

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ, МІНІМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВІДХОДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ РЕЗОНАНСНИХ ВПЛИВІВ

Волошин В. С.¹, Бурко В. А.^{1,2}

¹ Приазовський державний технічний університет

² Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Статтю присвячено дослідженню проблеми скорочення обсягів відходів у традиційних технологіях виробництва хліба, що широко застосовуються на підприємствах харчової промисловості. Незважаючи на відносно незначну кількість органічних відходів, що, як правило, легко утилізуються або переробляються в післявиробничий період, значною проблемою залишаються енергетичні відходи. Їх обсяги є надзвичайно великими з огляду на світові обсяги виробництва хліба.

У цій роботі подано результати дослідження, спрямованого на визначення теоретично обґрунтованого мінімуму відходів загального типу в технології виробництва хліба. Розроблено інноваційну методику, що дає змогу використовувати принцип термодинамічної двоєдиності як механізм зменшення відходів безпосередньо в межах технологічного циклу. У статті детально проаналізовано межі, які існують у досягненні оптимального результату щодо мінімізації відходів, а також розглянуто розподіл мінімально можливих відходів між різними етапами технологічного процесу. Запропоновано метод додавання модифікованої енергії резонансних коливань у технологічний процес. Цей метод сприяє не тільки значному скороченню втрат теплової енергії, але й унаслідок резонансних взаємодій з молекулами сировинної води зменшенню втрат органічних відходів до максимально можливого рівня – 3 % від загальної кількості сировини, що використовується в технологічному процесі.

Ключові слова: промислові відходи, виробництво хліба, термодинамічна двоєдиність, мінімальне відходоутворення, енергетичні відходи, резонанс.

Вступ

Попри розвиненість сучасних технологій хлібопечення, проблема відходів (органічних та енергетичних) залишається актуальною. Це пов'язано з недостатньою теоретичною базою для розуміння причин їх виникнення. Принцип термодинамічної двоєдиності та розроблена на його основі методика розрахунку теоретичного мінімуму відходів дають змогу визначити можливості технології, знайти способи мінімізації відходів безпосередньо в процесі виробництва та зменшити їх утворення.

Аналіз публікацій

Виробництво хліба, що бере свій початок в епоху розвитку землеробства, протягом тисячоліть зберегло основні етапи технологічного процесу: замішування тіста, ферментація, формування та вистоювання, випікання й охолодження [1, 2]. Сучасні технології, попри модифікації, ґрунтуються на цих базових принципах. Основні фізичні та фізико-хімічні процеси, що відбуваються під час виробництва хліба [3]: гідратація з набуттям

якості клейковини з білкової частини (глютеніну та гліадину) в замісті тіста для утримання бульбашок газу; ферментація (анаеробне бродіння) з переробкою борошняного цукру в CO_2 та $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ -етанолу; термічні зміни з клейстеризацією крохмалю; реакція Маяра, що супроводжує випікання.

Виробництво хліба, як і будь-який інший технологічний процес, неминує супроводжуватися утворенням промислових відходів. Хоча органічні відходи здебільшого переробляються та утилізуються, найбільшою проблемою є втрати енергії, пов'язані з нагріванням та охолодженням продуктів у процесі виробництва.

Якщо органічні відходи утилізуються після його утворення в технологічному процесі на 40–80 % за відносно незначної їх кількості, то втрати тепла внаслідок промислового виробництва хліба у світі до 300 млн тонн на рік можуть досягати відчутних розмірів, приблизно $2,5 \cdot 10^9$ МДж/рік. Такі втрати практично нікуди не утилізуються і є певною проблемою для цього надзвичайно важливого технологічного процесу.

Цією особливістю технологія виробництва хліба цікава з погляду унікальної властивості термодинамічної двоєдності [4] та методів подолання створення відходів із досягненням мінімально можливого відходоутворення в межах самого технологічного процесу. Заради зміни суттєвості частини компонентів вихідної сировини, що містять майбутні відходи J_w , відповідно до методики [5] до системи необхідно долучити додаткову енергію E_w потрібної якості чи змінити вигляд базової енергії до потрібного якісного стану E_w^0 .

Мета й постановка завдання

Розробити та обґрунтувати підходи до мінімізації утворення відходів у технологічному процесі з метою зменшення потреби в їх переробленні та утилізації.

Виклад основного матеріалу

Основний сировинний компонент у вигляді $(J_0 + J_w)$, де J_0 – частина матеріального потоку сировини, з якої створюється товарна продукція сучасного технологічного процесу виробництва хліба, та її вміст у сировинному складнику подані в табл. 1.

Таблиця 1 – Опосередковані аналітичні показники для дослідження процесів утворення відходів за різних способів виробництва хліба

№	Параметр	Значення параметра	
Структура вихідної сировини (J_0+J_w) (%) від сумарного значення			
1	Борошно пшеничне	60	
2	Вода	35	
3	Дріжджі	1÷2	
4	Сіль	1÷1,5	
5	Цукор, жири, молочні продукти, штучні розпушувачі тощо	до 3,0	
	РАЗОМ:	100	
Відходи (J_w) (кг/тонну сировини)			
	Назва відходу	Кількість, кг/т вих. сировини	Енергетична цінність втрат, кДж/кг вих. сировини
1	Борошно, що не використано в технологічному процесі	50–100	120
2	Борошняний пил	5–10	80–100
3	Залишки води з тіста (випарювання)	20–30	330
4	Хімічні добавки, зокрема дріжджі	15–20	50–120
5	Тісто, яке не підійшло для випікання (брак)	50–80	150–220
6	Підсушений і зіпсований хліб	85–150	120–180
7	Відходи упаковки (пластик, картон)	30–50	-
	РАЗОМ:	225–390	-
	Сумарні енергетичні втрати	-	850–1160
Енергетичні витрати (кДж на 1 кг сировини)			
	Зовнішня вхідна енергія (E_0), зокрема: - енергія, що витрачається на ферментацію та нагрівання тіста в процесі замішування - енергія, необхідна для замішування тіста - енергія, необхідна для нагрівання тіста - енергія, що витрачається на випарювання води - енергія для адсорбції води крохмалем - енергія, необхідна на створення клейковини - енергія, що втрачається у вигляді відходу	2000–2310 20÷30 50÷100 100÷150 500÷600 80÷100 50÷70 850–1160	
	Корисна робота щодо зміни сировини до кінцевого продукту (A_0)	~500	
	Зміна внутрішньої енергії в системі ΔU	~650	
Енергетичні втрати (ΔQ_w) (кДж на 1 кг сировини)			
	Теплові втрати на етапах: - приготування тіста й замішування - ферментації (бродиння) - формування тіста - випікання - охолодження хліба РАЗОМ:	70–80 80–100 50–60 470–670 180–250 850–1160	

Також у таблиці наведено ключові параметри, необхідні для вивчення особливостей термодинамічного стану виробничої системи, основи яких викладені у вигляді наведеної нижче методики дослідження.

Беручи до уваги всі ключові етапи процесу, тепловий баланс у хлібопекарній технології можна подати таким чином:

$$E_0 = A_0 + \Delta U + \Delta Q_w,$$

де E_0 – зовнішня енергія, що надається в технологічний процес (кДж/кг сировини); A_0 – корисна робота, що створюється у виробництві хліба (кДж/кг сировини); ΔU – зміна внутрішньої енергії технологічного процесу (кДж/кг сировини); ΔQ_w – безповоротні втрати енергії (кДж/кг сировини).

Корисна робота A_0 відтворює зміни, що відбуваються в кінцевому продукті й можуть бути виміряні. Вона передбачає роботу, витрачену на підвищення температури тіста, зміну його структури (трансформації клейковини й газів), а також на зміну фізичних і хімічних властивостей хліба в процесі випікання [2].

Внутрішня енергія ΔU технологічного процесу містить енергію, завдяки якій стаються екзотермічні фізико-хімічні зміни: утворення клейковини, термічні процеси перетворення крохмалю, реакція Маяра, утворення скоринки, тепловий ефект реакції бродіння. Ця енергія також витрачається на зміну температури й стану тіста, випаровування води та інші хімічні реакції, що відбуваються в процесі випікання [2].

За умови надання в систему додаткової енергії E_w ми не беремо до уваги, що внутрішня енергія системи в цьому разі також змінюється, тобто залишаємо $\Delta U = \text{const}$ і напишемо, що $E_0 + E_w \geq \Delta U + (A_0 + A_w)$. Але тут параметр A_w вже означає роботу, що виконана для того, щоб перевести матеріальний потік J_w , з якого раніше отримували відхід, у максимально можливий товарний стан, тобто в певну корисну продукцію. Узгоджений феноменологічний показник λ у рівнянні Л. Онсагера загального виду запишемо у вигляді $\lambda = X_0 / (X_0 + X_w)$ [7]. З огляду на принцип взаємності Онсагера для системи в стані, близькому до термодинамічної рівноважності відносно до частин сировини J_0 і J_w , а також встановлене відношення $A_w / A_0 \approx 0,62$, показник λ подамо як

$$\lambda = X_0 / (X_0 + X_w) = (A_0 / J_0) / (A_0 / (J_0 + A_w / J_w)) = J_w / (0,62J_0 + J_w),$$

що відповідатиме вже тому стану сировини J_w , яка в майбутньому зміниться внаслідок впливу енергії E_w в термодинамічно нерівноважному стані. У цьому разі $\lambda \leq 1,0$ та наближається до одиниці, вказуючи на ділянку теоретично обґрунтованого мінімального утворення відходів.

Тут і в подальших дослідженнях під термодинамічними силами X_i необхідно розуміти, зокрема, градієнт зміни одного із силових параметрів, що належать до конкретної технічної системи. До того ж співвідношення між силами й потоками має бути лінійним за допомогою феноменологічних коефіцієнтів L_{ij} таким чином, що $J_i = \sum L_{ij} X_j$. Для самого загального випадку в умовах технологічного процесу, коли має місце перенесення речовини (m) та енергії (e) в матеріальних потоках (J_i) за допомогою сил (X_i), що їх створюють, локальне виробництво ентропії можна подати так:

$$\sigma[S] = J_0 X_0 + J_w X_w > 0.$$

Методика дослідження полягала у визначенні основних термодинамічних коефіцієнтів для різних технологій виробництва хліба незалежно від типу, якості та рецептури. Дослідження охоплює лише традиційну технологію випікання хліба, отриманого з тіста, попередньо підготовленого для досягнення оптимальних органолептичних і фізико-хімічних властивостей, зокрема зважаючи на гідратаційні, ферментаційні, теплові та інші властивості вихідної сировини.

Вихідними показниками для кожного з розглянутих технологічних процесів є статистична звітність про

- величину зовнішньої енергії E_0 , що надходить у технологічний процес для перероблення сировини на одиницю її маси;
- температурні параметри T_i власне технологічного процесу та зовнішнього середовища T_0 для розрахунку зміни ентропії;
- параметри сировини, яка підлягає переробленню в конкретному технологічному процесі, а саме:

- параметр матеріального потоку J_0 , що витрачається на отримання основної товарної продукції;

- параметр матеріального потоку J_w , який становить весь первісний обсяг сировини у своїй відходоутворювальній частині;

- запропоновану величину додаткової зовнішньої енергії $E_w \leq kE_0$ обраної якості,

яка, ймовірно, дасть змогу вивести матеріальний потік J_w зі стану, близького до термодинамічної рівноваги, до нерівноважного стану.

Розрахунку підлягали такі показники:

- величина термодинамічної сили X_0 , що забезпечує цілеспрямовану зміну матеріального потоку J_0 до стану товарної продукції;

- величина необхідної термодинамічної сили X_w , яка здатна змінити матеріальний потік J_w до максимальної можливості корисної продукції, відповідно до типу технологічного процесу;

- зміна ентропії системи, що залежить від стану її нерівноважності, відповідно до відомих рівнянь Л. Онсагера, теореми І. Пригожина тощо залежно від змісту та закономірностей самого технологічного процесу;

- зміна наведеної ентропії системи $\Delta S/E_0$ залежно від феноменологічного показника $\lambda = X_0 / (X_0 + X_w)$ з подальшим виявленням його параметрів на кожному наступному n -му етапі ітерації.

Термодинамічні сили в рівнянні Л. Онсагера можна виразити через макроскопічні параметри системи. У нашому випадку будемо брати до уваги тільки термодинамічні сили, викликані температурним градієнтом ∇T . Діаграма для оцінювання теоретично обґрунтованого мінімуму відходів унаслідок технології промислового виробництва хліба зображена на рис. 1, а.

Неабияке значення максимальної кількості зміни інтегральної ентропії на феноменологічній кривій Онсагера за відносно невеликих значень цього показника в ділянці отримання відходів (точка «а» на рис. 1) показує, що зміна стану термодинамічної рівноважності для тієї частини сировини J_w , з якої зазвичай утворюються відходи, вимагають особливих умов для отримання додаткової зовнішньої енергії E_w , за яких термодинамічна сила не має перебільшувати значення $X_w \leq 1,24 \cdot 10^{-1} K^{-1}$ для $\lambda \geq 0,81$, щоб не порушити умови отримання основної товарної продукції.

Це може бути як модифікована базова енергія E_0^w , здатна впливати й на компоненти сировини J_0 , і на компоненти J_w , так і додаткова енергія спеціальної якості E_w , що здатна забезпечити або підвищені когезійні якості напівфабрикату, або виключити рівні можливості для температурного оброблення різних компонентів вихідної сировини, за яких $\lambda \rightarrow 1,0$.

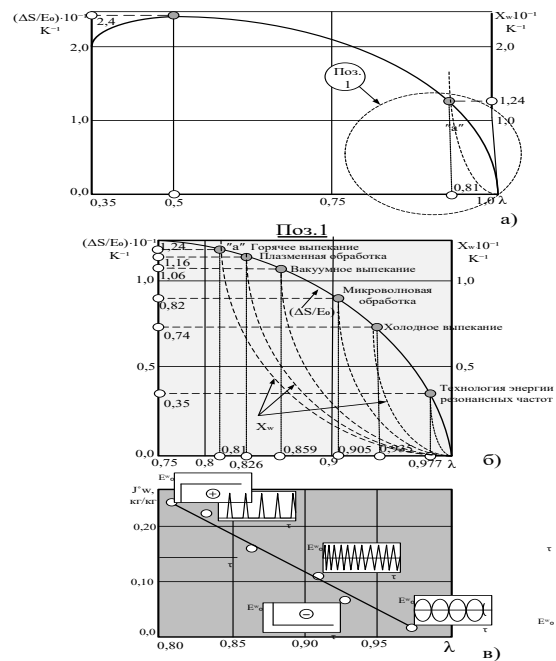


Рис. 1. Схема для розрахунку та розрахункові показники щодо теоретично обґрунтованого мінімуму утворення відходів у технологіях виробництва хліба: а – позиція теоретичного мінімуму відходів у технології виробництва хліба; б – розрахункові параметри (п. 1) щодо виявлення фактичного відходоутворення для різних технологій виробництва хліба; в – залишкові відходи J_w^0 виробництва хліба в умовах використання модифікованої енергії E_0^w різних типів

Отже, можемо сформулювати висновки щодо утворення відходів у технологічному процесі виробництва хліба.

1. Матеріальні втрати в кількості 39 % сировини (див. табл. 1), якщо $\lambda \geq 0,81$, – це харчові відходи, які практично повністю утилізуються поза технологічним процесом отримання хліба й не викликають додаткового інтересу. Вони містять компостування (80–90 % хлібних відходів), корми для тварин (60–70 %), виробництво біогазу (50–60 %), харчові добавки та продукти перероблення (30–40 %), термічну утилізацію (10–15 %) та виробництво біопластику (5–8 %).

2. У номенклатурі енергетичних відходів переважають теплові втрати (36–58 % від енергії, що використовується), які немінучі в умовах переважно теплових процесів у технічних системах. Щоб мінімізувати їх в межах самого технологічного процесу за принципом термодинамічної двоєдності [4], необхідно долучити в технологічний процес або додаткове джерело енергії $E_w \sim 0,62 E_0$, або модифіковану базову

енергію E_0^w , наприклад, за принципом, зазначеним у роботі [6], – по лінії розвитку основних модифікацій базової енергії – від зворотного знаку енергії до імпульсних і резонансних частотних полів (рис. 2).

Прикладом використання таких видів енергії в промисловому виробництві хліба можуть слугувати вже відомі технології (див. рис. 1, б), описані А. Ханом, Дж. Смітом, П. Тейлором, М. Джонсоном, М. Фінчем (2001–2020).

На своє дослідження очікує технологія використання енергії резонансних частот

щодо власних частотних властивостей сировини (борошна, вологи в тісті тощо).

Застосування резонансних явищ, що виникають між компонентами сировини та модифікованою енергією, впливає на всі етапи технологічного процесу виробництва хліба (табл. 2). На відміну від інших методів, наприклад, індукційний впливає лише на етап випікання, а холодний – переважно на процеси бродіння та гідратації. Резонансний нагрівання та оброблення, зокрема, можуть використовуватись для прискорення желатинізації крохмалю, гідролізу та покращення реологічних властивостей тіста.

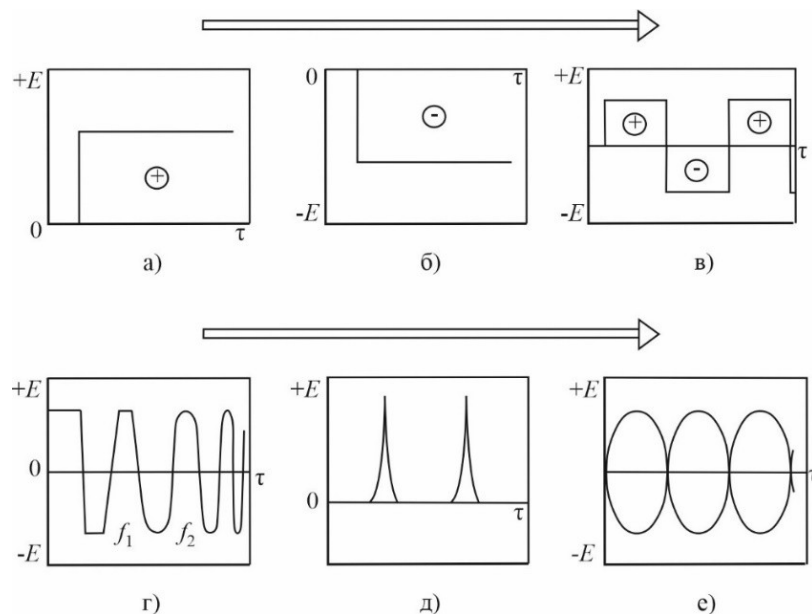


Рис. 2. Лінія розвитку характеристик енергетичного поля, що використовується в технологічному процесі: а – енергія постійного знаку; б – енергія зворотного знаку впливу; в – змінна енергія; г – височастотне змінне енергетичне поле; д – імпульсне енергетичне поле; е – резонансне частотне поле

Таблиця 2 – Розрахункові показники для аналізу ефективності технологій виробництва хліба щодо мінімізації відходів в умовах постачання в систему модифікованої енергії E_0^w

Найменування та особливості технологічного процесу	Вид показника			
	T, K	$\lambda, \text{од.}$	$\Delta S/(E_0), K^{-1}$	$\Delta Q_w, \text{кДж/кг}$
Гаряче випікання	473–523	0,8	$1,2 \cdot 10^{-1}$	850–1160
Холодне випікання	320–330	0,93	$0,7 \cdot 10^{-1}$	200–400
Вакуумне випікання	390–410	0,86	$1,1 \cdot 10^{-1}$	300–520
Мікрохвильове оброблення	350–450	0,91	$0,8 \cdot 10^{-1}$	450–700
Плазмове оброблення	800–950	0,83	$1,2 \cdot 10^{-1}$	800–1200
Технологія енергії резонансних частот	320–370	0,98	$0,3 \cdot 10^{-1}$	150–200

Застосування резонансних явищ у системах виробництва хліба може бути дуже енергоефективним методом з огляду на те, що загалом це маловідходне виробництво має основне джерело відходів у вигляді втраченої теплової енергії з втратами близько

1000 кДж/кг сировини, і навіть за умови використання сучасних індукційних або інфрачервоних систем енергозабезпечення для спікання хліба втрати досягають 400–700 кДж/кг сировини. Навіть розрахункові значення можливих втрат енергії в процесі застосування

резонансних технологій отримання випічки хліба можуть давати сумарні втрати тепла $\Delta Q_w \leq 120$ кДж/кг використовуваної сировини в разі значень $\lambda = 0,977$ і більше, якщо $\Delta S/E_0 \leq 0,35 \cdot 10^{-1} \text{K}^{-1}$ (див. рис. 1, в), тобто наближення до теоретичного мінімуму утворення відходів у самому джерелі – технологічному процесі.

Звісно, для такого розвиненого процесу, як виробництво хліба, існують способи модифікації основної енергії (теплого оброблення), які можуть суттєво зменшити як матеріальні (органічні) відходи, так і втрати енергії. Сучасні джерела енергії, такі як низькотемпературні та високочастотні нагрівачі, а також імпульсні джерела, вже довели свою ефективність (див. рис. 1, в). Однак ресурси, приховані в самому технологічному процесі, дають надію на наближення до теоретичного мінімуму утворення відходів, зокрема й теплових втрат.

Висновки

У сучасному хлібопеченні, хоча органічні відходи відносно незначні та добре утилізуються, найбільшою проблемою залишаються великі втрати теплової енергії. Однак, згідно з теоретичним мінімумом утворення відходів, запропонований метод додавання в технологічний процес модифікованої енергії резонансних коливань дає змогу не лише значно зменшити теплові втрати, а й завдяки резонансній взаємодії з молекулами води в сировині знизити втрати органічних відходів до мінімально можливих 3 % від використаної сировини.

Література

1. Belitz H. D., Grosch W. and Schieberle P. Food Chemistry. 4th Edition, Springer-Verlag, Berlin, 2009. 1070 p.
2. Nielsen S. S. Food Analysis, Department of Food Science Purdue University West Lafayette Indiana USA, Springer, 2017. 784 p.
3. Дробот В. І. Технологія хлібопекарського виробництва. Профкнига. Київ, 2024. 516 с.
4. Волошин В. С. Відходи та термодинаміка. Київ – Маріуполь, СПД Самченко, 2024. 80 с.
5. Волошин В. С. Відходи та їх природа. Київ – Маріуполь, СПД Самченко, 2024. 630 с.
6. Волошин В. С., Бурко В. А. The Principle of Thermodynamic Duality as a Basis for the Creation of Industrial Waste in Technological Processes. Scientific Aspects of Conserving and Restoring Natural Resources Under the Modern Development of Society. Scientific monograph. Riga, Latvia. Baltija Publishing, 2024. P. 32–53.

References

1. Belitz, H. D., Grosch, W. and Schieberle, P. (2009) Food Chemistry. 4th Edition, Springer-Verlag, Berlin, 1070 p.
2. Nielsen, S. S. (2017) Food Analysis, Department of Food Science Purdue University West Lafayette Indiana USA, Springer, 784 p.
3. Drobot, V. I. (2024) Technology of bakery production. Professional book. Kyiv. 516 p.
4. Voloshyn, V. S. (2024) Waste and thermodynamics. Kyiv – Mariupol, SPD Samchenko, 80 p.
5. Voloshyn, V. S. (2024) Waste and its nature. Kyiv – Mariupol, SPD Samchenko, 630 p.
6. Voloshyn, V. S., Burko, V. A. (2024) The Principle of Thermodynamic Duality as a Basis for the Creation of Industrial Waste in Technological Processes. Scientific Aspects of Conserving and Restoring Natural Resources Under the Modern Development of Society. Scientific monograph. Riga, Latvia. Baltija Publishing. P. 32–53.

Волошин В'ячеслав Степанович¹, д-р техн.

наук, проф. каф. охорони праці та навколишнього середовища, vsvlshn52@gmail.com, тел. +380680601321;

Бурко Вадим Анатолійович^{1,2}, канд. техн. наук, доц. каф. охорони праці та навколишнього середовища, тел. +380965091366, burko_v_a@pstu.edu

¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», 87555, Україна, м. Маріуполь, вул. Університетська, 7; 49044, Україна, м. Дніпро, вул. Гоголя, 29;

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, Україна, 61002

Increasing the environmental efficiency of food technologies by minimizing technological waste using resonant effects.

Abstract. Problem. The article is devoted to the study of the problem of reducing waste in traditional technologies of bread production, which are widely used in food industry enterprises. Despite the relatively small amount of organic waste, which, as a rule, is easily disposed of or recycled in the post-production period, energy waste remains a significant problem. Their volumes are extremely large considering the world's bread production volumes. This paper presents the results of a study aimed at determining the theoretically justified minimum of waste of a general type in bread production technology. An innovative methodology has been developed that allows using the principle of thermodynamic duality as a mechanism for reducing waste directly within the technological cycle itself. The article analyzes in detail the limits that exist in achieving the optimal result in terms of waste minimization, and also considers the distribution of the minimum possible waste between different stages of the technological process. A method for introducing modified energy of resonant vibrations into the technological process is proposed. This method allows not only to significant-

ly reduce thermal energy losses, but also, due to resonant interactions with raw water molecules, to reduce organic waste losses to the maximum possible level – 3 % of the total amount of raw materials used in the technological process. **Goal.** Develop and justify approaches to minimizing waste generation in the technological process, in order to reduce the need for its processing and disposal. **Methodology.** The research methodology consisted in determining the main thermodynamic coefficients for various bread production technologies, regardless of type, quality and recipe. The research covers only the traditional technology of baking bread obtained from dough previously prepared to achieve optimal organoleptic and physicochemical properties, in particular taking into account hydration, fermentation, thermal and other characteristics of the starting raw materials. **Originality.** An innovative methodology has been developed that allows using the principle of thermodynamic duality. According to this methodology, the principle is considered as a mechanism that is not only responsible for the formation of waste in the technological process, but also as a main factor that allows minimizing its formation directly within the technological cycle itself. The limits that exist in achieving the optimal result in terms of waste minimization have been analyzed in detail, and the distribution of the minimum possible waste between different stages of the technological process has been

considered. **Practical value.** Referring to the theoretically justified minimum of waste formation, the authors propose a method of introducing modified energy of resonant vibrations into the technological process. This method, as the results of the study show, allows not only to significantly (by an order of magnitude) reduce thermal energy losses, but also, due to resonant interactions with molecules of raw water, to reduce losses of organic waste to the maximum possible level – 3% of the total amount of raw materials used in the technological process.

Key words: industrial waste, bread production, thermodynamic duality, minimal waste generation, energy waste, resonance.

Voloshyn Vyacheslav Stepanovych¹, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Labor Protection and the Environment, vsvlshn52@gmail.com, tel. +380680601321;

Burko Vadym Anatoliyovych², Ph.D., Associate Professor, Department of Occupational and Environmental Safety, tel. +380965091366, burko_v_a@pstu.edu

¹State Higher Educational Institution "Pryazovsky State Technical University", 87555, Ukraine, Mariupol, 7 Universytetska St.; 49044, Ukraine, Dnipro, 29 Gogolya St.;

²Kharkiv National Automobile and Road University, 25 Yaroslava Mudryho St., Kharkiv, Ukraine, 61002