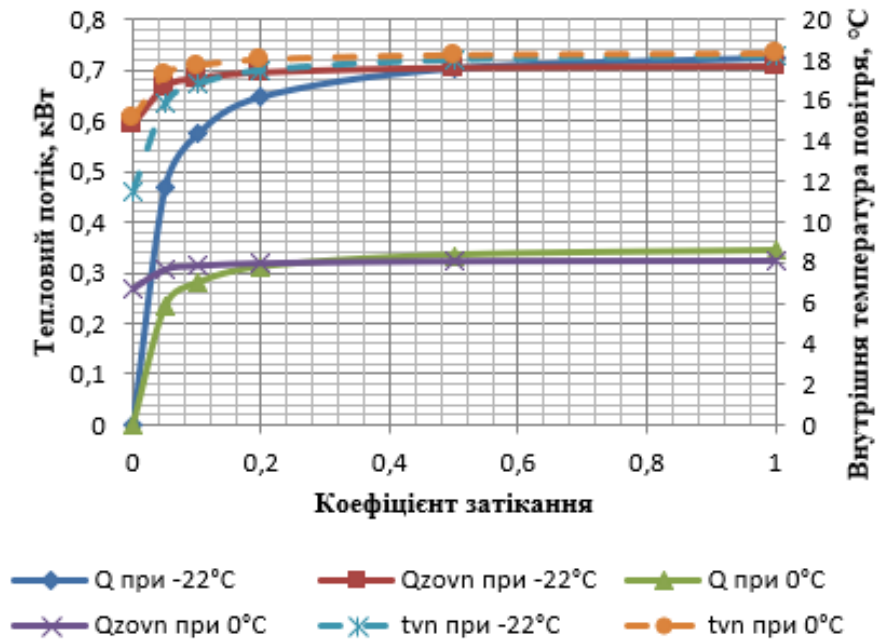


Рис. 2. Величина теплового потоку від опалювального приладу 4 поверху та температури повітря в приміщенні при різних коефіцієнтах затікання α

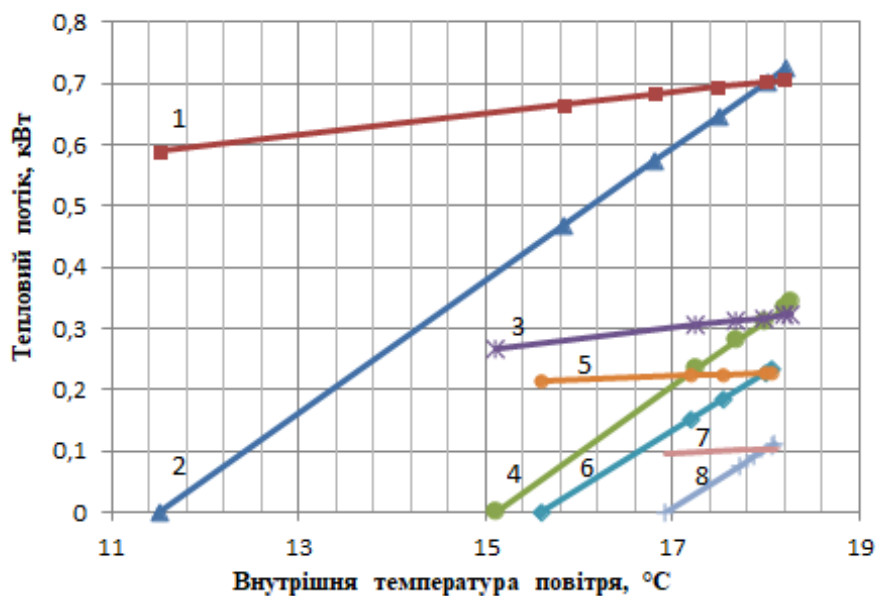


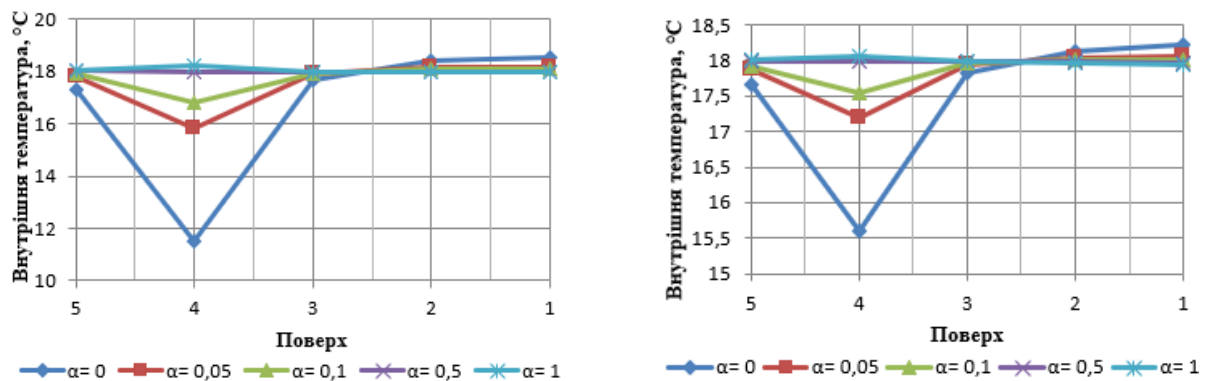
Рис. 3. Величина теплового потоку від опалювального приладу 4 поверху та температури повітря в приміщенні при різних коефіцієнтах затікання α

1, 5 – тепловий потік із врахуванням перетоку при $t_{zovn} = -22^{\circ}\text{C}$ для існуючої і будівлі після модернізації, відповідно; 4, 8 – те саме, при $t_{zovn} = -0,1^{\circ}\text{C}$; 2, 6 – тепловий потік від опалювального приладу при $t_{zovn} = -22^{\circ}\text{C}$ для існуючої і будівлі після модернізації, відповідно; 3, 7 – те саме, при $t_{zovn} = -0,1^{\circ}\text{C}$

З рис. 3 слідує, що при повному відключенні приладів опалення температура внутрішнього повітря при $t_{\text{зовн}} = -22^{\circ}\text{C}$ в приміщенні 4-го поверху утепленої будівлі більша за температуру в неутепленій. Тобто в даній ситуації, при $t_{\text{зовн}} = -22^{\circ}\text{C}$ вплив внутрішніх перетоків значно більший, ніж при середній температурі опалювального сезону $-0,1^{\circ}\text{C}$.

Регулювання опалювальних приладів може зменшити теплові втрати до 15%, при цьому внутрішня температура повітря в приміщенні може підтримуватись в значній мірі за допомогою перетоків через зовнішні огороження. Зниження температури при регулюванні залежить від рівня теплового захисту і може становити від 30% до 15%.

На рис. 4 наведена залежність зміни температури повітря для різних поверхів за умови різних коефіцієнтів затікання на 4-му поверсі 5-ти поверхової будівлі з верхнім розведенням опалювальних приладів.



а) існуючий стан

б) після утеплення

* наведені коефіцієнти α характерні для 4 поверху, на інших поверхах відповідають проектному значенню $\alpha = 0,5$

Рис. 4. Поповерховий розподіл внутрішньої температури повітря в приміщенні при різних коефіцієнтах затікання для $t_{\text{р.о.}} = -22^{\circ}\text{C}$

Повне відключення опалювального приладу на 4-му поверсі призводить до зниження температури на цьому поверсі до $11,5^{\circ}\text{C}$ (рис. 4,а), цей рівень підтримується за рахунок перетоків тепла з сусідніх приміщень через внутрішні стіни, підлогу та стелю. Це в свою чергу призводить до зниження температури опалення в кімнатах 5-го та 3-го поверхів, при відсутності регулювання в них, за рахунок трансмісійних перетоків на 4-й поверх та збільшення температури на нижніх поверхах до $0,5^{\circ}\text{C}$ за рахунок підвищення температури теплоносія на вході в прилади опалення.

При коефіцієнті затікання $0,05 \dots 0,2$ внутрішня температура повітря на 4-му поверсі коливається в межах $16 \dots 17,5^{\circ}\text{C}$, а на інших поверхах відчутної зміни температури повітря не спостерігається. Подальше збільшення коефіцієнту затікання $0,5 \dots 1$ суттєвого ефекту не дає, адже призводить до зміни температури повітря на цьому поверсі до $0,1 \dots 0,2^{\circ}\text{C}$. Рис.4,б показує, що утеплення будівлі призводить до зменшення пониження температури повітря в приміщенні 4-го поверху для аналогічних умов регулювання. Проведено оцінку перетоків тепла між сусідніми приміщеннями в умовах подібного регулювання при $t_{\text{зовн}} = -0,1^{\circ}\text{C}$.

На рис. 5 представлено величину тепловтрат через огорожуючі конструкції на 4-му поверсі залежно від коефіцієнту затікання α для розрахункової температури -22°C .

Висновки. В роботі створена імітаційна модель житлової будівлі з однотрубною системою опалення 5-ти поверхової типової будівлі масової забудови в програмному середовищі Mathcad для теплофізичних властивостей огорожень будівлі 80-х років ХХ століття та після її термомодернізації до сучасних вимог.

Проведено дослідження впливу локального регулювання однотрубною системою опалення з замикаючими ланками на основі імітаційної моделі для проектних/розрахункових та середніх для опалювального сезону температур зовнішнього повітря – до та після теплової модернізації будівлі в умовах теплової взаємодії приміщення з прилеглими зонами будівлі. Надано оцінку можливих додаткових витрат на опалення за рахунок перетоків через внутрішні огороження при регулюванні рівня температури внутрішнього повітря в сусідніх приміщеннях.

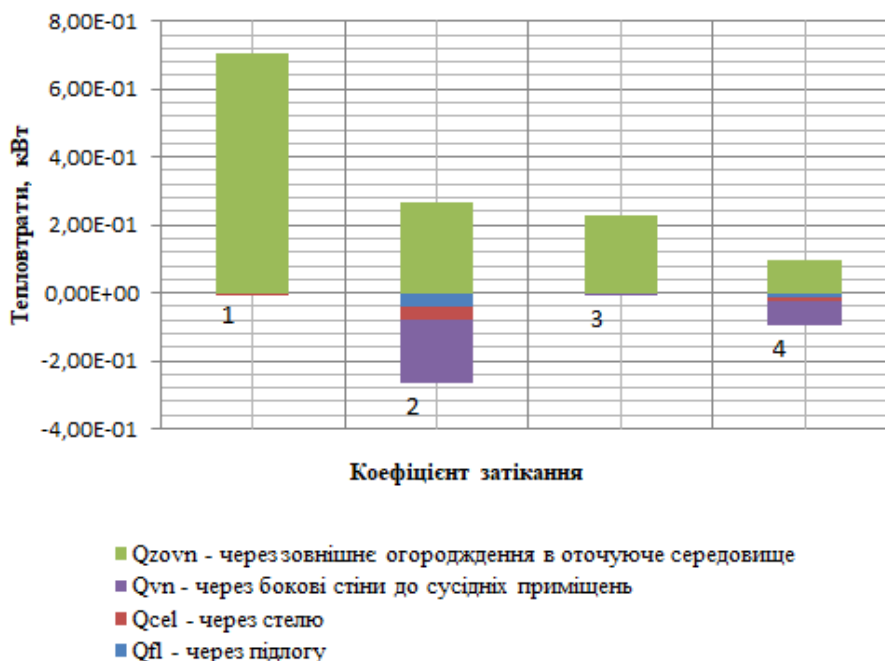


Рис. 5. Величина тепловтрат через огорожуючі конструкції для 4-го поверху при різних коефіцієнтах затікання α

1,3 – при $t_{зовн} = -22^{\circ}\text{C}$ для існуючого стану будівлі та після модернізації, відповідно, із базовим коефіцієнтом затікання ($\alpha = 0,5$); 2, 4 – те саме, при $\alpha = 0$

Досліджено внутрішні перетоки тепла в суміжні приміщення, зміну внутрішньої температури повітря під впливом зміни коефіцієнтів затікання в опалювальний прилад 4-го поверху та поповерховий розподіл температур в приміщеннях при розрахунковій температурі -22°C .

Розроблені підходи, отримані результати по впливу локального регулювання приладів вертикальних однотрубних систем опалення можуть бути використані при уточненні розподілу споживання енергії на опалення між окремими зонами багатоквартирних будинків.

В подальших дослідженнях планується дослідити вплив експлуатаційно-поведінкових особливостей мешканців на енергоспоживання будівель з врахуванням внутрішніх та сонячних теплонадходжень в зону кімнати.

References

1. Official website of DAEE (State Agency for Energy Efficiency). URL: <http://sae.gov.ua> [in Ukrainian].
2. Hepbasli, A. (2012). Low exergy (LowEx) heating and cooling systems for sustainable buildings and societies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, P. 73–104.

Література

1. Офіційний сайт ДАЕЕ (Держенергоефективності). URL: <http://sae.gov.ua>.
2. Hepbasli A. Low exergy (LowEx) heating and cooling systems for sustainable buildings and societies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012. Vol. 16. P. 73–104.

3. Dешко, В. І., Білоус, І. Ю., Максименко, О. Е. (2019). Suchasni problemy systemy opalennia bahatokvartyrnykh zhytlovykh budynkiv [Modern problems of the heating system of apartment buildings]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii = Technical sciences and technologies*, No. 1, P. 267–277. URL: <https://tst.stu.cn.ua/?l=ua>.
4. Pro enerhetychnu efektyvnist budivel: Zakon Ukrainy № 2118-VIII [On energy efficiency of buildings: Law of Ukraine]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text> [in Ukrainian].
5. Lavinska, Z., Sanytska, O. (2009). Cotsialno-ekolohichni aspekty enerhozberezhennia v zhytlovo-komunalnomu sektori. *GEODESY, ARCHITECTURE & CONSTRUCTION 2009* (GAC-2009), 14–16 MAY 2009, LVIV, UKRAINE. P. 75–77.
6. Dolinskyi, A. A., Basok, B. I. et al. (2007). Komunalna teploenerhetyka Ukrainy: stan, problemy, shliakhy modernizatsii [Communal heat energy of Ukraine: state, problems, ways of modernization]. Kyiv: ITTTF. 828 p. [in Ukrainian].
7. Pro skhvalennia Kontseptsii vprovadzhennia mekhanizmiv stabilnoho finansuvannia zakhodiv z enerhoefektyvnosti (stvorennia Fondu enerhoefektyvnosti) [About approval of the Concept of introduction of mechanisms of stable financing of measures on energy efficiency (creation of Fund of energy efficiency)]. URL: <http://www.kmu.gov.ua> [in Ukrainian].
8. DSTU-N B V.3.2-3:2014 Nastanova z vykonannia termomodernizatsii zhytlovykh budynkiv [Guidelines for thermal modernization of residential buildings] [in Ukrainian].
9. Dешко, В. І., Білоус, І. Ю., Максименко, О. М. (2018). Analiz tochkovoi indyvidualnoi termosnatsii ohorodzhuiuchykh konstruksii bahatokvartyrnykh zhytlovykh budynkiv [Analysis of point individual thermal rehabilitation of enclosing structures of apartment buildings]. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia = Energy: economics, technology, ecology*, No. 4, P. 7–13. URL: <http://energy.kpi.ua/article/view/164428/163453> [in Ukrainian].
10. Dешко, В. І., Білоус, І. Ю., Буяк Н. А., Гурєєв М. В. (2020). Otsiniuvannia dynkamyky enerhopotreby budivel masovoi zabudovy z urakhuvanniam ekserhetychnoi modeli teplovoho komfortu [Estimation of dynamics of energy consumption of buildings of mass construction taking into account exergetic model of thermal comfort]. *Enerhetyka ta avtomatyka = Energy and automation*, № 1, Article 77 [in Ukrainian].
11. Yan, D., O'Brien, W., Hong, T., Feng, X., Burak Gunay, H., Tahmasebi, F., Mahdavi, A. (2015). Occupant behavior modeling for building performance simulation: Current state and future challenges. *Energy and Buildings*,
3. Дешко В. І., Білоус І. Ю., Максименко О. Е. Сучасні проблеми системи опалення багатоквартирних житлових будинків. *Технічні науки та технології*. 2019. № 1. С. 267–277. URL: <https://tst.stu.cn.ua/?l=ua>.
4. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України № 2118-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>.
5. Лавінська З., Саницька О. Соціально-екологічні аспекти енергозбереження в житлово-комунальному секторі. *GEODESY, ARCHITECTURE & CONSTRUCTION 2009* (GAC-2009), 14–16 MAY 2009, LVIV, UKRAINE. P. 75–77.
6. Долінський А. А., Басок Б. І. та ін. Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації. К.: ІТТТФ, 2007. 828 с.
7. Про схвалення Концепції впровадження механізмів стабільного фінансування заходів з енергоефективності (створення Фонду енергоефективності). URL: <http://www.kmu.gov.ua>.
8. ДСТУ-Н Б В.3.2-3:2014 Настанова з виконання термомодернізації житлових будинків.
9. Дешко В. І., Білоус І. Ю., Максименко О. М. Аналіз точкової індивідуальної термосанації огорожуючих конструкцій багатоквартирних житлових будинків. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2018. № 4. С. 7–13. URL: <http://energy.kpi.ua/article/view/164428/163453>.
10. Дешко В. І., Білоус І. Ю., Буяк Н. А., Гурєєв М. В. Оцінювання динаміки енергопотребі будівель масової забудови з урахуванням ексергетичної моделі теплового комфорту. *Енергетика та автоматика*. 2020. № 1. Ст. 77.
11. Yan D., O'Brien W., Hong T., Feng X., Burak Gunay H., Tahmasebi F., Mahdavi A. Occupant behavior modeling for building performance simulation: Current state and

- Vol. 107, P. 264–278. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.032>.
12. Hong, T., Taylor-Lange, S. C., D'Oca, S., Yan, D., Corgnati, S. P. (2016). Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings. *Energy and Buildings*, Vol. 116, P. 694–702. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.052>.
13. Agee, P., et al. (2021). A human-centred approach to smart housing. *Build. Res. Inf.*, 49 (1): 84–99.
14. Redko, I., Ujma, A., Redko, A., Pavlovskiy, S., Redko, O., Burda, Y. (2021). Energy efficiency of buildings in the cities of Ukraine under the conditions of sustainable development of centralized heat supply systems. *Energy and Buildings*. 2021. Vol. 247, 110947. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110947>.
15. Park, J. Y., Ouf, M. M., Gunay, B., Peng, Y., O'Brien, W., Kjærsgaard, B. M., Nagy, Z. (2019). A critical review of field implementations of occupant-centric building controls. *Building and Environment*. 2019. Vol. 165. 106351. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106351>.
16. Azar, E., O'Brien, W., Carlucci, S., Hong, T., Sonta, A., Kim, J., Andargie, M. S., Abuimara, T., El Asmar, M., Jain, R. K., Ouf, M. M., Tahmasebi, F., and Zhou, J. (2020). Simulation-aided occupant-centric building design: A critical review of tools, methods, and applications. *Energy and Buildings*. 2020. Vol. 224. 110292. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110292>.
17. DSTU B A.2.2-12:2015. Enerhetychna efektyvnist budivel. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannia pry opalenni, okholodzhenni, ventyliatsii, osvittleni ta haryachomu vodopostachanni [Energy efficiency of buildings. Method of calculating energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply]. Introduced for the first time; effective from 01.01.2015. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2016. 205 p. [in Ukrainian].
18. DSTU-N B V.1.1-27:2010 Budivelna klimatohiia [Construction climatology] [in Ukrainian].
- future challenges. *Energy and Buildings*. 2015. Vol. 107. P. 264–278. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.032>.
12. Hong T., Taylor-Lange S. C., D'Oca S., Yan D., Corgnati S. P. Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings. *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 116. P. 694–702. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.052>.
13. Agee P. et al. A human-centred approach to smart housing. *Build. Res. Inf.* 2021. No. 49 (1). P. 84–99.
14. Redko I., Ujma A., Redko A., Pavlovskiy S., Redko O., Burda Y. Energy efficiency of buildings in the cities of Ukraine under the conditions of sustainable development of centralized heat supply systems. *Energy and Buildings*. 2021. Vol. 247, 110947. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110947>.
15. Park J. Y., Ouf M. M., Gunay B., Peng Y., O'Brien W., Kjærsgaard B. M., Nagy Z. A critical review of field implementations of occupant-centric building controls. *Building and Environment*. 2019. Vol. 165. 106351. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106351>.
16. Azar E., O'Brien W., Carlucci S., Hong T., Sonta A., Kim J., Andargie M. S., Abuimara T., El Asmar M., Jain R. K., Ouf M. M., Tahmasebi F., Zhou J. Simulation-aided occupant-centric building design: A critical review of tools, methods, and applications. *Energy and Buildings*. 2020. Vol. 224. 110292. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110292>.
17. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. Уведений вперше; чинний від 2015.01.01. К.: Мінрегіонбуд України, 2016. 205 с.
18. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія.

DESHKO VALERII

D. Sc. (Tech), Professor

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-8218-3933>

Scopus Author ID: 6506189670

ResearcherID: J-6517-2017

E-mail: te@kpi.ua

MAKSYMENKO OLEKSANDRA

Assistant,

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

<http://orcid.org/0000-0003-4099-2772>

E-mail: aleksalekonceva94@gmail.com

BILOUS INNA

PhD (Tech.), Associate Professor, Head of Department
of Heat Engineering and Energy Saving,
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine
<http://orcid.org/0000-0002-6640-103x>
Scopus Author ID: 57194104035
ResearcherID: J-7070-2017
E-mail: bilous_inna@ukr.net

ДЕШКО В. И., БИЛОУС И. Ю., МАКСИМЕНКО О. Э.

Национальный технический университет Украины

"Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", Украина

**ВЛИЯНИЕ МЕСТНОГО ПОКВАРТИРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ
ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ НА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ**

Цель. Анализ распределения расхода тепловой энергии на отопление типовых жилых зданий до и после термомодернизации с учетом местного поквартирного регулирования, а также исследование влияния перетоков теплоты между смежными зонами (квартирами).

Методика. В работе проведено исследование регулирования распределения отопления однотрубной системы с замыкающими зонами 5-ти этажного жилого здания массовой застройки 80-х годов до и после термомодернизации на основе имитационной модели созданной в программной среде Mathcad для проектных/расчетных и средних условий.

Результаты. Исследовано влияние внутренних перетоков тепла в смежные помещения, изменение внутренней температуры воздуха под влиянием локального изменения коэффициентов затекания в отопительный прибор.

Научная новизна. Показано влияние и ограничение локального регулирования отопления вертикальных однотрубных систем в условиях теплового взаимодействия помещения с близлежащими зонами здания до и после тепловой модернизации. Дана оценка возможных дополнительных затрат на отопление за счет перетоков через внутренние ограждения при регулировании уровня температуры внутреннего воздуха в соседних помещениях.

Практическая значимость. Разработанные подходы и полученные результаты по влиянию локальной регулировки приборов вертикальных однотрубных систем отопления, могут быть использованы при уточнении распределения потребления энергии на отопление между отдельными зонами многоквартирных домов.

Ключевые слова: энергосбережение; внутренняя температура; регулирование и расход энергии на отопление; жилые здания; моделирование.

DESHKO V. I., BILOUS I. Y., MAKSYMENKO O. E.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

**INFLUENCE OF LOCAL APARTMENT REGULATION OF HOUSEHOLD
HEATING SYSTEMS ON ENERGY CONSUMPTION**

Target. Analysis of the distribution of thermal energy costs for heating typical buildings before and after thermal modernization, taking into account local apartment-by-apartment regulation, as well as a study of the impact of heat flows between adjacent areas (apartments).

Methodology. Analysis of the distribution of thermal energy costs for heating typical buildings before and after thermal modernization, taking into account local apartment-by-apartment regulation, as well as a study of the impact of heat flows between adjacent areas (apartments).

Results. The influence of internal heat flows to adjacent rooms, change of internal air temperature under the influence of local change of flow coefficients in the heater is investigated.

Scientific novelty. The influence and limitations of local heating control of vertical single-pipe systems in the conditions of thermal interaction of the room with adjacent areas of the building before and after thermal modernization of the building are shown.

Practical significance. Developed approaches, the results obtained on the influence of local control of vertical single-pipe heating systems can be used to clarify the distribution of energy consumption for heating between individual areas of apartment buildings.

Keywords: energy saving; internal temperature; regulation and energy consumption for heating; residential buildings; modeling.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2022.1.3>

УДК 661.124

ГАЛСТЯН А. Г., ЗАДВОРНИХ І. С., КОСЕНКО О.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАКЦІЇ ОКИСНЕННЯ БЕНЗИЛІДЕНДІАЦЕТАТУ ОЗОНОМ У РОЗЧИНІ АЦЕТАТНОГО АНГІДРИДУ

Мета. Вивчити кінетику реакції окиснення бензилідендіацетату озоном для з'ясування умов, за яких альдегід буде втрачати схильність до подальшого окиснення і перетворюватись у цільовий продукт.

Методика. Кінетику окиснення бензилідендіацетату досліджували в реакторі типу «каталітична качка». Змішування газової і рідкої фаз у реакторі досягали за рахунок струшування його зі швидкістю 8 c^{-1} , що дозволяло працювати в кінетичній області. Кінетику реакції вивчали, вимірюючи концентрацію озону в газовій фазі на вході і виході з реактора, яку реєстрували автоматично з використанням спектрофотометричного методу в області поглинання 254–290 нм. Ідентифікацію продуктів окиснення і визначення їх вмісту в розчині здійснювали методом газової хроматографії на хроматографі з полум'яно-іонізаційним детектором. Аналіз проводили на колонці довжиною 2 м, заповненої носієм «Хроматон N-AW» з нанесеною на нього нерухомою фазою SE-30 у кількості 5% від маси носія. Температура у термостаті регулювалась по програмі 373–473 K за 10 хв. Швидкість газу – носія (азот 1,8); водню 1,8; повітря 18 л/год. В якості внутрішнього стандарту використовували 4-нітрохлорбензен.

Результати. Досліджено кінетику та механізм рідиннофазного окиснення бензилідендіацетату озоном. Показано, що реакція перебігає за двома напрямками: за бічним ланцюгом з утворенням бензойної кислоти і бензеновим кільцем з подальшим руйнуванням ароматичної системи. При температурах до 283 K швидкість реакції озону з бензилідендіацетатом описується за кінетичним рівнянням другого порядку, за яким озон витрачається за неланцюговим іоно-радикальним механізмом. При підвищених температурах стає помітним ланцюгове витрачання озону, пов'язане з його участю в реакції з продуктами термічного розкладу пероксидів. Стехіометричний коефіцієнт за озоном в реакції з бензилідендіацетатом мало залежить від співвідношення реагентів та температури і у діапазоні 278–323 K приблизно дорівнює 1,1.

Наукова новизна. Показано, що при озонуванні толуену в присутності сульфатної кислоти ацетатний ангідрид є не тільки розчинником, але і запобігає подальшому окисненню бензальдегіду озоном за рахунок швидкого утворення стійкого до дії озону бензилідендіацетату. Встановлені нові кінетичні закономірності, які доповнюють існуючі уявлення про хімію і технологію окиснення аренів озоном у рідкій фазі.

Практична значимість. Показана можливість зупинки окиснення толуену озоном на стадії утворення бензальдегіду. Отримані дані можуть стати основою для створення нової низькотемпературної технології синтезу бензальдегіду та його похідних.

Ключові слова: окиснення; озон; бензилідендіацетат; бензальдегід; кінетика.

Вступ. Бензальдегід є важливим продуктом органічного синтезу. В промисловості його синтезують лужним гідролізом бензальхлориду і оксосинтезом із бензину і карбон(IV) оксиду [1, 2]. Більша частина бензальдегіду знаходить застосування у виробництві лікарських засобів, синтетичних барвників, у харчовій промисловості тощо [3, 4]. Світове споживання бензальдегіду безперервно зростає і за прогнозами у 2024 році світовий ринок його споживання досягатиме 270 млн. доларів на рік.

Незважаючи на безперервне вдосконалення традиційних методів отримання бензальдегіду, вони і сьогодні мають вагомні технологічні і екологічні недоліки. З цього приводу привертають увагу технології прямого окиснення толуену повітрям. Вони здійснюються як у газовій, так і у рідкій фазах, мають значні переваги перед існуючими, але

поки що характеризуються низькими ступенями перетворення субстрату і виходами цільового продукту, а їх реалізація потребує високих температур та надлишкового тиску [5,6].

Одним з можливих варіантів усунення цих недоліків є заміна окисника – молекулярного кисню, на його алотропну модифікацію – озон. В роботі [7] показано, що в системі $\text{Ac}_2\text{O}-\text{H}_2\text{SO}_4-\text{Mn}(\text{OAc})_2-\text{KBr}$ озон реагує з толуеном вже при температурі 278 К з утворенням бензилідендіацетату (72,5%) і бензальдегіду (12,5%), які при подальшому окисненні перетворюються у бензойну кислоту. Авторами досліджена кінетика окиснення толуену, запропоновано схему каталітичного процесу.

Постановка завдання. В даній роботі продовжені ці дослідження, а саме вивчено кінетику реакції окиснення бензилідендіацетату озonom з метою з'ясування умов, за яких альдегід втрачає схильність до подальшого окиснення і стає цільовим продуктом.

Результати дослідження. При температурі 278 К толуен у розчині ацетатного ангідриду досить швидко окиснюється озоноповітряною сумішшю (рис. 1). Після вичерпного окиснення субстрату (2 год) переважно утворюються стійкі до дії озону пероксидні сполуки (92,0%) і значно в менших кількостях продукти окиснення за метильною групою, склад і природа яких змінюється по ходу реакції: на ранніх стадіях спостерігається поява бензилового спирту, бензальдегіду та їх ацильованих похідних (сумарна кількість не перевищує 10^{-3} моль/л), які поступово перетворюються у бензойну кислоту (5,8 %, кр.5).

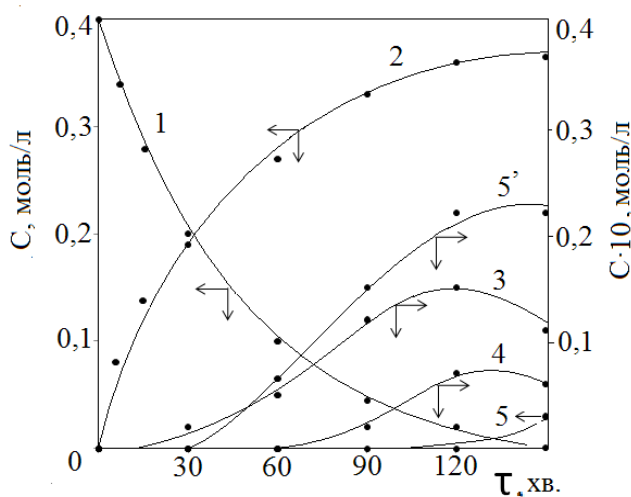


Рис. 1. Кінетика окиснення толуену озonom в ацетатному ангідриді при 278К;
[ArCH_3] $_0 = 0,4$ моль/л; [H_2SO_4] $_0 = 0,8$ моль/л; [O_3] $_0 = 4,1 \cdot 10^{-4}$ моль/л; швидкість подачі
газової суміші $8,3 \cdot 10^{-3}$ л/с; 1 – толуен; 2 – пероксиди; 3 – бензилацетат;
4 – бензилідендіацетат; 5 – бензойна кислота; 5' – бензойна кислота за відсутності H_2SO_4 .
(С – концентрація; τ – час)

В присутності каталітичних добавок сульфатної кислоти кінцевими продуктами окиснення толуену за метильною групою є бензилацетат (3,8%) і бензилідендіацетат (2,2%). Після 110 хв окиснення в системі починає накопичуватися бензойна кислота (рис. 1, кр. 5). Наявність неацильованого альдегіду пояснюється низькою швидкістю реакції ацилювання в умовах експерименту, яка до того ж є рівноважною (рис. 2).

Бензилідендіацетат є досить стійким до дії озону. Він витрачається в реакції з озonom значно повільніше ніж толуен (рис. 3, кр. 1; $r_{\text{ArCH}(\text{OAc})_2} = 0,51 \cdot 10^{-4}$ моль/(л·с), $r_{\text{ArCH}_3} = 0,28 \cdot 10^{-4}$ моль/(л·с) [9]). За окисненням утворюються пероксиди (кр. 2; 52,5%) і бензойна кислота (кр. 3; 40,2%), якісними реакціями виявлено виділення карбон(IV) оксиду.

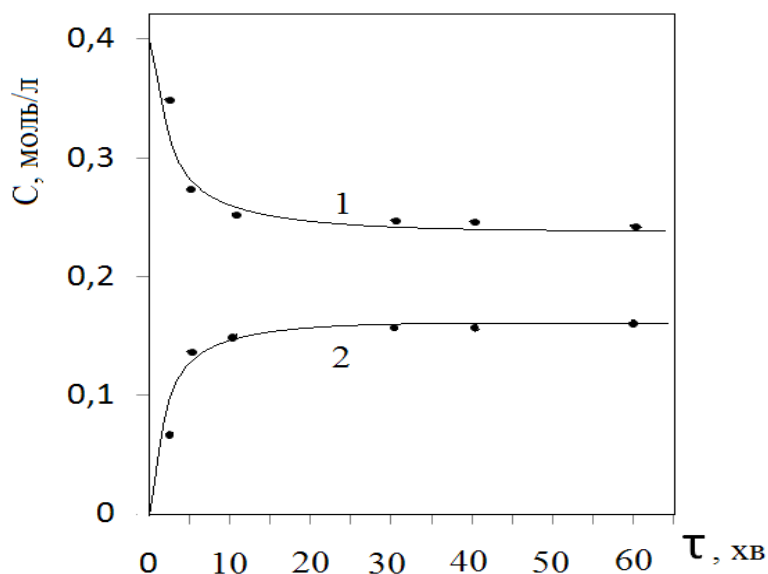


Рис. 2. Кінетика ацилювання бензальдегіду в ацетатному ангідриді при $T = 278 \text{ K}$; $[\text{H}_2\text{SO}_4]_0 = 0,8 \text{ моль/л}$; 1 – бензальдегід; 2 – бензилідендіацетат (С – концентрація; τ – час)

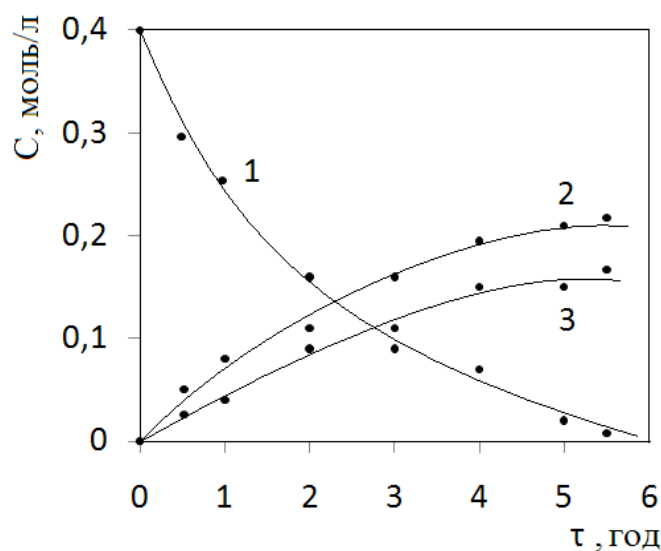


Рис. 3. Кінетика окиснення бензилідендіацетату озонповітряною сумішшю в ацетатному ангідриді при 278 K . $[\text{H}_2\text{SO}_4]_0 = 0,8 \text{ моль/л}$; $[\text{O}_3]_0 = 4,1 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$; 1 – бензилідендіацетат, 2 – пероксиди, 3 – бензойна кислота (С – концентрація; τ – час)

В умовах дослідів ($T = 278 \text{ K}$; $\omega = 0,18 \text{ с}^{-1}$; $[\text{O}_3]_0 = 4,1 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$; $[\text{AcCH}(\text{OAc})_2]_0 = 0,4 \text{ моль/л}$; $[\text{H}_2\text{SO}_4]_0 = 0,8 \text{ моль/л}$) початкова швидкість витрати бензилідендіацетату – $r_{\text{AcCH}(\text{OAc})_2} = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ моль/(л}\cdot\text{с)}$, швидкість утворення бензойної кислоти – $r_{\text{AcCOOH}} = 0,13 \cdot 10^{-4} \text{ моль/(л}\cdot\text{с)}$ і сумарна швидкість утворення надбензойної кислоти та пероксидів – продуктів руйнування ароматичного кільця – $r_{\text{ок}} = 0,31 \cdot 10^{-4} \text{ моль/(л}\cdot\text{с)}$. Витрата озону на моль окисненого бензилідендіацетату мало залежить від співвідношення реагентів та температури і в діапазоні $278\text{--}323 \text{ K}$ дорівнює $1,1 \pm 0,10 \text{ моль}$.

Залежність швидкості витрати озону від концентрації вихідних речовин, як і при окисненні толуену [9], має складний характер: при температурах до 283К швидкість реакції має перший порядок за реагентами (рис. 4):

$$r_{O_3} = k_{\text{еф}} \cdot [\text{ArCH}(\text{OAc})_2]_0 \cdot [\text{O}_3]_0 \quad (1)$$

де $k_{\text{еф}}$ – ефективна константа швидкості, що враховує усі напрямки витрати озону (4–6).

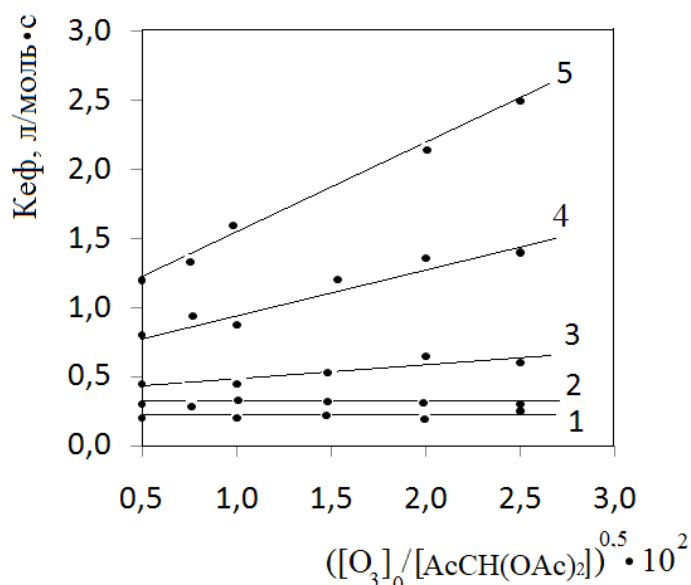


Рис. 4. Залежність ефективної константи швидкості поглинання озону від концентрації бензилідендіацетату і озону при $T = 278 \text{ K}$ (1), 283 K (2), 293 K (3), 303 K (4), 313 K (5) ($k_{\text{еф}}$ – ефективна константа швидкості)

А при підвищених температурах:

$$r_{O_3} = k' \cdot [\text{ArCH}(\text{OAc})_2]_0 \cdot [\text{O}_3]_0 + k'' \cdot [\text{ArCH}(\text{OAc})_2]_0^{0.5} \cdot [\text{O}_3]_0^{1.5} \quad (2)$$

Рівняння (2) впливає з даних рис. 4, з якого видно, що

$$k_{\text{еф}} = k' + k'' \left(\frac{[\text{O}_3]_0}{[\text{ArCH}(\text{OAc})_2]_0} \right)^{0.5} \quad (3)$$

де k' – константа швидкості неланцюгової витрати озону;

k'' – константа швидкості ланцюгової витрати озону (табл. 1).

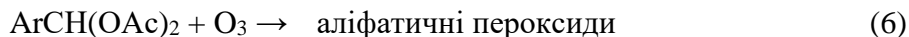
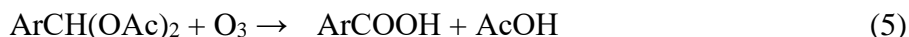
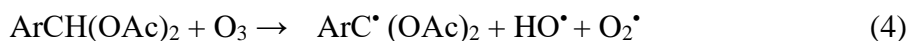
Таблиця 1

Константи швидкості неланцюгової (k') і ланцюгової (k'') витрати озону в реакції з бензилідендіацетатом; $V_{\text{рідини}} = 0,03 \text{ л}$; $([\text{O}_3]_0 / [\text{ArCH}(\text{OAc})_2]_0)^{0.5} = (0,63 \div 2,7) \cdot 10^{-2}$

$T, \text{ K}$	$k', \text{ л/(моль}\cdot\text{с)}$	$k'', \text{ л/(моль}\cdot\text{с)}$
278	0,23	0,00
283	0,30	0,00
293	0,49	5,00
303	0,92	13,00
313	1,17	30,00

При температурі 278 К $k_{\text{еф}}$ реакції озону з бензилідендіацетатом складає 0,23 л/(моль·с), що у п'ятеро нижче за $k_{\text{еф}}$ реакції озону з бензальдегідом (1,2 л/(моль·с) [8]).

Таким чином, за умов окиснення бензилідендіацетату озоном спостерігається три напрямки витрати озону (4–6).



Передбачається, що рівняння (1) визначає сумарну швидкість паралельних реакцій озону з бензилідендіацетатом за бічним ланцюгом і бензеновим кільцем (4–6), а рівняння (2) враховує ще і ланцюгову витрату озону в реакції з продуктами термічного розкладу аліфатичних пероксидів, що було не одноразово описано для реакцій озонування толуену та його заміщених в ароматичному кільці [8, 10]:



Ланцюгова витрата озону в реакції з продуктами термічного розкладу аліфатичних пероксидів відбувається за рахунок проходження реакцій (8, 9).

Висновок.

1. Бензилідендіацетат – продукт окиснення толуену за метильною групою, реагує з озоном за двома напрямками: за бічним ланцюгом з утворенням бензойної кислоти (40,2%) і бензеновим кільцем (52,5%) з руйнуванням ароматичної системи.

2. При температурах до 283 К швидкість реакції озону з бензилідендіацетатом описується за кінетичним рівнянням другого порядку, за яким озон витрачається за неланцюговим іоно-радикальним механізмом. При підвищених температурах стає помітним ланцюгове витрачання озону, пов'язане з його участю в реакції з продуктами термічного розкладу пероксидів.

3. Стехіометричний коефіцієнт за озоном в реакції з бензилідендіацетатом мало залежить від співвідношення реагентів і температури і у діапазоні 278–323 К приблизно дорівнює 1,1.

References

1. Vapor phase catalytic hydrolysis of benzalchloride or its halogen or trifluoromethyl-substitute to form benzaldehyde or substitute: pat. 4450298 U.S.: Int Cl. C07C 45/43. № 400011; filed 20.07.82; issued 22.05.84.
2. Process for the preparation of benzaldehyde: pat. 4229379 U.S.: Int Cl.C07C 45/43. № 958240; filed 06.11.78; issued 21.10.80.
3. Paset, B. V. (2002). Osnovnye processy himicheskogo sinteza biologicheskii aktivnyh veshchestv: uchebnyk dlya vuzov [The main processes of chemical synthesis of biologically active substances: a textbook for universities]. Moscow: GEOTAR-MED. 376 p. [in Russian].
4. Lisicyan, V. N. (1987). Himiya i tekhnologiya promezhutochnykh produktov [Chemistry and technology of intermediates]. Moscow: Himiya. 368 p. [in Russian].

Література

1. Vapor phase catalytic hydrolysis of benzalchloride or its halogen or trifluoromethyl-substitute to form benzaldehyde or substitute: pat. 4450298 U.S.: Int Cl. C07C 45/43. № 400011; filed 20.07.82; issued 22.05.84.
2. Process for the preparation of benzaldehyde: pat. 4229379 U.S.: Int Cl.C07C 45/43. № 958240; filed 06.11.78; issued 21.10.80.
3. Пасет Б. В. Основные процессы химического синтеза биологически активных веществ: учебник для вузов. Москва: ГЭОТАР-МЕД, 2002. 376 с.
4. Лисицын В. Н. Химия и технология промежуточных продуктов. Москва: Химия, 1987. 368 с.

5. Mohammed, M., Kalantari, F. (2003). Cobalt and Manganese Salts of p-aminobenzoic acid supported in silikagel. A Versatile catalyst for oxidation by molecular oxygen. *Monatshefte fuer Chemie*, Vol. 134, № 3, P. 11–18.
6. Cheng Youwei, Wang Li Xi (2205). Effects of Guanidine on the Liquid-Phase Catalytic Oxidation of p-Xylene to terephthalic Acid. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 44, № 20, P. 7756–7760.
7. Galstyan, S. G., Tyupalo, N. F., Galstyan, A. G. (2011). Kinetika i mekhanizm kataliticheskoy reakcii ozona s toluolom v srede uksusnogo ангидрида [Kinetics and Mechanism of the Catalytic Reaction of Ozone with Toluene in Acetic Anhydride]. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tekhnologij*, Vol. 49, № 1/9, P. 27–29 [in Russian].
8. Galstyan, G. A., Tyupalo, N. F., Razumovskij, S. D. (2004). Ozon i ego reakcii s aromaticeskimi soedineniyami v zhidkoj faze [Ozone and its reactions with aromatic compounds in the liquid phase]. Lugansk: SNU im. V. Dalya. 272 p. [in Russian].
9. Halstian, S. H., Tyupalo, N. F., Halstian, A. H. (2010). Kinytyka okysnennia toluolu ozonopovitrianoiou sumishshiu v ostovomu anhidrydi [Kinetics of oxidation of toluene by ozone-air mixture in acetic anhydride]. *Ukrainskyi khimichnyi zhurnal*, Vol. 76, № 4, P. 26–30 [in Ukrainian].
10. Potapenko, E. V. (2012). Kinetika i mekhanizm zhidkofaznogo kataliticheskogo ozonirovaniya metilbenzolov v prisutstvii silnyh kislot [Kinetics and Mechanism of Liquid-Phase Catalytic Ozonation of Methylbenzenes in the Presence of Strong Acids]. *Zhurnal obshchej himii*, Vol. 82, № 6, P. 982–987 [in Russian].
5. Mohammed M., Kalantari F. Cobalt and Manganese Salts of p-aminobenzoic acid supported in silikagel. A Versatile catalyst for oxidation by molecular oxygen. *Monatshefte fuer Chemie*. 2003. V. 134, №3. P. 11–18.
6. Cheng Youwei, Wang Li Xi. Effects of Guanidine on the Liquid-Phase Catalytic Oxidation of p-Xylene to terephthalic Acid. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2005. V. 44, №20. P. 7756–7760.
7. Галстян С. Г., Тюпало Н. Ф., Галстян А. Г. Кинетика и механизм каталитической реакции озона с толуолом в среде уксусного ангидрида. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2011. Т. 49, № 1/9. С. 27–29.
8. Галстян Г. А., Тюпало Н. Ф., Разумовский С. Д. Озон и его реакции с ароматическими соединениями в жидкой фазе. Луганск: СНУ ім. В. Даля, 2004. 272 с.
9. Галстян С. Г., Тюпало Н. Ф., Галстян А. Г. Кинетика окиснення толуолу озонopовітряною сумішшю в оцтовому ангідриді. *Український хімічний журнал*. 2010. Т. 76, № 4. С. 26–30.
10. Потапенко Э. В. Кинетика и механизм жидкофазного каталитического озонирования метилбензолов в присутствии сильных кислот. *Журнал общей химии*. 2012. Т. 82, № 6. С. 982–987.

HALSTIAN ANDRII

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

ZADVORNYKH I.

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

KOSENKO O.

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

ГАЛСТЯН А. Г., ЗАДВОРНЫХ И. С., КОСЕНКО О.

Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ БЕНЗИЛИДЕНДИАЦЕТАТА ОЗОНОМ
В РАСТВОРЕ АЦЕТАТНОГО АНГИДРИДА**

Цель. Изучить кинетику реакции окисления бензилидендиацетата озоном для выяснения условий, при которых альдегид будет терять склонность к дальнейшему окислению и превращаться в целевой продукт.

Методика. Кинетику окисления бензилидендиацетата исследовали в реакторе типа «каталитическая утка». Смешивание газовой и жидкой фаз в реакторе достигали за счет встряхивания его со скоростью 8 с^{-1} , что позволяло работать в кинетической области. Кинетику реакции изучали, измеряя концентрацию озона в газовой фазе на входе и выходе из реактора, которую регистрировали автоматически с использованием спектрофотометрического метода в области поглощения 254–290 нм. Идентификацию продуктов окисления и определение их содержания в растворе осуществляли методом газовой хроматографии на хроматографе с пламенно-ионизационным детектором. Анализ проводили на колонке длиной 2 м, заполненной носителем Хроматон N-AW с нанесенной на него неподвижной фазой SE-30 в количестве 5% от массы носителя. Температура в термостате регулировалась по программе 373–473 К за 10 мин. Скорость газа – носителя (азот 1,8); водорода 1,8; воздуха 18 л/час. В качестве внутреннего стандарта использовали 4-нитрохлорбензен.

Результаты. Исследованы кинетика и механизм жидкофазного окисления бензилидендиацетата озоном. Показано, что реакция протекает по двум направлениям: по боковой цепи с образованием бензойной кислоты и бензольному кольцу с последующим разрушением ароматической системы. При температурах до 283 К скорость реакции озона с бензилидендиацетатом описывается кинетическим уравнением второго порядка, согласно которому озон расходуется по нецепному ионно-радикальному механизму. При повышенных температурах становится заметным цепное расхождение озона, связанное с его участием в реакции с продуктами термического разложения пероксидов. Стехиометрический коэффициент по озону в реакции с бензилидендиацетатом мало зависит от соотношения реагентов и температуры и в диапазоне 278–323 К примерно равен 1,1.

Научная новизна. Показано, что при озонировании толуола в присутствии сульфатной кислоты ацетатный ангидрид является не только растворителем, но и предотвращает дальнейшее окисление бензальдегида озоном за счет быстрого образования устойчивого к озону бензилидендиацетата. Установлены новые кинетические закономерности, дополняющие существующие представления о химии и технологии окисления аренов озоном в жидкой фазе.

Практическая значимость. Показана возможность остановки окисления толуола озоном на стадии образования бензальдегида. Полученные данные могут стать основой для создания новой низкотемпературной технологии синтеза бензальдегида и его производных.

Ключевые слова: окисление; озон; бензилидендиацетат; бензальдегид; кинетика.

HALSTIAN A., ZADVORNYKH I., KOSENKO O.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

THE STUDY OF THE REACTION OF OXIDATION OF BENZYLIDENDIACETATE BY OZONE IN SOLUTION OF ACETATE ANHYDRIDE

Purpose. Study the kinetics of the oxidation reaction of benzylidendiacetate with ozone to determine the conditions under which the aldehyde will lose its tendency to further oxidation and become the target product.

Methodology. The oxidation kinetics of benzylidendiacetate were studied in a catalytic duck reactor. Mixing of gas and liquid phases in the reactor was achieved by shaking it at a speed of 8 s^{-1} , which allowed to work in the kinetic region. The reaction kinetics were studied by measuring the concentration of ozone in the gas phase at the inlet and outlet of the reactor, which was recorded automatically using the spectrophotometric method in the absorption range of 254–290 nm. Identification of oxidation products and determination of their content in solution was carried out by gas chromatography on a chromatograph with a flame ionization detector. The analysis was performed on a 2 m long column filled with Chromaton N-AW carrier with SE-30 stationary phase applied to it in the amount of 5% by weight of the carrier. The temperature in the thermostat was regulated according to the program 373–473 K for 10 minutes. Gas speed – carrier (nitrogen 1.8); hydrogen 1.8; air 18 l/h. 4-nitrochlorobenzene was used as an internal standard.

Findings. The kinetics and mechanism of liquid-phase oxidation of benzylidendiacetate by ozone have been studied. It is shown that the reaction proceeds in two directions: along the side chain with the formation of benzoic acid and the benzene ring with the subsequent destruction of the aromatic system. At temperatures

up to 283 K, the reaction rate of ozone with benzyliden- diacetate is described by the second-order kinetic equation, according to which ozone is consumed by a non-chain ion-radical mechanism. At elevated temperatures, the chain depletion of ozone due to its participation in the reaction with the products of thermal decomposition of peroxides becomes noticeable. The stoichiometric coefficient for ozone in the reaction with benzylidendiacetate depends little on the ratio of reagents and temperature and in the range of 278–323 K is approximately 1.1.

Originality. It has been shown that in the ozonation of toluene in the presence of sulfuric acid, acetic anhydride is not only a solvent, but also prevents further oxidation of benzaldehyde by ozone due to the rapid formation of ozone-resistant benzylidendiacetate. New kinetic regularities have been established, which supplement the existing ideas about the chemistry and technology of oxidation of arenes by ozone in the liquid phase.

Practical value. The possibility of stopping the oxidation of toluene by ozone at the stage of benzaldehyde formation is shown. The obtained data can be the basis for the creation of a new low-temperature technology for the synthesis of benzaldehyde and its derivatives.

Keywords: oxidation; ozone; benzylidendiacetate; benzaldehyde; kinetics.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2022.1.4>

УДК 541.64:
539.2:537.5

ЩЕНКО О. В., БАУЛА О. П., ПЛАВАН В. П., ЛЯШОК І. О.
Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ТА ФАРМАКОТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛІВОК З НІМЕСУЛІДОМ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНИХ ПОЛІСАХАРИДІВ

Мета. Метою наукової роботи є дослідження фізико-механічних та фармакотехнологічних властивостей плівок з німесулідом на основі модифікованих полісахаридів для одержання дозованої лікарської форми, що здатна забезпечувати пролонгований терапевтичний ефект.

Методика. Для оцінки фізико-механічних властивостей плівок з німесулідом на основі модифікованих полісахаридів визначали розривне навантаження та еластичність при вигині плівок за стандартною методикою. Гравіметричним методом досліджували вплив вмісту німесуліду в полімерній композиції на кінетику сорбції розчину NaCl плівками. Визначали кінетику вивільнення німесуліду з плівок на основі карбоксиметильованого крохмалю та полівінілового спирту з використанням тесту «Розчинення».

Результати. Досліджено фізико-механічні властивості плівок на основі модифікованих полісахаридів з німесулідом. Визначено, що збільшення вмісту німесуліду підвищує розривне навантаження на 115%, а гнучкість зберігається при кількості згинань до 400 разів. Дослідження кінетики сорбції фізіологічного розчину NaCl плівками на основі карбоксиметильованого крохмалю та полівінілового спирту з німесулідом показало зростання набрякання плівок на 270% зі збільшенням вмісту фармацевтичного інгредієнту. Встановлено, що отримані плівки є дозованими лікарськими формами, що здатні забезпечувати терапевтичні концентрації німесуліду. Запропоноване рівняння прогнозування кінетики вивільнення німесуліду в залежності від концентрації АФІ у плівці та часу її використання.

Наукова новизна роботи полягає у встановленні особливостей вивільнення німесуліду з плівок на основі полімерної композиції карбоксиметильованого крохмалю з полівініловим спиртом.

Практичне значення. Встановлено можливість використання плівок на основі карбоксиметильованого крохмалю з полівініловим спиртом у співвідношенні 50/50 для фармацевтичної розробки трансдермальних дозованих лікарських форм з заданими фармакотехнологічними властивостями.

Ключові слова: карбоксиметильований крохмаль; полівініловий спирт; німесулід; трансдермальна терапевтична система; плівка.

Низка фізико-хімічних властивостей, які враховують специфіку кожної галузі, зокрема фармацевтичної, зумовлює використання функціональних полімерних матеріалів [1].

Полімери ефективно застосовують в медицині для лікування ран різного характеру. Це зумовлено, перш за все, їх властивостями: високою сорбційною ємністю, еластичністю, здатністю прилягати до поверхні складної форми, повітропроникністю, легкістю застосування та іншими важливими якостями [2].

Асортимент полімерів для створення функціональних основ лікарських засобів включає як природні, так і синтетичні полімери та їх композиції [3]. Відомо використання природних високомолекулярних сполук для виготовлення плівок: желатину, крохмалю, крохмалю з високим вмістом амілози; похідних пектину, альгілату натрію [4, 5]; серед синтетичних та штучних – похідні крохмалю та целюлози [6, 7], полівініловий спирт, поліетиленоксид, полівінілпіролідон у різних комбінаціях.

Окремим напрямком застосування полімерних матеріалів є розробка лікарських засобів з трансдермальною системою доставки активних фармацевтичних інгредієнтів (АФІ), які характеризуються сталими фізико-механічними і фармакотехнологічними властивостями [1, 8, 9].

Для забезпечення контрольованої доставки АФІ до системного кровообігу через шкіру та підтримки терапевтичної концентрації в організмі використовують лікарську форму на основі полімерних плівок у вигляді трансдермальної терапевтичної системи (ТТС). До складу матричної основи входять структуроутворюючі речовини, розчинники, пластифікатори, що обумовлюють фізико-хімічні і фармакотехнологічні властивості. Полімери є основою, яка контролює вивільнення АФІ із матриксу, а допоміжні речовини покращують його якість [10–12].

Найбільш сучасним підходом при виробництві лікарських засобів у формі плівок є поєднання природних полімерів та/або їх модифікацій з водорозчинними синтетичними полімерами, що забезпечує експлуатаційні та функціональні властивості матеріалу. Тому для розробки лікарського засобу у формі ТТС на основі німесуліді при створенні матричного шару були використані модифікований крохмаль та полівініловий спирт (ПВС). Такий вибір обумовлений здатністю речовин до плівкоутворення, а також ці полімери здатні до біологічного розкладання, мають сорбційні, кровоспинні та інші спеціальні властивості. В якості пластифікатора використовувався гліцерин (він широко застосовується у виробництві різних косметичних засобів завдяки своїй біологічній дії), а дистильована вода та ізопропіловий спирт використовувалися як розчинники при виробництві матричного шару.

Європейським комітетом з лікарських засобів для людини, обґрунтовано стратегію (вступила в дію в 2015 році) розробки та оцінки якості ТТС як готової лікарської форми [13].

ТТС призначені для забезпечення контрольованої швидкості і ступеню системної доставки АФІ через шкіру, переважно шляхом дифузії. Це є основним фактором поглинання АФІ через шкіру та обмежує їх номенклатуру для використання в ТТС. До основних властивостей належить розчинність АФІ в маслянистих речовинах та у воді, біодоступність, агрегатний стан, дисперсність часток, температура плавлення, рН, поліморфізм, запах. Лікарський засіб не повинен викликати подразнення шкіри чи призводити до її сенсibiliзації. Склад ТТС не повинен чинити негативний вплив на шкіру, викликати побічні реакції чи негативний вплив діючої речовини.

Відповідно до поставлених та обґрунтованих вимог до АФІ, в роботі проводили розробку лікарського засобу у формі ТТС з використанням діючої речовини – німесуліді (N-(4-нітро-2-феноксифеніл) метансульфонамід).

Для того, щоб забезпечити якість лікарського засобу, ТТС повинна мати достатню гнучкість, м'якість, еластичність і хорошу фізико-хімічну стабільність. Це необхідно враховувати при розробці плівок для забезпечення їх ефективності. Дослідження механічної міцності, водопоглинання, вивільнення *in vitro* потрібно для оцінки характеристик плівок.

Застосування модифікованих полісахаридів завдяки наявності певних функціональних груп, які забезпечують функцію полімеру-носія АФІ, дає можливість регулювати швидкість їх дифузії. Актуальність роботи обумовлена необхідністю розширення вітчизняного асортименту лікарських засобів у формі ТТС на основі модифікованих полісахаридів з контрольованою доставкою АФІ, зокрема німесуліді.

Постановка завдання. Результати досліджень дозволяють встановити вплив вмісту німесуліді у плівці на основі полімерної композиції модифікованого полісахариду та ПВС на розривне навантаження та гнучкість, сорбційні властивості до фізіологічного розчину, кінетику вивільнення АФІ.

Метою наукової роботи є розробка технології одержання плівок на основі полімерної композиції з модифікованим полісахаридом, полівініловим спиртом з додаванням німесуліді та дослідження їх фізико-механічних фармакотехнологічних властивостей.

Методологія досліджень. Для одержання плівок використовували карбоксиметильований крохмаль (Карбоксикрин С, ТУ У 6-04872 671.061-96), полівініловий

спирт (ПВС) марки 16/1 (масова частка ацетатних груп, не більше 0,9-1,7%) та АФІ – німесулід – N-(4-нітро-2-феноксифеніл) метансульфонамід (CAS: 51803-78-2).

Готували окремо 10 % розчини карбоксиметильованого крохмалю та ПВС. Для одержання композицій для створення плівок, компоненти з'єднували при температурі 95–98 °С та постійному перемішуванні. Досліджували композиції у співвідношенні КМК/ПВС 50/50 з різними концентраціями німесуліду 1, 5, 10 мас.% з товщиною зразка $h=0,24$ мм.

Розривне навантаження (F_p , Н) плівок визначали, використовуючи розривну машину РТ-250М [14].

Визначали еластичність при вигині плівок згідно з ISO 1519:2011. Досліджували поверхні плівок до появи дефектів, які спостерігали у лупу з 4-кратним збільшенням.

Визначення рН проводили відповідно до вимог загальної статті 2.2.3. «Потенціометричне визначення рН» Державної Фармакопеї України II вид. [15].

Дослідження кінетики вивільнення німесуліду проводили відповідно до вимог загальної статті 2.9.4. «Тест «Розчинення» для трансдермальних пластирів» Державної Фармакопеї України II вид. [16]. Для проведення тесту «Розчинення» готували плівки на основі полімерної композиції КМК/ПВС з німесулідом розміром 15×15 мм; з концентраціями німесуліду 1; 5; 10 мас.% (від сухих компонентів плівки). У дослідженнях застосовували метод комірки для екстракції та прилад з лопаттю, який відповідав фармакопейним вимогам. Середовищем розчинення було обрано фізіологічний розчин NaCl, об'єм якого становив 200 мл. Тестування проводили при температурі $(32 \pm 0,5)$ °С. Проби відбиралися кожні 15 хв поки кількість діючої речовин, що вивільнилася із плівки, у перерахунку на одиницю площі поверхні вивільнення й одиницю часу за певних умов випробування знаходиться у зазначених межах.

Проведено дослідження кінетики вивільнення німесуліду з плівок на «Проникнення» через мембрану (целофанову плівку марки В-8079) згідно методики дифузійної чарунки за типом чарунки Франца методом діалізу [17]. Вивільнення відбувалось при температурі $(32 \pm 1,0)$ °С, при постійному перемішуванні.

Сорбцію розчину NaCl X (%) плівок на основі полімерної композиції КМК/ПВС з німесулідом оцінювали за гравіметричним методом та розраховували за формулою:

$$X = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100\% \quad (1)$$

де m_2 – маса зразка в певний момент часу перебування у розчині NaCl, г;
 m_1 – маса сухого зразка, г.

Концентрацію німесуліду, який перейшов у розчин за тестом «Розчинення» визначали методом кількісного визначення німесуліду за допомогою методу спектрофотометрії у УФ-ділянці спектра при довжині хвилі 298 нм для етанольних розчинів [18].

Вміст німесуліду в абсорбційному розчині розраховували за формулою:

$$C = \frac{A_1 \cdot m_0 \cdot 100}{A_0 \cdot m_1}, \quad (2)$$

де C – вміст німесуліду у водній фазі, г/л;

A_1 – абсорбція випробуваного розчину при 298 нм (96% спирт етиловий);

A_0 – абсорбція розчину стандартного зразка німесуліда (0,0017 г в 100 мл етилового спирту);

m_1 – маса наважки випробуваного розчину, г;

m_0 – маса наважки стандартного зразка німесуліду, г.

Результати дослідження. На рис. 1 наведено результати досліджень механічних властивостей плівок КМК/ПВС (50/50) на основі німесулідру. Зразки з концентрацією німесулідру 1 мас.%, були повністю розірвані, а при збільшенні концентрації діючої речовини спостерігалось часткове руйнування або деформація по довжині, але не розрив.

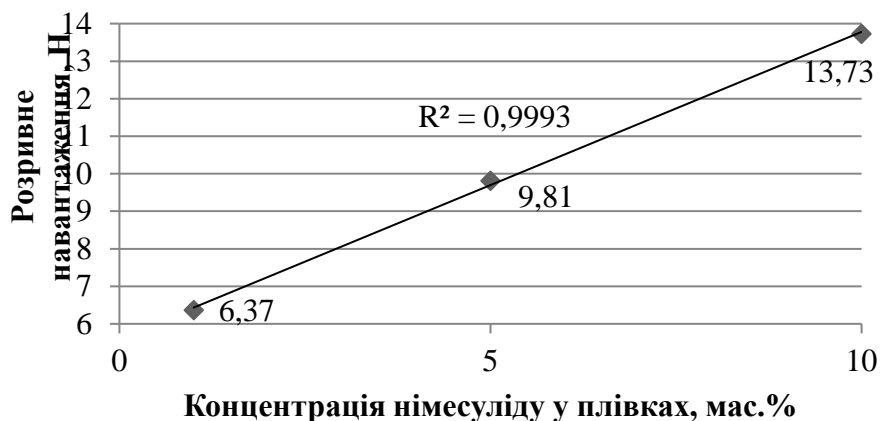


Рис. 1. Механічні властивості плівок КМК/ПВС (50/50) з німесулідом

Розривне навантаження змінюється з 6,37 до 13,73 Н зі збільшенням вмісту німесулідру у плівках.

Тест на еластичність при вигині всі отримані плівки пройшли успішно, пошкодження поверхні не відбулося. При тестуванні плівок із німесулідом з концентраціями 1, 5, 10 мас.% зразки не зазнали руйнування чи розламу при 300, 350 і 400 згинаннях. Отже плівки на основі полімерної композиції КМК/ПВС відповідають встановленим вимогам, а додавання німесулідру залишає плівки еластичними при вигині. Усі отримані зразки мали задовільний показник рН = 6-6,5.

За характером сорбції розчинів NaCl досліджуваних зразків (рис. 2) встановили, що плівки на основі КМК/ПВС з німесулідом відносяться до систем з обмеженим набряканням.

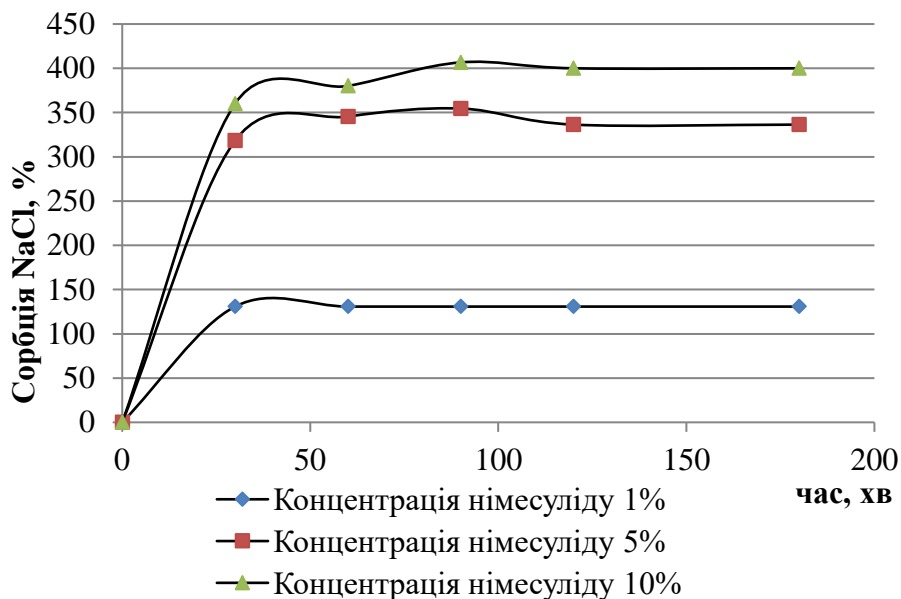


Рис. 2. Кінетика сорбції розчину NaCl плівками на основі КМК/ПВС з німесулідом

Зі збільшенням вмісту німесулід у складі композиції зростає сорбції розчину NaCl плівок від 130 до 400 %.

В значній мірі кінетика вивільнення АФІ з полімерної матриці залежить від фізико-хімічних властивостей АФІ та допоміжних речовин, а також від морфології системи. Зміна значення рН чи температурного режиму може призвести до зміни швидкості ерозії чи розчинності полімерів. При контакті з біологічними рідинами полімерна плівка починає набрякати, що супроводжується зміною сили взаємодії між полімерними ланцюгами та призводить до дифузії АФІ.

Для того, щоб діюча речовина потрапляла до системного кровообігу, АФІ має вивільнятися із системи з оптимальною швидкістю. Оцінка вивільнення АФІ з ТТС має важливе значення, оскільки вона являється етапом визначення швидкості в процесі абсорбції. [19, 20].

Встановлено, що німесулід поступово вивільнюється з усіх отриманих плівок (рис. 3).

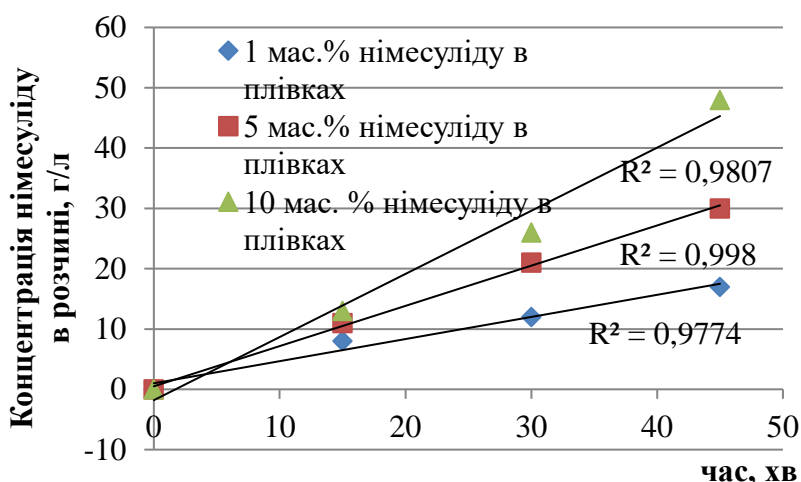


Рис. 3. Кінетика вивільнення німесулід з плівок КМК/ПВС (50/50) за тестом «Розчинення»

Вивільнення німесулід зростає зі збільшенням його вмісту в плівках. Полімерна основа КМК/ПВС (50/50) придатна для отримання ТТС з діючою речовиною німесулід і може бути рекомендована для подальших біофармацевтичних досліджень.

В результаті математичної обробки одержаних експериментальних даних отримали рівняння:

$$K = -10,2 + 0,7 \cdot \tau + 1,8 \cdot C. \quad (3)$$

Представлене рівняння дозволяє встановлювати концентрацію АФІ у плівці на основі КМК/ПВС та прогнозувати кінетику вивільнення німесулід (K, мг/л) в залежності від концентрації АФІ (C, %) у плівці та часу (τ , хв) її використання.

Встановлено, що в умовах тесту «Розчинення» у середовище розчинення за 45 хв. з отриманих плівок на основі КМК/ПВС (50/50) перейшло більше 75% німесулід. Розроблена лікарська форма може забезпечити терапевтичну концентрацію німесулід у системному кровообігу.

Висновки. В роботі доведено можливість отримання плівок на основі полімерної композиції з модифікованим полісахаридом, а саме карбоксиметильованим крохмалем, з ПВС та додавання АФІ – німесулід методом поливу.

Встановили, що отримані плівки мають задовільні механічні властивості на розривне навантаження та гнучкість. Встановлено, що збільшення вмісту німесулід підвищує розривне

навантаження з 6,37 до 13,73 Н, а гнучкість зберігається при кількості згинань до 400 разів. Дослідження кінетики сорбції розчину NaCl плівок на основі КМК/ПВС з німесулідом показало зростання набрякання плівок зі збільшенням вмісту АФІ від 130 до 400 %.

Встановлено, що отримані плівки на основі КМК/ПВС (50/50) з вмістом німесуліду є дозованими лікарськими формами, що забезпечують терапевтичну концентрацію німесуліду у системному кровообігу.

References

1. Pertsev, Y. M., Zupanets Y. A. (2003). Farmatsevticheskye y medyko-byolohycheskye aspekty lekarstv [Pharmaceutical and biomedical aspects of a drug]. Kharkov: UkrFA. Vol. 1. P. 106–275 [in Russian].
2. Advanced structural and functional materials for protection. Ed. by W. Lau, S. H. Min, L. N. Sua, M. Jan, A. Tok. Trans Tech Publications, 2008. 202 p.
3. Karpenko, O. S., Demchenko, I. B. (2013). Biolohichno aktyvni polimerni systemy z likarskymy rehovynamy [Biologically active polymer systems with medicinal substances]. *Polimernyi zhurnal = Polymer journal*, № 35 (4), P. 333–342 [in Ukrainian].
4. Davtian, L. L., Holod, A. S. (2013). Vykorystannia polimeriv dlia stvorennia novykh likarskykh zasobiv u formi plivok [The use of polymers to create new drugs in the form of films]. *Farmatsevtichnyi zhurnal = Pharmaceutical Journal*, № (5), P. 51–57 [in Ukrainian].
5. Preis, M., Pein, M., Breitreutz, J. (2012). Development of a taste-masked orodispersible film containing dimenhydrinate. *Pharmaceutics*, № 4 (4), P. 551–562.
6. Chauhan, S., Lin, S., Madan, P. L. (2012). Preparation and evaluation of nicotine hydrogen tartrate fast dissolving films for smoking cessation. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, № 7 (3), P. 181–192.
7. Ding, A., Nagarsenker, M. (2008). Formulation and evaluation of fast dissolving films for delivery of triclosan to the oral cavity. *Aaps Pharmscitech*, № 9 (2), P. 349–356. DOI: 10.1208/s12249-008-9047-7.
8. Kovalchuk, V. P. (1998). Eksperymentalne doslidzhennia vlastyvostei antimikrobnikh tekstylnykh materialiv [Experimental study of the properties of antimicrobial textile materials]. *Visnyk Vinnytskoho derzhavnoho medychnoho universytetu = Bulletin of Vinnytsia State Medical University*, № 1, P. 134–135 [in Ukrainian].
9. Riabov, S. V., Boiko, V. V., Kobrina, L. V. (2019). Tsyklodekstryny ta funktsionalni polimerni materialy na yikh osnovi: monohrafiia [Cyclodextrins and functional polymeric materials based on them]. IKhVS NANU. Kyiv: Naukova dumka. 128 p. [in Ukrainian].

Література

1. Перцев И. М., Зупанец И. А. Фармацевтические и медико-биологические аспекты лекарств. Харьков: УкрФА, 2003. Т. 1. С. 106–275.
2. Advanced structural and functional materials for protection. Ed. by W. Lau, S. H. Min, L. N. Sua, M. Jan, A. Tok. Trans Tech Publications, 2008. 202 p.
3. Карпенко О. С., Демченко И. Б. Біологічно активні полімерні системи з лікарськими речовинами. *Полімерний журнал*. 2013. № 35 (4). P. 333–342.
4. Давтян Л. Л., Голод А. С. Використання полімерів для створення нових лікарських засобів у формі плівок. *Фармацевтичний журнал*. 2013. № (5). С. 51–57.
5. Preis M., Pein M., Breitreutz J. Development of a taste-masked orodispersible film containing dimenhydrinate. *Pharmaceutics*. 2012. № 4 (4). P. 551–562.
6. Chauhan S., Lin S., Madan P. L. Preparation and evaluation of nicotine hydrogen tartrate fast dissolving films for smoking cessation. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2012. № 7 (3). P. 181–192.
7. Ding A., Nagarsenker M. Formulation and evaluation of fast dissolving films for delivery of triclosan to the oral cavity. *Aaps Pharmscitech*. 2008. № 9 (2). P. 349–356. DOI: 10.1208/s12249-008-9047-7.
8. Ковальчук В. П. Експериментальне дослідження властивостей антимікробних текстильних матеріалів. *Вісник Вінницького державного медичного університету*. 1998. № 1. С. 134–135.
9. Рябов С. В., Бойко В. В., Кобріна Л. В. Циклодекстрини та функціональні полімерні матеріали на їх основі: монографія. IXBC НАНУ. Київ: Наукова думка, 2019. 128 с.

10. Sokolova, I. I., Denysova, O. H., Stoian, O. Yu. (2019). Klinichna parodontolohiia dytiachoho viku [Clinical periodontology of childhood]: navch. posib. [textbook]. Kharkiv: KhNMU. 96 p. [in Ukrainian].
11. Ishchenko, E. V., Plavan, V. P., Liashok, Y. A. (2017). Plenky na osnove vodorastvorymykh polymerov medytsynskoho naznachenya [Films based on water-soluble polymers for medical purposes]. *Innovatsyionnye tekhnolohyy v tekstylnoi y lehkoi promyshlennosti* [Innovative technologies in the textile and light industry]: mat. dokl. mezhdunar. nauch.-tekh. konf., posviashch. Hodu nauky (21–22 noiabria 2017 h., h. Vytebsk, VHTU). Vytebsk. P. 210–212 [in Russian].
12. Rozhnova, R. A., Karpenko, O. S., Rudenchyk, T. V., Halatenko, N. A., Kiselova, T. O. (2016). Rozrobka plivkovykh materialiv z dekametoksynom na osnovi poliuretansechovyn, yaki mistiat u svoii strukturi frahmenty kopolimeru Nvinilpirolidonu z vinilovym spyrtom [Development of film materials with decamethoxine based on polyurethaneureas, which contain in their structure fragments of a copolymer of N-vinylpyrrolidone with vinyl alcohol]. *Naukovi zapysky NaUKMA. Khimichni nauky i tekhnolohii*, № 183, P. 54–59 [in Ukrainian].
13. Alkilani, A. Z., McCrudden, M. T. C., Donnelly, R. F. (2015). Transdermal Drug Delivery: Innovative Pharmaceutical Developments Based on Disruption of the Barrier Properties of the stratum corneum. *Pharmaceutics journal*, № 7 (4), P. 438–470. DOI: 10.3390/pharmaceutics7040438.
14. ASTM D882-18 Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. URL: <https://standards.globalspec.com/std/13050669/astm-d882>.
15. Derzhavna Farmakopeia Ukrainy [State Pharmacopoeia of Ukraine]. 2nd ed. Appendix 2. Kharkiv: Derzhavne pidpriemstvo "Ukrainskyi naukovyi farmakopeinyi tsentr yakosti likarskykh zasobiv", 2018. 336 p. [in Ukrainian].
16. Derzhavna Farmakopeia Ukrainy [State Pharmacopoeia of Ukraine]. 2nd ed. Appendix 1. Kharkiv: Derzhavne pidpriemstvo "Ukrainskyi naukovyi farmakopeinyi tsentr yakosti likarskykh zasobiv", 2016. 360 p. [in Ukrainian].
17. Committee for Medicinal Products for Human Use (CHMP): Guideline on quality of trans dermal patches. European Medicines Agency's (EMA). 2014. URL: <https://www.ema.europa.eu/en/committees/committee-medicinal-products-human-use-chmp>.
18. Yurchenko, I. O., Buriak, V. P. (2010). Spektrofotometrychnyi metod kilkisnogo vyznachennia Nimesulidu v substansii ta likarskykh formakh [Spectrophotometric method for quantitative determination
10. Соколова І. І., Денисова О. Г., Стоян О. Ю. Клінічна пародонтологія дитячого віку: навч. посіб. Харків: ХНМУ, 2019. 96 с.
11. Ищенко Е. В., Плаван В. П., Ляшок И. А. Пленки на основе водорастворимых полимеров медицинского назначения. *Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности: мат. докл. междунар. науч.-тех. конф., посвящ. году науки (21–22 ноября 2017 г., г. Витебск, ВГТУ)*. Витебск, 2017. С. 210–212.
12. Рожнова Р. А., Карпенко О. С., Руденчик Т. В., Галатенко Н. А., Кісельова Т. О. Розробка плівкових матеріалів з декаметоксином на основі поліуретансечовин, які містять у своїй структурі фрагменти кополімеру Nвінілпіролідону з вініловим спиртом. *Наукові записки НаУКМА. Хімічні науки і технології*. 2016. № 183. С. 54–59.
13. Alkilani A. Z., McCrudden M. T. C., Donnelly R. F. Transdermal Drug Delivery: Innovative Pharmaceutical Developments Based on Disruption of the Barrier Properties of the stratum corneum. *Pharmaceutics journal*. 2015. № 7 (4). P. 438–470. DOI: 10.3390/pharmaceutics7040438.
14. ASTM D882-18 Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. URL: <https://standards.globalspec.com/std/13050669/astm-d882>.
15. Державна Фармакопея України. 2-е вид. Доповнення 2. Харків: Державне підприємство "Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів", 2018. 336 с.
16. Державна Фармакопея України. 2-е вид. Доповнення 1. Харків: Державне підприємство "Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів", 2016. 360 с.
17. Committee for Medicinal Products for Human Use (CHMP): Guideline on quality of trans dermal patches. European Medicines Agency's (EMA). 2014. URL: <https://www.ema.europa.eu/en/committees/committee-medicinal-products-human-use-chmp>.
18. Юрченко І. О., Буряк В. П. Спектрофотометричний метод кількісного визначення Німесулід у субстанції та

- of Nimesulide in substance and dosage forms]. *Zaporozhskiy medytsynskiy zhurnal = Zaporozhye medical journal*, № 2. P. 148–152 [in Ukrainian].
19. Baula, O. P., Ishchenko, O. V., Cherkas, S. S., Resnytskyi, I. V., Bessarabov, V. I. (2019). Rozrobka pidkhodiv do formuvannia stratehii kontroliu transdermalnykh terapevtychnykh system [Development of approaches to formation of strategy of control of transdermal therapeutic systems]. *Visnyk KNUTD. Seriya Tekhnichni nauky = Bulletin of the KNUTD. Technical Sciences Series*, № 3 (134), P. 79–88. DOI: 10.30857/1813-6796.2019.3.8 [in Ukrainian].
20. СТ-Н МОЗУ Настанова 42-3.2:2004: Настанову з якості. Лікарські засоби. Специфікації: контрольні випробування та критерії прийнятності [Guidelines for quality. Medicines. Specifications: control tests and eligibility criteria]. Kyiv: Ministerstvo okhorony zdorov'ia Ukrainy, 2004. 39 p. [in Ukrainian].
- лікарських формах. *Запорожський медичинський журнал*. 2010. № 2. С. 148–152.
19. Баула О. П., Іщенко О. В., Черкас С. С., Ресницький І. В., Бессарабов В. І. Розробка підходів до формування стратегії контролю трансдермальних терапевтичних систем. *Вісник КНУТД. Серія Технічні науки*. 2019. № 3 (134). С. 79–88. DOI: 10.30857/1813-6796.2019.3.8.
20. СТ-Н МОЗУ Настанова 42-3.2:2004: Настанови з якості. Лікарські засоби. Специфікації: контрольні випробування та критерії прийнятності. К.: Міністерство охорони здоров'я України, 2004. 39 с.

ISHCHENKO OLENA

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Department of Applied Ecology, Technology of
Polymers and Chemical Fibers, Kyiv National
University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9510-6005>
Scopus Author ID: 57200013816
E-mail: e.ishchenko5@gmail.com

LIASHOK IRINA

PhD, Associate Professor
Department of Applied Ecology, Technology of
Polymers and Chemical Fibers, Kyiv National
University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9171-1075>
Scopus Author ID: 6508201621
E-mail: liashok77@gmail.com

PLAVAN VIKTORIYA

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

BAULA OLGA

PhD, Associate Professor
Department of Industrial Pharmacy
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4305-6517>
Scopus Author ID: 57193357927
E-mail: baulapharma@gmail.com

ИЩЕНКО Е. В., БАУЛА О. П., ПЛАВАН В. П., ЛЯШОК И. А.

Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ФАРМАКОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА ПЛЕНОК С НИМЕСУЛИДОМ НА ОСНОВЕ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ**

Цель. Целью научной работы является исследование физико-механических и фармакологических свойств пленок с нимесулидом на основе модифицированных полисахаридов для получения дозированной лекарственной формы, способной обеспечивать пролонгированный терапевтический эффект.

Методика. Для оценки физико-механических свойств пленок с нимесулидом на основе модифицированных полисахаридов определяли разрывную нагрузку и эластичность при изгибе пленок по стандартной методике. Гравиметрическим методом исследовали влияние содержания нимесулида в полимерной композиции на кинетику сорбции раствора NaCl пленками. Определяли кинетику

высвобождения нимесулида из пленок на основе карбоксиметилированного крахмала и поливинилового спирта с использованием теста «Растворения».

Результаты. Исследованы физико-механические свойства пленок на основе модифицированных полисахаридов с нимесулидом. Определено, что увеличение содержания нимесулида повышает разрывную нагрузку на 115%, а гибкость сохраняется до 400 сгибаний. Исследование кинетики сорбции физиологического раствора NaCl пленками на основе карбоксиметилированного крахмала и поливинилового спирта с нимесулидом показало повышение степени набухания пленок на 270% с увеличением содержания фармацевтического ингредиента. Установлено, что полученные плёнки являются дозированными лекарственными формами, способными обеспечивать терапевтические концентрации нимесулида. Предложено уравнение прогнозирования кинетики высвобождения нимесулида в зависимости от концентрации АФИ в пленке и времени ее использования.

Научная новизна работы состоит в установлении особенностей высвобождения нимесулида из пленок на основе полимерной композиции карбоксиметилированного крахмала с поливиниловым спиртом.

Практическое значение. Установлена возможность использования пленок на основе карбоксиметилированного крахмала с поливиниловым спиртом в соотношении 50/50 для фармацевтической разработки дозированных трансдермальных лекарственных форм с заданными фармакотехнологическими свойствами.

Ключевые слова: карбоксиметилированный крахмал; поливиниловый спирт; нимесулид; трансдермальная терапевтическая система; пленка.

ISHCHENKO O. V., BAULA O. P., PLAVAN V. P., LYASHOK I. O.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

PHYSICO-MECHANICAL AND PHARMACOTECHNOLOGICAL PROPERTIES OF NIMESULIDE FILMS BASED ON MODIFIED POLYSACCHARIDES

Purpose. The aim of the research is to study the physico-mechanical and pharmaco-technological properties of nimesulide films based on modified polysaccharides to obtain dosage forms that can provide a prolonged therapeutic effect.

Methodology. To evaluate the physical and mechanical properties of films with nimesulide on the basis of modified polysaccharides, the tensile load and flexural elasticity of the films were determined by standard methods. The effect of nimesulide content in the polymer composition on the sorption kinetics of NaCl solution films was investigated by gravimetric method. The kinetics of nimesulide release from films based on carboxymethylated starch and polyvinyl alcohol were determined using the Dissolution Test.

Findings. Physico-mechanical properties of films based on modified polysaccharides with nimesulide were studied. It is determined that increasing the content of nimesulide increases the tensile load by 115%, and flexibility is maintained at the number of bends up to 400 times. A study of the kinetics of sorption of saline NaCl films based on carboxymethylated starch and polyvinyl alcohol with nimesulide has shown an increase in swelling of the films by 270% with increasing content of the pharmaceutical ingredient. The obtained films were found to be dosage forms capable of providing therapeutic nimesulide concentrations. The equation for predicting the kinetics of nimesulide release depending on the concentration of API in the film and the time of its use is proposed.

Originality. The scientific novelty of the work is to establish the features of the release of nimesulide from films based on the polymer composition of carboxymethylated starch with polyvinyl alcohol.

Practical value. The possibility of using films based on carboxymethylated starch with polyvinyl alcohol in the ratio of 50/50 for the pharmaceutical development of transdermal dosage forms with specified pharmacotechnological properties has been established.

Keywords: carboxymethylated starch; polyvinyl alcohol; nimesulide; transdermal therapeutic system; film.

ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ЩОДО ПОДАННЯ РУКОПISУ СТАТЕЙ **наукового фахового видання** **«Технології та інжиніринг»** **(Technologies and Engineering)**

Редакційна колегія журналу «Технології та інжиніринг» приймає до розгляду наукові статті авторів за матеріалами досліджень і науково-технічних розробок. Подані статті розглядаються редакційною колегією журналу «Технології та інжиніринг», і після отримання позитивної рецензії приймаються до публікації.

ПРАВИЛА ПОДАННЯ РУКОПISІВ СТАТЕЙ

Для публікації автори подають в редакцію журналу:

(ЕТАП 1) Подаються 2 електронних файли рукопису на електронну адресу vistnuk@knu.edu.ua:

– один файл – в текстовому редакторі *Microsoft Word for Windows* (версії 97/2000/XP/2003).

Назва файлів: *Прізвище_statja_ukr.docx* та *Прізвище_statja_ukr.pdf*

В темі листа обов'язково вказується: Стаття у «Технології та інжиніринг».

- Другий файл – сканована копія заяви на перевірку на ознаки академічного плагіату (Додаток 3).

Після отримання електронного примірника рукопису наукової статті, Редакція направляє підтвердження щодо прийняття матеріалів на анонімне рецензування (у разі результату на ознаки академічного плагіату менше 9,99% схожості у Системі "Unicheck"). У разі необхідності Редакція направляє автору (-ам) пропозиції врахувати зауваження при підготовці статті та доопрацювати її.

(ЕТАП 2) Остаточо, після доопрацювання, до Редакції подаються:

1) 1 узгоджений електронний варіант статті (файл – Word формату). Назва файлу: *Прізвище_statja_ukr.docx*;

2) відомості про автора (-ів) (укр., рос. та англ. мовами): ПІБ, вчений ступінь та звання, місце роботи (навчання), посада, місто, телефон, e-mail.

Назва файлу: *Прізвище_vidom.docx*;

3) угоду про публікацію з автором (-ами) статті про авторські права;

4) оригінал платіжного документа, який засвідчує оплату за публікацію. **ОПЛАТА ЗДІЙСНЮЄТЬСЯ ПІСЛЯ ВНУТРІШНЬОГО РЕЦЕНЗУВАННЯ ТА ПРИЙНЯТТЯ СТАТТІ ДО ДРУКУ.**

Відсутність зазначеного вище, а, також, відсутність підписів авторів або узгоджувачих віз, невідповідність вимогам засобу комунікації, наявність орфографічних, граматичних та стилістичних помилок, нехтування необхідністю дотримання лексичних, граматичних і стилістичних норм мови перекладу – є підставою для відмови в опублікуванні статті.

Датою надходження рукопису статті в редакцію вважається дата надсилання її **кінцевого варіанту**. Номер журналу, в якому публікуються подані матеріали, визначається редакцією журналу. До друку приймаються рукописи, які раніше не були опубліковані в друкованих та електронних виданнях. Передрук та інше використання публікацій журналу здійснюється тільки за погодженням з редакцією та обов'язковим посиланням на джерело.

ПОСЛІДОВНІСТЬ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТАТТІ:

УДК: Times New Roman, кегль – 12 pt, без абзацу, міжрядковий інтервал – 1, вирівнювання по лівому краю, прописними літерами;

ПРІЗВИЩЕ ІМ'Я по-БАТЬКОВІ автора (-ів): Times New Roman, кегль – 12 pt, з абзацним відступом – 0,5 см, міжрядковий інтервал – 1, прописні, вирівнювання по лівому краю;

Назва установи (закладу): Times New Roman, кегль – 11 pt, міжрядковий інтервал – 1, з абзацним відступом – 0,5 см, вирівнювання по лівому краю;

НАЗВА СТАТТІ: Times New Roman, кегль – 12 pt, міжрядковий інтервал – 1, прописні, напівжирні, з абзацним відступом – 0,5 см, вирівнювання по лівому краю.

Порожній рядок.

Анотація до статті **українською** мовою: Times New Roman, кегль – 11 pt, курсив, з абзацним відступом – 1,25 см, міжрядковий інтервал – 1, вирівнювання по ширині, назва рубрик – напівжирним;

Анотація (UA) не менше 1800 знаків. Рубрики анотації:

- Мета.
- Методика.
- Результати.
- Наукова новизна.
- Практична значимість.

Ключові слова анотації **українською** мовою: назва – *напівжирний курсив*, Times New Roman, кегль – 11 pt, міжрядковий інтервал – 1, з абзацним відступом – 1,25 см.; перелік ключових слів: 5–6 слів чи словосполучень, Times New Roman, кегль – 11 pt, вирівнювання по ширині;

Порожній рядок.

Основний текст статті: Times New Roman, кегль – 12 pt, міжрядковий інтервал – 1, з абзацним відступом – 1,25 см., вирівнювання по ширині.

Наукова стаття передбачає таку **послідовність** структурних елементів **текстової частини**:

– **Вступ** – постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями (5–10 рядків); актуальність і доцільність питання (5–10 рядків); останні дослідження та публікації, на які спирається автор, виділення невирішених частин загальної проблеми, котрим присвячується дана стаття (звичайно ця частина статті становить близько 1/3 сторінки).

– **Постановка завдання** – формулювання цілей статті. Вказаний розділ вельми важливий, бо з нього читач визначає корисність для себе пропонованої статті; мета статті випливає з постановки загальної проблеми і огляду раніше виконаних досліджень, тобто дана стаття має на меті ліквідувати “білі плями” у загальній проблемі (обсяг цієї частини статті 5–10 рядків).

– **Результати дослідження** – виклад власне матеріалу дослідження (від 5–6 сторінок тексту). Невеликий обсяг потребує виділення головного у матеріалах дослідження; іноді можна обмежитися тільки формулюванням мети дослідження, короткою згадкою про метод вирішення задачі і викладом отриманих результатів; якщо на обсяг статті не має суворих обмежень, то доцільно описати методику дослідження повніше.

– **Висновки** – у закінченні наводяться висновки з даного дослідження і стисло подаються перспективи подальших розвідок у цьому напрямку.

Таблиця: Times New Roman, кегль – 12 pt, міжрядковий інтервал – 1, вирівнювання по центру, без абзацу. Згадана в тексті таблиця позначається скорочено (табл. 4). Всі таблиці, якщо їх декілька, нумерують арабськими цифрами в межах всього тексту: *Таблиця 1, Таблиця 2, …*, тощо. Таблиці забезпечують тематичними заголовками, які розташовують з лівого боку сторінки перед таблицею і пишуть з прописної букви, *курсивом*, без крапки на кінці.

Вміст таблиці: Times New Roman 10/12pt, інтервал 1. Якщо цифрові або інші дані в певному елементі таблиці не подають, там обов'язково ставлять прочерк. У разі потреби таблиця забезпечується примітками, що поміщаються під таблицею. При перенесенні таблиці на наступну сторінку слід пронумерувати графи і продовжити їх нумерацію. Нову сторінку почати зі слів «**Продовження табл. 1**». Заголовок таблиці не повторюють.

Після таблиці – порожній рядок.

Рисунки (діаграми, фото та ін.) подаються у кольоровому та чорно-білому зображенні разом із текстом у місцях посилань на них та обов'язково в окремих файлах (*.TIFF, *.jpg та ін.) з роздільністю 300 dpi. Бажана ширина рисунків – 9 см або не більше 17 см для карт, схем та інших об'ємних матеріалів. Рисунок має бути розташований по центру, **без обтінання текстом**. Рисунки розміщують „в тексті“, (не в таблицях). Символи, підписи, лінії рисунків слід виконувати таким чином, щоб вони сприймалися. Підписи до рисунків повинні містити нумерацію в порядку розміщення в тексті.

У тексті на ілюстрацію робляться посилання, що містять порядкові номери, під якими ілюстрації поміщені в статті. Всі ілюстрації, якщо їх декілька, нумерують арабськими цифрами в межах всього тексту: рис. 1, рис. 2, …, тощо. Якщо в тексті тільки одна ілюстрація, то номер їй не привласнюється і слово «рисунок» не пишуть. Ілюстрації забезпечують тематичними заголовками, які розташовують посередині сторінки після рисунку і пишуть з прописної букви, **напівжирним**, без крапки на кінці. Кожну ілюстрацію необхідно забезпечувати підписом, знизу ілюстрації, розкриваючи його зміст, який повинен відповідати основному тексту і самій ілюстрації. В підписі дається, також, розшифровка умовних позначень (цифрових та буквених).

Після ілюстрації – порожній рядок.

Формули в статтях мають бути набрані за допомогою редактора формул (внутрішній редактор формул в редакторі Microsoft Word for Windows). Прості формули та символи, що їх складають, набираються за допомогою редактора формул, стиль – математичний (курсив), розмір формул – 10 pt. Складні формули набирають у редакторі Microsoft Equation. Формули завдовжки понад 8 см розбивають на окремі блоки до 8 см (за окремими винятками – 17 см). Формули відокремлюють від тексту зверху та знизу одним інтервалом. Нумерація формул, на які є посилання в тексті, – справа в дужках. Усі *фізичні величини* подаються в системі СІ. Цілі частини від десяткових відокремлюються комою. Формули набираються в редакторі формул **MathType** та розташовуються по центру (без абзацу) рядка, нумерація цифрова, наскрізна. Номер формули (у круглих дужках, Times New Roman, кегль – 12 pt) розташовується по правому краю сторінки на одному рівні з формулою. Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів розташовують безпосередньо під формулою, у тій послідовності, у якій вони представлені у формулі. Кожне значення необхідно пояснювати в новому абзаці з відступом 75 мм. Перший ряд пояснень начитають зі слова «де» (без відступу).

Список використаної літератури – елемент бібліографічного апарату, котрий містить описи використаних джерел. Список використаної літератури приводиться наприкінці статті. При цитуванні літератури в тексті необхідно вказувати номер у квадратних дужках, наприклад [1]. Нумерація літератури в порядку згадування, арабськими цифрами, дотримуючись наскрізної нумерації: Times New Roman 12 pt, міжрядковий інтервал 1, без абзацного відступу, вирівнювання по ширині.

Список джерел – не менше 10 позицій, мовами оригіналу, оформляється згідно з ДСТУ 3017: 2015. У тексті рукопису посилання на літературу ставляться в квадратні дужки.

References – Times New Roman 11 pt, міжрядковий інтервал 1,0, без абзацного відступу, вирівнювання по ширині. Транслітерований (*транслітерація з укр. мови* – <http://www.slovnnyk.ua/services/translit.php>; з пос. –

<http://www.fotosav.ru/services/transliteration.aspx>) та перекладений англійською список літератури з дотриманням вимог міжнародних стандартів оформлення бібліографічних посилань.

Порожній рядок.

В кінці надається коротко інформація англійською мовою Times New Roman, кегль – 10 pt, прописні, міжрядковий інтервал – 1, назва рубрик – курсив.

Приклад:

IVANOV YURIИ

PhD, Professor

Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fibers of the Kyiv National University of Technologies and Design

Scopus Author ID: 9134000100

Researcher ID: H-6012-2020

<https://orcid.org/0000-0001-8718-1202>

e-mail: обо 'язково

Анотація (RU) не менше 1800 знаків.

ФАМИЛИЯ И.О. автора (-ов): Times New Roman, кегль – 12 pt, прописні, міжрядковий інтервал – 1, без абзацу, вирівнювання по центру.

Наименование организации: Times New Roman, кегль – 11 pt, курсив, міжрядковий інтервал – 1, без абзацу, вирівнювання по центру.

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ: Times New Roman, кегль – 12pt, міжрядковий інтервал – 1, прописні, напівжирні, без абзацу, вирівнювання по центру.

Анотація до статті російською мовою: Times New Roman, кегль – 11 pt, з абзацним відступом – 1,25 см., міжрядковий інтервал – 1, вирівнювання по ширині, назва рубрик – напівжирним.

Рубрики анотації:

- Цель (до 100 знаків).
- Методика (до 300 знаків).
- Результаты (до 400 знаків).
- Научная новизна (до 100 знаків).
- Практическая значимость (до 100 знаків).

Ключові слова анотації російською мовою: назва – **напівжирний**, Times New Roman, кегль – 11 pt, міжрядковий інтервал – 1, з абзацним відступом – 1,25 см.; перелік ключових слів: 5–6 слів чи словосполучень, Times New Roman, кегль – 11 pt, *курсив*, вирівнювання по ширині;

Порожній рядок.

Анотація (EN) не менше 1800 знаків.

ПРИЗВИЩЕ I. B. автора (-ов): Times New Roman, кегль – 12 pt, прописні, міжрядковий інтервал – 1, без абзацу, вирівнювання по центру.

Назва установи (закладу): Times New Roman, кегль – 11 pt, курсив, міжрядковий інтервал – 1, без абзацу, вирівнювання по центру.

НАЗВА СТАТТІ: Times New Roman, кегль – 12pt, міжрядковий інтервал – 1, прописні, напівжирні, без абзацу, вирівнювання по центру.

Анотація до статті англійською мовою: Times New Roman, кегль – 11 pt, з абзацним відступом – 1,25 см., міжрядковий інтервал – 1, вирівнювання по ширині, назва рубрик – **напівжирним**;

Рубрики анотації:

- Purpose.
- Methodology.
- Findings.
- Originality.
- Practical value.

Ключові слова анотації англійською мовою: назва – **напівжирний**, Times New Roman, кегль – 11 pt, міжрядковий інтервал – 1, з абзацним відступом – 1,25 см.; перелік ключових слів: 5 – 6 слів чи словосполучень, Times New Roman, кегль – 11 pt, *курсив*, вирівнювання по ширині.

Застосування автоматичного перекладу наукового тексту (статті, анотації, тощо) **НЕ ДОПУСКАЄТЬСЯ**. Переклад (статті, анотації, тощо) має бути належної якості.

Остаточний висновок щодо публікації схвалює редакційна колегія журналу та повідомляє автора (-ів) телефонним дзвінком або повідомленням по електронній пошті.

Редакція лишає за собою право на незначне редагування та скорочення, зберігаючи при тому головні висновки та авторську стилістику. **Статті, оформлені без дотримання зазначених вимог, розглядатися не будуть.**

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖИНІРИНГ

Комп'ютерний набір та макетування

Кривонос О. О.

Технічний редактор

Панасюк І. В.

Відповідальний за поліграфічне виконання

Підп. до друку 21.02.2022. Формат 60×84 1/8.
Ум. друк. арк. 6,04. Облік. вид. арк. 4,72. 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 O. O.

Technical Editor

Panasiuk I. V.

Responsible for printing

Printing proof 21.02.2022. Format 60×84 1/8.
Conditional sheet 6.04. Calculated sheet 4.72. 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.