



Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини  
та біотехнологій імені С.З. Гжицького

Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine  
and Biotechnologies

ISSN 2519–268X print  
ISSN 2518–1327 online

<http://nvlvet.com.ua/>

УДК 657.56.034

## Обґрунтування раціональних параметрів та режимів сушіння рибо-рослинних фаршів

Н.В. Притульська, С.Л. Шаповал, Д.В. Федорова, Р.П. Романенко  
pryutulska@knteu.kiev.ua, Shapovalknteu@gmail.com, dina\_fedorova@ukr.net, Romanco@ukr.net

Київський національний торговельно-економічний університет,  
вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна

Стаття присвячена науковому обґрунтуванню раціональних параметрів та режимів сушіння рибо-рослинних фаршів з дрібної риби *Gobiidae*, що обумовлює розширення напрямів використання вітчизняної сировинної бази, зокрема дрібної риби, підвищення ефективності виробництва. Визначені критерії створення сухих рибо-рослинних напівфабрикатів, що забезпечуватимуть задані показники якості та безпечності. Експериментально встановлено пряму залежність між температурою сушильного агента і вмістом термолабільних нутрієнтів – тіаміну, ліпідів, лізину у сухих рибо-рослинних напівфабрикатах. Визначено математичні залежності показників якості сухих рибо-рослинних напівфабрикатів та параметрів сушіння. Встановлено, що раціональними параметрами двоступеневого сушіння рибо-рослинних напівфабрикатів є: температура сушіння 80 °C протягом 40-60 с з наступним переключенням режиму на 60 °C до вологості 5–8% при швидкості сушильного агента 4,5 м/с. При цьому створюються сприятливі умови для захисту від руйнування термолабільних нутрієнтів, зниження інтенсивності процесу меланоїдиноутворення.

**Ключові слова:** фарші з дрібної риби *Gobiidae*, сухі рибо-рослинні напівфабрикати, вологовміст, кінетика сушіння, термолабільні нутрієнти

## Обоснование рациональных параметров и режимов сушки рибо-растительных фаршей

Н.В. Притульская, С.Л. Шаповал, Д.В. Федорова, Р.П. Романенко  
pryutulska@knteu.kiev.ua, Shapovalknteu@gmail.com, dina\_fedorova@ukr.net, Romanco@ukr.net

Київський національний торговельно-економічний університет,  
вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна

Статья посвящена научному обоснованию рациональных параметров и режимов сушки рыбо-растительных фаршей из мелкой рыбы *Gobiidae*, что способствует расширению направлений использования отечественной сырьевой базы, в частности мелкой рыбы, повышению эффективности производства. Определены критерии создания сухих рыбо-растительных полуфабрикатов, которые смогут обеспечить заданные показатели качества и безопасности. Экспериментально установлена прямая зависимость между температурой сушильного агента и содержанием термолабільных нутриентов – тиамина, липидов, лизина в сухих рыбо-растительных полуфабрикатах. Определены математические зависимости показателей качества сухих рыбо-растительных полуфабрикатов от параметров сушки. Установлено, что оптимальными параметрами двухстадийной сушки рыбо-растительных полуфабрикатов являются: температура сушки 80 °C в течение 40-60 с с последующим переключением режима на 60 °C до влажности 5–8% при скорости сушильного агента 4,5 м/с. При этом создаются благоприятные условия для защиты от разрушения термолабільных нутриентов, снижения интенсивности процесса меланоидинообразования.

### Citation:

Pryutulska, N.V., Shapoval, S.L., Fedorova, D.V., Romanenko, R.P. (2017). Justification of the rational parameters and modes of fish and plant minced products' drying process, *Scientific Messenger LNUVMB*, 19(80), 154–164.

**Ключевые слова:** фарши из мелкой рыбы Gobiidae, сухие рыбо-растительные полуфабрикаты, влагосодержание, кинетика сушки, термолabile нутриенты

## Justification of the rational parameters and modes of fish and plant minced products' drying process

N.V. Prytulska, S.L. Shapoval, D.V. Fedorova, R.P. Romanenko  
prytulska@knteu.kiev.ua, Shapovalknteu@gmail.com, dina\_fedorova@ukr.net, Romanco@ukr.net

*Kyiv National University of Trade and Economics,  
Kioto street, 19, Kyiv, 02156 Ukraine*

*The article is devoted to justification of rational parameters and modes of drying of fish and plant minced product from small fish Gobiidae, which causes increased use of domestic raw material base, in particular small fish, increase of production efficiency and implementation of resource-saving technologies. The total resources of valuable protein-rich raw materials such as a small fish in Ukraine make up to 40% of the amount of fish catching and reaches annually 32 ... 35 thousand tons. Creation of new technologies of dry fish and plant semi-finished products is relevant for processing enterprises and restaurants to expand the possibility of using fish raw materials in a convenient form in the food production. The criteria for the creation of dry fish and plant semi-finished products, which will provide the specified indicators of quality and safety are determined. It was experimentally determined a direct relationship between the temperature of the drying agent and the content of thermally depended nutrients – Thiamine, lipids, Lysine in the dry fish and plant semi-finished products. During dehydration of pellets of fish and plant minced product to a residual moisture content of 5–8%, which is possible at temperatures of the drying agent of 70 and 80 °C, the Thiamine content in them is reduced by 35.7–45.3% in comparison with the raw minced product. The content of Lysine in samples dried at 70 and 80 °C is 15–25.4% lower than in samples dried at 50°C and the content of non-oxidized lipids is 9.3–15.3% less, respectively. An increase in the color intensity of the samples is investigated, which increases in proportion to the increase in the temperature of the drying agent. There were determined the mathematical relations between the quality indices of the dry fish and plant semi-finished products and drying parameters, influence of conditions and modes of drying on the duration of the process. According to the results of the drying kinetics studies it was found that the rational parameters of the 2 steps' drying process of fish and plant semi-products are: drying temperature is 80 °C for 40-60 sec with the subsequent switching mode to 60°C to a moisture content of 5–8% at a drying agent speed of 4.5 m/sec. The favorable conditions are created for dehydration of the investigated materials in the indicated mode, which are protected them against the destruction of thermally depended nutrients.*

**Key words:** minced product from small fish Gobiidae, dry fish and plant semi-finished products, moisture content, kinetics of drying, thermally depended nutrients

### Вступ

Сучасні економічні умови зберігання і переробки харчової сировини визначають необхідність створення ресурсозберігаючих технологій, які дозволяють більш ефективно використовувати її харчовий потенціал. Важливим завданням є впровадження результатів досліджень, пов'язаних із розробленням нових технологій, що дозволяють мінімізувати втрати харчової сировини шляхом комплексності її перероблення та збільшення термінів зберігання, збагатити продукцію цінними біологічно активними речовинами, більш повно реалізувати ресурсний потенціал вітчизняної сировинної бази.

У виробництві рибної продукції задачі ресурсозбереження вирішуються у напрямі комплексності і маловідходності перероблення, залучення сировини зниженої цінності та вторинних продуктів переробки риби. Постає необхідність розширення напрямів використання вітчизняної сировинної бази, зокрема дрібної риби, впровадження ресурсозберігаючих технологій. Загальні ресурси цінної білоквмісної сировини у вигляді дрібної риби в Україні становлять до 40% від обсягу риби, що видобувається, і досягають щороку 32...35 тис. т. Значний обсяг видобутку дрібної риби, її висока харчова цінність та обмеженість напрямів перероблення обумовлюють необхідність її раціонального використання, зокрема у виробництві харчової продукції.

В теперішній час в Україні здійснюється активний видобуток бичкових риб Gobiidae – більше 10 тис. т щорічно. У 2016 р. видобуток бичка азовського перевищив усі інші види вітчизняних водних біоресурсів і становив 19 тис.т, що становить 21% від загального видобутку риби (Dobuvannya vodnykh bioresursiv za 2015 rik). Це визначає перспективність розвитку напрямів перероблення даної сировини на харчову продукцію на принципах ресурсозбереження, що дозволить скоротити відходи, більш раціонально використовувати рибні ресурси, знизити собівартість та підвищувати ефективність виробництва рибної продукції.

Розроблення ресурсозберігаючої технології отримання сухих рибо-рослинних напівфабрикатів на основі фаршу з дрібної рибної сировини є актуальним як для підприємств переробної промисловості, так і для закладів ресторанного господарства та харчової промисловості для розширення можливості використання рибної сировини у зручній та прийнятній формі у технологічному потоці виробництва харчової продукції підвищеної біологічної цінності. Фарші з комплексу м'язової, кісткової тканин, шкіри та плавців Gobiidae завдяки низькому вмісту жирів (до 1%), високому вмісту білків (до 18%) та мінеральних речовин (до 3,8%) є перспективною сировиною для виробництва сухих продуктів (Pidubnyi et al., 2015). Цінний білково-мінеральний склад фаршу з Gobiidae обумовлює доцільність його харчового використання як біл-

ково-мінеральної добавки у складі різних видів харчових продуктів. Попередньо проведеними дослідженнями обґрунтовано технологію підготовки рибної сировини Gobiidae до сушіння, визначено доцільність використання рослинної сировини у складі рибо-рослинних напівфабрикатів для формування бажаних органолептичних і фізико-хімічних характеристик, функціонально-технологічних властивостей готової продукції (Prytul'ska and Fedorova, 2017).

Одним із перспективних напрямів, що потребує наукового обґрунтування, є розробка раціональних параметрів та режимів сушіння рибо-рослинних напівфабрикатів, що забезпечуватимуть встановленим критеріям якості та безпечності, прийнятні умови його тонкодисперсного подрібнення, високий рівень збереженості амінокислотного, жирнокислотного, вітамінного складу, біодоступності білків, високі вологопоглинальні та функціонально-технологічні властивості. На основі вивчених літературних джерел та попередніх експериментів науково обґрунтована сукупність технологічних операцій з отримання сухих рибо-рослинних напівфабрикатів у вигляді порошку. Спосіб отримання сухих рибо-рослинних напівфабрикатів передбачає попереднє бланшування патраної риби парою, диспергування із сухою рослинною сировиною (клітковиною висівок пшеничних, насіння льону) та сушіння рибо-рослинних фаршів до низького залишкового вологовмісту (Prytul'ska and Fedorova, 2017). Основною властивістю рибних матеріалів як об'єктів сушіння є термолабільність, що обумовлена їхньою біологічною природою і хімічним складом. Якість таких матеріалів в результаті сушіння буде тим вищою, чим нижчий температурний рівень процесу зневоднення і менша його тривалість. Фарш рибний як об'єкт сушіння характеризується низькою особливостями, обумовлених його біологічною природою, які необхідно враховувати при виборі типу сушильного устаткування та умов проведення процесу зневоднення. При тепловому сушінні значна інтенсифікація процесу досягається в результаті підвищення температури теплоносія. Нагрівання продукту в процесі сушіння до певної температури веде до теплової денатурації білків. При цьому відбувається втрата поживної цінності, зміна смаку, аромату і кольору висушеного матеріалу, що призводить до погіршення якості готового продукту. Максимально допустима температура нагріву матеріалу в процесі сушіння, при якій висушений продукт виходить стандартної якості (відповідає вимогам технології) і має якнайкращі технологічні властивості, визначається на підставі всебічного аналізу біологічних, фізико-хімічних і структурно-механічних властивостей висушуваних матеріалів.

Процес сушіння має здійснюватись в умовах, які попереджають виникнення у продуктах незворотніх змін, які можуть погіршувати їх якість. У зв'язку з тим, що тривала теплова дія негативно позначається на якості готового продукту, при розробці режимів зневоднення фаршів основний акцент повинен робитися на використання невисоких температур і скорочення тривалості процесу. За результатами аналізу наукових джерел і враховуючи можливість попереднього вологоте-

рмічної обробки рибного фаршу перед сушінням відповідно до прийнятої технології варено-сушених продуктів з гідробіонтів, можна прийняти за критичну температуру нагрівання матеріалу ( $T_k$ ) під час зневоднення рибних фаршів з низькожирних риб, до яких належить фарш на основі Gobiidae, 328–333 К (55–60 °С) (Kizevetter, 1973; Shokun, 1983).

*Метою роботи* є обґрунтування раціональних режимів та параметрів процесу сушіння рибо-рослинних фаршів, що забезпечать одержання сухого продукту з високою біологічною цінністю, функціонально-технологічними властивостями при оптимальних енерговитратах.

Завданням дослідження є розроблення раціональних параметрів та режимів сушіння рибо-рослинних фаршів для забезпечення низького залишкового вологовмісту готового продукту – 4–8%. Для досягнення прийнятних умов тонкодисперсного подрібнення продукту та його наступного зберігання однією із задач дослідження є вибір способу та обґрунтування режимних параметрів сушіння матеріалу. Аналіз поширення видів сушильного устаткування на переробних підприємствах, енергоємності процесу, продуктивності установки, умов досягнення необхідної якості продукту показав, що оптимальним варіантом може бути застосування конвективного сушіння.

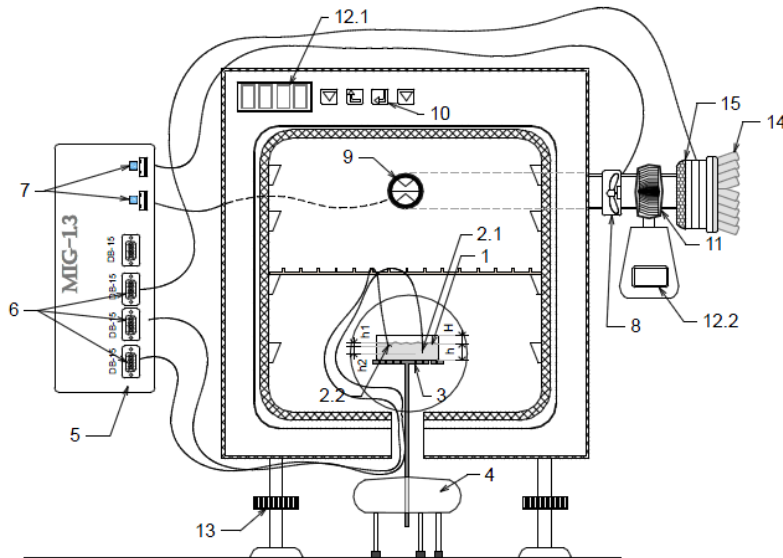
### Матеріал і методи досліджень

Експерименти з дослідження основних закономірностей тепло- і масообміну при сушінні рибо-рослинних фаршів проводили на експериментальному стенді «Модуль сушіння», підключеної до експериментальної виміральної лабораторії МІГ 1.3, що розроблені на кафедрі інженерно-технічних дисциплін Київського національного торговельно-економічного університету. Принципова схема стенду зображена на рис. 1. Процес сушіння досліджували в горизонтальній камері при подовжньому обтіканні шару матеріалу сушильним агентом - повітрям.

Експериментальний стенд складається з термошафи (10); приладу МІГ-1.3 (5) із набором датчиків (2, 4, 6, 15), набору регулюючих приладів (осьового вентилятора (8) та системи повороту заслонки (9); та анемометра (12.2).

Температура повітря в сушильній камері задавалася та контролювалася внутрішнім контролером термошафи (12.1) температура всередині і на поверхні зразка фіксувалася за допомогою швидкісних діодних термодатчиків оригінальної конструкції (2.1 та 2.2). Вологовміст використаного теплоносія замірявся за допомогою цифрового гігрометра (15). Це забезпечувало необхідні дані для регулювання швидкості зміни теплоносія вентилятором (8).

Витрата повітря вимірювалася за анемометра (11) і контролювалася за допомогою регулювання швидкості обертання вентилятора (8) та закриттям заслонки (9). Задані параметри регулювалися установкою автоматично, і ручний контроль швидкості витрат повітря (12.2) застосовувався на початковій стадії для калібрування обладнання та налаштування алгоритмів.



**Рис1. Принципова схема експериментальної сушильної установи**

1 – досліджуваний зразок; 2.1 та 2.2 – напівпровідникові термодатчики на поверхні та в середині шару зразка; 3 – перфорована підставка під квітку з стійкою; 4 – динамометр; 5 – прилад МІГ-1.3; 6 – виходи для датчиків; 7 – usb-виходи зовнішніх контрольованих пристроїв; 8 – вентилятор; 9 – заслонка; 10 – термошафа (блок контролю); 11 – анемометр (крильчатка); 12.1 – дисплей температури; 12.2 – дисплей швидкості повітрообміну; 13 – регулятор горизонтальності установки; 14 – розсіювач повітря; 15 – датчик температури і вологості повітря.

*Методика проведення досліджень і обробки дослідних даних*

Після встановлення на контролері термошафи (10) і на приладі МІГ-1.3 певного режиму сушіння в сушильній камері розміщувалася перфорована корзина з досліджуваним зразком (1). Корзина через підставку (3) тисне на динамометр (4), який фіксує значення ваги (маси) зразка автоматично, без втручання експериментатора. Запис динаміки маси зразка, зміни його температури, а також параметрів теплоносія робочої камери здійснювався програмою «Лабораторія МІГ-1.3» через кожні 30 с, потім масив даних експортували до редактора таблиць для подальшої обробки.

Після закінчення дослідів зразок знімався з штока ваг і досушувався до абсолютно сухої маси в сушильній шафі. Залишковий вологовміст зразка ( $W_e$ ) після закінчення кожного дослідів і контрольний вологовміст матеріалу до дослідів визначалися згідно з ДСТУ 8029:2015 для рибних продуктів.

Вологість, розраховану по відношенню до маси сухої речовини матеріалу, тобто вологовміст  $W$  (у відсотках), обчислюють за формулою

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \cdot 100 \quad (1)$$

де  $m_1$  – маса бюкси з навішенням до висушування, г;  
 $m_2$  – маса бюкси з навішенням після висушування, г;  
 $m_0$  – маса пустої бюкси.

За результат випробувань приймають середнє арифметичне двох паралельних визначень. Обчислення проводять з погрішністю не більше 0,001%. Для визначення поточного, змінного вологовмісту зразка необхідно знати його абсолютно суху масу:

$$G_{a.c.} = G_e - \frac{G_e \cdot W_e}{100} \quad (2)$$

де  $G_{a.c.}$  – абсолютно суха маса зразка, г;  
 $G_x$  – маса зразка після висушування на стенді, г;  
 $W$  – залишковий вологовміст зразка, %.

За абсолютно сухою масою зразка визначають початковий вологовміст зразка і вологовміст зразка у фіксовані моменти часу в процесі сушіння:

$$W = \frac{(G \pm \sigma) - G_{a.c.}}{G_{a.c.}} \cdot 100, \% \quad (3)$$

За експериментальними даними будувалися криві сушіння  $W = f(\tau)$ , криві швидкості сушіння  $dW/d\tau = f(W)$ , отримані шляхом чисельного диференціювання кривих сушіння, а також температурні криві  $t = f(\tau)$ .

В якості об'єктів дослідження використовували свіжовиготовлені фарші на основі бланшованого цілого патраного Gobiidae з використанням рослинних інгредієнтів. Готували модельні фарші з бланшованого патраного Gobiidae двічі подрібненого на вовчку з діаметром отворів 5 та 2 мм з використанням клітковини висівков пшеничних (НРВ) та шротів з насіння льону (НРЛ) у кількості 10% відповідно від маси сировини згідно способу, описаному у (Snezhkin and Shapar', 2009).

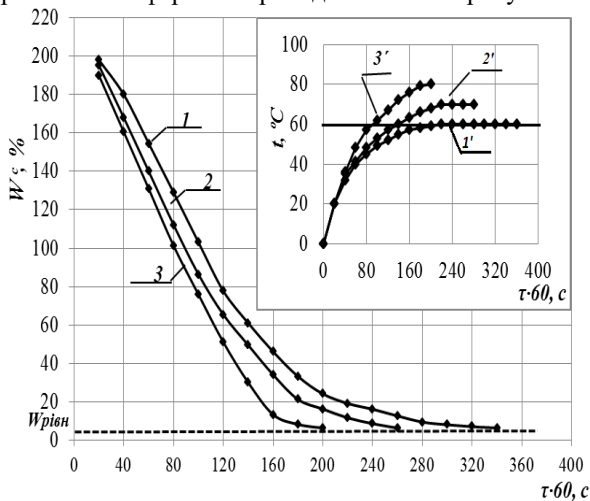
**Результати та їх обговорення**

Критерієм вибору раціональних режимів і параметрів сушіння є збереження природного біопотенціалу, висока здатність до диспергування та прийнятні органолептичні властивості висушеного продукту при

забезпечення максимально можливої енергоефективності процесу сушіння. При виборі способу і режимів сушіння співставляли переваги і недоліки процесу і готової продукції. Особливістю термолабільних матеріалів є залежність якості готового продукту від температурного рівня процесу зневоднення і його тривалості. Процес сушіння нагрітим повітрям характеризується такими параметрами: температурою теплоносія ( $t$ ), його вологовмістом ( $d$ ) та швидкістю руху ( $v$ ). Ці параметри впливають як на тривалість процесу сушіння, так і на якість висушеного матеріалу. Тому при визначенні оптимальних режимів сушіння термолабільних матеріалів керуються такими вимогами: скорочення тривалості процесу; мінімізація витрат тепла; одержання продукту високої якості із заданими властивостями.

Залежно від властивостей матеріалів і тривалості процесу зневоднення, допустима межа температур сировини в період видалення залишкової вологи знаходиться в межах 40...80 °С (Fedorova and Romanenko, 2016). Аналізуючи наведені дані щодо властивостей рибної сировини як об'єкта сушіння та враховуючи, що відповідно до прийнятої технології рибна сировина перед сушінням піддається вологотермічному обробленню, можна прийняти за критичну температуру нагрівання для зневоднення фаршів з нежирної рибної сировини – 55–60 °С. У зв'язку із цим межі змінювання температурних параметрів процесу під час сушіння рибо-рослинних фаршів прийняли від 50 до 80 °С. Якість висушеного матеріалу залежить від температури, вологості і швидкості руху сушильного агента. Для встановлення впливу одного з параметрів процесу на тривалість сушіння та якість продукту, інші – підтримували незмінними. Початковий вологовміст рибо-рослинних фаршів на основі паротермічно обробленого патраного без голови Gobiidae з масовою часткою сухих речовин від 26 до 31%.

Експериментальні дослідження зневоднення рибо-рослинних фаршів проводилися на гранульованих

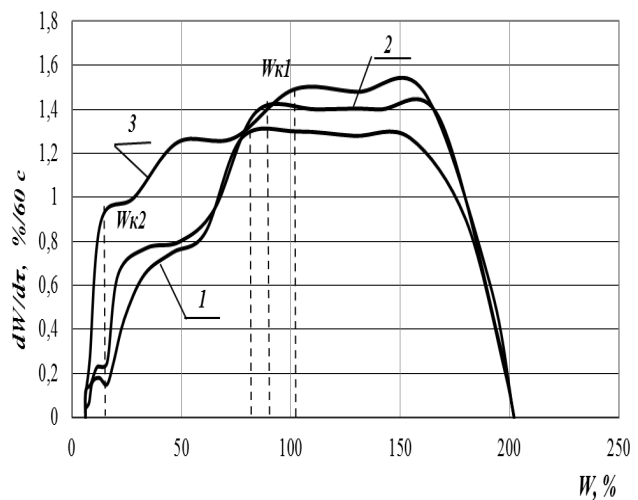


**Рис. 1.** Вплив температури сушильного агента на процес сушіння фаршу рибо-рослинного зі шротом насіння льону

Режимні параметри: 1, 1' –  $t = 60$  °С; 2, 2' –  $t = 70$  °С; 3, 3' –  $t = 80$  °С;  $v = 4,5$  м/с;  $d = 10$  г/кг с.п.;  $g = 15,3$  кг/м<sup>2</sup>.

фаршах із середнім діаметром однієї гранули 2 мм, в широких межах змінювання режимних параметрів процесу: температури сушильного агента – від 50 до 80 °С; швидкості сушильного агента – 3,5–5,5 м/с; початкового питомого навантаження матеріалу ( $g$ ) – 10,0–20,0 кг/м<sup>2</sup>; вологовмісту сушильного агента – 10 г/кг с.п. Оскільки основні закономірності досліджуваного процесу якнайповніше виявляються в характері змінювання температури і вологовмісту матеріалу, тому результати експериментів представлялися у вигляді суміщених кривих нагрівання і сушіння фаршів. Криві сушіння диференціювалися методом дотичних із застосуванням програми Advanced Grapher v.1.61, за результатами будувалися криві швидкості сушіння. У ході експерименту визначали кінетику сушіння і зміни маси продукту протягом часу. Дослідження кінетики сушіння фаршів при температурі 50 °С виявилось надто енерговитратним – тривалість процесу підвищувалась на 35,7–48,5% порівняно із сушінням при температурі 60 °С. При зниженні швидкості руху повітря нижче 3,5 м/с тривалість сушіння значно зростає – на 27% порівняно із зневодненням при швидкості 3,5 м/с. У зв'язку із цим, кінетику процесу сушіння рибо-рослинних фаршів здійснювали при температурних режимах 60, 70 і 80 °С та швидкості сушильного агента 4,5 м/с.

Аналіз експериментальних даних показав, що підвищення температури сушильного агента інтенсифікує процес сушіння, при цьому відбувається швидке нагрівання матеріалу (рис. 1) і прискорення процесу (рис. 2). Підвищення температури сушильного агента з 60 до 80 °С при зневодненні гранул рибо-рослинного фаршу зі шротом насіння льону в шарі 12 мм до залишкового вологовмісту 6% сприяє скороченню тривалості процесу з 340 до 195 хв., тобто у 1,7 рази. Швидкість сушіння в період постійної швидкості при температурі сушильного агента 80 °С у 1,2 рази вища, ніж при 60 °С.



**Рис. 2.** Криві швидкості сушіння фаршу рибо-рослинного зі шротом насіння льону

Сушіння фаршу за температури сушильного агента  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  в шарі  $12\text{ мм}$  (питоме навантаження матеріалу –  $15,3\text{ кг/м}^2$ ) до залишкового вологовмісту  $6\%$  скорочує тривалість процесу з  $340$  до  $255\text{ хв}$  (у  $1,3$  рази). Швидкість сушіння в період постійної швидкості при температурі сушильного агента  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  на  $13,5\%$  вища, ніж при  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 1). Встановлено, що для білоквісних матеріалів підвищення температури сушіння обмежене гранично допустимим рівнем нагріву – не вище  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Аналіз кривих сушіння фаршів показав, що досліджувані залежності мають вид, характерний для колоїдних капілярно-пористих тіл складної структури, до яких належать більшість харчових продуктів (рис. 1, 2). Процес видалення вологи можна розділити на дві стадії. Перша стадія, що відбувається за  $(80\dots 120)\cdot 60\text{с}$ , характеризується інтенсивним зменшенням маси за рахунок випаровування вологи. У першому періоді, як правило, відбувається видалення поверхневої вологи, що характеризується на поверхні сировини постійністю температури, теплота витрачається на нагрів сировини від початкової температури до температури вологого термометра, а також на випаровування вологи.

На другій стадії швидкість зміни маси зразків значно знижується, відбувається видалення зв'язаної вологи. Другий період супроводжується підвищенням температури матеріалу, причому температура матеріалу прагне до температури теплоносія, що несприятливо позначається на зниженні вмісту поживних речовин термолабільної сировини. Якщо не знизити температуру до безпечного значення, відбувається інтенсивне руйнування водорозчинних вітамінів та інших біологічно активних речовин, поглиблюються денатураційні процеси білків, інтенсифікуються процеси меланоїдиноутворення, що знижує поживну цінність продукту та його споживні характеристики (колір сухого напівфабрикату темніє). При  $t_{c,a} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$  помітне потемніння кольору поверхні матеріалу починає відбуватися при досягненні температури шару  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Однак зниження температури сушильного агента до  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  супроводжується суттєвим уповільненням тривалості процесу та підвищує його енергоспоживання.

Критичний вологовміст ( $W_{k1}$ ) на кривих швидкості сушіння зразків показує закінчення першого періоду сушіння за постійної швидкості. На форму кривої швидкості сушіння у періоді спадаючої швидкості має вплив характер зміни поверхні гранул фаршу та енергії зв'язку вологи зі скелетом тіла. Друга критична точка ( $W_{k2}$ ) відповідає межі адсорбційної та капілярної вологи у зразках фаршу. За експериментальними даними встановлено, що при температурі сушильного агента  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  значення  $W_{k2}$  фаршу менше ( $17\%$ ) порівняно із зразками, висушеними при температурі  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  та  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $39$  та  $26\%$  відповідно) (рис. 2). Це свідчить про більш інтенсивне видалення зв'язаної вологи при температурі сушильного агента  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Встановлено, що температура фаршу в процесі сушіння підвищується: спочатку інтенсивно, а потім

повільно, наближаючись до температури теплоносія. Під час зневоднення при температурі сушильного агента  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  вологовміст фаршу може бути зменшений до  $111,0\%$ , а при  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  – до  $65,3\%$  за умови нагрівання продукту до заданої максимально допустимої температури  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Термовологопровідність фаршів визначається молекулярною дифузійною вологою внаслідок переміщення вологи внаслідок різної швидкості молекул різних нагрітих шарів продукту та капілярною провідністю, що виникає внаслідок зміни капілярного потенціалу. При температурі  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  процес сушіння рибо-рослинних фаршів характеризується високою інтенсивністю (крива 1), що пояснюється недостатнім потенціалом термовологопровідності. Визначено, що при температурі  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  процес сушіння відбувається у  $1,3$  рази швидше, а при  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  – у  $1,3$  рази порівняно із сушінням при температурі  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Аналіз термограм та кривих сушіння зразків рибо-рослинних фаршів показав, що вологовміст фаршу від початкового до критичного зменшується протягом часу з лінійним законом при практично постійній середньооб'ємній температурі шару, що відповідає температурі адіабатичного насичення повітря. Це свідчить про постійність швидкості сушіння в цьому періоді. При подальшому зниженні вологовмісту нижче критичного, швидкість сушіння неперервно зменшується. Наприкінці процесу крива сушіння асимптотично наближається до лінії рівноважної вологості, що відповідає певному режиму сушіння. Температура гранул у шарі протягом періоду спадаючої швидкості швидко зростає і у кінці процесу сушіння наближається до значення температури сушильного агента. Стадія нагрівання гранул на кривих сушіння спостерігається перші  $20\text{ хв}$ .

Встановлено, що нагрівання зразків фаршу відбувається швидше, ніж їх зневоднення, і при температурах сушіння  $80$  і  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  неможливо видалити необхідну кількість вологи, не перевищивши гранично допустиму температуру. Для режиму сушіння з температурою сушильного агента  $t_{c,a} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$  досягнення гранично допустимої температури –  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  спостерігалось при досягненні матеріалом вологовмісту  $112\text{--}116\%$  за  $68\text{--}73\text{ хв}$ . За цей час видалається близько  $16\%$  води і масова частка вологи фаршу становить у середньому  $53\%$ .

При температурі сушильного агента  $t_{c,a} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$  гранично допустима температура досягається за  $110\text{--}112\text{ хв}$ . при досягненні матеріалом вологовмісту  $73\text{--}75\%$ . За цей період втрачається близько  $27\%$  води і масова частка вологи фаршу становить у середньому  $42\%$ .

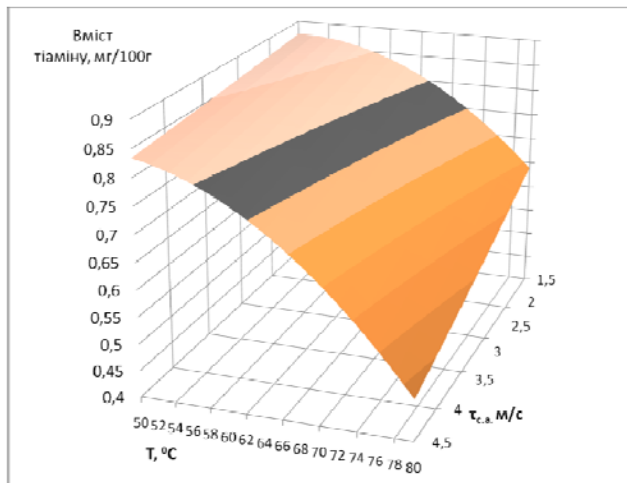
З метою з'ясування впливу температури сушильного агента на зміни вмісту термолабільних нутрієнтів, визначали вміст тіаміну, не окиснених ліпідів та лізину у зразках фаршів, висушених за різних теплових режимів, а також балову оцінку інтенсивності забарвлення сухих зразків, визначену профільним сенсорно-дескриптивним методом (табл. 1).



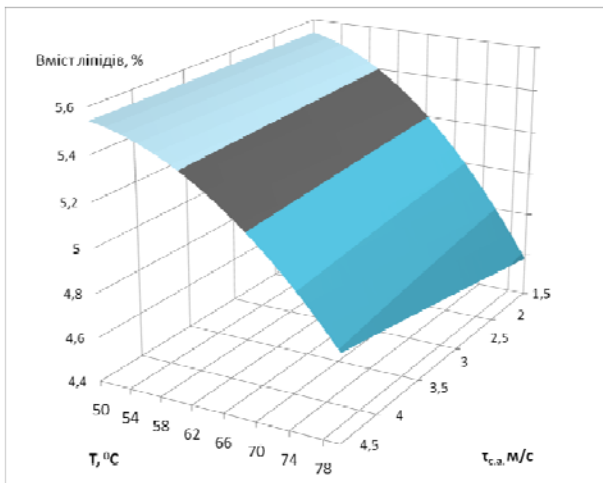
Таблиця 1

**Показники кінетики сушіння та якості рибо-рослинних напівфабрикатів, висушених за різних температурних режимів**

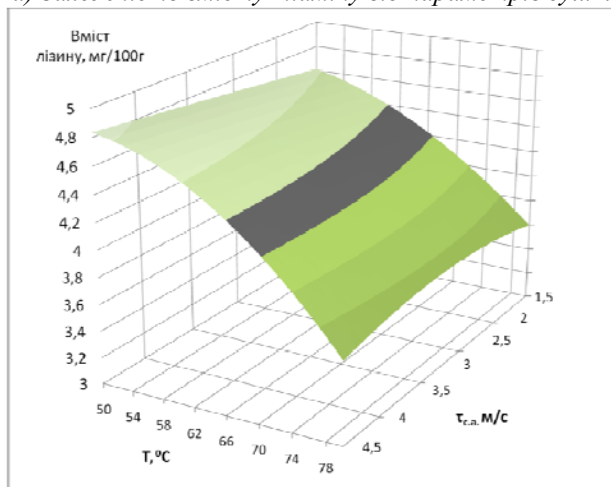
Показник якості	Умовні од.	Значення показника							
		50 °С		60 °С		70 °С		80 °С	
		НРВ	НРЛ	НРВ	НРЛ	НРВ	НРЛ	НРВ	НРЛ
Початковий вологовміст	%	219	203	219	203	219	203	219	203
Кінцевий вологовміст	%	11,5	13,2	7,1	8,0	5,8	6,2	5,4	5,9
Загальна тривалість сушіння	хв	380	490	280	330	225	255	160	195
Вміст тіаміну	мг/100 г	0,96	1,19	0,93	1,11	0,81	0,91	0,72	0,69
Вміст ліпідів	%	5,4	7,2	5,2	7,0	4,9	6,6	4,7	6,1
Вміст лізину	%	4,53	4,69	4,22	4,31	3,85	4,02	3,31	3,50
Сенсорна оцінка «інтенсивність забарвлення»	бали	1,0	2,0	1,0	2,0	2,0	3,0	3,0	4,0



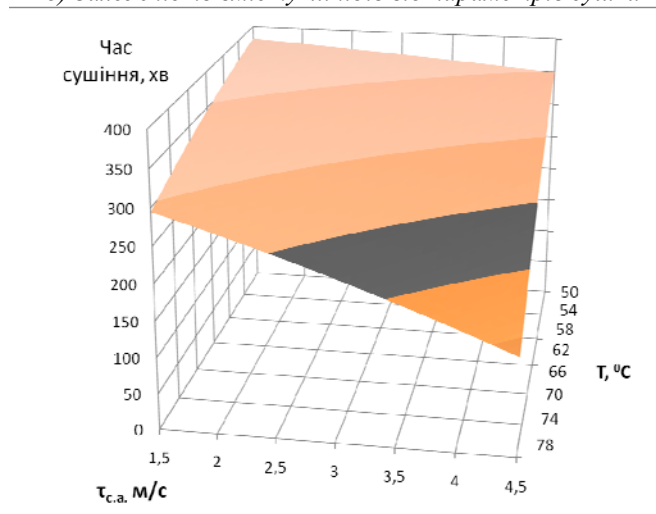
а) Залежність вмісту тіаміну від параметрів сушки



б) Залежність вмісту ліпідів від параметрів сушки



в) Залежність вмісту лізину від параметрів сушки



г) Залежність часу від параметрів сушки

**Рис. 3. Поверхні відгуку критеріїв оптимізації (вміст термолабільних нутрієнтів) НРВ від параметрів сушіння**

Експериментально встановлено пряму залежність між температурою сушильного агента і вмістом термолабільних нутрієнтів – тіаміну, ліпідів, лізину у сухих рибо-рослинних напівфабрикатах. Під час зневоднення гранул рибо-рослинних фаршів до необхідного залишкового вологовмісту 5–6%, що можливо при температурах сушильного агента 70 та 80 °С вміст тіаміну у них знижується на 35,7–45,3% порівняно із сирым фаршем. Вміст лізину у зразках, висушених при 70 та 80 °С – на 15–25,4 % нижче, ніж у

зразках, висушених при температурі 50 °С, а вміст не окиснених ліпідів – відповідно на 9,3–15,3% менше (табл. 2). Визначено, що вплив високих температур сушіння та кисню повітря в процесі сушіння має негативний вплив на зниження термолабільних амінокислот, зокрема лізину, лейцину, ізолейцину та треоніну, а також водорозчинних вітамінів. На зміни амінокислотного складу у процесі сушіння має вплив присутність ліпідів та частково цукрів, що містяться у сировині. Це, ймовірно, пов'язано із утворенням білково-ліпідних та меланоїдинових комплексів. При цьому,

кількість незамінних амінокислот у харчовому продукті зменшується, а їх біологічна цінність знижується.

Дегустаторами відмічено, що інтенсивність забарвлення зразків зростає пропорційно з підвищенням температури сушильного агента і при температурі сушіння вище 80 досягає надто вираженого темного кольору, що у 80% описано як ознаку, що має помірну та сильну інтенсивність (табл. 2). Це пояснюється біохімічними змінами у складі фаршів під час сушіння, зокрема утворенням темнозабарвлених цукрово-амінічних комплексів під час реакції Майара. Отже, підвищення температури сушильного агента до 70–80 °С при зневодненні гранул рибо-рослинного фаршу

значно сприяє зниженню його якості, проте досягнення заданих показників вологовмісту готових продуктів при температурі сушіння 50–60 °С є проблематичним.

Визначено математичні залежності показників якості сухих рибо-рослинних напівфабрикатів від параметрів сушіння (температури та швидкості руху сушильного агента) (рис. 3, 4).

Були отримані рівняння регресії, що описують вплив параметрів сушки на вміст термолабільних речовин та швидкість сушіння (табл. 2).

Таблиця 2

**Врозрахунок рівнянь регресії, що описують вплив параметрів сушки на вміст термолабільних речовин та швидкість сушіння зразків (X<sub>1</sub> – температура сушки, °С; X<sub>2</sub> – швидкість руху теплоносія, м/с)**

№	Параметр оптимізації	Рівняння регресії
<b>НРВ</b>		
1.1	Вміст тіаміну, мг/100г	$Y_{11} = 4,51 \cdot 10^{-7} X_1^2 X_2^2 - 1,04 \cdot 10^{-3} X_1 X_2^2 - 1,04 \cdot 10^{-5} X_1^2 X_2 - 1,4 \cdot 10^{-4} X_1 X_2 - 2,5 \cdot 10^{-4} X_1^2 + 6 \cdot 10^{-4} X_2^2 + 0,0220 X_1 - 0,0155 X_2 + 0,487$
1.2	Вміст ліпідів, %	$Y_{12} = -1,2 \cdot 10^{-6} X_1^2 X_2^2 + 1,107 \cdot 10^{-4} X_1 X_2^2 + 6,797 \cdot 10^{-5} X_1^2 X_2 - 0,00624 X_1 X_2 - 0,00096 X_1^2 - 0,00247 X_2^2 + 0,088 X_1 + 0,1397 X_2 + 3,579$
1.3	Вміст лізину, мг/100г	$Y_{13} = -3,4 \cdot 10^{-5} X_1^2 X_2^2 + 0,0027 X_1 X_2^2 + 7,56 \cdot 10^{-5} X_1^2 X_2 - 0,0021 X_1 X_2 - 0,00136 X_1^2 - 0,03558 X_2^2 + 0,0923 X_1 + 0,088 X_2 + 3,17$
1.4	Час сушки, хв	$Y_{14} = -0,00109 X_1^2 X_2^2 + 0,055 X_1 X_2^2 - 0,0108 X_1^2 X_2 + 0,5263 X_1 X_2 - 0,00386 X_1^2 - 0,5435 X_2^2 + 0,232 X_1 - 5,44 X_2 + 403,02$
<b>НРЛ</b>		
2.1	Вміст тіаміну, мг/100г	$Y_{21} = 4,49 \cdot 10^{-7} X_1^2 X_2^2 - 1,2 \cdot 10^{-5} X_1 X_2^2 - 9,78 \cdot 10^{-6} X_1^2 X_2 - 2,5 \cdot 10^{-4} X_1 X_2 - 2,1 \cdot 10^{-4} X_1^2 + 5,78 \cdot 10^{-4} X_2^2 + 0,0187 X_1 - 0,01264 X_2 + 0,7685$
2.2	Вміст ліпідів, %	$Y_{22} = -9,88 \cdot 10^{-7} X_1^2 X_2^2 + 1,016 \cdot 10^{-4} X_1 X_2^2 + 7,75 \cdot 10^{-5} X_1^2 X_2 - 0,0079 X_1 X_2 - 0,0015 X_1^2 - 0,0025 X_2^2 + 0,156 X_1 + 0,196 X_2 + 3,417$
2.3	Вміст лізину, мг/100г	$Y_{23} = -3,02 \cdot 10^{-5} X_1^2 X_2^2 + 0,0025 X_1 X_2^2 + 7,24 \cdot 10^{-5} X_1^2 X_2 - 0,00163 X_1 X_2 - 0,014 X_1^2 - 0,033 X_2^2 + 0,0985 X_1 + 0,0896 X_2 + 2,84$
2.4	Час сушки, хв	$Y_{24} = -0,00129 X_1^2 X_2^2 + 0,0717 X_1 X_2^2 - 0,0148 X_1^2 X_2 + 0,766 X_1 X_2 - 0,0126 X_1^2 - 0,6135 X_2^2 + 0,7793 X_1 - 7,05 X_2 + 464,76$

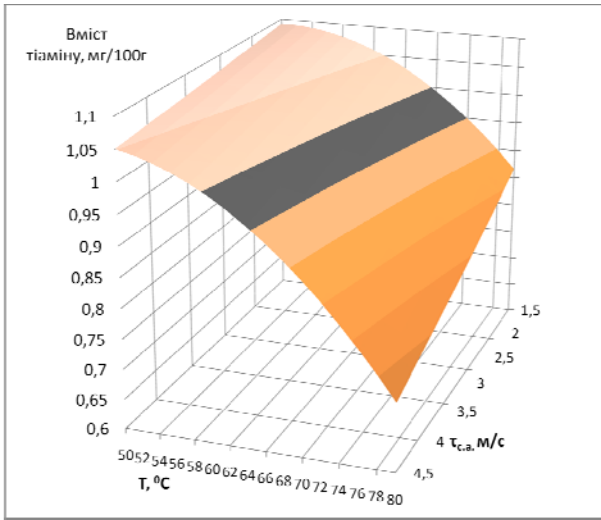
Враховуючи, що сушіння фаршів рибо-рослинних при підвищених температурах сушильного агента призводить до істотного погіршення якісних показників сухих продуктів, визначили, що використання високих температур можливе тільки на етапі видалення вільної вологи. Для збереження цінних поживних речовин, запобігання процесу утворення темнозабарвлених речовин меланоїдинів, які є важкодоступними для дії травних ферментів і сприяють зниженню засвоюваності продуктів, а також для забезпечення достатніх органолептичних показників, рекомендується сушити фарші за таких умов, при яких температура матеріалу не перевищуватиме 60 °С. Ці умови можна створити або в процесі низькотемпературного зневоднення (50–60 °С), або при сушінні в декілька стадій з поступовим зниженням температури теплоносія, ретельно контролюючи параметри процесу.

Отримати продукт високої якості з високим ступенем збереження біологічно активних речовин можливе за умови, що температура матеріалу в процесі сушіння не перевищує свого критичного значення, що може бути досягнуто при веденні процесу сушіння зі змінними параметрами сушильного агента. За результатами аналітичних досліджень щодо сушіння термолабільних пектинвмісних матеріалів визначено, що

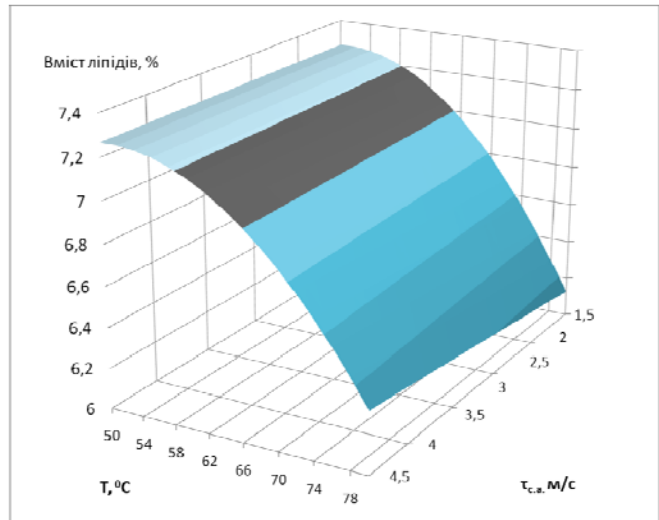
процес сушіння по ступінчастим режимам сприяє скороченню питомих енерговитрат на 1 кг впареної вологи на 12 ... 15%. При цьому максимально зберігаються пектинові речовини, скорочується тривалість процесу і зменшуються витрати на сушку [7]. Аналіз і узагальнення результатів експериментальних досліджень показали, що така умова досягається при веденні процесу сушіння зі змінними параметрами сушильного агента, що підтверджується даними, наведеними на рис. 5.

Встановлено, що, на початковому етапі підтримується температура теплоносія 80 °С до досягнення зневоднюється матеріалом вологості 150 ... 140% (рис. 5) протягом 40...45-60 с, потім знижується до 60 °С. Температура матеріалу (рис. 3) не перевищує гранично допустимої величини 60 °С, а крива сушіння (крива 4) максимально наближається до кривої 3, яка відповідає температурному режиму 70 °С (рис. 6). Перевагою запропонованого режиму є те, що швидкість сушіння фаршу в першому періоді майже відповідає швидкості сушіння при температурі сушильного агента 80 °С, а температура матеріалу не виходить за межі гранично допустимої наприкінці сушіння.

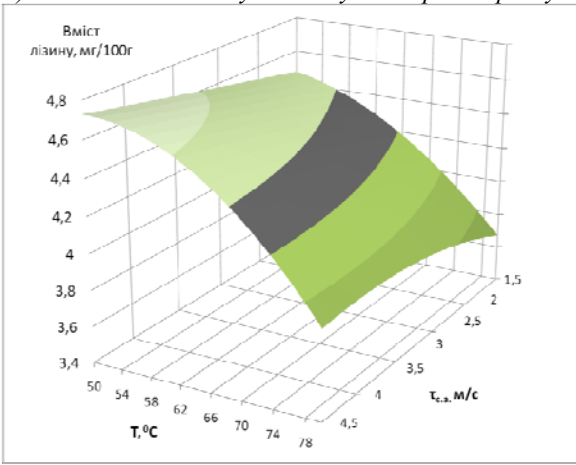




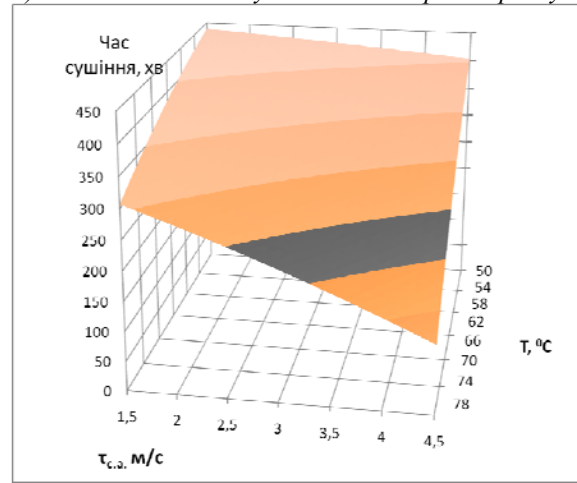
а) Залежність вмісту тіаміну від параметрів сушки



б) Залежність вмісту ліпідів від параметрів сушки

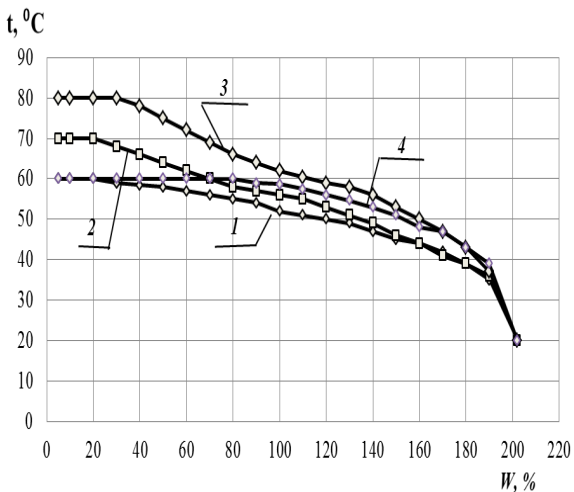


в) Залежність вмісту лізину від параметрів сушки



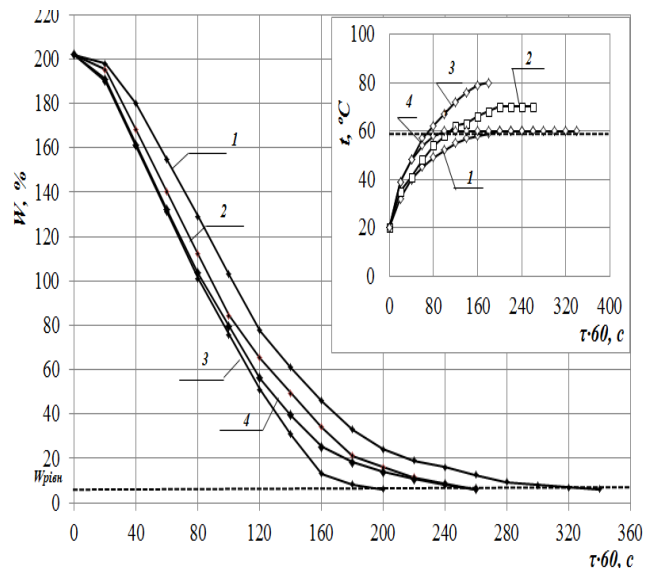
г) Залежність часу від параметрів сушки

**Рис. 4. Поверхні відгуку критеріїв оптимізації НРЛ від параметрів сушіння**



**Рис. 5. Термограми сушіння фаршу рибо-рослинного зі шротом насіння льону.**

Режимні параметри: 1 –  $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 2 –  $t = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 3 –  $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 4 –  $t = 80\dots 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $v = 4,5\text{ м/с}$ ;  $d = 10\text{ г/кг с.п.}$ ;  $g = 15,3\text{ кг/м}^2$



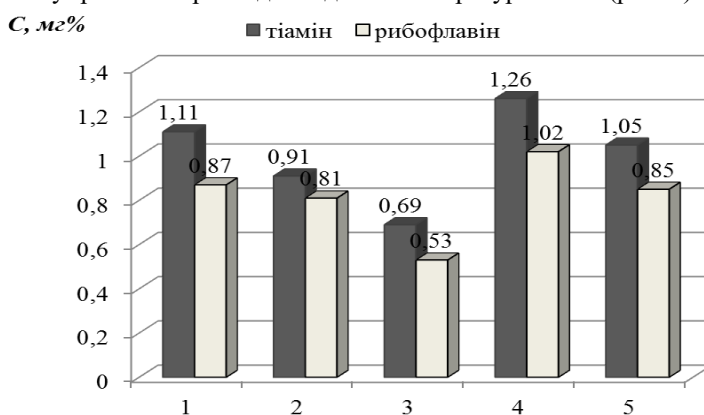
**Рис. 6. Вплив температури сушильного агента на процес сушіння фаршу рибо-рослинного зі шротом насіння льону.**

Режимні параметри: 1, 1' –  $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 2, 2' –  $t = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 3, 3' –  $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 4, 4' –  $t = 80\dots 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $v = 4,5\text{ м/с}$ ;  $d = 10\text{ г/кг с.п.}$ ;  $g = 15,3\text{ кг/м}^2$

При застосуванні стадійного температурного режиму середньооб'ємна температура матеріалу не виходить за межі гранично допустимої температури наприкінці сушіння. Надана матеріалу на початку сушіння тепла енергія підвищує збудження молекул води, що прискорює термодифузію вологи. Після короткотермінового високотемпературного впливу молекули води певний час знаходяться у нерівноважному стані і продовжують активні коливальні рухи відповідно запасу їх внутрішньої кінетичної енергії. Це створює резерв енергозбереження під час сушіння рибо-рослинних фаршів.

Криві кінетики сушіння свідчать, що весь процес поділяється на два періоди. Перший період характеризується сталою швидкістю сушіння, коли вологовміст продукту змінюється за лінійним законом. За цей період зразки втрачаються 20–25% вологи. Зневоднення фаршів у стадійному режимі призводить до

скорочення тривалості процесу до 23% порівняно із зневодненням при температурі теплоносія 60 °С. Перевагою запропонованого режиму є те, що швидкість сушіння фаршу в першому періоді майже відповідає швидкості сушіння при температурі сушильного агента 80 °С. При цьому, перша критична точка вологовмісту  $W_{k1}$  кривої 4 (103%) майже збігається із критичною точкою температурного режиму 80 °С (101%), а друга критична точка  $W_{k2}$  (24,5%) знаходиться на рівні відповідної точки температурного режиму 70 °С  $W_{k2}$  (23%) і характеризується асиметричним наближенням до нульового значення, відповідного рівноважному вологовмісту  $W_p$  ( $U_p$ )= 6,0%. Отримані за розробленим режимом сухі напівфабрикати характеризуються високим вмістом водорозчинних вітамінів: 1,05 мг% тіаміну та 0,85 мг% рибофлавіну. Їх вміст знаходиться на рівні зі зразками, висушеними при температурі 60 °С. (рис. 7).



**Рис. 5.** Вплив режиму зневоднення на збереженість вітамінів групи В фаршу рибо-рослинного зі шротом насіння льону. Режимні параметри: 1 –  $t = 60$  °С; 2 –  $t = 70$  °С; 3 –  $t = 80$  °С; 4 – фарш рибо-рослинний до сушіння; 5 –  $t = 80$  (40')...60 °С;  $v = 4,5$  м/с;  $d = 10$  г/кг с.п.;  $g = 15,3$  кж/м<sup>2</sup>.

Під час сушіння фаршів рибних з іншими композиціями рослинної сировини спостерігаються аналогічні закономірності, що й під час сушіння фаршу зі шротом насіння льону. Отримані експериментальні дані дозволяють констатувати, що частина вологи (55...58%) випаровується протягом (140...145)·60 с з однаковою закономірністю при температурі сушильного агента 80°С протягом 40·60 с з наступним переключенням режиму до 60°С. Однак, досягнення необхідної вологості (5–8%), при якій процес сушіння загасає, при запропонованому температурному режимі спостерігається через 250·60 с для зразків фаршів з клітковиною висівок пшеничних.

### Висновки

За результатами проведених досліджень встановлено, що раціональними параметрами сушіння рибо-рослинних напівфабрикатів є: температура сушіння 80 °С протягом 40·60 с з наступним переключенням режиму на 60°С протягом (210...220)·60 с до вологості 5–8% при швидкості сушильного агента 4,5 м/с. Завдяки використанню ступеневого режиму сушіння тривалість процесу скорочується на 23%, а витрати електроенергії знижуються в середньому на 10%. Крім того, при зневодненні досліджуваних матеріалів

в зазначеному режимі створюються сприятливі умови для захисту від руйнування термолабільних біологічно активних речовин, білків від глибоких денатураційних змін, зниження інтенсивності процесу меланоїдиноутворення та підвищення засвоюваності білків продуктів. Колір рибо-рослинних напівфабрикатів, висушених при розробленому ступеневому режимі відповідав кольору напівфабрикатів, висушених при 60 °С. За результатами проведених досліджень розроблено і затверджено нормативну документацію на сухі рибо-рослинні напівфабрикати, зокрема ТУ У 10.2–40220843–003:2016 «Риба, вироби з мяса риби, напівфабрикати рибо-рослинні сухі», отримано патент України на корисну модель «Поліфункціональні сухі рибо-рослинні напівфабрикати» ( №116396, опубл. 25.05.2017, бюл. № 10/2017).

Перспективами подальших досліджень є вивчення функціонально-технологічних властивостей сухих рибо-рослинних напівфабрикатів та обґрунтування доцільності їх використання у складі харчових систем з тіста, полі функціональних систем з січеної рибної та комбінованої маси, харчових концентратах, тощо.

**Бібліографічні посилання**

- Dobuvannya vodnykh bioresursiv za 2015 rik (2016). Statystychnyy byuletен'.К. URL: [http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat\\_u/publ7\\_u.htm](http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ7_u.htm). (in Ukrainian).
- Piddubnyi, V.A., Mazaraki, A.A., Prytulska, N.V., Kravchenko, M.F., Fedorova, D.V. (2015). Innovatsii v kharchovykh tekhnolohiiakh: monohrafiia. К.: Kondor-Vydavnytstvo (in Ukrainian).
- Prytulska, N.V., Fedorova, D.V. (2017). Resursozberihaiucha tekhnolohiia sukhykh ryboslynnykh napivfabrykativ. Visnyk Lvivskoho torhovelno-ekonomichnoho universytetu. Tekhnichni nauky. 18, 65–71 (in Ukrainian).
- Kizevetter, I.V. (1973). Biohimija syr'ja vodnogo proishozhdenija. M.: Pishhevaja prom-st' (in Russian).
- Shokun, Ju.G. (1983). Razrabotka osnov racional'noj sushki rybnyh farshej pri proizvodstve pishhevoj krupki. Dis. na soisk. uch. step. k.t.n. Vladivostok (in Russian).
- Snezhkin, Ju.F., Shapar', R.A. (2009). Analiz faktorov povysheniya jeffektivnosti processa sushki termolabil'nyh materialov. Promyshlennaja teplotehnika. Vol. 31(7), 110–112 (in Russian).
- Fedorova, D.V., Romanenko, R.P. (2016). Kinytyka protsesu sushinnia rybnykh napivfabrykativ. Tovary i rynky. 2 (22), 158–176 (in Ukrainian).

*Received 25.09.2017*

*Received in revised form 20.10.2017*

*Accepted 27.10.2017*