

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ХАРЧОВИХ
ТА ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ГАЛУЗЕЙ АПК

УДК 621.798.18

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ФОРМУВАЛЬНОГО РОЗЧИНУ БІОДЕГРАДАБЕЛЬНОГО
ЇСТИВНОГО ПОКРИТТЯ / ПЛІВКИ
THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS RESEARCH OF
BIODEGRADABLE EDIBLE COATING/FILM FORMING SOLUTION

¹Шульга О.С., канд. техн. наук, доцент, ²Іванов С.О., канд. техн. наук,
¹Листопад В.В., канд. фіз.-мат. наук, доцент, ¹Мазуренко О.Г., д-р техн. наук, професор
¹Національний університет харчових технологій
²Інститут технічної теплофізики НАН України
¹Shulga O.S., ²Ivanov S.O., ¹Lystopad V.V., ¹Mazurenko O.G.
¹National University of Food Technologies
²Technical Thermophysics Institute of the Sciences National Academy of Ukraine

Copyring © 2018 by author and the journal «Scientific Works»

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

Анотація. Їстівні покриття і плівки – вид біодеградабельної полімерної упаковки, яка не потребує індивідуального збору та особливих умов утилізації. Активне використання біоупаковки дозволить значно скоротити екологічне навантаження на довкілля. Дослідження залежності питомої теплоти випаровування вологи від вмісту вологи у матеріалі їстівного покриття, а також масової теплоємності матеріалу цього покриття від температури, проводили з використанням спеціалізованого калориметричного приладу ДКМІ-01, який розроблено в Інституті технічної теплофізики НАН України. Встановлено, що питома теплота випаровування вологи обох зразків значно перебільшує питому теплоту випаровування води $r_v=2430,5$ кДж/кг за температури 30 °С, що підтверджує, що вся волога наявна у зразках є зв'язаною. Відповідно до отриманих експериментальних результатів теплоємність зразка без ПВС має більші значення (3598,89...3830,69 Дж/кг·К за умови нагрівання зразка від 32,5 до 92,5 °С), що обумовлено властивістю матеріалу. За допомогою термічного аналізу встановлено, що більше механічно- та адсорбційно-зв'язаної вологи містить зразок з ПВС за рахунок водневих зв'язків, які утворюють полімолекулярний шар адсорбційно-зв'язаної вологи. ПВС дозволяє створювати екологічно безпечні матеріали, які мають відмінні показники якості. Встановлена закономірність буде впливати на тривалість висушування їстівного покриття з на поверхні виробів, що вимагатиме використання додаткового обладнання з метою інтенсифікації процесу або додаткових виробничих площ. Встановлено, що найкращою для прогнозування зразка без ПВС є степенева модель $\hat{y} = 2937,76 \cdot x^{0,054 \cdot x}$, а за наявності ПВС – $\hat{y} = 3455,23 \cdot e^{0,001 \cdot x}$. Отримані математичні моделі дозволяють раціоналізувати технологічні розрахунки у виробничих умовах.

Abstract. Edible coatings and films are the only type of biodegradable polymeric packaging that does not require individual collection and special disposal conditions. The active use of biopacking will significantly reduce the environmental impact of the environment. Investigation of the moisture evaporation specific heat dependence on the edible coating material moisture content as well as the mass heat of the coating material this from temperature, was carried out using a specialized calorimetric device DKMI-01, which was developed at the Technical Thermophysics Institute of the Sciences National Academy of Ukraine. It was established that the specific heat of moisture evaporation both samples greatly exaggerates the specific heat of water evaporation $r_v = 2430.5$ kJ/kg at a temperature of 30 °C, which confirms that all moisture present in the samples is bound. According to the experimental results obtained, the sample heat capacity without PVA has higher values (3598,89...3830,69 J/kg·K, provided that the sample is heated from 32,5 to 92,5 °C) due to the property of the material. It was by thermal analysis found that more mechanical and adsorption-bound moisture contains a sample of PVA due to hydrogen bonds that form a polymolecular layer of adsorption bonded moisture. PVA al-

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ХАРЧОВИХ
ТА ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ГАЛУЗЕЙ АПК**

allows you to create environmentally friendly materials that have excellent quality indicators. The established regularity will affect the duration of edible coating drying on the product surface, which will require the use of additional equipment to intensify the process or additional production space. It is established that the best model for forecasting without PVA is a power model $\hat{y} = 2937,76 \cdot x^{0,054 \cdot x}$, and in the sample with PVA – $\hat{y} = 3455,23 \cdot e^{0,001 \cdot x}$. The obtained mathematical models allow rationalizing technological calculations in production conditions.

Ключові слова: їстівне покриття/плівка, питома теплота випаровування, теплоємність, полівініловий спирт, крохмаль, желатин

Key words: edible coating/film, specific heat of evaporation, heat capacity, polyvinyl alcohol, starch, gelatin

Постановка проблеми та її зв'язок з найважливішими науковими і практичними завданнями.

Екологічна ситуація в світі вимагає розроблення та впровадження у виробництва екологічно безпечних пакувальних матеріалів, зокрема біодеградабельних їстівних плівок та покриттів. Крім того, сировина для їх виробництва здатна біологічно руйнуватися і забезпечується з тих самих ґрунтових і водних ресурсів, що і сировина для харчових продуктів (крім дуже незначної кількості полімерів, що виробляються з відходів сільськогосподарської продукції). Проте сировина є відновлювана, тому не буде виснажувати запаси корисних копалин (нафти, газу), як у випадку виробництва синтетичних полімерних матеріалів.

Не чекаючи настання ери біодеградабельних полімерів, в квітні 2015 р. Європейський парламент затвердив Директиву 94/62/ЄС про скорочення використання легких (товщина < 50 мкм) і надлегких (< 15 мкм) пластикових пакетів, які в даний час по ряду економічних і технологічних причин піддаються рециклінгу в дуже обмеженій кількості. У ній, зокрема, йдеться про те, що до 31 грудня 2019 р. щорічне споживання легких пакетів на душу населення не повинно перевищувати 90 шт. і 40 шт. до 31 грудня 2025 р. Щодо біодеградабельних матеріалів на цей час залишиться обов'язкове маркування із зазначенням умов компостування. Держави – члени Євросоюзу повинні в термін до 27 листопада 2016 р. врегулювати умови дотримання цієї Директиви. До кінця 2018 р. плата за пакети буде стягуватися у всіх країнах ЄС. Ці заходи можна прокоментувати як досить жорсткі, оскільки за статистичними даними у 2010 р. середній європеець щорічно використовував близько 200 таких пакетиків. Враховуючи активну спрямованість України до європейської спільноти, необхідно вже зараз задуматися та активно впроваджувати запропоновані підходи в цьому питанні в життя країни.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Їстівні покриття і плівки – єдиний вид біодеградабельної полімерної упаковки, яка не потребує індивідуального збору та особливих умов утилізації [1, 2]. Це їх головна відмінність від традиційних біодеградабельних пластиків, які спочатку були запропоновані як альтернатива синтетичним полімерним матеріалам, і всі були переконані, що їх створення раз і назавжди вирішить проблему утилізації відходів полімерної упаковки, яка сьогодні загрожує стати глобальною екологічною катастрофою. Їстівні плівки або покриття надають цікавий і часто необхідний додатковий засіб для контролю якості та стабільності багатьох харчових продуктів [3]. На жаль, до теперішнього часу експеримент з виробництва та використання біодеградабельних пакувальних полімерних матеріалів, що триває вже понад тридцять років, не тільки не дав однозначного позитивного результату, але і поставив багато нових досі не вирішених питань [4, 5]. Необхідно зауважити, що більшість дослідників вважає, що тонкий шар, нанесений безпосередньо на продукт, слід називати їстівним покриттям, а попередньо отриманий матеріал, в який потім упаковують продукт, – їстівною плівкою [6], оскільки дослідженню підлягав формувальний розчин, тому поняття плівка та покриття в статті наводяться як взаємозамінні. Що стосується останніх досягнень в галузі розроблення їстівних пакувальних матеріалів, то аналіз результатів представлено в публікаціях [7-9].

Виготовлення їстівного покриття/плівки потребує етапу сушіння в умовах виробничого цеху. Підвищення температури середовища за якої висушується продукт негативно впливає на органолептичні показники якості виробів. Крім того, потребуватиме придбання та встановлення додаткового обладнання, що негативно позначиться на собівартості продукції.

Волога в харчових продуктах міститься у вільному та зв'язаному стані. Проте враховуючи, що вільна волога повинна видалятися під час механічної дії (віджимання, пресування), тому, виходячи з цих міркувань, вільної вологи їстівне покриття/плівка не містить. Отже, до складу їстівного покриття/плівки входить зв'язана волога. Відповідно до класифікації П.А. Ребіндера [6] розрізняють наступні види зв'язаної вологи: за рахунок хімічного, фізико-хімічного та механічного зв'язку. З наведених видів для їстівного покриття/плівки характерна адсорбційно- та механічно-зв'язана волога, причому механічно-зв'язана за рахунок мікрокапілярів. Відповідно кількість енергії, яку необхідно надати матеріалу для видалення ко-

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ХАРЧОВИХ ТА ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ГАЛУЗЕЙ АПК

жного виду вологи буде різною, а за умов сталої температури навколишнього середовища потребуватиме більшого часу.

Відомо, що значення питомої теплоти випаровування води (r_e) визначено як функцію температури та тиску навколишнього середовища і згідно з результатами досліджень r_e практично лінійно залежить від температури ($r_e=2501$ кДж/кг за температури 0°C і 2256 кДж/кг за температури 100°C) [7].

Під час сушіння їстівного покриття/плівки змінюється не тільки масова частка вологи шару цього покриття/плівки, а і співвідношення видів зв'язаної вологи в шарі матеріалу. За таких обставин, якщо погодитися з тим що на ранніх етапах сушіння найбільш інтенсивно випаровується механічно-зв'язана волога, яка у формульованому розчині їстівного покриття/плівки знаходиться як мікро-, так і макрокапілярах, а вже потім адсорбційно-зв'язана [8], на випаровування якої потрібно більше енергії, тому є підстави вважати, що найбільш інформативним параметром залежності зміни величини теплоти випаровування вологи з матеріалу є значення масової частки вологи матеріалу. Необхідно також враховувати, що їстівне покриття/плівка за певної вологості рівноважного стану вмісту вологи, тобто кількість вологи, яка видаляється з матеріалу в навколишнє середовище буде приблизно відповідати кількості вологи, яку матеріал поглинає з повітря, що вказує на досягнення зразком межі гігроскопічності. З метою інтенсифікації процесу сушіння матеріалу за таких умов необхідно додаткове підведення енергії.

Мета роботи – встановити теплоту випаровування вологи та теплоємності зразків біодеградабельного їстівного покриття/плівки зразків, які є найбільш оптимальними до використання для кондитерських і хлібобулочних виробів, для визначення характеру видалення вологи зі зразків та встановлення впливу складових на даний процес.

Викладення основного матеріалу. Визначення питомої теплоти випаровування та теплоємності проводили на складах формульованого розчину їстівного покриття/плівки, які наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Склади формульованого розчину їстівного покриття/плівки для визначення теплоти випаровування та теплоємності

Вміст компонентів, %					
Крохмаль картопляний	Желатин	ПВС*	Карбамід	Ляна олія	Вода
5,0	15,0	-	3	5	72,0
6,5	15,0	1,5	3	5	69,0

*Примітка: ПВС – полівініловий спирт

Наведені склади обрані, оскільки плівки/покриття на їх основі дають найменшу паропроникність, що дозволяє зберігати свіжість виробів, строк зберігання яких обмежується десорбційними процесами (хлібобулочні вироби, помадні цукерки, мармелад, пряники тощо).

Біодеградабельні їстівні плівки та покриття на основі природних полімерів виготовляли в однакових умовах: желатин і картопляний крохмаль змішували у сухому вигляді, додавали всю кількість води за розрахунком і нагрівали до повного розчинення желатину та клейстеризації крохмалю. В разі використання полівінілового спирту (ПВС), його додають до води та нагрівають до розчинення, після чого додають змішані у сухому вигляді крохмаль та желатин і продовжують нагрівати до розчинення желатину та клейстеризації крохмалю. Далі додавали пластифікатор карбамід. Перемішували до розчинення. Охолоджували до 40°C і додавали ляну олію, далі проводили збивання з метою отримання емульсії формульованого розчину їстівного покриття або плівки.



Рис. 1 – Зовнішній вигляд приладу для визначення теплофізичних характеристик їстівного покриття або плівки

Дослідження залежності питомої теплоти випаровування вологи від вмісту вологи у матеріалі їстівного покриття, а також масової теплоємності матеріалу цього покриття від температури, проводили з використанням спеціалізованого калориметричного приладу ДКМІ-01 (рис. 1), який розроблено в Інституті технічної теплофізики НАН України.

Конструктивно, прилад ДКМІ-01 складається з теплового блоку, у якому розміщують зразки дослідного матеріалу, блоку регулювання та підтримування сталих температурних умов проведення дослідження і персонального комп'ютера з відповідним програмним забезпеченням.

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ХАРЧОВИХ ТА ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ГАЛУЗЕЙ АПК

Теплота випаровування визначається як відношення цих величин:

$$r(T) = \frac{(Q_1 - Q_2)}{dm/dt}, \text{ кДж/кг} \quad (1)$$

де Q_1 – кількість теплоти, яка в ізотермічних умовах підводиться до зразка матеріалу, кДж;

Q_2 – кількість теплоти, яка в ізотермічних умовах підводиться до комірки референта (термічно інертна речовина з відомими теплофізичними характеристиками), кДж;

dm/dt – швидкість втрати маси зразком за рахунок випаровування вологи.

Теплоємність визначається за формулою:

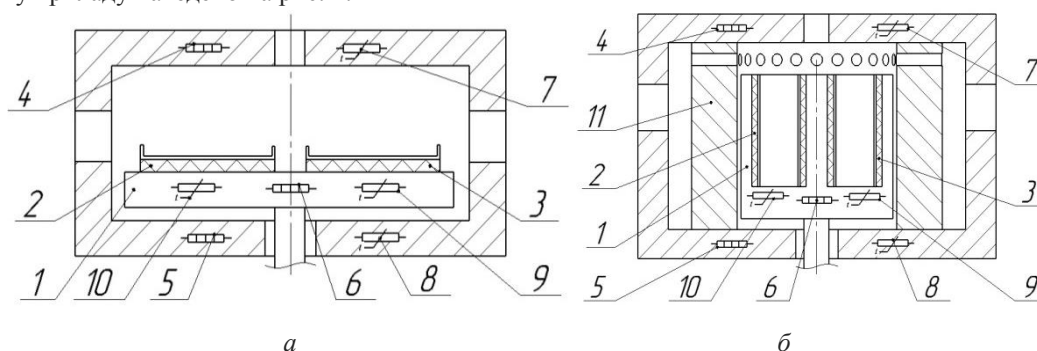
$$c = 1/m \cdot \left[\int_{\tau_1}^{\tau_2} \Delta Q(\tau) d\tau / \Delta T \right], \text{ Дж/кг} \cdot \text{К} \quad (2)$$

де m – маса досліджуваного зразка, кг;

ΔQ різниця теплових потоків, що реєструються робочою коміркою та коміркою-референтом за час від τ_1 до τ_2 (тривалість інтервалу), Дж;

ΔT – різниця значень температури між інтервалами, °К.

Схему приладу наведено на рис. 2.



1 – платформа; 2 – робоча комірка; 3 – комірка-референт; 4, 5, 6 – електричні нагрівачі;
7, 8, 9, 10 – термометри опору; 11 – високотеплопровідний колектор

**Рис. 2 – Робоча камера приладу ДКМИ-01 з платформою для визначення
теплоти випаровування (а) та теплоємності (б) вологого матеріалу**

Випаровування вологи з шару формувального розчину їстівного покриття/плівки, який нанесений на робочу комірку приладу (рис. 2, позиція 2), проводили за температури 30 °С. Для відведення повітря зволоженого за рахунок вологи, яка випаровується зі зразків матеріалу, через тепловий блок приладу прокачували 12 см³/с повітря. Коефіцієнт тепловіддачі при цьому не перебільшував $\alpha=(3-4)$ Вт/(м²·К) [13].

Термогравіметричне дослідження проводилося відповідно до ГОСТ 29127-91 на приладі Q-1500В.

З метою апроксимації результативного фактора використовуються рівняння регресії відповідно до методології [14].

На рис. 3 наведено результати дослідження теплоти випаровування залежно від наявності ПВС у складі формувального розчину їстівного покриття/плівки.

Відповідно до наведених складів (див. табл. 1) початкова масова частка вологи зразків різна.

Результати показали, що найбільш інтенсивно процес випаровування відбувається на початкових етапах, що є цілком логічним, оскільки механічно-зв'язана волога за властивостями схожа на вільну і тому найменш міцно зв'язана з матеріалом. Відповідно питома теплота випаровування зменшується з 2720 до 2560 кДж/кг для зразка 1 та з 2530 до 2460 кДж/кг для зразка 2.

На наступних етапах сушіння починає випаровуватися адсорбційно-зв'язана волога. Нагадаємо [11], що це волога, яка утримується біля поверхні розділу колоїдних частинок (в нашому випадку – крохмаль, желатин та ПВС) з навколишнім середовищем, завдяки молекулярно-силовій взаємодії поверхні міцел і гідрофільних центрів зазначених полімерів та лляної олії. При чому враховуючи, що ця волога утворює полімолекулярний шар, який за силою приєднання не рівномірний по товщині утвореного шару.

Зрозуміло, що найбільш міцно тримається найближчий до міцел шар – моношар, тобто волога, яка залишається наприкінці та становить кінцеву масову частку вологи продукту – 6 %. По мірі наближення до цього моношару інтенсивність випаровування вологи зменшується, що і видно з рис. 3. Крім того, варто зазначити, що питома теплота випаровування вологи обох зразків значно перебільшує питому теп-

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ХАРЧОВИХ ТА ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ГАЛУЗЕЙ АПК

лоту випаровування води $r_e=2430,5$ кДж/кг за температури 30 °С, що підтверджує висновок відносно того, що вся волога, що наявна у зразках є зв'язаною.

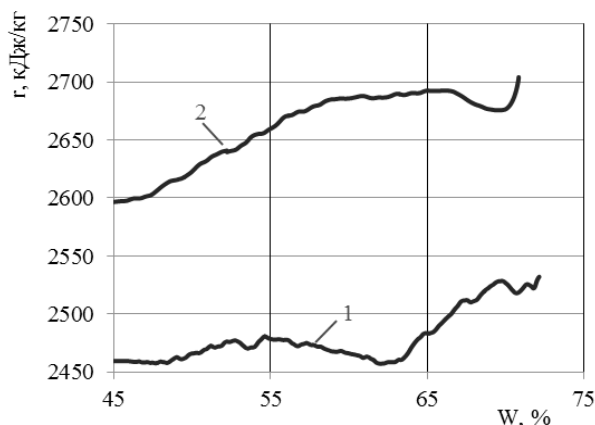


Рис. 3 – Питомі теплоти випаровування зразків істивного покриття/плівки

ної складової сигналу сенсорів. На завершальній стадії зневоднення зразків величина корисної складової стає близькою до шумової складової вимірювального сигналу, що призводить до появи значної похибки вимірювання.

Наведені міркування відносно видів зв'язків вологи у досліджуваних зразках підтверджується термогравіметричними дослідженнями. Результати дослідження наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Випаровування води залежно від температурного інтервалу

Зони термолізу							
I		II		III		IV	
°C	$\Delta m, \%$	°C	$\Delta m, \%$	°C	$\Delta m, \%$	°C	$\Delta m, \%$
20...150	71,2	150...300	4,8	300...350	5,4	450...550	3,7
				350...450	5,9	550...650	7,0
20...150	63,7	150...300	4,3	310...360	8,1	500...680	13,5
				360...500	9,7		

Наведена I зона термолізу, має доволі широкі межі 20...150 °С, тому в даному температурному інтервалі буде випаровуватися як механічно-зв'язана волога, так починає випаровуватися (за температури більше 105...110 °С) адсорбційно-зв'язана волога. Відповідно до результатів в даній зоні відбувається основне видалення вологи, отже, досліджувані зразки формувального розчину істивного покриття/плівки в своєму складі в основному містять механічно-зв'язану вологу. Варто також зазначити, що більше механічно-зв'язаної вологи містить зразок 2, що підтверджує думку наведену вище, відносно того, що ПВС за рахунок водневих зв'язків більш міцно утримує вологу, утворюючи полімолекулярний шар адсорбційно-зв'язаної вологи. Цей висновок також підтверджують отримані межі зон термолізу (див. табл. 2): для зразка 2, що містить ПВС IV зона починається на 50 °С вище порівняно зі зразком 1 і закінчується ця зона за температури на 30 °С вище порівняно зі зразком 1. Аналогічна ситуація і для III зони термолізу. Зменшення маси зразка з ПВС (зразок 2) відбувається більш інтенсивно в II...IV зонах, де видалється адсорбційно-зв'язана волога.

Отже, отримані результати термогравіметричного аналізу корелюються з даними по визначенню питомої теплоти випаровування та підтверджують думку відносно того, що ПВС зумовлює збільшення адсорбційно-зв'язаної вологи в істивному покритті/плівці.

Враховуючи, що формувальний розчин покриття або плівки здатний повторно переходити у рідкий стан після нагрівання, необхідним є визначення питомої теплоємності зазначених зразків. На рис. 4 наведено результати дослідження зразків склад, яких наведено в табл. 1.

Відповідно до отриманих експериментальних результатів теплоємність зразку без ПВС (зразок 1) має більші значення (3598,89...3830,69 Дж/кг·К за умови нагрівання зразка від 32,5 до 92,5 °С), що

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ХАРЧОВИХ
ТА ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ГАЛУЗЕЙ АПК**

обумовлено властивістю матеріалу.

Відомо [12], що питома теплоємність залежить від щільності матеріалу, але не лінійно. У речовин з більшою щільністю зазвичай питома теплоємність менша. Зразок 1 (без ПВС) має меншу в'язкість порівняно зі зразком, що містить ПВС, що було визначено в попередніх дослідженнях [13]. Впливають особливості розподілу енергії в цій речовині, оскільки в більш щільному матеріалі молекули речовини розташовані ближче один до одного, що за умови кондуктивної передачі теплоти (нагрівання матеріалу від джерела тепла) пришвидшує передачу енергії одного шару до іншого і, тим самим, зменшує загальну кількість енергії, яку необхідно надати матеріалу для нагрівання.

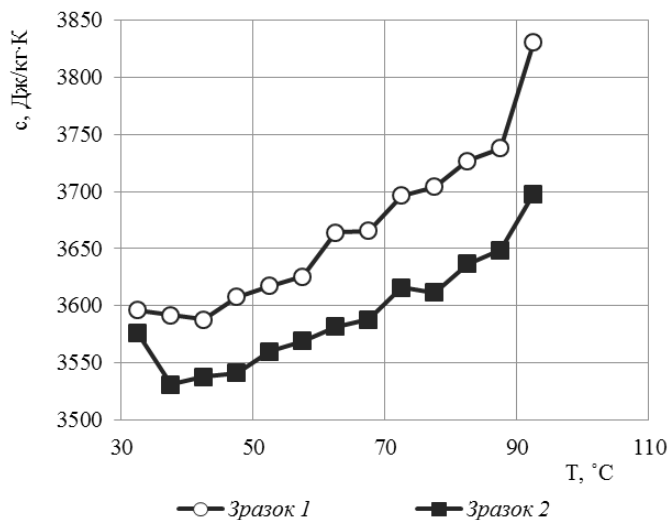


Рис. 4 – Теплоємність формувальних розчинів істивного покриття або плівки

Побудову економетричних моделей [10] в *Microsoft Excel* та зведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Результати побудови економетричних моделей для зразка 1

Вид моделі	Рівняння	R ²	F-критерій Фішера	SSE	MAPE, %
Лінійна	$\hat{y} = 3441,75 + 3,57x$	0,89	85,8	7444,15	1,00
Гіперболічна	$\hat{y} = 3840,5 - \frac{9917,86}{x}$	0,70	25,58	19968,5	0,79
Експоненційна	$\hat{y} = 3448,66 \cdot e^{0,001x}$	0,42	87,77	33,72	0,50
Степенева	$\hat{y} = 2937,76x^{0,054x}$	0,80	46,63	12308,9	1,00
Квадратична	$\hat{y} = 3634,45 - 3,2x + 0,05x^2$	0,94	81,88	3770,3	0,00

Аналізуючи результати табл. 3 можна зробити висновок, що гіперболічну функцію можна виключити з подальшого розгляду зважаючи на досить велику суму квадратів залишків (SSE = 19968,5). Для перевірки значущості коефіцієнтів отриманих рівнянь скористаємося *t* – критерієм Стьюдента. Всі отримані результати для перевірки значущості (при $\alpha = 0,05$) коефіцієнтів отриманих регресійних залежностей занесено в табл. 4.

Таблиця 4 – Результати перевірки значущості моделі

Вигляд моделі	Параметри <i>t</i> –критерію				
	σ_0	σ_1	$t_{орозр}$	$t_{1розр}$	$t_{кр}$
Лінійна	7,23	0,11	476,35	32,26	2,2
Експоненційна	7,11	0,11	483,86	32,76	2,2
Степенева	9,29	0,14	370,45	25,08	2,2
Квадратична	5,39	0,08	638,19	81,88	2,23

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ХАРЧОВИХ ТА ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ГАЛУЗЕЙ АПК

Використовуючи двосторонній критерій Ст'юдента легко пересвідчитись, що параметри всіх отриманих моделей є значущими на 5 %-му рівні. Зробимо перевірку отриманих моделей. Візьмемо з графіка (див. рис. 4) декілька вибірових значень x_i , наприклад, 42,5; 62,5 та 82,5 °C та порівняємо їх із розрахованими для наших отриманих моделей. Всі отримані результати зведено в табл. 5.

Таблиця 5 – Результати розрахунків за отриманими моделями для зразка 1

Вид моделі	Значення параметрів моделей								
	Табличні		Розрахункові	Табличні		Розрахункові	Табличні		Розрахункові
	x_3	y_3	\hat{y}_3	x_7	y_7	\hat{y}_7	x_{11}	y_{11}	\hat{y}_{11}
Лінійна	42,5	3574,6	3593,6	62,5	3678,6	3665	82,5	3726,7	3736,5
Експоненційна	42,5	3574,6	3593,9	62,5	3678,6	3664,3	82,5	3726,7	3736,2
Ступенева	42,5	3574,6	3598,2	62,5	3678,6	3674,1	82,5	3726,7	3729,6
Квадратична	42,5	3574,6	3596,3	62,5	3678,6	3646,1	82,5	3726,7	3739,2

Отже, найкращою для прогнозування є ступенева модель $\hat{y} = 2937,76x^{0,054x}$.

Таким чином знайдена ступенева модель є придатною для використання в практичних дослідженнях.

Для зразка 2 наведемо тільки зведені таблиці результатів та прогнозовані значення в точках x_3 , x_7 та x_{11} (табл. 6 та 7).

Отже, для другого зразка, найкращою для прогнозування є експоненційна модель $\hat{y} = 3455,23 \cdot e^{0,001x}$. Достатньо близько біля експоненційної знаходиться і лінійна економетрична модель.

Таким чином, знайдені економетричні моделі є придатними для використання в експериментальних дослідженнях.

Таблиця 6 – Результати побудови економетричних моделей для зразка 2

Вид моделі	Рівняння	R ²	F-критерій Фішера	SSE	MAPE, %
Лінійна	$\hat{y} = 3452,39 + 2,2x$	0,79	41,92	5895,55	0,43
Гіперболічна	$\hat{y} = 3694,85 - \frac{5845,88}{x}$	0,56	14,07	12446,4	0,71
Експоненційна	$\hat{y} = 3455,23 \cdot e^{0,001x}$	0,39	42,26	5807,04	0,43
Ступенева	$\hat{y} = 3131,05x^{0,034x}$	0,68	24,32	8735,94	0,57
Квадратична	$\hat{y} = 3634,45 - 3,2x + 0,05x^2$	0,91	52,59	2462,52	0,33

Таблиця 7 – Результати розрахунків за отриманими моделями для зразка 2

Вид моделі	Параметри моделей								
	Табличні		Розрахункові	Табличні		Розрахункові	Табличні		Розрахункові
	x_3	y_3	\hat{y}_3	x_7	y_7	\hat{y}_7	x_{11}	y_{11}	\hat{y}_{11}
Лінійна	42,5	3537,5	3546,8	62,5	3581,5	3591,3	82,5	3636,7	3635,7
Експоненційна	42,5	3537,5	3547,0	62,5	3581,5	3591	82,5	3636,7	3635,5
Ступенева	42,5	3537,5	3550,0	62,5	3581,5	3596,9	82,5	3636,7	3630,5
Квадратична	42,5	3537,5	3549,5	62,5	3581,5	3572,9	82,5	3636,7	3738,3

Висновки. Встановлено, що питома теплота випаровування вологи обох зразків значно перебільшує питому теплоту випаровування води $r_e = 2430,5$ кДж/кг за температури 30 °C, що підтверджує, що вся волога наявна у зразках є зв'язаною.

Відповідно до отриманих експериментальних результатів теплоємність зразка без ПВС має більші значення (3598,89...3830,69 Дж/кг·K за умови нагрівання зразка від 32,5 до 92,5 °C), що обумовлено тим,

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ХАРЧОВИХ
ТА ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ГАЛУЗЕЙ АПК

що ПВС за рахунок наявних ОН-груп утворює водневі зв'язки з водою, що сприяє її більш міцному утриманню.

За допомогою термічного аналізу встановлено, що більше механічно-та адсорбційно-зв'язаної вологи містить зразок з ПВС за рахунок водневих зв'язків, які утворюють полімолекулярний шар адсорбційно-зв'язаної вологи.

Встановлено, що найкращою є степенева модель $\hat{y} = 2937,76 \cdot x^{0,054x}$ для прогнозування теплоємності залежно від температури складу формувального розчину біодеградабельного покриття/плівки без ПВС та математична модель $\hat{y} = 3455,23 \cdot e^{0,001x}$ – за наявності ПВС.

Література

1. Krochta J. M. Films, edible / J. M. Krochta // *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. 1997. P. 397-401. DOI: 10.12691/ajfst-2-3-3.
2. Віннікова Л. Г. Їстівні плівки і покриття, їх роль в якості упаковки / Л. Г. Віннікова, А. В. Кишеня // *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького*. Т. 18, № 1 (65), Ч. 4. 2016. С. 32 - 37.
3. Guilbert S. Technology and applications of edible protective films / S. Guilbert, N. Gontard, B. Cuq // *Packaging Technology and Science*. 1995. Vol. 8 (6). P. 339-346. DOI: 10.1002/pts.2770080607
4. Bourtoom T. Edible films and coatings: characteristics and properties / T. Bourtoom // *International Food Research Journal*. 2008. Vol. 15. № 3. P. 237 - 248.
5. Tharanathan R. Biodegradable films and coatings: past, present and future / R. Tharanathan // *Trends in Food Science and Technology*. 2003. Vol. 13 (3). P. 71 - 78.
6. Акулич П. В. Расчет сушильных и теплообменных установок / П. В. Акулич. Минск: Беларус. навука, 2010. 443 с.
7. Лебедев Ю. А. Термохимия парообразования органических веществ: теплоты испарения, сублимации и давление насыщенного пара / Ю. А. Лебедев, Е. А. Мирошниченко. М.: Наука, 1981. 216 с.
8. Особенности испарения воды из растительных тканей в процессе сушки / Ю.Ф.Снежкин [и др.] // *Повышение эффективности процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности: сборник научных трудов Междунар. н.-т. конф., посвященной 105-летию со дня рождения А.Н. Плановского: Т. 2., 8-9 сентября 2016. Москва, Россия. М.: ФГБОУ ВО МГУДТ, 2016. С. 11 - 15.*
9. Іванов С. О. Система визначення теплоти випаровування та теплоємності вологих матеріалів [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.04 / Іванов Сергій Олександрович. К., 2017. 147 с.
10. Лук'яненко І. Г. Економетрика: підручник / І. Г. Лук'яненко, Л. І. Краснікова. К.: Товариство «Знання», КОО, 1998. 494 с.
11. Киселева Т. Ф. Технология сушки: Учебно-методический комплекс / Т. Ф. Киселева – Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. Кемерово, 2007. 117 с.
12. Гинзбург А. С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов / А. С. Гинзбург, М. А. Громов Г. И. Красовская М.: Пищевая пром-ть, 1980. 288 с.
13. Шульга О. С. Вплив полівінілового спирту на властивості їстівних плівок на основі картопляного крохмалю і желатину / О. С. Шульга // *Наукові праці ОНАХТ*. 2018. Т. 81, Вип. 2. С. 27 - 35.

References

1. Krochta, J. M. Films, edible . J. M. Krochta. (1997). *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. 397–401. DOI: 10.12691/ajfst–2–3–3.
2. Vinnikova, L. H., Kishenya, A. V. (2016). Yistivni plivky i pokryttia, yikh rol v yakosti upakovky. *Naukovyi visnyk LNUVMBT imeni S.Z. Gzhytskoho*. 18,1,(65),Ch. 4, 32–37.
3. Guilbert, S., Gontard, N., & Cuq, B. (1995). Technology and applications of edible protective films. *Packaging Technology and Science*, 8(6), 339–346. DOI: 10.1002/pts.2770080607
4. Bourtoom, T. (2008). Edible films and coatings: characteristics and properties. *International Food Research Journal*, 15(3), 237–248.
5. Tharanathan, R. (2003). Biodegradable films and coatings: past, present and future. *Trends in Food Science and Technology*. 13 (3), 71–78.
6. Akulych, P. (2010). Raschet sushylnkh y teploobmennyykh ustanovok. *Mynsk: Belarus. navuka*, 443.
7. Lebedev, Yu. A., & Myroshnychenko, E. A. (1981). Termokhymyia paroobrazovanyia orhanycheskykh veshchestv: Teploty ysparenyia, sublymatsyy y davlenye nasyshchennoho para. *Moskva: Nauka*. 216.
8. Snezhkyn, Yu. F., Dmytrenko, N. V., Yvanov, S. A., & Vorobev, L. Y. (2016). Osobennosty ysparenyia vody yz rastytelnkh tkanei v protsesse sushky. *Povyshshenye effektivnosti protsessov i apparatov v*

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ХАРЧОВИХ
ТА ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ГАЛУЗЕЙ АПК**

khymycheskoi y smezhnykh otrasliakh promyshlennosti: Sbornyk nauchnykh trudov Mezhdunar. n.-t. konf., posviashchynnoi 105-letyiu so dnia rozhdennia A.N. Planovskoho, 2., 8-9 sentiabria 2016. Moskva, Rossyia. M.: FHBOU VO MHUUDT, 11–15.

9. Ivanov, S. O. (2017). Systema vyznachennia teploty vyparovuvannia ta teploiemnosti volohykh materialiv. *Dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.11.04 / Ivanov Serhii Oleksandrovych. K., 147.*
10. Lukianenko, I. H., Krasnikova, L. I. (1998). *Ekonometryka: pidruchnyk. K.: Tovarystvo «Znannia», KOO 494.*
11. Kyseleva, T. F. (2007). *Tekhnolohyia sushky. Uchebno-metodicheskij kompleks. Kemerovo: Kemerovskiy tekhnolohycheskyi unyversytet pyshchevoi promyshlennosti. 117.*
12. Hynzburh, A. S., Hromov, M. A., & Krasovskaia, H. Y. (1980). *Teplofyzicheskye kharakterystyky pyshchevykh produktov. M.: Pyshchevaia prom-t, 288.*
13. Shulha, O. S. (2018). Vplyv polivinilovoho spyrtu na vlastyvyty yistivnykh plivok na osnovi kartoplianoho krokhmalu i zhelatynu. *Naukovi pratsi ONAKhT, 81(2). 27–35.*

Cite as

Шульга О.С., Іванов С.О., Листопад В.В., Мазуренко О.Г. Дослідження теплофізичних характеристик формульованого розчину біодеградабельного їстівного покриття / плівки // Наук. пр. / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса, 2018. Т. 82, вип. 2. С. 47 – 55.

Отримано в редакцію 10.05.2018

Прийнято до друку 22.08.2018

Received 10.05.2018

Approved 22.08.2018

УДК: 602.4[633.11:664.764]

**ОЦІНКА ФРАКЦІЙ ВИСІВОК ПШЕНИЦІ ЯК ОБ'ЄКТІВ
БІОТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПЕРЕРОБКИ
ESTIMATION OF FRACTIONS OF WHEAT CUTTING AS
BIOTECHNOLOGICAL PROCESSING OBJECTS**

**Бужилов М.Г., аспірант, Капрельянц Л.В., д-р. техн. наук, професор,
Пожиткова Л.Г., к.т.н. асистент**

**Одеська національна академія харчових технологій
Buzhylov N.G., Kaprelyants L.V., Pozhitkova L.G.
Odessa National Academy of Food Technologies**

Copying © 2018 by author and the journal «Scientific Works»

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



Анотація. У роботі розглянуто можливість використання пшеничних висівок як джерела ряду біологічно активних речовин та харчових волокон. З літературних джерел відомо, що алейронові клітини утворюють периферичні шари навколо крохмального ендосперму, ці клітини відіграють значну роль у поглинанні водорозчинних сполук ендосперму. Було встановлено, при замочуванні в теплій воді відбувається набухання оболонок клітин і утворення в клітинах безлічі дрібних і однієї або двох великих вакуолей. В свою чергу, велика вакуоль створює тиск усередині клітини і розтягує оболонку зсередини. Набрякша оболонка клітини стає склоподібно прозорою і розтягується, що свідчить про здійснення обмінних процесів між вмістом клітини і зовнішньої водним середовищем. Нами було визначено, що такий процес значно інтенсифікує дифузійну поживних речовин вакуолей в навколишнє водне середовище, і саме це створює сприятливе поживне середовище для подальшого розвитку мікроорганізмів. Встановлено закономірність кількісного співвідношення розміра фракцій в залежності від вмісту вологи. Досліджено