

**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ**

**Збірник наукових праць
II Міжнародної
Науково-практичної конференції**

**БІОЛОГІЧНІ, ХІМІЧНІ ТА
ЕКОЛОГІЧНІ ЗАГРОЗИ
В УМОВАХ ВІЙНИ**

Львів 2026

Біологічні, хімічні та екологічні загрози в умовах війни: Зб. наук. праць II Міжнародної науково-практичної конференції. – Львів: ЛДУБЖД, 2026. – 459 с.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Дмитро БОНДАР

д.ю.н., доцент, Заслужений працівник цивільного захисту України, генерал-майор служби цивільного захисту, ректор Львівського державного університету безпеки життєдіяльності;

Василь ПОПОВИЧ

д.т.н., професор, проректор з наукової роботи Львівського державного університету безпеки життєдіяльності;

Вікторія СЕРГІЄНКО

д.м.н., професор, проректор з наукової роботи ДНТ «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького»; генеральний директор ДУ "Львівський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України";

Наталія ІВАНЧЕНКО

к.пед.н., начальник науково-дослідного центру Львівського державного університету безпеки життєдіяльності;

Ярослав ІЛЬЧИШИН

к.т.н., начальник докторантури-ад'юнктури Львівського державного університету безпеки життєдіяльності;

Юрій КОПИСТИНСЬКИЙ

Катерина СТЕПОВА

к.т.н., доцент, старший науковий співробітник відділу організації науково-дослідної діяльності науково-дослідного центру Львівського державного університету безпеки життєдіяльності;

Ярослав КИРИЛІВ

к.т.н., ст.н.с., провідний науковий співробітник відділу організації науково-дослідної діяльності науково-дослідного центру Львівського державного університету безпеки життєдіяльності;

Ірина ФЕДІВ

доктор філософії (PhD), головний науковий співробітник відділу науково-редакційної діяльності науково-дослідного центру Львівського державного університету безпеки життєдіяльності;

Тетяна СКИБА

доктор філософії (PhD), науковий співробітник відділу науково-редакційної діяльності науково-дослідного центру Львівського державного університету безпеки життєдіяльності;

Олександра ЖОРНА

фахівець відділу міжнародного співробітництва Львівського державного університету безпеки життєдіяльності;

Дмитро ЛОБОДА

ад'юнкт денної форми навчання докторантури-ад'юнктури Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

Збірник базується на наукових матеріалах II Міжнародної науково-практичної конференції «Біологічні, хімічні та екологічні загрози в умовах війни».

Матеріали, представлені у збірнику, відображають власну наукову позицію авторів. Автори несуть повну відповідальність за достовірність фактів, цитат, економічних і статистичних даних, наукової термінології, власних назв та наведених посилань.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1. НОВІ БІОЛОГІЧНІ ЗАГРОЗИ ІНФЕКЦІЙНІ ХВОРОБИ ТА БІОТЕРОРИЗМ

I. O. Sadovnychenko

SARS-COV-2 IS A TICKING GENOME TIME BOMB
AND MEDICINE READINESS TO A NEW
BIOLOGICAL THREAT..... 20

A. Стибель

УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ БІОБЕЗПЕКИ ТА
БІОЗАХИСТУ В ЛАБОРАТОРІЯХ
ДЕРЖПРОДСПОЖИВСЛУЖБИ ПРИ РОБОТІ З
ОСОБЛИВО НЕБЕЗПЕЧНИМИ БІОЛОГІЧНИМИ
АГЕНТАМИ..... 22

A. B. Карпусь, B. Л. Богаєнко

ТРАНСФОРМАЦІЯ ХІМІЧНИХ ТА БІОЛОГІЧНИХ
ЗАГРОЗ В УМОВАХ БОЙОВИХ ДІЙ..... 24

B. I. Задорожна, B. P. Шагінян

ЕМЕРДЖЕНТНІ ТА РЕМЕРДЖЕНТНІ ІНФЕКЦІЇ –
БІОЛОГІЧНІ ЗАГРОЗИ СУЧАСНОГО СВІТУ..... 33

B. B. Черневич

БІОЛОГІЧНІ РИЗИКИ ПОШИРЕННЯ ІНФЕКЦІЙНИХ
ЗАХВОРЮВАНЬ В УМОВАХ ВІЙНИ..... 37

O. I. Мацюра, Л. B. Беш, З. Л. Слюзар, B. B. Грузинська

ОПИС КЛІНІЧНОГО ВИПАДКУ АРТРИТУ,
АСОЦІЙОВАНОГО З ЛАЙМ-БОРЕЛІОЗОМ
У ДИТИНИ..... 41

<i>З. Х'юз, Г. І. Граділь</i> ІНФЕКЦІЙНИЙ ЕНДОКАРДИТ: РОЛЬ БАКТЕРІАЛЬНОЇ ФЛОРИ.....	45
---	----

<i>Н. Гірна</i> ТРАНСФОРМАЦІЯ СИСТЕМИ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ В УМОВАХ ПОВНОМАСШТАБНОЇ ВІЙНИ: ІСТОРИЧНІ ПАРАЛЕЛІ ТА СУЧАСНІ ВИКЛИКИ.....	49
--	----

<i>С. Б. Дорогань, Н. Г. Мікрюкова, І. В. Костецький</i> ПАРЕНТЕРАЛЬНІ ВІРУСНІ ГЕПАТИТИ ЯК ПРОФЕСІЙНІ РИЗИКИ В ПРАКТИЦІ МЕДИЧНОГО ПРАЦІВНИКА.....	53
--	----

<i>Т. С. Зазуляк, О. І. Климович, Л. П. Шевчук</i> ВПЛИВ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ НА ПІГІЄНІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПИТНОЇ ВОДИ.....	57
---	----

<i>У. А. Дівончук, Л. М. Архипова</i> РЕЕМЕРДЖЕНТНІ ІНФЕКЦІЇ В УКРАЇНІ ЯК СУЧАСНА БІОЛОГІЧНА ЗАГРОЗА.....	61
---	----

СЕКЦІЯ 2. ІННОВАЦІЙНІ РІШЕННЯ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ БІОЛОГІЧНИМИ, ХІМІЧНИМИ ТА ЕКОЛОГІЧНИМИ ЗАГРОЗАМИ

<i>D. S. Fedorenko, B. V. Mysnyk</i> AUTONOMOUS MONITORING AND RESPONSE SYSTEM FOR CHEMICAL AND FIRE THREATS IN RESIDENTIAL PREMISES.....	65
--	----

-
- V. O. Iurchenko, O. H. Melnikova,; I. A. Avdiienko**
 INCREASED HYDROGEN SULFIDE EMISSIONS
 FROM MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT
 PLANTS DURING FILAMENTOUS BULKING OF
 ACTIVATED SLUDGE..... 69
- A. Г. Кенгерлі, В. П. Романюк**
 СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ОПОВІЩЕННЯ
 ПРО НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ:
 МУЛЬТИМОДАЛЬНИЙ ДОСВІД ЯПОНІЇ..... 73
- A. O. Соколов, М. В. Кустов**
 КОМБІНОВАНІ МЕТОДИ УТИЛІЗАЦІЇ
 РАДІАЦІЙНИХ ВОД ПІСЛЯ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ
 НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ..... 77
- A. М. Тимчишин, К. В. Тимчишин**
 ПРОБЛЕМИ ПРАВОВОГО РЕГУЛЮВАННЯ
 ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СФЕРІ
 БІОБЕЗПЕКИ В УМОВАХ ВОЄННИХ ЗАГРОЗ..... 81
- A. А. Гуріненко, І. І. Іщенко**
 ДЕРЕВИНА У СУЧАСНОМУ БУДІВНИЦТВІ:
 ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ТЕХНОЛОГІЙ, РЕСУРСІВ ТА
 ЕКОЛОГІЇ..... 87
- В. В. Дочинець, Т. І. Шуплат**
 ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ ФІТОНЦИДНОСТІ
 ДЕРЕВНИХ РОСЛИН ПОЛІГОНІВ ПОБУТОВИХ
 ВІДХОДІВ, ЯК БІОБЕЗПЕКОВОГО АСПЕКТУ
 ПОКРАЩЕННЯ САНІТАРНОГО СТАНУ..... 91
- В. В. Дочинець**
 ОЦІНКА ЖИТТЄВОСТІ ТРАВ'ЯНИСТИХ ВИДІВ
 ПОЛІГОНІВ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ
 ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ
 ФЛУОРЕСЦЕНЦІЇ ХЛОРОФІЛІВ 95
-

-
- В. П. Оліферчук, В. А. Ковальова, К. А. Король**
БІОРЕГУЛЯЦІЯ МЕТАГЕНОМУ ДЕГРАДОВАНИХ
ГРУНТІВ ЯК МЕХАНІЗМ ПІДВИЩЕННЯ
ЕКОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ЕКОСИСТЕМ В
УМОВАХ ВОЄННОГО ТА ТЕХНОГЕННОГО
НАВАНТАЖЕННЯ..... 101
- Д. А. Бондаренко, Т. С. Дорошенко, С. О. Дементєв,
Ю. А. Максименко**
МЕДИКО-СОЦІАЛЬНІ РИЗИКИ ТА НАСЛІДКИ
НАПРАВЛЕННЯ НА ФРОНТ ВІЛ-ІНФІКОВАНИХ
ОСІБ..... 108
- К. Луцак, Т. Вагилевич, П. Босак**
ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО
МОНІТОРИНГУ ТЕХНОГЕННИХ ЛАНДШАФТІВ..... 112
- М. М. Світельський, В. Ю. Мамченко, М. В. Слюсар,
Г. М. Халімончук**
ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ
ОСЕТРОВИХ РИБ У ЗАМКНЕНИХ СИСТЕМАХ
ВОДОПОСТАЧАННЯ В КОНТЕКСТІ ЕКОЛОГІЧНОЇ
БЕЗПЕКИ..... 115
- Н. Штангрет, В. Ковальчук**
МЕТОДИКА ЗАСТОСУВАННЯ БПЛА ДЛЯ
ДИСТАНЦІЙНОГО ВІДБОРУ ПРОБ ВОДИ ТА
ГРУНТУ В ЗОНАХ СТІЙКОГО БІОЛОГІЧНОГО ТА
ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ..... 119
- Н. І. Магась**
ОЦІНКА ПОЖЕЖНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА
ПРИРОДООХОРОННІ ТЕРИТОРІЇ ПІВДНЯ УКРАЇНИ
ЗА ДАНИМИ FIRMS VIIRS ТА SENTINEL-2..... 123
-

О. Р. Іванець, О. Р. Макар

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ У ФІЗИЧНИЙ
РЕАБІЛІТАЦІЇ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ
ГІДРОЕКОЛОГІЧНИМИ ЗАГРОЗАМИ ПІД ЧАС
ВІЙНИ В УКРАЇНІ..... 128

О. О. Кирик

ДОЛІКАРСЬКА ДОПОМОГА ПРИ БІОЛОГІЧНИХ,
ХІМІЧНИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ
ЗАГРОЗАХ ВІЙНИ..... 133

О. О. Жоріна, К. В. Степова

СОРБЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ВУГЛЕЦЕВИХ
МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ВІДПРАЦЬОВАНОЇ
КАВОВОЇ ГУЩІ ДЛЯ ВИЛУЧЕННЯ
ЗАБРУДНЮВАЧІВ ІЗ ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ..... 135

О. Кутняшенко

ГАЗИФІКАЦІЯ ТПВ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ
ВІДХОДАМИ УКРАЇНИ..... 139

М. Гуліч, О. Петренко

ЗАСТОСУВАННЯ РИЗИК-ОРІЄНТОВАНИХ
ПІДХОДІВ ДО ОЦІНКИ НЕБЕЗПЕКИ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я
НАСЕЛЕННЯ, ЗУМОВЛЕНОЇ ЗАБРУДНЕННЯМ
ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ УНАСЛІДОК ВІЙНИ..... 144

О. Р. Садова

ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕБІГУ ТА ПРОФІЛАКТИКИ
ВАКЦИНОКЕРОВАНИХ ІНФЕКЦІЙНИХ
ЗАХВОРЮВАНЬ У ДІТЕЙ В УМОВАХ ВІЙНИ..... 148

-
- О. І. Торський, О. М. Мандрик**
АВТОМАТИЗОВАНИЙ МОНИТОРИНГ ДЕСТРУКЦІЇ
ПОЛЕЗАХИСНИХ ЛІСОСМУГ ДОНЕЦЬКОЇ
ОБЛАСТІ У СТРАТЕГІЇ ПІСЛЯВОЄННОГО
ЛІСОВІДНОВЛЕННЯ УКРАЇНИ..... 153
- П. Д. Біленчук, О. О. Кравчук**
СУСПІЛЬНИЙ ІДЕАЛ ЯК ОСНОВА ФОРМУВАННЯ
ЕКОЛОГІЧНОЇ СВІДОМОСТІ ЛЮДИНИ І
СУСПІЛЬСТВА..... 157
- Р. В. Коржинський**
ПРАВОВІ ПРОБЛЕМИ АДАПТАЦІЇ УКРАЇНСЬКОГО
ЕКОЛОГІЧНОГО ЗАКОНОДАВСТВА
ДО ВИМОГ ЄС..... 161
- С. А. Кметь, М. Г. Кузнєцов**
НАПРЯМИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ
РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ У ПУНКТАХ
ПРОПУСКУ ЧЕРЕЗ ДЕРЖАВНИЙ КОРДОН..... 170
- Т. В. Бойко, О. Ю. Кім, В. В. Попович**
МІКРОМІЦЕТИ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ ШАХТ
БУРОГО ВУГІЛЛЯ ЯК СКЛАДОВА ПОНЕРНОЇ
СУКЦЕСІЇ ТА БІОБЕЗПЕКИ..... 174
- Т. В. Гембара**
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕРМІЧНОЇ
ІНАКТИВАЦІЇ МІКРОФЛОРИ ЯК ІНЖЕНЕРНИЙ
ІНСТРУМЕНТ ПРОТИДІЇ БІОЛОГІЧНИМ ЗАГРОЗАМ
В СИСТЕМІ НАССР..... 178

УДК 614.4:579.67:664.8.036.2:519.876.5

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕРМІЧНОЇ ІНАКТИВАЦІЇ МІКРОФЛОРИ ЯК ІНЖЕНЕРНИЙ ІНСТРУМЕНТ ПРОТИДІЇ БІОЛОГІЧНИМ ЗАГРОЗАМ В СИСТЕМІ НАССР

*Т. В. Гембара, кандидат технічних наук, доцент,
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності*

Біологічні загрози у харчовому ланцюгу пов'язані з можливістю збереження, розмноження або поширення патогенної та умовно-патогенної мікрофлори, особливо в умовах воєнного стану. За даними ВООЗ, небезпечні харчові продукти щороку спричиняють близько 600 млн випадків захворювань і приблизно 420 тис. смертей у світі [1]. Система НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Points) є одним із базових інструментів запобігання біологічним загрозам у харчовому ланцюгу, оскільки передбачає виявлення мікробіологічних небезпек, визначення критичних контрольних точок та обґрунтування параметрів технологічного процесу знезараження. Тому важливими є не лише санітарно-організаційні заходи, а й інженерні методи кількісного прогнозування ефективності знезараження. У технологіях знезараження доступною та безпечною є термічна обробка, але суттєвою проблемою є вибір такого температурно-часового режиму, який забезпечує потрібний рівень мікробіологічної безпеки.

Сучасна прогнозна мікробіологія розглядає математичні моделі як інструмент оцінювання поведінки мікроорганізмів, визначення критичних контрольних точок і валідації запобіжних заходів [2–6]. Важливо показати можливість використання математичного опису термічної інактивації мікрофлори, зокрема летального числа та залежності Арреніуса [4], для обґрунтування режимів стерилізації як складової

протидії біологічним загрозам. За основу взято підхід, розвинений у працях [3–6] щодо математичного моделювання теплофізичного процесу стерилізації, застосування модифікованих біофізичних характеристик термостійкості та розрахунку санітарно-мікробіологічної безпеки харчових продуктів у герметичній тарі. У цих роботах мікробіологічна безпека пов'язується з температурним полем продукту, тривалістю теплового впливу, термостійкістю мікрофлори та геометрією поверхні, що знезаражується. Якщо $B(t)$ – концентрація життєздатних мікроорганізмів у момент часу t , то процес їх термічного відмирання можна описати рівнянням першого порядку:

$$dB/dt = -k(T) \cdot B, \quad (1)$$

де $k(T)$ – коефіцієнт швидкості знищення мікрофлори, який залежить від температури T . Для його опису використано закон Арреніуса:

$$k(T) = A \cdot \exp[-E/(R \cdot T)], \quad (2)$$

де A – стеричний фактор, $1/c$; E – енергія активації процесу інактивації, Дж/моль; R – універсальна газова стала; T – абсолютна температура, $^{\circ}K$. Такий запис дозволяє враховувати, що швидкість інактивації змінюється нелінійно зі зміною температури.

Інтегральною характеристикою ефективності стерилізації вибрано і обчислено летальне число L , яке показує десятковий логарифм кратності зменшення кількості життєздатної мікрофлори:

$$L = \lg(B_0/B) = (1/\ln 10) \cdot \int_0^t A \cdot \exp[-E/(R \cdot T(\tau))] d\tau. \quad (3)$$

У практичному сенсі L є кількісною мірою досягнутого знезараження: збільшення L на одиницю відповідає додатковому десятикратному зменшенню кількості

життєздатної мікрофлори. Для нестаціонарного нагрівання це особливо важливо, оскільки температура продукту змінюється з часом, а максимальний ризик збереження мікроорганізмів відповідає елементарному об'єму, який нагрівається найповільніше, тобто центру продукту. Стерилізаційний F -ефект [4] можна визначити через летальне число:

$$F = D \cdot T_n \cdot L, \quad (4)$$

де D – час десятикратного зменшення кількості мікроорганізмів за нормативної температури T_n . Зв'язок між D -значеннями за різних температур подано через залежність:

$$D(T) = D_0 \cdot \exp[(E/R) \cdot (1/T - 1/T_0)]. \quad (5)$$

У випадку відсутності повних експериментальних даних для певного виду мікрофлори використано приведену енергію активації E^* , яку встановлено за наявними значеннями D :

$$E^* = R \cdot T \cdot \ln(D \cdot T \cdot A_0 \cdot \lg e). \quad (6)$$

Використання летального числа має свої переваги, на відміну від оцінювання лише за окремими значеннями D та Z -фактора. Летальне число дозволяє інтегрувати реальну температурно-часову історію процесу: 1) безпосередньо пов'язане з логарифмічним зменшенням кількості мікрофлори, 2) враховує зміну температури в часі, 3) може визначатися у критичній точці продукту, де нагрівання найповільніше, 4) дає змогу порівнювати термостійкість різних мікроорганізмів через E^* , 5) забезпечує зв'язок із F -ефектом, який зручний для інженерних розрахунків та валідації режимів стерилізації.

Для практичного застосування моделі важливо враховувати, що різні види та штами мікрофлори мають різну термостійкість. Узагальнені дані за D , Z - фактором і приведеною енергією активації наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльні характеристики термостійкості окремих видів
 мікрофлори

Вид мікрофлори, штам	Значення D, хв. (рН середовища)	Z-фактор	E*, Дж/моль
<i>Cl. botulinum</i> B-4	D ₁₁₅ = 0,64 (6,98)	—	278083
<i>Cl. botulinum</i> B-4	D ₁₀₃ = 0,42 (4,5); D ₁₀₃ = 0,55 (5,0)	—	268168; 269011
<i>Cl. botulinum</i>	D ₁₁₅ = 0,53 (7,0)	10°	277474
<i>Cl. botulinum</i> E	D ₁₂₁ = 0,0009 (7,0)	—	260861
<i>B. subtilis</i>	D ₉₅ = 6,88 (7,1); D ₁₀₅ = 0,68 (7,1)	—	271023; 271109
<i>Cl. sporogenes</i> 25	D ₁₂₁ = 0,62–1,5 (7,0)	—	282278– 285173
<i>Cl. sporogenes</i> 3679	D ₁₂₁ = 0,63 (7,0)	10,95°	282330
<i>Cl. sporogenes</i> 112	D ₁₀₀ = 13,88 (7,1); D ₁₀₅ = 4,63 (7,1)	—	276882; 277140
<i>B. stearothermophilus</i> 8	D ₁₂₀ = 4,7 (7,0)	12,2°	288183
<i>B. stearothermophilus</i> 80	D ₁₂₁ = 2,2–2,5 (7,0)	—	286428– 286846
<i>B. stearothermophilus</i> 1518	D ₁₂₁ = 3,7 (7,0)	—	288132
<i>B. coagulans</i>	D ₁₂₁ = 0,283 (7,0)	8,7°	279707
<i>B. coagulans</i>	D ₉₀ = 3,5 (4,0)	9,5°	265302
<i>Cl. pasteurianum</i>	D ₉₅ = 3,57 (4,5)	—	269016

Аналіз табл. 1 показує, що значення E* змінюються у широких межах: від 260861 Дж/моль для *Cl. botulinum* E до понад 288000 Дж/моль для окремих штамів *B. stearothermophilus*. Це означає, що однаковий температурно-часовий режим може мати різну ефективність для різної мікрофлори. Тому у задачах протидії біологічним загрозам доцільно використовувати не усереднений показник, а розрахункову модель, чутливу до виду мікроорганізмів, температури, тривалості обробки та початкової контамінації.

Розрахунок L дає змогу перейти від емпіричного вибору режиму термічної обробки до кількісного прогнозування мікробіологічної безпеки. Такий підхід може бути використаний для валідації критичних контрольних точок у системах НАССР, для порівняння альтернативних режимів термічної обробки, для оцінювання залишкового ризику та для підготовки інженерних рекомендацій у сфері харчової і санітарно – мікробіологічної безпеки. У межах ризик - орієнтованого підходу летальне число можна розглядати як розрахунковий індикатор достатності знезараження. Якщо відомі початкова контамінація, вид мікрофлори та температурна історія критичної точки, то модель дозволяє оцінити очікуване зменшення кількості життєздатних клітин і порівняти його з прийнятним рівнем безпеки.

Для практичної реалізації розрахунок має поєднуватися з експериментальним контролем температури, валідацією режиму та мікробіологічним контролем готового продукту. Модель не замінює лабораторної перевірки, але дає можливість звузити область пошуку безпечних режимів, оцінити чутливість результату до температури та уникати необґрунтованого збільшення тривалості нагрівання.

Математична модель має обмеження, розрахункові результати залежать від точності вихідних даних: значень D , E або E^* , початкової кількості мікрофлори, теплофізичних характеристик продукту та коректності опису температурного поля. Для різних харчових матриць, кислотності, вмісту жиру та вологості однаковий мікроорганізм може мати різну термостійкість, тому табличні значення слід застосовувати як базові орієнтири, а не як універсальні константи. Перспективним є поєднання класичних кінетичних моделей з цифровим моніторингом температури, базами даних термостійкості та методами прогнозу мікробіології. Такий підхід відповідає сучасним тенденціям у харчовій безпеці, де математичне моделювання використовується для обґрунтування рішень,

оцінювання невизначеності та підтримки системи НАССР, яка безпосередньо пов'язана з контролем: патогенної мікрофлори, температури стерилізації або пастеризації, часу теплової обробки, залишкової кількості життєздатних мікроорганізмів, мікробіологічної безпечності готового продукту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. World Health Organization. Food safety [Electronic resource]. WHO. 2024. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>.

2. Soni A., Bremer P., Brightwell G. A Comprehensive Review of Variability in the Thermal Resistance (D-Values) of Food-Borne Pathogens - A Challenge for Thermal Validation Trials. *Foods*. 2022. Vol. 11, No. 24. Article 4117. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11244117>.

3. Гембара Т. В., Фецишин Я. І., Фецишин Т. Я. Управління тепловою обробкою м'яса за параметрами біологічної цінності. *Науковий вісник ЛДАВМ ім. С. З. Гжицького*. Львів, 2003. Т. 5, № 1. С. 149–152.

4. Бурдо О. Г., Фецишин Т. Я., Гембара Т. В., Демків Т. М. Використання закону Арреніуса для теплофізичного розрахунку процесу стерилізації м'ясних консервів. *Наукові праці Одеської державної академії харчових технологій*. 2001. Вип. 22. С. 152–159.

5. Фецишин Я. І., Гембара Т. В., Фецишин Т. Я. Дискретне математичне моделювання теплофізичного процесу стерилізації із застосуванням модифікованих біофізичних характеристик термостійкості та летальності. *Науковий вісник ЛНУВМ та БТ ім. С. З. Гжицького*. 2012. Т. 14, № 2(52). С. 280–284.

6. Фецишин Я. І., Гембара Т. В., Фецишин Т. Я. Оптимальне управління теплофізичним процесом стерилізації за мінімізацією прямих питомих тепловитрат із забезпеченням харчової цінності. *Науковий вісник ЛНУВМ та БТ ім. С. З. Гжицького*. 2013. Т. 15, № 1(55). С. 190–196.