

УДК 664.651.2: 664.48

DOI: 10.15587/1729-4061.2018.140134

## Дослідження рівномірності розподілу мікроелементів в об'ємі тіста, збагаченого дієтичними добавками

Т. М. Головка, М. І. Погожих, А. О. Пак, М. П. Головка, А. В. Пак,  
М. П. Бакіров

*Обґрунтовано доцільність введення дієтичних добавок на основі хелатного комплексу в харчові системи та забезпечення рівномірності їх розподілення. Мета полягає у вивченні рівномірності розподілу мікроелементів, сорбованих на макромолекулах-носіях, та дослідженні впливу добавки на функціонально-технологічні властивості тістових заготовок. Предметом дослідження були тістові заготовки із дріжджового, листкового та прісного тіста з введеною добавкою на основі хелатного комплексу.*

*Проведено дослідження розподілення дієтичної добавки з хелатним комплексом в об'ємі харчової системи та її впливу на функціонально-технологічні властивості досліджуваних харчових систем. При цьому використовували методи ядерного магнітного резонансу, електронного парамагнітного резонансу, низькотемпературний калориметричний метод та реологічні методи дослідження.*

*Встановлено, що порошкоподібна добавка зі стабілізованим хелатом впливає на рухливість й взаємодію молекул води з оточенням у тістових заготовках. Доведено, що внесення хелату металу у вигляді порошкоподібної харчової добавки дозволяє забезпечити рівномірність розподілу металу за об'ємом досліджених тістових заготовок. Визначено, що для зразків тіста за умови внесення дієтичної добавки на основі хелатного комплексу відбувається збільшення кількості невимороженої води порівняно з контролем. Встановлене свідчить про збільшення кількості зв'язаної води за умови внесення добавки. Відзначено, що стабілізований хелат знаходиться в основному у насиченому стані, оскільки вода тістових заготовок знаходиться у «зв'язаному» стані. Встановлено, що в тістових заготовках з дієтичною добавкою на основі хелатного комплексу відбувається зміна пружних властивостей. Результат пояснюється зміною співвідношення вільна – зв'язана вода у досліджуваних харчових системах.*

*Доведена перспективність використання порошкоподібної добавки зі стабілізованими хелатами металів в технологіях збагачення харчових продуктів. Відзначено, що перспективою подальших досліджень є визначення розподілу по об'єму харчових систем інших мікроелементів хелатів, які являють основу дієтичної добавки*

*Ключові слова: тістові заготовки, добавка на основі хелатного комплексу, об'ємне розподілення мікроелементу*

## 1. Вступ

Дефіцит макро- та мікронутрієнтів в харчуванні людей є однією з основних та актуальних проблем світового рівня. Часто нестача мікроелементів є причиною багатьох хвороб [1]. Для збереження нормального рівня мікронутрієнтів необхідно вживати різноманітну та здорову їжу. Але, враховуючи важку економічну ситуацію, яка склалася в Україні та у світі в цілому, більшість населення не має змоги харчуватися виключно натуральними та повноцінними продуктами харчування. Саме тому найбільш простим та доступним способом поліпшення якості раціону харчування кожної людини є збагачення продуктів харчування додатковими вітамінами та мінеральними речовинами [2].

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Збагачення харчових продуктів проводиться на основі біологічних, медичних та технологічних вимог [3]. Обов'язково використовуються ті мікронутрієнти, нестача яких є найбільш поширеною. До них відносяться кальцій, йод, селен, калій, магній, залізо, вітаміни А, С, Е та групи В [4]. Але в той же час не повинно бути загрози надлишку мікронутрієнтів, адже це може провокувати низку порушень діяльності організму людини [5].

Загроза підвищення ризику розповсюдження захворювань в результаті нестачі мікронутрієнтів в організмі людини зумовила проведення вченими всього світу досліджень [6], направлених на вивчення причин дефіциту мікронутрієнтів в організмі людини [7]. Ця тема знайшла своє відображення в багатьох наукових працях сучасних науковців. Разом з цим, як відмічають вчені, «...значення мінеральних речовин (особливо мікроелементів) і необхідність обов'язкового надходження даних мінеральних речовин в організм людини явно недооцінюється» [8].

Необхідно відмітити, що, як правило, мікроелементи неорганічного походження погано засвоюються організмом людини та в основному лише підтримують певний рівень в організмі людини. З точки зору вирішення питання засвоюваності мікроелементів, одним із найбільш раціональних способів введення цих нутрієнтів до організму людини – це внесення з харчовими продуктами. При цьому актуальною проблемою технології збагачених харчових продуктів залишається вибір носія хімічного елемента та рівномірний розподіл цього носія у продукті за умов промислового виробництва [9]. До харчових продуктів мікроелементи вносять шляхом розчинення у рідкій фазі [10], сухим змішуванням із харчовими інгредієнтами [11], нанесенням спеціального покриття [12], тощо. Питанням, яке залишається невирішеним за будь-якого із вищезначених способів, є забезпечення однорідності розподілення внесених мікроелементів в об'ємі харчового продукту. Перспективним з цієї точки зору способом, який дозволяє вирішити дане питання, є використання в харчових технологіях дієтичних добавок на основі хелатних комплексів [13]. Даний напрямок є новим у харчових технологіях. Тому експериментальні дослідження розподілення мікроелементів дієтичних добавок на основі хелатних комплексів та вплив даних добавок на функціонально-технологічні властивості різних харчових систем є актуальними.

### 3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – вивчити рівномірність розподілу мікроелементів, сорбованих на макромолекулах-носіях, та дослідити вплив добавки на функціонально-технологічні властивості тістових заготовок. Це надасть можливість обґрунтовано керувати функціонально-технологічними властивостями тістових заготовок з внесеними дієтичними добавками на основі хелатних комплексів в технологіях збагачення харчових продуктів.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

– методом ядерного магнітного резонансу (ЯМР) дослідити у харчовій системі (тістові заготовки) взаємодію молекул води між собою та з навколишнім середовищем;

– оцінити методом електронного парамагнітного резонансу (ЕПР) однорідність об'ємного розподілення внесеної в харчову систему (тістові заготовки) добавки на основі хелатного комплексу з Mn;

– дослідити низькотемпературним калориметричним методом зміни функціонально-технологічних властивостей харчових систем (тістових заготовок) за умови внесення добавки з хелатним комплексом.

– дослідити реологічними методами зміни функціонально-технологічних властивостей харчових систем (тістових заготовок) за умови внесення добавки з хелатним комплексом.

### 4. Матеріал і методи дослідження

Визначення розподілу порошкоподібної дієтичної добавки на основі хелатного комплексу в об'ємі харчової системи та впливу добавки на функціонально-технологічні властивості досліджуваних харчових систем проводились в чотири етапи у відповідності до використовуваного методу. При цьому використовували такі методи аналізу: ЯМР, ЕПР, низькотемпературний калориметричний метод та реологічні методи дослідження. Ці методи були спрямовані на отримання своєрідних томограм, які несуть інформацію про молекулярну рухомість водного середовища грубодисперсної системи та розподіл за її об'ємом іону металу. Іоном металу, розподілення якого досліджувалось, був  $Mn^{2+}$ . Іон  $Mn^{2+}$  також використовувався як спінова мітка.

Харчовими системами, які були предметом реологічних досліджень та досліджень низькотемпературним калориметричним, ЯМР та ЕПР методами є харчова сировина з введенням добавки на основі хелатного комплексу  $Mn^{+2}$ :

– модельна система № 1 (дріжджове тісто) – з вологовмістом 0,43 відн.од.;

– модельна система № 2 (листочкове тісто) – з вологовмістом 0,29 відн.од.;

– модельна система № 3 (прісне тісто) – вологовмістом 0,35 відн.од.

Як контроль використовувались модельні системи 1, 2, 3 без введення добавки на основі хелатного комплексу  $Mn^{+2}$ .

В ЯМР дослідженнях використовувався імпульсний ЯМР радіоспектрометр для лабораторних досліджень, що працює на фіксованій частоті 16,5 МГц [14].

Для дослідження системної води харчової сировини та продуктів використовувався низькотемпературний калориметричний метод [15].

Реологічні дослідження проводили на плоскопаралельному еластопластометрі Толстого [16].

Для реєстрації спектрів ЕПР був застосований радіоспектрометр, що працює на фіксованій довжині хвилі  $\lambda=3,2$  см. Спектри реєструвалися у вигляді першої похідної поглинання НВЧ енергії  $E$  досліджуваним парамагнетиком при скануванні постійного магнітного поля  $H$  [17].

Використані методики дослідження тістових заготовок з внесеними дієтичними добавками на основі хелатних комплексів більш детально описані в роботі [18].

### 5. Результати досліджень властивостей тістових заготовок, збагачених дієтичними добавками

На першому етапі методом ЯМР досліджувалась взаємодія молекул води, що міститься харчовими системами (тістовими заготовками), між собою та з навколишнім середовищем.

Для дослідження було взято наважку тіста масою 100 г і вмістом добової потреби мікронутрієнту  $K^+$ , що імітували іоном  $Mn^{2+}$ , в організмі людини. Для проведення ЯМР досліджень наважку було розділено на 8 умовних частин, кожна з яких представлена паралелепіпедом. З отриманих частин було відібрано по 3 проби, що були відправлені на аналіз методом ЯМР.

Результати ЯМР-досліджень наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати ЯМР-досліджень прісного, листкового та дріжджового тіста

$T_n$ , с	Прісне тісто		Листкове тісто		Дріжджове тісто	
	Контроль	З добавкою	Контроль	З добавкою	Контроль	З добавкою
$T_1$	0,03	0,05	0,025	0,008	0,06	0,065
$T_2$	0,013	0,004	0,01	0,03	0,016	0,015

Дані наведені в табл. 1 являють собою час спін-спінової ( $T_2$ ) та спін-граткової релаксації ( $T_1$ ). Час спін-спінової релаксації відповідає за взаємодію молекул води між собою. Час спін-граткової релаксації – це час релаксації з іншими молекулами, в даному випадку молекулами порошкоподібної дієтичної добавки [19].

На другому етапі методом ЕПР проведено оцінювання однорідності об'ємного розподілення внесеної в харчову систему (тістові заготовки) добавки на основі хелатного комплексу з  $Mn$ . Іон  $Mn^{2+}$  використовувався як спінова мітка [20].

Досліджуваною харчовою системою щільно заповнювали ємність у формі паралелепіпеда (рис. 1) з габаритними розмірами  $10 \times 60 \times 60$  мм. Ємність умовно розділяли на елементарні об'єми з характерними розмірами  $10 \times 20 \times 20$  мм (рис. 1). Із кожного виділеного елементарного об'єму  $a_{ij}$  (де  $i=0, 1, 2$ ;  $j=0, 1, 2$ ) брали пробу для дослідження ЕПР-методом.

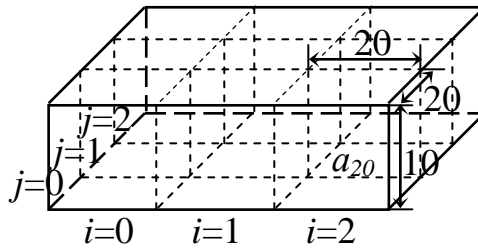
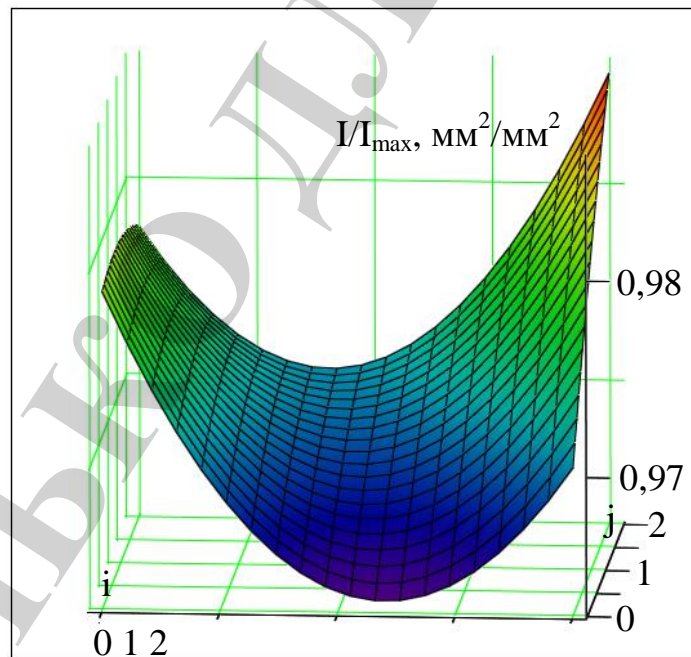


Рис. 1. Ємність для досліджуваних харчових систем методом ЕПР

Оцінювання однорідності об'ємного розподілення внесеної в харчову систему добавки на основі хелатного комплексу з Mn методом ЕПР-спінових міток показано на рис. 2–4. На рис. 2, а, 3, а, 4, а наведено значення площі під спектром, що являє собою широку одиночну лінію, яка пропорційна кількості системної води, що не розчиняє іонну сіль, а на рис. 2, б, 3, б, 4, б наведено томограми даних поверхонь. Наведені дані пронормовані на максимальне значення площі під одиночною лінією для досліджуваного зразка харчової сировини. З результатів видно, що площі під ЕПР-спектром для сировини із різних елементарних об'ємів з габаритними розмірами  $10 \times 20 \times 20$  мм відрізняються не більше ніж на 4...5 %, тобто в межах похибки. Встановлене вказує на однорідність розподілення добавки по об'єму досліджуваних харчових систем.



а

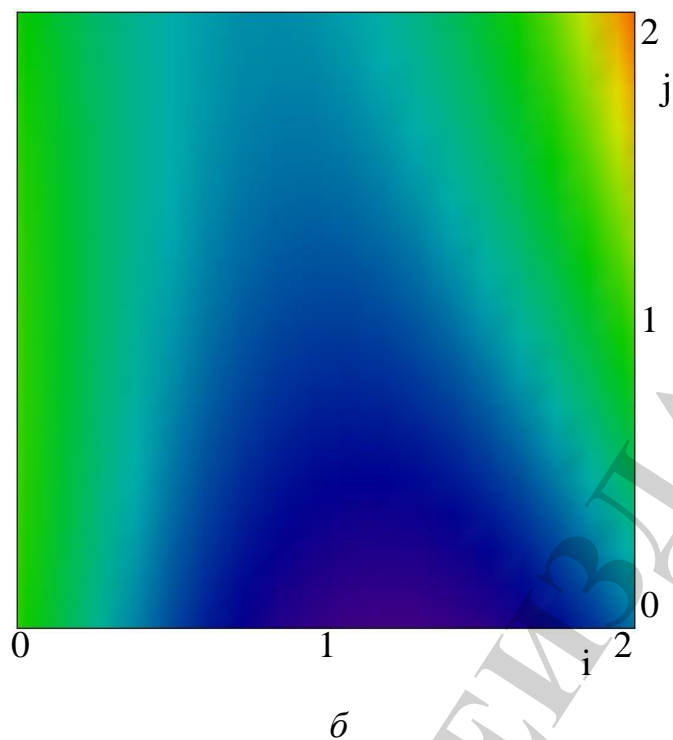
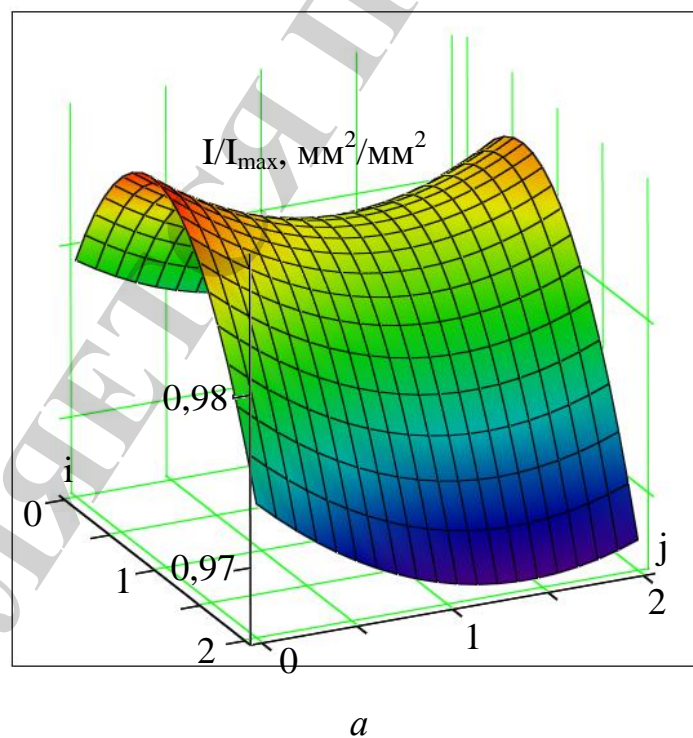


Рис. 2. Результати ЕПР-досліджень: *a* – площі під спектром за різної координати зразка модельної харчової системи № 1 (дріжджове тісто);  
*b* – томограма поверхні



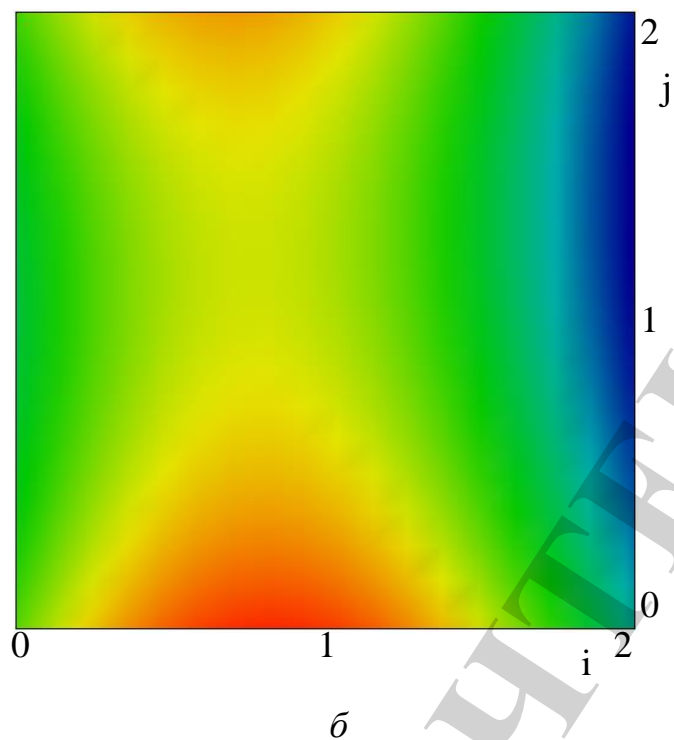
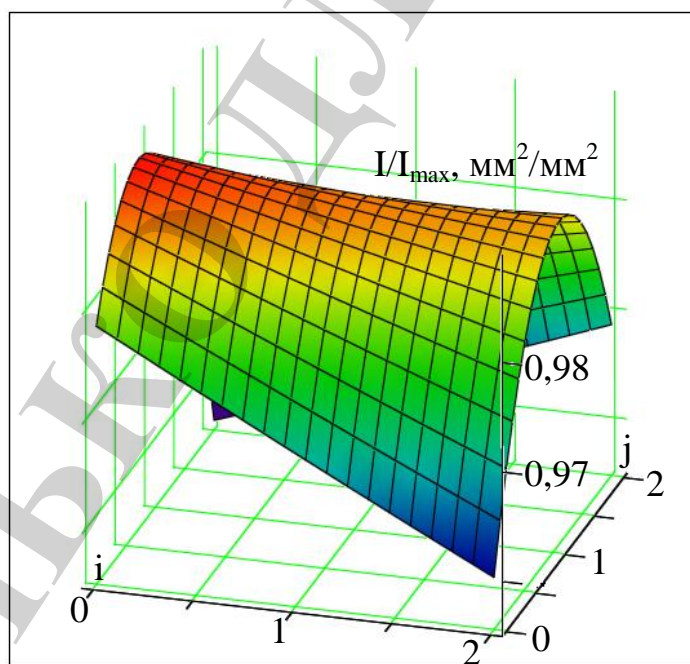


Рис. 3. Результати ЕПР-досліджень: *a* – площі під спектром за різної координати зразка модельної харчової системи № 2 (листяне тісто);  
*b* – томограма поверхні



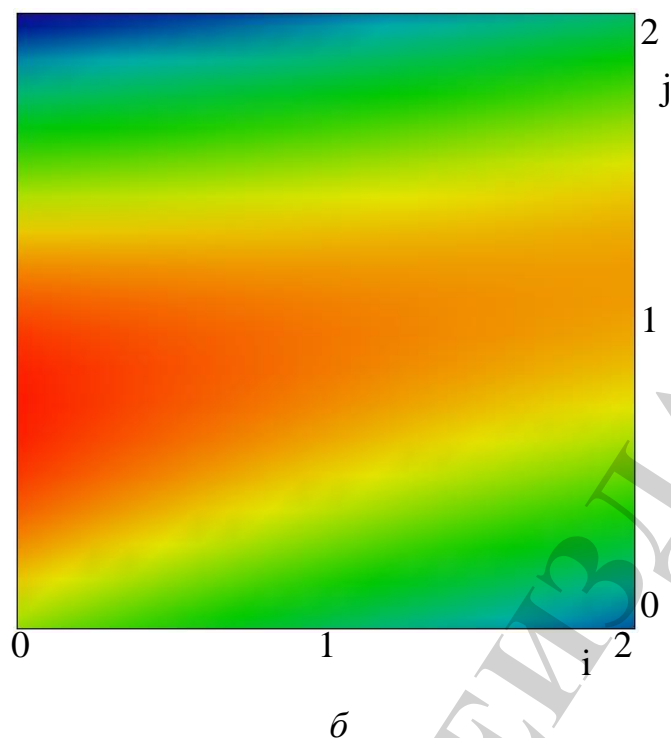
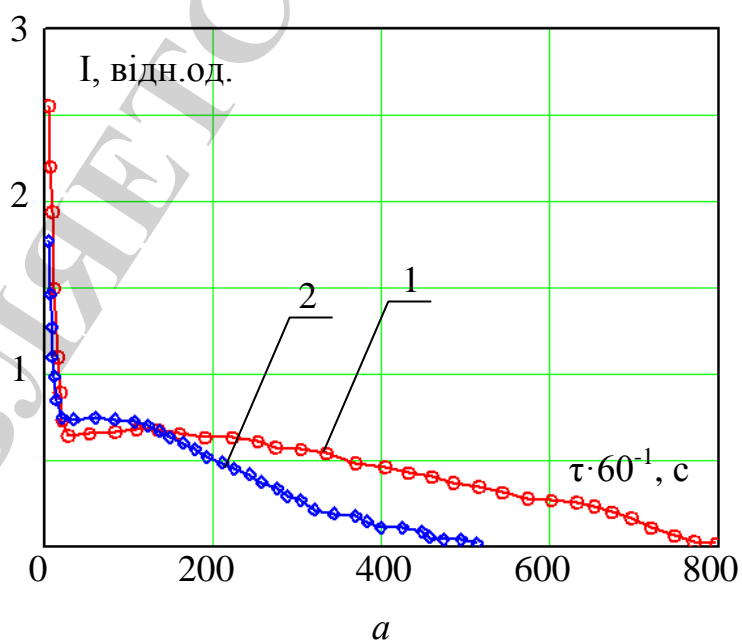


Рис. 4. Результати ЕПР-досліджень: *a* – площі під спектром за різної координати зразка модельної харчової системи № 3 (прісне тісто);  
*b* – томограма поверхні

Третій етап включав дослідження стану води харчових систем (тістових заготовок) за умови внесення добавки з хелатним комплексом низькотемпературним калориметричним методом. На рис. 5 наведено термограми, отримані для досліджуваних харчових систем з введеною добавкою (2) та без неї (1).





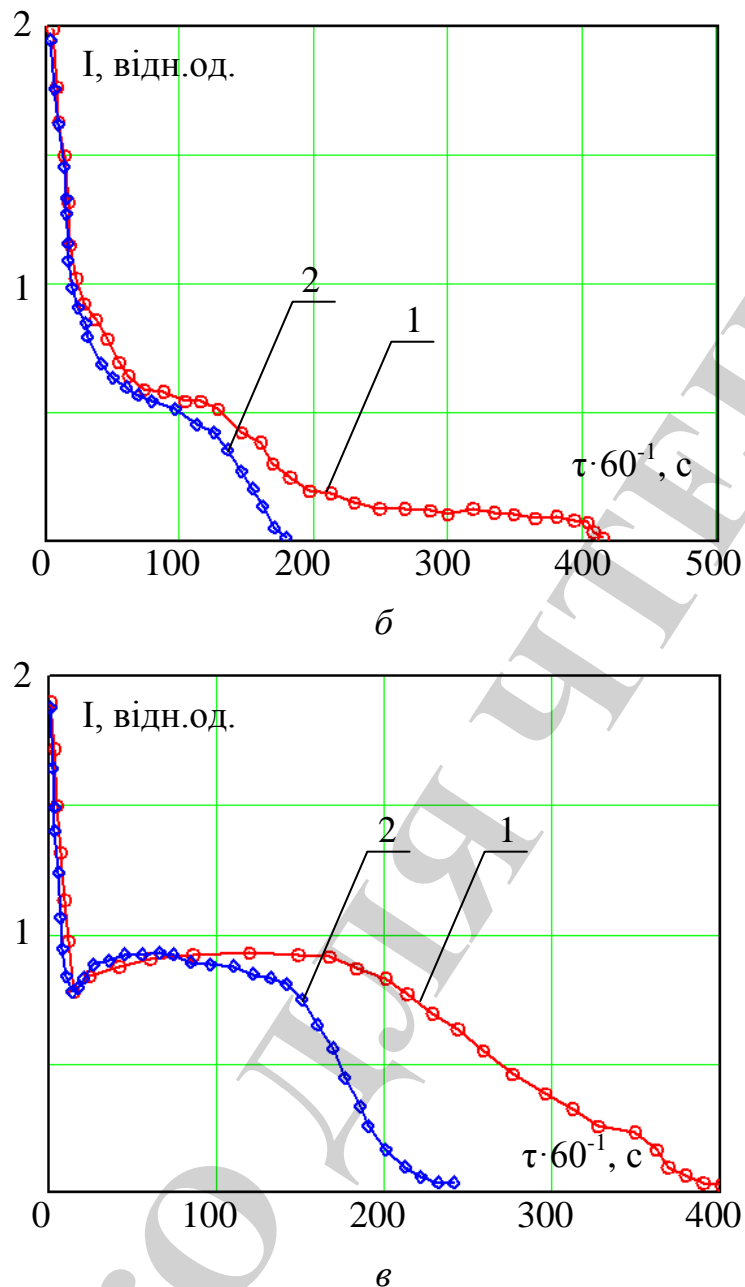


Рис. 5. Термограми, отримані калориметричним методом за температури калориметра мінус 12 °С, для модельних харчових систем:  
*a* – № 1 (дріжджове тісто); *б* – № 2 (листокове тісто); *в* – № 3 (прісне тісто)

В табл. 2 наведені відносні частки системної води досліджуваних зразків, отримані низькотемпературним калориметричним методом за рівноважної температури калориметра мінус 12 °С. Необхідно відмітити, за такої температури термостата відносних мольних часток системної води  $A_i$  – дві [21]. Позначимо як –  $A_{k0}$  та  $A_{k1}$ , де індекс «0» відповідає частині системної води, для якої відбувся фазовий перехід I роду за даної температури калориметру. Індекс «1» відповідає частині системної води, яка залишилась у рідкому стані.

Сума відносних мольних часток дорівнює одиниці:

$$\sum_{i=0}^m A_i = 1, (1)$$

де  $m$  визначається методом та методикою дослідження системної води. Відповідно для досліджень калориметричним методом за рівноважної температури калориметра мінус 12 °С –  $m=1$ , кількість  $m$  дорівнює 2.

Таблиця 2

Відносні частки вимороженої ( $A_{k0}$ ) та невимороженої ( $A_{k1}$ ) за температури мінус 12 °С системної води модельних харчових систем

Зразок	$A_{k1}$ , кг/кг	$A_{k0}$ , кг/кг
контроль:		
модельна система № 1 (дріжджове тісто)	0,37	0,63
модельна система № 2 (лишкове тісто)	0,66	0,34
модельна система № 3 (прісне тісто)	0,47	0,53
з внесенням добавки на основі хелатного комплексу:		
модельна система № 1 (дріжджове тісто)	0,64	0,36
модельна система № 2 (лишкове тісто)	0,77	0,23
модельна система № 3 (прісне тісто)	0,68	0,32

З табл. 2 видно, що для харчової системи № 1 (дріжджове тісто) збільшення частки системної води, для якої не відбувся фазовий перехід I роду за температури калориметра мінус 12 °С відбулося у 1,75 рази. Для харчової системи № 2 (лишкове тісто) збільшення частки системної води відбулось у 1,16 рази, а для харчової системи № 3 (прісне тісто) – у 1,45 рази.

На четвертому етапі проведені реологічні дослідження змін структурно-механічних властивостей харчових систем (тістових заготовок) за умови внесення в них добавки з хелатним комплексом. При цьому досліджувались тістові заготовки із дріжджового та прісного тіста з введенням добавки на основі хелатного комплексу. Як контроль використовувались відповідні тістові заготовки без внесення добавки.

Листкове тісто взагалі не досліджувалось реологічним методом, оскільки через свій складом та за своєю неоднорідною консистенцією (через наявність прошарків маргарину/вершкового масла у тісті) не підлягає під даний тип досліджень.

Вхідні параметри для даного етапу досліджень наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Вхідні параметри для реологічних досліджень тістових заготовок

Вхідні параметри:	Тістові заготовки:			
	контроль для № 1	№ 1	контроль для № 3	№ 3
Маса навантаження, кг	0,002	0,002	0,002	0,002
Висота зразку, м	0,008	0,008	0,008	0,008
Ціна поділки шкали, $\times 10^{-4}$ м	5	5	5	5

Отримані структурно-механічні показники для досліджуваних харчових систем наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Структурно-механічні показники тістових заготовок з добавкою та без неї

Найменування показника	Тістові заготовки:			
	контроль для № 1	№ 1	контроль для № 3	№ 3
Зворотна деформація, $10^{-3}$	0,04	0,01	0,06	0,04
Незворотна деформація, $10^{-3}$	0,01	0,04	0,02	0,05
Загальна деформація, $10^{-3}$	0,04	0,05	0,08	0,08
Напруження зсуву, Па	13,08	13,08	13,08	13,08
Відносна пружність, %:	19,27	13,19	21,74	25,60
Відносна пластичність, %:	20,11	86,54	20,96	54,22
Відносна еластичність, %:	60,61	27,0	57,30	20,18

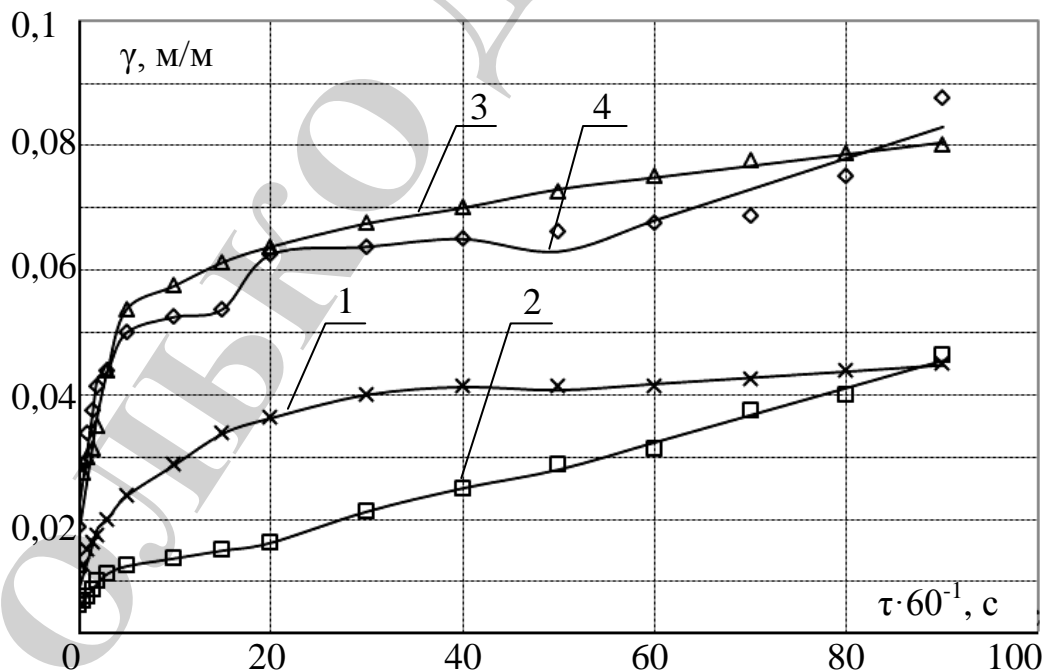


Рис. 6. Зміна напруження зсуву з часом для модельних харчових систем:  
 1 – контроль для № 1 (дріжджове тісто); 2 – № 1 (дріжджове тісто);  
 3 – контроль для № 3 (прісне тісто); 4 – № 3 (прісне тісто)

На рис. 6 наведено зміну напруження зсуву для зразків досліджуваних харчових систем з часом, отримані на еластопластометрі Толстого.

## **6. Обговорення результатів досліджень властивостей тістових заготовок, збагачених дієтичними добавками**

Аналіз результатів, отриманих ЯМР-дослідженнями, показує наступне. У прісному тісті взаємодія молекул води між собою в зразку під назвою «Контроль» (без додавання дієтичної добавки на основі хелатного комплексу) менша, ніж у зразку тіста з добавкою (0,004 с), і становить 0,013 с. Щодо спін-граткової релаксації, то в прісному тісті за умови внесення добавки взаємодія тіста з іншими молекулами (молекулами навколишнього середовища) зменшилась і час спін-граткової релаксації збільшився від 0,03 до 0,05 с.

В листковому тісті результати ЯМР дослідження протилежні відносно результатів, отриманих для прісного тіста. Для листового тіста взаємодія молекул води між собою (ідентифікується за часом спін-спінової релаксації) проявляється у більшому ступені для зразка тіста без внесення добавки. При цьому час спін-спінової релаксації становить 0,01 с, а за умови внесення добавки – 0,03 с. Щодо взаємодії тіста з іншими молекулами, то ця взаємодія більша у зразку листового тіста саме з добавкою (0,008 с) порівняно із зразком тіста без добавки (0,025 с).

Для дріжджового тіста результати ЯМР-досліджень подібні до результатів, отриманих для прісного тіста. В дріжджовому тісті взаємодія молекул води між собою в зразку без вищезначеної добавки проявляється у меншому ступені (0,016 с) порівняно із зразком тіста з тією ж добавкою (0,015 с). Щодо спін-граткової релаксації, при додаванні добавки взаємодія тіста з іншими молекулами (молекулами навколишнього середовища) зменшилась і час спін-граткової релаксації зріс від 0,06 до 0,065 с.

Необхідно відмітити, що чим менший час спін-спінової релаксації ( $T_2$ ), тим сильніша взаємодія молекул води між собою. Відповідно, чим менший час спін-граткової релаксації ( $T_1$ ), тим сильніша взаємодія води з навколишнім середовищем. При цьому під оточуючим середовищем маються на увазі молекули повітря, частинки порошкоподібної дієтичної добавки на основі хелатного комплексу, жир, білок тощо. Даний результат є однією із вихідних умов під час формування функціонально-технологічних властивостей тістових заготовок, збагачених дієтичними добавками на основі хелатних комплексів.

Дослідження методом ЕПР-спінових міток показали, що у зразках не спостерігалось розчеплення надтонкої структура спектру ЕПР. Це означає, що за такого стану зразків стабілізований хелат знаходиться в основному у насиченому стані, оскільки розчинник (вода), в кількості, що введено у систему тістової заготовки, знаходиться у «зв'язаному» стані. Такий стан відповідає зниженню величини діелектричної проникності середовища, в результаті чого хелат втрачає розчинність.

ЕПР-дослідженнями встановлено, що кількість внесеної добавки по об'єму харчової системи відрізняється не більше ніж на 4...5 %. Такий результат доводить однорідність розподілення мікроелементу (Mn) дієтичної добавки

по об'єму тістових заготовок. Перспективою подальших досліджень є визначення розподілу по об'єму харчових систем інших мікроелементів (окрім Mn) хелатів, які являють основу дієтичної добавки.

Результати, отримані низькотемпературним калориметричним методом, доводять, що внесення дієтичної добавки на основі хелатного комплексу приводить до зменшення кількості вимороженої води, тобто до збільшення невимороженої за даної температури калориметра частини системної води для всіх досліджуваних модельних харчових систем. Для дріжджового тіста кількість невимороженої води збільшилась у 1,7 рази; для листкового – у 1,2 рази; для прісного – у 1,4 рази. Це вказує на збільшення кількості зв'язаної води за умови внесення добавки. Встановлений результат є вихідною умовою під час визначення умов зберігання тістових заготовок. Слід відмітити, тістові заготовки з дієтичною добавкою на основі хелатного комплексу мають подовжені терміни зберігання порівняно з тістовими заготовками без добавки. Однак під час встановлення рекомендованих термінів зберігання слід враховувати мікробіологічні властивості вищезначених харчових систем, що потребує подальших досліджень.

З результатів, отриманих на еластопластометрі Тостого, видно, що у прісному тісті зворотна деформація є більшою у контрольному зразку і становить  $0,04 \cdot 10^{-3}$ , порівняно зі зразком з добавкою, де вона становить  $0,01 \cdot 10^{-3}$ . У дріжджовому тісті ситуація зі зворотною деформацією така сама: у контрольному зразку –  $0,06 \cdot 10^{-3}$ , а з добавкою –  $0,04 \cdot 10^{-3}$ . Незворотна деформація у прісному тісті обернено пропорційна зворотній, щодо дріжджового тіста. У контрольному зразку незворотна деформація також менша ( $0,02 \cdot 10^{-3}$ ), ніж у зразку з добавкою ( $0,05 \cdot 10^{-3}$ ). Загальна деформація між зразками одного виду тіста майже однакова: у прісному тісті у контрольному зразку вона становить  $0,04 \cdot 10^{-3}$ , у зразку з добавкою –  $0,05 \cdot 10^{-3}$ ; у дріжджовому тісті в обох випадках –  $0,08 \cdot 10^{-3}$ . Напруження зсуву скрізь однакове – 13,08 Па, адже всі значення в формулі, для обчислення напруження зсуву в усіх зразках, будуть однакові. У зразках була визначена відносна пружність. Відповідно, зразок з найбільшою пружністю – дріжджове тісто з добавкою з відсотком відносної пружності – 25,60 %. Контрольний зразок дріжджового тіста також має високу відносну пружність – 21,74 %. Що стосується прісного тіста – відносна пружність значно більша у контрольному зразку – 19,27 %, порівняно зі зразком з добавкою – 13,19 %. Відносна пластичність в обох випадках і в прісному, і в дріжджовому тісті більша у зразках з введеною добавкою. Так у прісному тісті вона складає – 86,54 %, у дріжджовому – 54,22 %, у контрольних зразках, відповідно, – 20,11 % і 20,96 %. Проте відносна еластичність навпаки в обох випадках більша саме у контрольних зразках. Так, у прісному тісті вона становить – 60,61 %, у дріжджовому – 57,3 %, а у зразках з додаванням добавки відповідно – 27,0 % і 20,18 %.

Реологічні дослідження тістових заготовок з добавкою та без свідчать про зміну пружних властивостей досліджуваних харчових систем з внесенням дієтичної добавки на основі хелатного комплексу. Так, для прісного та дріжджового тіста з добавкою, відповідно, зворотна деформація зменшується у 4 та 1,5 рази; відносна пластичність збільшується у 4 та 2,3 рази; відносна еластичність

зменшується у 2,1 та 2,8 разів. Встановлене пояснюється зміною співвідношення вільна – зв'язана вода у тістових заготовках за умови введення добавки, що підтверджують також ЯМР, ЕПР та низькотемпературні калориметричні дослідження.

Таким чином, дослідженнями функціонально-технологічних властивостей тістових заготовок з внесенням добавки встановлено, що введення добавки сприяє зміні співвідношення виморожена – невиморожена вода та пружних властивостей досліджуваних харчових систем.

Обмеження результатів роботи полягає в тому, що проведені дослідження доводять однорідність розподілення лише мікроелементу  $Mn^{2+}$  дієтичної добавки по об'єму харчових напівфабрикатів (тістових заготовок). Однак залишається відкритим питання розподілення інших мікроелементів дієтичних добавок на основі хелатних комплексів в тістових заготовках, що є перспективою подальших досліджень. Також перспективою подальшої роботи є визначення розподілення мікроелементів дієтичних добавок в інших харчових напівфабрикатах та готовій продукції. При цьому використані методики потребують адаптації під властивості досліджуваних харчових систем та властивості хелатів, які є основою дієтичних добавок.

## 7. Висновки

В результаті досліджень функціонально-технологічні властивостей тістових заготовок, збагачених дієтичними добавками на основі хелатного комплексу, методами ЯМР, ЕПР, низькотемпературним калориметричним та реологічними:

1. Встановлено, для прісного тіста збільшення часу спін-спінової релаксації у 3 рази, а часу спін-граткової релаксації – в 1,7 разу; для листкового тіста зменшення часу спін-спінової релаксації у 3 рази, а часу спін-граткової релаксації – в 3 рази; для дріжджового тіста зменшення часу спін-спінової релаксації у 1,1 разу, та збільшення часу спін-граткової релаксації – в 1,1 разу. Відзначено, отриманий результат визначає властивості води тістових заготовок до взаємодії з молекулами повітря, частинками порошкоподібної дієтичної добавки на основі хелатного комплексу, жирами, білками тощо.

2. Встановлено, кількість внесеної добавки по об'єму харчової системи відрізняється не більше ніж на 4...5 %, що доводить однорідність розподілення дієтичної добавки на основі хелатного комплексу з  $Mn$  по об'єму тістових заготовок. Відзначено, стабілізований хелат знаходиться в основному у насиченому стані, оскільки вода тістових заготовок знаходиться у «зв'язаному» стані.

3. Визначено, що для зразків тіста за умови внесення дієтичної добавки на основі хелатного комплексу відбувається збільшення кількості невимороженої води порівняно з контролем: дріжджове – у 1,7 разу; листкове – у 1,2 разу; прісне – у 1,4 разу. Встановлене свідчить про збільшення кількості зв'язаної води за умови внесення добавки.

4. Встановлено, що в тістових заготовках з дієтичною добавкою на основі хелатного комплексу відбувається зміна пружних властивостей. Для зразків із прісного та дріжджового тіста зворотна деформація зменшується у 4 та 1,5 ра-

зи; відносна пластичність збільшується у 4 та 2,3 рази; відносна еластичність зменшується у 2,1 та 2,8 разів. Встановлене пояснюється зміною співвідношення вільна – зв'язана вода у досліджуваних харчових системах.

### Література

1. Мостенська Т. Г. Принципи збалансування продовольчої безпеки: монографія. Київ: Кондор-Видавництво, 2014. 360 с.
2. Смоляр В. І., Петрашенко Г. І., Голохова О. В. Фортифікація харчових продуктів // Проблеми харчування. 2014. № 1. С. 29–32.
3. Scientific and technical aspects of yogurt fortification: A review / Hashemi Gahruei H., Eskandari M. H., Mesbahi G., Hanifpour M. A. // Food Science and Human Wellness. 2015. Vol. 4, Issue 1. P. 1–8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2015.03.002>
4. Foods, Fortificants, and Supplements: Where Do Americans Get Their Nutrients? / Fulgoni V. L., Keast D. R., Bailey R. L., Dwyer J. // The Journal of Nutrition. 2011. Vol. 141, Issue 10. P. 1847–1854. doi: <https://doi.org/10.3945/jn.111.142257>
5. Katz D. L., Meller S. Can We Say What Diet Is Best for Health? // Annual Review of Public Health. 2014. Vol. 35, Issue 1. P. 83–103. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-032013-182351>
6. Development of energy-efficient ir dryer for plant raw materials / Cherevko O., Kiptelaya L., Mikhaylov V., Zagorulko A., Zagorulko A. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2015. Vol. 4, Issue 8 (76). P. 36–41. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.47777>
7. Дружилов С. А. Здоровый образ жизни как целесообразная активность человека // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 4. С. 648–654.
8. Akhtar S., Anjum F. M., Anjum M. A. Micronutrient fortification of wheat flour: Recent development and strategies // Food Research International. 2011. Vol. 44, Issue 3. P. 652–659. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.033>
9. Gharibzahedi S. M. T., Jafari S. M. The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation // Trends in Food Science & Technology. 2017. Vol. 62. P. 119–132. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.017>
10. Özer B. H., Kirmaci H. A. Functional milks and dairy beverages // International Journal of Dairy Technology. 2010. Vol. 63, Issue 1. P. 1–15. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2009.00547.x>
11. Functional foods development: Trends and technologies / Betoret E., Betoret N., Vidal D., Fito P. // Trends in Food Science & Technology. 2011. Vol. 22, Issue 9. P. 498–508. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.05.004>
12. The effect of citric acid and ascorbyl palmitate in palm oil enriched with heme iron: A model for iron fortification in bakery products / Alemán M., Bou R., Tres A., Polo J., Codony R., Guardiola F. // European Journal of Lipid Science and Technology. 2014. Vol. 116, Issue 3. P. 300–310. doi: <https://doi.org/10.1002/ejlt.201300007>

13. Study of regularities of distributing powdered dietetic additives in coarse dispersed foodstuffs / Pogozhikh N., Golovko T., Pak A., Dyakov A. // Food science and technology. 2017. Vol. 11, Issue 4. P. 72–80. doi: <https://doi.org/10.15673/fst.v11i4.733>
14. Bender C. J., Berliner L. J. Computational and Instrumental Methods in EPR, in Biological Magnetic Resonance. Springer Verlag, 2007. doi: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-38880-9>
15. Пак А. О., Євтушенко А. В. Дослідження стану вологи пастоподібних напівфабрикатів у процесі заморожування, розморожування, зберігання // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2010. Т. 3, № 10 (45). С. 54–56. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/2909/2712>
16. Jekle M., Becker T. Wheat Dough Microstructure: The Relation Between Visual Structure and Mechanical Behavior // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2014. Vol. 55, Issue 3. P. 369–382. doi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.656476>
17. Lund A., Shiotani M. Principles and Applications of Electron Spin Resonance. Springer Verlag, 2008. 367 p.
18. Investigations of the functional and technological properties of dough semi-products enriched with dietary supplements / Golovko T., Pogozhikh M., Pak A., Golovko N., Pak A., Bakirov M. // EUREKA: Life Sciences. 2018. Issue 4. P. 27–34. doi: <http://dx.doi.org/10.21303/2504-5695.2018.00679>
19. Kirtil E., Oztop M. H. 1H Nuclear Magnetic Resonance Relaxometry and Magnetic Resonance Imaging and Applications in Food Science and Processing // Food Engineering Reviews. 2015. Vol. 8, Issue 1. P. 1–22. doi: <https://doi.org/10.1007/s12393-015-9118-y>
20. Möbius K., Savitsky A. High-field EPR spectroscopy on proteins and their model systems. Royal Society of Chemistry, 2008. 392 p. doi: <http://dx.doi.org/10.1039/9781847559272>
21. Дослідження системної води харчової сировини термодинамічними та молекулярно-кінетичними методами / Погожих М. І., Пак А. О., Чеканов М. А., Іштван Є. О., Павлюк І. М. // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2014. Т. 5, № 11 (71). С. 42–46. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.27790>