

**Кваша Тетяна Костянтинівна** — заввідділу ДНУ “Український інститут науково-технічної експертизи та інформації”, вул. Антоновича, 180, м. Київ, Україна, 03680; +38 (044) 521-00-74; ntatyana@ukr.net; kvasha@uinter.kiev.ua; <https://orcid.org/0000-0002-1371-3531>

**Паладченко Олена Федорівна** — завсектору ДНУ “Український інститут науково-технічної експертизи та інформації”, вул. Антоновича, 180, м. Київ, Україна, 03680; +38 (044) 521-00-80; paladchenko@uinter.kiev.ua; <https://orcid.org/0000-0002-5436-1608>

**Молчанова Ірина Василівна** — с. н. с. ДНУ “Український інститут науково-технічної експертизи та інформації”, вул. Антоновича, 180, м. Київ, Україна, 03680; +38 (044) 521-00-80; molchanova\_irina@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-1679-5621>

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Pysarenko T. V.** — PhD in Engineering, Deputy Director of State Institution “Ukrainian Institute of Scientific and Technical Expertise and Information”, Antonovycha Str., 180, Kyiv, Ukraine, 03680; +38 (096) 376-38-14; tvpysarenko@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9806-2872>

**Kvasha T. K.** — Head of the Department of State Institution “Ukrainian Institute of Scientific and Technical Expertise and Information”, Antonovycha Str., 180, Kyiv, Ukraine, 03680; +38 (044) 521-00-74; ntatyana@ukr.net; kvasha@uinter.kiev.ua; <https://orcid.org/0000-0002-1371-3531>

**Paladchenko O. F.** — Head of Sector of State Institution “Ukrainian Institute of Scientific and Technical Expertise and Information”, Antonovycha Str., 180, Kyiv, Ukraine, 03680; +38 (044) 521-00-80; paladchenko@uinter.kiev.ua; <https://orcid.org/0000-0002-5436-1608>

**Molchanova I. V.** — Senior Researcher of State Institution “Ukrainian Institute of Scientific and Technical Expertise and Information”, Antonovycha Str., 180, Kyiv, Ukraine, 03680; +38 (044) 521-00-80; molchanova\_irina@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-1679-5621>



<http://doi.org/10.35668/2520-6524-2021-3-07>

УДК 664.649

**О. А. ПИВОВАРОВ**, д-р техн. наук, проф.

**С. Ю. МИКОЛЕНКО**, канд. техн. наук, доц.

## ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПШЕНИЧНОГО ХЛІБА ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ ПЛАЗМОХІМІЧНО АКТИВОВАНОЇ ВОДИ

**Резюме.** У статті розглянуто інноваційний захід покращення якості хлібобулочних виробів за рахунок використання активованої води, обробленої контактною нерівноважною (холодною) плазмою. Встановлено вплив плазмохімічно активованої води на якість пшеничного хліба, що виготовлений із борошна зниженої якості. Показано, що обробка води контактною нерівноважною плазмою призводить до поліпшення споживчих якостей хліба, підвищення його стійкості до мікробіологічного псування. Пшеничний хліб, який виготовлений із використанням плазмохімічно активованої води має пролонгований термін зберігання свіжості, що сприяє скороченню втрат уздовж продовольчого ланцюга.

**Ключові слова:** хліб, мікробіологічна безпечність, тривалість зберігання, низькотемпературна плазма, активована вода.

### ВСТУП

Хліб є одним із найважливіших продуктів харчування, який забезпечує організм людини вітамінами, мінералами, білковими речовинами та має високу енергетичну цінність. Однак виробництво хлібопекарської продукції прийнятної

якості та мікробіологічної безпеки потребує використання борошна з високими хлібопекарськими властивостями, кількість якого на світовому ринку тенденційно знижується [1; 2].

Погіршення якісних характеристик пшеничного борошна останнім часом набуває

непередбачуваного характеру. Головними чинниками такого явища є несприятливі кліматичні умови виробництва зернової продукції, недотримання агротехнічних заходів і технологічних особливостей зберігання та переробки зерна. Низка дослідників вважає, що різниця поміж пшениць за якістю клейковини визначається генетичним чинником і умовами зовнішнього середовища [3]. Генетичні розбіжності, на їхню думку, зумовлюються різницею білкових молекул ендосперму за вмістом цистину — амінокислоти, яка сприяє утворенню дисульфідних (SS) зв'язків, а отже, і укріпленню клейковини. До негенетичних належать чинники, які здатні впливати на утворення або розпад таких зв'язків. Зокрема, укріпленню клейковини сприяє спека під час дозрівання зерна чи аерація збіжжя нагрітим повітрям. І навпаки, за вологого літа та в разі кислотних дощів клейковинні білки послаблюються за рахунок посиленого утворення в них тіолових (сульфгідрильних) зв'язків (SH) [4].

Для коректування хлібопекарських властивостей борошна широкого розповсюдження в хлібопеченні набуло застосування поліпшувачів різного походження. Такі добавки можуть негативно впливати на здоров'я споживачів, особливо з огляду на те, що хлібобулочні вироби є продуктами масового вживання та присутні в щоденному раціоні людини. Наприклад, одним з ефективних хімічних поліпшувачів окислювальної дії є бромат калію, який в незначних дозах (0,001–0,003 %) за рахунок спрямованої дії на структурно-механічні властивості тіста сприяє підвищенню його газоутримувальної здатності, збільшенню об'єму хліба, покращенню структури пористості та кольору м'якушки. У 1982 р. дослідники з Японії опублікували результати дослідження, які демонструють, що бромат калію може викликати рак щитовидної залози, нирок та інших органів у мишей і щурів. У результаті цих досліджень практично всі країни світу заборонили використання цієї добавки. Довгий час бромат калію широко використовувався для виробництва хлібопекарської продукції, однак згодом було встановлено, що цей поліпшувач має канцерогенні ознаки, тому на сучасному етапі у багатьох країнах світу він заборонений до використання [5]. Водночас поліпшувачі мають досить високу вартість, а їх застосування в технології виробництва хлібобулочних виробів ускладнюється нестабільністю властивостей сировини та потребою в спеціальному дозувальному обладнанні, що робить неможливим їх використання в екстремальних умовах.

У зв'язку зі зростанням чисельності населення актуальною проблемою постає забезпечення людей продуктами харчування. Разом із

тим, значних масштабів останнім часом набуває підвищення рівня загроз техногенного характеру, кліматичних катаклізмів і терористичної активності за участі небезпечних для життєдіяльності речовин біологічного, хімічного та радіаційного походження. У разі виникнення вищевказаного «особливого» періоду вимоги до сировини зазвичай нівелюються за рахунок наявності будь-яких сировинних запасів, що зберігаються без ушкодження в реальних умовах та які мають використовуватися для виготовлення хлібопекарської продукції у великій кількості для масового забезпечення населення постраждалих територій. У цьому випадку виникає проблема застосування сировини будь-якої якості для виготовлення хлібу зі споживчими властивостями, що наближаються до відповідних стандартних характеристик [6; 7].

Розв'язання таких важливих завдань має реалізуватися шляхом технологій нового покоління, серед яких значну перспективу мають заходи, які пов'язані з останніми досягненнями науки, зокрема в галузі хімії високих енергій [8; 9].

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Необхідним компонентом у рецептурі хлібобулочних виробів є вода. На сучасному етапі в Україні та окремих країнах СНД хлібопекарські підприємства для виробництва продукції найчастіше використовують воду без будь-якої підготовки. Відомо, що від її структури та складу залежить інтенсивність мікробіологічних і ферментативних процесів під час приготування тіста, а також якість готового продукту. Використання води, яку було піддано дії відомих фізико-хімічних методів (наприклад, електролізу, ультрафіолетовому опромінюванню, озонуванню) не отримали поширення з багатьох причин, зокрема через відсутність серійного технологічного обладнання, удосконалених технологічних регламентів і відповідного санітарно-гігієнічного тестування кінцевої продукції. Тому такі технологічні рішення до цього часу не вийшли за межі лабораторних досліджень.

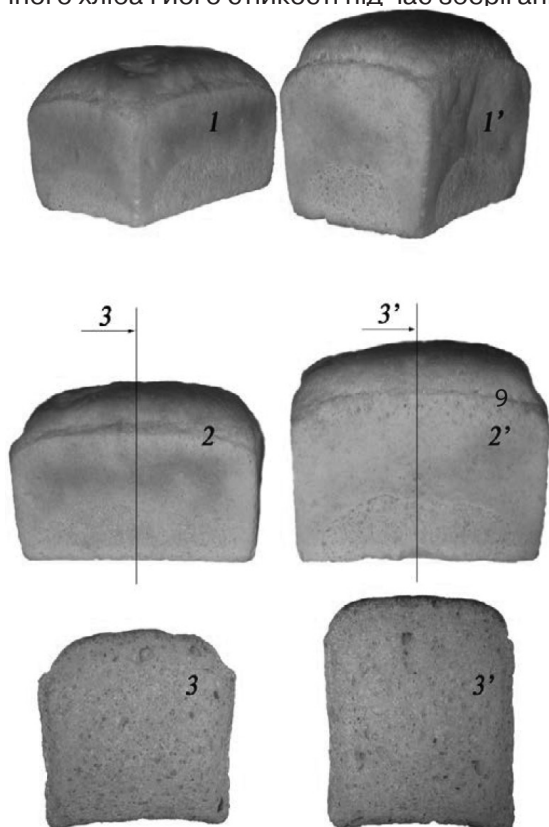
Викликають зацікавленість процеси активації води за допомогою електричних розрядів, серед яких окремо виділяється застосування контактної нерівноважної плазми для обробки питної води та водних розчинів. Серед особливостей води, активованої під дією плазми, увагу привертають зміни в її хімічному складі та поява специфічної структури, що підтверджено спектральними та фізико-хімічними методами [10]. Тому така вода набуває особливих властивостей водночас не потребує спеціальних умов для її зберігання.

## Характеристики якості хліба з пшеничного борошна

Показники	Хліб із борошна			
	виробленого з зерна, пошкодженого клопом-черепашкою		другого сорту з високим вмістом периферійних частинок	
	1 (контроль)	2	3 (контроль)	4
Питомий об'єм хліба, см <sup>3</sup> /г	3,86	4,17	3,42	4,24
Формостійкість, Н:D подового хліба	0,29	0,43	0,27	0,26
Вологість хліба, %	40,7	40,7	44,0	43,5
Кислотність м'якушки, град.	1,5	1,5	2,2	2,1
Пористість, %	82	86	75	80

Використання борошна різної якості в поєднанні із застосуванням для замішування тіста плазмохімічно активованої води суттєво відображається на перебігу технологічного процесу виробництва хліба та характеристиках готових виробів.

**Метою статті** є визначення ефективності використання плазмохімічно активованої води в технології хліба щодо формування якості пшеничного хліба і його стійкості під час зберігання.



**Рис. 1.** Хліб формовий із пшеничного борошна другого сорту на основі магістральної води (1–3) та плазмохімічно активованої води (1'–3')

У працях [11; 12] показано, що використання води, підданої дії контактної нерівноважної плазми, для приготування пшеничного тіста інтенсифікує газоутворення, покращує реологічні властивості напівфабрикату, сприяє прискоренню протікання біохімічних, мікробіологічних і колоїдних процесів. Узагальнені фізико-хімічні показники якості отриманого хліба та характеристика його зовнішнього вигляду відображені в **табл. 1** та на **рис. 1**. Для виготовлення хлібу з борошна зі зниженими хлібопекарськими якостями в результаті використання плазмохімічно активованої води спостерігається збільшення питомого об'єму хліба на 6–8 %, зростає формостійкість подових виробів у середньому на 20–35 %, поліпшується структура м'якушки та збільшується пористість до 5 % у порівнянні із зразком на магістральній питній воді без додаткової обробки. У випадку використання для виробництва хліба пшеничного борошна низького сорту з підвищеним вмістом периферійних частинок зернівки, застосування плазмохімічно активованої води сприяє підвищенню питомого об'єму виробів на 20–23 % та формостійкості виробів на 5–10 %, покращенню пористості хліба на 4–6 %. Фізико-хімічні показники якості дослідних зразків хліба перебувають на рівні аналогічних значень контролю. У обох випадках, за органолептичними характеристиками хліб, що виготовлений із використанням плазмохімічно активованої води, не відрізняється від виробу на магістральній воді без додаткової обробки. Важливим є те, що під час випікання хлібу відбувається розкладання пероксидних сполук із вивільненням активного кисню, тому готові вироби не мають штучно привнесених хімічних речовин та є безпечними для споживання.

Хлібопекарській продукції властива втрата якості під час зберігання. Через деякий час

після випікання й охолодження хліба відбувається зниження еластичності та пружності м'якушки, її водопоглинальної здатності, зростання крихкості та підвищення жорсткості пористої структури хліба. Разом із тим, хліб втрачає характерний смак і аромат. Такі процеси зумовлені усиханням хліба — переміщенням вологи, а також перетвореннями, які зазнають високомолекулярні полімери хліба під час зберігання. Результати досліджень впливу плазмохімічно активованої води на ступінь черствіння хліба відображено в **табл. 2**. Встановлено, що під час зберігання хліба відбувається поступова втрата вологи його м'якушкою. Для дослідного та контрольного зразків різниця значень вологості є незначною і перебуває в межах похибки, однак варто відмітити, що спостерігається тенденція до менш інтенсивного зниження показника для хліба на плазмохімічно активованій воді. Відомо, що для кінцевого споживача одним із найбільш виразних характеристик свіжості хліба є підвищення крихкості м'якушки. Аналіз отриманих даних демонструє суттєві відмінності за цим показником для дослідного та контрольного зразків. Після 24 годин зберігання виробу на основі плазмохімічно активованої води його

крихкість є нижчою в середньому на 2 % в порівнянні з контролем. Потрібно зауважити, що за подальшого зберігання хліба даний показник залишається зниженим для дослідних зразків, а наприкінці дослідження різниця зростає вдвічі та сягає 4 %. Відомо, що для свіжого хліба характерною є висока гідрофільність м'якушки. Однак унаслідок старіння біополімерів цей показник поступово знижується, що вказує на підвищення ступеня черствіння хліба.

За результатами досліджень було встановлено, що використання води, що піддана дії контактної нерівноважної плазми, сповільнює втрату м'якушкою гідрофільних властивостей. На всіх етапах визначення якості виробів цей показник для дослідних зразків є підвищеним на 11–14 % у порівнянні з контрольними.

Встановлено, що після 24 годин зберігання хліба на основі води, підданої дії контактної нерівноважної плазми, вміст у ньому механічно зв'язаної вологи в середньому на 6 % нижчий, а осмотично зв'язаної, навпаки, на 2–3 % вищий у порівнянні з хлібом, виготовленим за традиційною технологією (**табл. 3**). Очевидно, такий ефект пов'язаний зі структурними особливостями плазмохімічно активованих водних розчинів.

Таблиця 2

**Вплив плазмохімічно активованих водних розчинів на ступінь зберігання хлібом свіжості**

Тривалість зберігання, год	Показник свіжості хліба					
	Вологість, %		Крихкість м'якушки, %		Кількість вологи, яку поглинає м'якушка, % на сухі речовини	
	Контроль	Дослідний зразок	Контроль	Дослідний зразок	Контроль	Дослідний зразок
24	42,3	42,5	5	3	233	245
48	41,8	42,1	6	4	207	218
72	41,7	42,0	10	6	194	210

Таблиця 3

**Параметри форм зв'язку вологи в м'якушці хліба після 24 годин зберігання**

Форми зв'язку вологи	Кількість вологи, %	Температура видалення, °C	
		інтервал	пік
Вільна волога:	$\frac{83,6}{79,6}$	$\frac{20...121}{20...116}$	–
<i>механічно зв'язана</i>	$\frac{47,6}{40,7}$	$\frac{20...101}{20...90}$	–
<i>осмотично зв'язана</i>	$\frac{36,0}{38,9}$	$\frac{101...121}{90...116}$	$\frac{120}{116}$
Зв'язана (адсорбційна) волога	$\frac{16,4}{20,4}$	$\frac{121...250}{116...250}$	–

**Примітка:** значення над рискою — показник для контрольного зразка, під рискою — для дослідного.

Оскільки дрібнокластерні частки води мають здатність міцно зв'язуватися клейковинними білками, у хлібі зменшується кількість води, яка має підвищену молекулярну рухомість. Варто відзначити, що в дослідному зразку водночас зі зменшенням частки вільної вологи збільшується вміст зв'язаної води на 3–4 % у порівнянні з контрольним зразком. Здатність до адсорбційного зв'язування вологи характерна для крохмалю, що є основним компонентом борошна, який являє собою міцне і водночас лабільне утворення. Міцність структури крохмального зерна зумовлюється наявністю в ньому численних зв'язків, що поєднують між собою розміщені одна біля одної молекули. Крохмаль має підвищену чутливість до різноманітних зовнішніх чинників і тому легко змінює свою структуру. Відомо, що вода, яка взаємодіє з іонами й іонними групами, має найбільший ступінь зв'язку в харчових продуктах. Так, велика кількість груп –ОН у молекулі крохмалю обумовлює його податливість до утворення водневих зв'язків [13; 14]. Оскільки під дією контактної нерівноважної плазми вода змінює свою структуру, то цілком вірогідним є підвищення адсорбційної здатності крохмалю, і як наслідок — збільшення кількості міцно зв'язаної вологи в хлібобулочних виробках.

Протягом зберігання хліба вміст зв'язаної вологи в його мікропорах підвищується, як показують результати досліджень, у межах 6–9 % (табл. 4). Заповнення мікропор вільною вологою і перехід її у зв'язаний стан можливо пояснити виникненням водневих зв'язків між молекулами води та складовими хліба. Аналогічні явища описані в роботі [15], в якій запропоновано декілька варіантів міграції вологи, наприклад, шляхом ланцюгового механізму з утворенням водневих містків, які міцно утримуються в капілярному просторі.

Окрім того, у хлібі також залишається присутньою вода з підвищеною рухливістю, яка, можливо, утримується в капілярах без утворення будь-яких водних містків. Така волога насамперед може бути видалена в процесі нагрівання і зафіксована методом диференціально-термічного аналізу у вигляді вільної вологи.

Результати досліджень, що відображені в табл. 4, вказують на зменшення частки вологи, яка має найбільшу молекулярну рухомість, у м'якушці хліба після 72 годин зберігання. Для хліба на основі води, підданої дії контактної нерівноважної плазми, вміст механічно зв'язаної вологи є на 3–4 % меншим у порівнянні з хлібом, що виготовлений за традиційною технологією. Щодо осмотично зв'язаної вологи, то спостерігається тенденція до зниження її вмісту впродовж усього терміну зберігання виробів. У праці [16] було показано, що для хліба характерною є втрата вологи денатурованою клейковиною з подальшим її поглинанням крохмалем. Варто відзначити, що кількість осмотично зв'язаної вологи залишається підвищеною для дослідних зразків хліба. Тобто застосування плазмохімічно активованої води сприяє підсилению гідратаційних зв'язків у білковій фракції хлібної м'якушки.

Для дослідних зразків вміст адсорбційно зв'язаної вологи після 72 годин зберігання хліба залишається підвищеним на 2–3 % у порівнянні з контрольними зразками. Очевидно, що за рахунок використання плазмохімічно активованої води відбувається деяке затримання процесів молекулярного переміщення вологи всередині виробу. Відомо, що під час зберігання хліба, ступінь рухливості вільної вологи в ньому зростає, а зв'язаної, міцно асоційованої з біополімерами, навпаки, знижується [17].

Споживчі якості хлібобулочних виробів упродовж зберігання зумовлюються не лише про-

Таблиця 4

Параметри форм зв'язку вологи в м'якушці хліба після 72 годин зберігання

Форми зв'язку вологи	Кількість вологи, %	Температура видалення, °С	
		інтервал	пік
Вільна волога:	$\frac{75,0}{72,9}$	$\frac{20...110}{20...110}$	–
<i>механічно зв'язана</i>	$\frac{41,7}{38,3}$	$\frac{20...90}{20...90}$	–
<i>осмотично зв'язана</i>	$\frac{33,3}{34,6}$	$\frac{90...110}{90...110}$	$\frac{110}{109}$
Зв'язана (адсорбційна) волога	$\frac{25,0}{27,1}$	$\frac{110...250}{110...250}$	–

Примітка: значення над рискою — показник для контрольного зразка, під рискою — для дослідного.

цесами черствіння. Найчастіше кінцевий термін споживання продуктів пов'язаний з їх мікробіологічним псуванням. На сьогодні найбільш поширеною формою мікробіологічного ушкодження хліба є його пліснявіння, збудниками якого можуть бути десятки видів мікроскопічних грибів. Найбільш часто на поверхні виробів зустрічаються представники родів *Mucor*, *Aspergillus*, *Penicillium* і *Rhizopus* [18; 19]. Деякі з цих мікроорганізмів здатні продукувати афлотоксини В1, В2, А, охратоксин А, цитринин, патулін, пеніцилову кислоту та інші речовини, які викликають харчові отруєння та тяжкі захворювання людини [20].

Для пліснявих грибів сприятливим для розвитку є широкий діапазон температур від 5 до 50 °С, однак інтенсивність їх розмноження максимальна при 25–35 °С. Підвищена відносна вологість середовища під час зберігання хліба також позитивно впливає на їхню життєдіяльність. Вважається, що спори плісневих грибів у процесі випікання хлібобулочних виробів гинуть, а зараження продукції відбувається мікроорганізмами, що наявні в оточуючому середовищі, під час заключних технологічних етапів виробництва хліба — його охолодження та пакування [21]. Серед асортименту хлібобулочних виробів хліб має найбільший вміст вологи. Разом із тим, у його складі за рецептурою відсутні речовини (наприклад, моносахариди), що здатні знижувати відносну рівноважну вологість продукту та стримувати розвиток мікроскопічних грибів [22].

Тому з метою забезпечення мікробіологічної стійкості хліба ефективним є застосування таких консервантів, як пропіонова, оцтова кислоти, їх солі та інші речовини штучного походження. Найчастіше внесення таких компонентів не лише пригнічує життєдіяльність корисної мікрофлори тіста, уповільнюючи процеси його дозрівання та збільшуючи тривалість загального виробничого циклу, а й може негативно відобразитися на здоров'ї людини під час споживання виробів з їх використанням.

Плазмохімічно активовані водні розчини містять у своєму складі пероксидні та надперекисні сполуки, які за рахунок дрібнокластерної структури води здатні глибоко проникати не лише в компоненти хлібобулочних виробів, а й крізь мембрани мікробіологічних клітин. Пригнічення життєдіяльності хвороботворних мікроорганізмів під впливом розчинів, які підданих дії контактної нерівноважної плазми, було підтверджено в працях [10; 23]. Встановлено, що за використання магістральної води без додаткової обробки видимий міцелій на поверхні хліба з'являється на три доби раніше в порів-

нянні з виробами, що виготовлені на основі плазмохімічно активованої води. Поряд із пліснявінням найбільш поширеним видом мікробіологічного псування хлібопекарської продукції з пшеничного борошна є картопляна хвороба хліба. Борошно завжди містить деяку кількість таких бактерій та їхніх спор, тому з основною сировиною вони потрапляють у готові вироби. Останнім часом спостерігається зниження мікробіологічної чистоти борошна, що пов'язано з порушенням агротехнічних заходів під час вирощування зерна, недостатнім рівнем очищення зерна перед помелом, зокрема фактичною відсутністю в підготовчому відділенні борошномельних заводів операції вологого очищення його поверхні. Зниженню мікробіологічної стійкості хліба до картопляної хвороби сприяє також те, що переважна кількість виробів на сьогодні постачається на ринок упакованими в полімерні матеріали [24]. Встановлено, що застосування плазмохімічно активованої води пригнічує життєдіяльність спороутворюючих бактерій, стримуючи розвиток картопляної хвороби хліба на 50 % у порівнянні з випадком використання магістральної води без додаткової обробки. Варто відзначити, що такий ефект не зумовлений зміною кислотності продукту, як у випадку застосування традиційних методів запобігання розвитку *Bacillus subtilis*, а викликаний антисептичним впливом води, підданої дії контактної нерівноважної плазми, на негативну мікрофлору борошна під час тістоведення в результаті наявності стійкого пероксиду водню та дрібнокластерної структури плазмохімічно активованих водних розчинів.

## ВИСНОВКИ

Застосування для виготовлення хліба плазмохімічно активованої води замість магістральної питної води без додаткової обробки за умови використання пшеничного борошна зі зниженими хлібопекарськими властивостями без внесення додаткових поліпшувачів штучного походження дає змогу покращити характеристики якості продукції: питомий об'єм хліба зростає на 6–23 %, формостійкість — на 20–35 %, поліпшується пористість на 4–6 % у порівнянні з хлібом, що виготовлений за традиційною технологією. Використання плазмохімічно активованої води запобігає черствінню хлібопекарських виробів: під час зберігання сповільнюється процес втрати вологи м'якушкою хліба, знижується крихкість виробів на 2–4 % та підвищуються гідрофільні властивості м'якушки на 11–14 % у порівнянні з контролем. Причому пшеничний хліб має підвищений вміст зв'язаної вологи: залежно від тривалості зберігання кількість

у ньому вологи, поглинутої білками, зростає на 1–3 %, а частка адсорбційної вологи збільшується на 2–6 % у порівнянні з виробом, що виготовлений із використанням магістральної води без додаткової обробки. Водночас кількість механічно зв'язаної вологи, яка має найбільшу молекулярну рухливість, зменшується в м'якушці хліба до 3–6 %. Мікробіологічне псування пшеничного хліба в разі використання плазмохімічно активованої води затримується внаслідок пригнічення життєдіяльності плісневих мікроорганізмів та розвитку картопляної хвороби в 1,5 раза, що дає змогу збільшити термін споживання виробів у 1,3–1,5 раза в порівнянні з хлібом, який було виготовлено за традиційною технологією.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Dong Y. A review of bread qualities and current strategies for bread bioprotection: Flavor, sensory, rheological, and textural attributes / Y. Dong, S. Karboune // *Compr Rev Food Sci Food Saf.* – 2021. — Vol. 20. — P. 1937–1981. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12717>.
2. Cacak-Pietrzak G. Evaluation the baking value of passage flours / Grażyna Cacak-Pietrzak, Alicja Sułek, Marta Wyzińska // *Research for Rural Development.* — 2019. — Vol. 2. — P. 36–42 <https://doi.org/10.22616/rrd.25.2019.046>
3. Турченко Л. О. Хлібопекарські властивості борошна і роль зовнішнього температурного чинника в їхній оцінці [Електронний ресурс] / Л. О. Турченко, О. І. Шевченко, О. О. Шовгун // *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин.* — 2006. — № 3. — С. 22–33. — Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/stopnsr\\_2006\\_3\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/stopnsr_2006_3_5).
4. Bredariol P. Bread baking Review: Insight into Technological Aspects in order to Preserve Nutrition / P. Bredariol, F. M. Vanin // *Food Reviews International.* — 2021. — P. 8755–9129. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1878211>
5. Abu-Obaid A. Determination and Degradation of Potassium Bromate Content in Dough and Bread Samples Due to the Presence of Metals / A. Abu-Obaid, S. AbuHasan, B. Shraydeh // *American Journal of Analytical Chemistry.* — 2016. — No. 7. — P. 487–493. <https://doi.org/10.4236/ajac.2016.76046>.
6. Oyekunle J. A. O. Bromate and trace metal levels in bread loaves from outlets within Ile-Ife Metropolis / J. A. O. Oyekunle, A. S. Adekunle, A. O. Ogunfowokan, G. O. Olutona, O. B. Omolere // *Southwestern Nigeria, Toxicology Reports.* — 2014. — Vol. 1. — P. 224–230. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2014.05.007>
7. Stępniewska S. Prediction of rye flour baking quality based on parameters of swelling curve / S. Stępniewska, E. Słowik, G. Cacak-Pietrzak // *Eur Food Res Technol.* — 2018. — 244. — P. 989–997. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-3014-z>
8. Пикаев А. К. Современная радиационная химия: радиолиз газов и жидкостей. — М.: Наука, 1986. — 360 с.
9. Jonah, Charles D. A Short History of the Radiation Chemistry of Water / Jonah, Charles D. // *Radiation Research.* — 1995. — No. 2. — P. 141–147. <https://doi.org/10.2307/3579253>
10. Пивоваров А. А. Неравновесная плазма: процессы активации воды и водных растворов / А. А. Пивоваров, А. П. Тищенко. — Днепропетровск: ПП, Акцент. 2006. — 225 с.
11. Pivovarov A. Biotesting of plasma-chemically activated water with use of hydrobionts / A. Pivovarov, S. Mykolenko, O. Honcharova // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* — 2017. — No. 4 (10). — P. 44–55. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.1072011>
12. Pivovarov A. Plasma-chemically activated water influence on staling and safety of sprouted bread / A. Pivovarov, S. Mykolenko, Y. Hez', S. Shcherbakov // *Харчова наука та технологія.* — 2018. — No. 12. — P. 100–107. <https://doi.org/10.15673/fst.v12i2.9400>
13. Миколенко С. Ю. Дослідження технологічних аспектів виробництва хліба із диспергованої зернової маси з використанням додаткової підготовки сировини / С. Ю. Миколенко, В. Ю. Соколов, В. В. Пенькова // *Grain Products and Mixed Fodder's.* — 2016. — Т. 64. — № 4. — С. 10–15.
14. Ureta M. M. Water transport during bread baking: Impact of the baking temperature and the baking time / M. M. Ureta, Y. Diascorn, M. Cambert, D. Flick, V. O. Salvadori, T. Lucas // *Food Sci Technol Int.* — 2019. — No. 3. — P. 187–197. <https://doi.org/10.1177/1082013218814144>
15. Magala M. Staling of bakery products / M. Magala, Z. Kohajdová, J. Karovičová, // *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences.* — 2011. — No. 5 (2). — P. 49–54. <https://doi.org/10.5219/124>
16. Yi Chen. Influence of Amylase Addition on Bread Quality and Bread Staling / Yi Chen, Severin Eder, Sidonia Schubert, Sarah Gergerat, Elena Boschet, Livia Baltensperger, Elena Boschet, Christian Städeli, Simon Kuster, Peter Fischer, and Erich J. Windhab // *ACS Food Science & Technology.* — 2021. — No. 1 (6). — P. 1143–1150. <https://doi.org/10.1021/acscfoodscitech.1c00158>
17. Chen P. L. Nuclear magnetic resonance studies of water mobility in bread during storage / P. L. Chen, Z. Long, R. Ruan, T. P. Labuza // *LWT – Food Science and Technology.* — 1997. — No. 30 (2). — P. 178–183. <https://doi.org/10.1006/fstl.1996.0163>
18. Козьмина Н. П. Биохимия хлебопечения / Н. П. Козьмина. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд. Пищевая промышленность, 1978. — 276 с.
19. Блэкберн К. Микробиологическая порча пищевых продуктов / К. Блэкберн. — СПб., 2008. — 784 с.
20. Suhr K. I. Effect of weak acid preservatives on growth of bakery product spoilage fungi at different water activities and pH values / K. I. Suhr, P. V. Nielsen // *International Journal of Food Microbiology.* — 2004. — No. 95(1). — P. 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.02.004>
21. Ijah U. J. Microbiological, Nutritional, and Sensory Quality of Bread Produced from Wheat and Potato Flour Blends / U. J. Ijah, H. S. Auta, M. O. Adu-loju, S. A. Aransiola // *International journal of food science.* — 2014. — P. 671–701. <https://doi.org/10.1155/2014/671701>
22. Cauvain S. Bakery Food Manufacture and Quality: Water Control and Effects: Second Edition / Cauvain, Stanley, Young, Linda. — Ardcover : Wiley-Blackwell, 2008. — 304 p. <https://doi.org/10.1002/9781444301083>
23. Mykolenko S. Investigation of the effect of water exposed to nonequilibrium contact plasma onto *Saccharomyces cerevisiae* yeast / S. Mykolenko, D. Stepanskiy, A. Tishchenko, O. Pivovarov //

Ukrainian food journal. — 2014. — No. 3 (2). — P. 218–228.

24. Mykolenko S.. Increasing of microbiological stability of bakery products with using plasmachemical technologies / С. Мыколенко, А. Пивоваров, А. Тищенко // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. — 2014. — No. 2. — P. 30–36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.237122>.

## REFERENCES

- Dong, Y., & Karboune, S. (2021). A review of bread qualities and current strategies for bread bioprotection: Flavor, sensory, rheological, and textural attributes. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 20, 1937–1981. doi: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12717>
- Evaluation the baking value of passage flours. *Research for Rural Development*, 2, 36–42. <https://doi.org/10.22616/rrd.25.2019.046>
- Turcheniuk, L. O., Shevchenko, O. I., & Shovhun, O. O. (2006). Khlibopekarski vlastyivosti boroshna i rol zovnishnoho temperaturnoho chynnyka v yikhni otsintsi [Baking properties of flour and the role of external temperature factor in their evaluation]. *Sortovyvchennia ta okhorona prav na sorty roslyn-Variety research and protection of plant variety rights*, 3, 22–33. Retrieved from: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/stopnsr\\_2006\\_3\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/stopnsr_2006_3_5) [in Ukr.].
- Bredariol, P., & Vanin, F. M. (2021). Bread baking Review: Insight into Technological Aspects in order to Preserve Nutrition. *Food Reviews International*, 8755–9129. <https://doi.org/10.1080/87559129.1878211>
- Abu-Obaid, A., AbuHasan, S., & Shraydeh, B. (2016). Determination and Degradation of Potassium Bromate Content in Dough and Bread Samples Due to the Presence of Metals. *American Journal of Analytical Chemistry*, 7, 487–493. [10.4236/ajac.2016.76046](https://doi.org/10.4236/ajac.2016.76046).
- Oyekunle, J. A. O., Adekunle, A. S., Ogunfowokan, A. O., Olutona, G. O., & Omolere, O. B. (2014). Bromate and trace metal levels in bread loaves from outlets within Ile-Ife Metropolis. *Southwestern Nigeria, Toxicology Reports*, 1, 24–230. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2014.05.007>
- Stępniewska, S., Słowik, E., & Cacak-Pietrzak, G. (2018). Prediction of rye flour baking quality based on parameters of swelling curve. *Eur Food Res Technol*, 244, 989–997. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-3014-z>
- Pikaev, A. K. (1986). *Sovremennaya radiatsionnaya khimiya: radioliz gazov i zhidkostey [Modern radiation chemistry: radiolysis of gases and liquids]*. Moscow: Nauka, 360 p. [in Russ.].
- Jonah, Ch. D. (1995). A Short History of the Radiation Chemistry of Water. *Radiation Research* 144, 141–147. <https://doi.org/10.2307/3579253>
- Pivovarov, A. A. & Tishchenko, A. P. (2006). *Neravnovesnaya plazma: protsessy aktivatsii vody i vodnykh rastvorov [Nonequilibrium plasma: activation processes of water and aqueous solutions]*. Dnepropetrovsk, 225 p. [in Russ.].
- Pivovarov, A., Mykolenko, S., & Honcharova, O. (2017). Biotesting of plasma-chemically activated water with use of hydrobionts. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10), 44–55. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.1072011>
- Pivovarov, A., Mykolenko, S., Hez', Y., & Shcherbakov, S. (2018). Plasma-chemically activated water influence on staling and safety of sprouted bread. *Kharchova nauka ta tekhnolohiia – Food science and technology*, 12, 100–107. <https://doi.org/10.15673/fst.v12i2.9400>
- Mykolenko, S. Yu., Sokolov, V. Yu., & Penkova, V. V. (2016). Doslidzhennia tekhnolohichnykh aspektiv vyrobnytstva khliba iz dysperhovanoi zernovoi masy z vykorystanniam dodatkovoi pidhotovky syrovyny [Research of technological aspects of bread production from dispersed grain mass with the use of additional preparation of raw materials]. *Grain Products and Mixed Fodder's*, 64 (4), 10–15. [in Ukr.].
- Ureta, M. M., Diascorn, Y., Cambert M., Flick, D., Salvadori, V. O., & Lucas, T. (2019). Water transport during bread baking: Impact of the baking temperature and the baking time. *Food Sci Technol Int*, 3, 187–197. <https://doi.org/10.1177/1082132188141444>
- Magala, M., Kohajdová, Z., & Karovičová, J. (2011). Staling of bakery products. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 5 (2), 49–54. <https://doi.org/10.5219/124>
- Chen, Yi., Eder, S., Schubert, S., Gorgerat, S., Boschet, E., Baltensperger, L., Städeli, Ch., Kuster, S., Fischer, P., & Windhab, E. J. (2021). Influence of Amylase Addition on Bread Quality and Bread Staling. *ACS Food Science & Technology*, 1 (6), 1143–1150. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00158>
- Chen, P. L., Long, Z., Ruan, R., & Labuza, T. P. (1997). Nuclear magnetic resonance studies of water mobility in bread during storage. *LWT – Food Science and Technology*, 30 (2), 178–183. <https://doi.org/10.1006/fstl.1996.0163>
- Kozmina, N. P. (1978). *Biokhimiya khlebopecheniya [Biochemistry of bakery]*. Moscow: Izd. Pishchevaya promyshlennost, 276 p. [in Russ.].
- Blekbern, K. (2008). *Mikrobiologicheskaya porcha pishchevykh produktov [Microbiological spoilage of food]*. St. Peterburg. 784 p. [in Russ.].
- Suhr, K. I., & Nielsen, P. V. (2004). Effect of weak acid preservatives on growth of bakery product spoilage fungi at different water activities and pH values. *International Journal of Food Microbiology*, 95 (1), 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.02.004>
- Ijah, U. J., Auta, H. S., Aduloju, M. O., & Aransio-la. S. A. (2014). Microbiological, Nutritional, and Sensory Quality of Bread Produced from Wheat and Potato Flour Blends. *International journal of food science*, 2014, 671–701. <https://doi.org/10.1155/2014/671701>
- Cauvain, S., & Young, L. (2008). *Bakery Food Manufacture and Quality: Water Control and Effects: Second Edition*. ardcover, 304 p. <https://doi.org/10.1002/9781444301083>
- Mykolenko, S., Stepanskiy, D., Tishchenko, A., & Pivovarov, O. (2014). Investigation of the effect of water exposed to nonequilibrium contact plasma onto *Saccharomyces cerevisiae* yeast. *Ukrainian food journal*, 3 (2), 218–228.
- Mykolenko, S., Pivovarov, A., & Tishchenko, A. (2014). Increasing of microbiological stability of bakery products with using plasmachemical technologies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2, 30–36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.237122>



**O. A. PIVOVAROV**, D. Sc. in Engineering, Professor  
**S. Y. MYKOLENKO**, PhD in Engineering, Associate Professor

### WHEAT BREAD QUALITY IMPROVEMENT WITH USING PLASMA-CHEMICALLY ACTIVATED WATER

**Abstract.** *Abstract. The article was devoted to an innovative approach of improving bakery products quality through using an activated water, exposed to the action of contact non-equilibrium (cold) plasma. Wheat bread quality characteristics were presented during using the plasma-chemically activated water combined with wheat flour of poor baking properties. It is shown that the treatment of water with contact non-equilibrium plasma leads to an improvement in the consumer qualities of bread, an increase in its resistance to microbiological spoilage. The wheat bread made with the plasma-chemically activated water presented the possibility to prolong the shelf-life of the product, helping to decrease losses and waste during the bread food chain.*

**Keywords:** wheat bread, microbiological stability, shelf-life, cold plasma, activated water.

#### ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

**Півоваров Олександр Андрійович** — д-р техн. наук, проф., проф. кафедри технології зберігання та переробки сільськогосподарської продукції Дніпровського державного аграрного університету, вул. Сергія Єфремова, 25, Дніпро, Дніпропетровська обл., 49000; +38 (097) 342-46-60; apivo@ua.fm; <https://orcid.org/0000-0003-0520-171X>

**Миколенко Світлана Юрїївна** — канд. техн. наук, доц., доц. кафедри технології зберігання та переробки сільськогосподарської продукції Дніпровського державного аграрного університету вул. Сергія Єфремова, 25, Дніпро, Дніпропетровська обл., 49000; +38 (098) 964-26-84; svetlana.mykolenko@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1959-1141>

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Pivovarov O. A.** — D. Sc. in Engineering, Professor, Professor of the Department of Storage Technology and Processing of Agricultural Products of Dnipro State Agrarian University, Serhiy Yefremov Str., 25, Dnipro, Dnipropetrovsk Region, 49000; +38 (097) 342-46-60; apivo@ua.fm; <https://orcid.org/0000-0003-0520-171X>

**Mykolenko S. Y.** — PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department Storage Technology and Processing of Agricultural Products of Dnipro State Agrarian University, Serhiy Yefremov Str., 25, Dnipro, Dnipropetrovsk Region, 49000; +38 (098) 964-26-84; svetlana.mykolenko@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1959-1141>



#### ДО УВАГИ АВТОРІВ:

До друку приймаються статті українською та англійською мовами.

Відповідальність за достовірність поданих даних несуть автори матеріалів.

Редакція може не поділяти думки авторів, викладені у статтях.

У разі передруку матеріалів — посилання на журнал “Наука, технології, інновації” обов’язкове.

**Адреса редакції:** вул. Антоновича, 180, м. Київ, Україна, 0315.

**Контакти редакції:** тел.: +38 (044) 521-00-32, +38 (044) 521-00-39.

e-mail: journal@uintei.kiev.ua

**Умови для публікації викладено на сайті:** <http://nti.ukrintei.ua>.

**З питань придбання та розміщення реклами:** тел. +38 (044) 521-00-39.

e-mail: uintei.ua@gmail.com або sale@uintei.kiev.ua