

УДОСКОНАЛЕННЯ СПОЖИВЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НЕПРОДОВОЛЬЧИХ ТОВАРІВ

УДК 676.24.004.12

**Віктор ОСИКА,
Костянтин МОСТИКА**

МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПАПЕРОВИХ ПАКУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Проаналізовано розроблені математичні моделі залежності фізико-механічних показників паперових пакувальних матеріалів від складу розчину, яким вони просочені. На основі цих моделей методом багатокритеріальної оптимізації визначено склад розчину для надання паперу водонепроникності.

Розвиток підприємств кондитерської промисловості в Україні стимулює працівників цієї галузі до пошуку нових ринків збуту, способів підвищення конкурентоспроможності та засобів подовження терміну зберігання виготовленої продукції. Одним із дієвих чинників впливу на ці напрями діяльності є оптимізація існуючих і застосування нових видів пакувальних матеріалів. Забезпечення достатнього рівня споживчих і експлуатаційних властивостей паперу для упаковки, зокрема водонепроникності, можливе за рахунок нанесення на поверхню паперового полотна розчину полівінілового спирту (ПВС), поліамідепіхлоргідринової смоли (Ультрарезу-200) та карбаміду [1]. Така обробка сприяє також зростанню механічної та вологоміцності, зниженню рівня поверхневої вбирності води та повітропроникності. Регулювання вмісту кожного з компонентів і співвідношення між ними дає змогу виготовляти пакувальні матеріали для різноманітних кондитерських виробів, що є актуальним питанням для підприємств цієї галузі в сучасних умовах.

У дослідженнях вчених щодо проблеми виготовлення паперових пакувальних матеріалів із заданими властивостями увага приділена в основному жиропроникності, яка є більш важливою для продукції підприємств молочної та м'ясної галузей промисловості [2].

Метою статті є регулювання властивостей паперу та розроблення математичних моделей, що дають змогу виготовляти пакувальні матеріали з наперед заданими такими властивостями, як водопроникність, міцність під час розтягування в сухому і вологому стані (у машинному і поперечному напрямі), вологоміцність, повітропроникність, поверхнева вбирність води.

Найбільш ефективним для розроблення математичних моделей є використання методу регресійного аналізу [3], який полягає в пошуку моделі цього зв'язку, вираженої функцією регресії. Вона отримується на основі введеного виду моделі, плану експерименту, значень вихідної змінної в певних точках. У роботі використано метод і відповідне програмне забезпечення (*STAT-SENS*) [4]. Факторами, вплив яких на характеристики пакувального матеріалу необхідно відслідковувати, є компоненти композиції (табл. 1), а саме: q_1 – масова частка ПВС, присутність якого в розчині сприяє зниженню показника водо-, повітро- та жиропроникності паперу-основи, q_2 – масова частка карбаміду, q_3 – Ультрарезу-200, q_4 – води. Слід зауважити, що введення карбаміду та поліамідепіхлоргідринової смоли сприяє не тільки зниженню показників проникності, а й підвищенню пластичності, механічної міцності (руйнівного зусилля, відносного видовження у поперечному напрямку, міцності на злом під час подвійних перегинів), вологоміцності пакувального паперу та технологічності його перероблення під час фасування, нанесення фарбової етикетки, транспортування та зберігання упакованої продукції.

Таблиця 1

Концентрації компонентів просочувальних композицій

Компонент композиції	Концентрація компоненту в розчині у точках досліджень, %													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ПВС, q_1	2	2	2	2	4	4	4	4	6	8	8	8	8	12
Карбамід, q_2	6	4	6	2	6	4	6	2	4	6	4	6	2	6
Ультрарез, q_3	4	6	2	8	4	6	2	8	6	4	6	2	8	4
Вода, q_4	88	88	90	88	86	86	88	86	84	82	82	84	82	78

Відповідно до одержаного масиву експериментальних даних створено математичні описи показників (Y_1 – Y_8), за якими проведено вивчення пакувального матеріалу:

а) математична модель за показником водопроникності (Y_1):

$$\begin{aligned}
 Y_1 = & 2.5818 \cdot 10^5 q_1 - 2.1203 \cdot 10^5 q_2 + 20310 q_3 - 3421.4 q_4 - \\
 & - 3.8579 \cdot 10^5 q_1 q_2 - 5.0063 \cdot 10^5 q_1 q_3 - 2.1026 \cdot 10^5 q_1 q_4 - 16413 q_2 q_3 + \\
 & + 2.7081 \cdot 10^5 q_2 q_4 + 5399.6 q_3 q_4 ;
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

б) математична модель за показником міцності під час розтягування в сухому стані (машинний напрям) (Y_2):

$$Y_2 = -9.9279q_1 + 328.45q_2 - 14.601q_3 + 4.257q_4 - 392.39q_1q_2 + 25.388q_1q_4 + 12.411q_2q_3 - 382.79q_2q_4; \quad (2)$$

в) математична модель за показником міцності під час розтягування в сухому стані (поперечний напрям) (Y_3):

$$Y_3 = -81.946q_1 - 376.53q_2 + 13.048q_3 + 0.38249q_4 + 735.41q_1q_2 + 245.14q_1q_3 + 77.817q_1q_4 + 126.59q_2q_3 + 425.78q_2q_4; \quad (3)$$

г) математична модель за показником міцності під час розтягування у вологому стані (машинний напрям) (Y_4):

$$Y_4 = 20.356q_1 - 219.28q_2 + 21.707q_3 - 1.6178q_4 - 166.68q_1q_3 + 271.33q_2q_4; \quad (4)$$

д) математична модель за показником міцності під час розтягування у вологому стані (поперечний напрям) (Y_5):

$$Y_5 = -121.6q_1 + 1025.5q_2 - 75.698q_3 + 8.9433q_4 - 801.5q_1q_2 + 352.07q_1q_3 + 119.39q_1q_4 - 1227.8q_2q_4; \quad (5)$$

е) математична модель за показником вологоміцності (Y_6):

$$Y_6 = -2106.1q_1 + 42.95q_2 + 33.274q_3 + 28.757q_4 + 1857.7q_1q_2 + 2134.9q_1q_3 + 2436.8q_1q_4 - 526.31q_2q_3; \quad (6)$$

є) математична модель за показником повітропроникності (Y_7):

$$Y_7 = 1621.6q_1 + 3961q_2 + 105.53q_3 + 39.156q_4 - 6250.9q_1q_2 - 1855.2q_1q_3 - 2043q_1q_4 - 3312.8q_2q_3 - 4262q_2q_4 - 82.768q_3q_4; \quad (7)$$

ж) математична модель за показником поверхневої вбирності води (Y_8):

$$Y_8 = 1396q_1 + 6606.6q_2 - 180.85q_3 + 83.572q_4 - 6350.4q_1q_2 + 417.18q_1q_3 - 1931.4q_1q_4 - 3771.2q_2q_3 - 7669.3q_2q_4 - 149.44q_3q_4. \quad (8)$$

Похибка розроблення математичного опису (1, 7, 8) не перевищує 2.39 %, (2–6) – відповідно 2.12; 4.01; 1.94; 4.09; 8.68 %.

Дослідження математичних описів проведено з метою визначення і встановлення закономірностей поведінки об'єкта в умовах, які не досліджувалися під час експерименту. За розробленими моделями з високою точністю можна розрахувати значення показників пакувального матеріалу, просоченого розчином з будь-якою концентрацією компонентів (рис. 1). Такі моделі дають можливість передбачати зміну відповідних показників у ситуаціях і за умов, які не знайшли відображення експериментально.

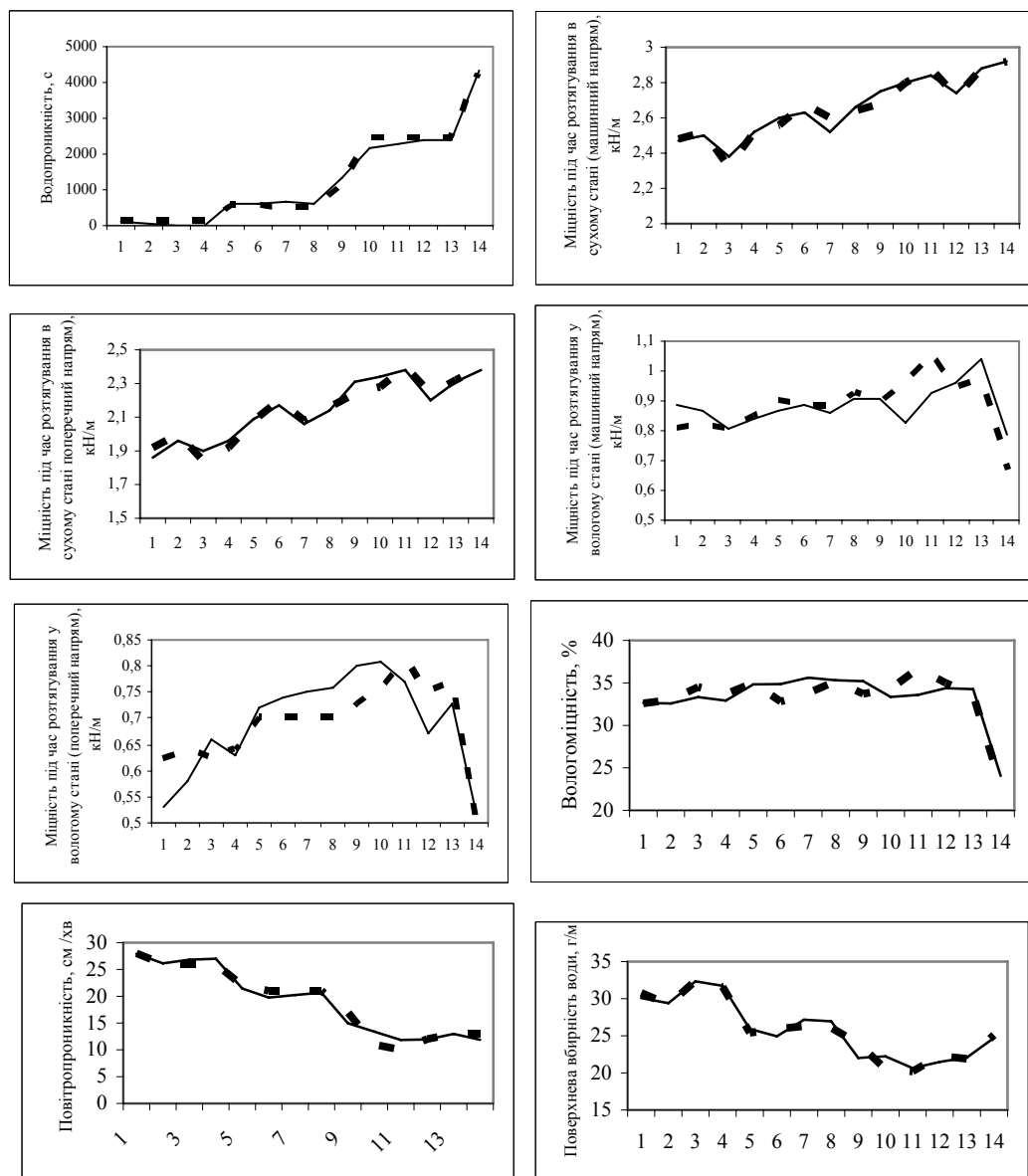


Рис. 1. Значення показників паперових пакувальних матеріалів у відповідних точках досліджень:

— — визначено експериментально; — визначено розрахунковим методом

При обчисленні оптимального складу розчину необхідно враховувати, що всі компоненти композиції взаємодіють між собою, а тому досягти зміну значення певного показника зміною концентрації лише одного компонента неможливо. Просочення паперу складом, який містить поліамідепіхлоргідринову смолу, призводить до значної гідрофобізації поверхні паперу, а відповідно – і до зростання його вологомісності. Такі властивості Ультрарезу-200 дають змогу в сукупності з целюлозою та іншими компонентами створювати стабілізаційну систему, яка буде захищеною від дії вологи. Це уможливило додавання до складу полівінілового спирту, що забезпечить комплекс позитивних властивостей: щільну й зімкнуту структуру; водонепро-

никність; підвищення механічної міцності паперу, його еластичності, пластичності та гнучкості; зниження поверхневої вбирності води. Введення карбаміду до складу розчину сприяє набуханням волокон целюлози, під час якого відбувається розширення пор та капілярів, а отже – проникнення ПВС та Ультрарезу-200 відбувається швидше та інтенсивніше. Карбамід також сприяє розм'якшенню волокон целюлози під час набухання, а тому після каландрування просоченого таким розчином паперу утворюється більш щільна та зімкнута структура.

Визначення оптимального складу розчину для надання паперовому пакувальному матеріалу водонепроникності проводилося методом багатокритеріальної оптимізації (рис. 2).

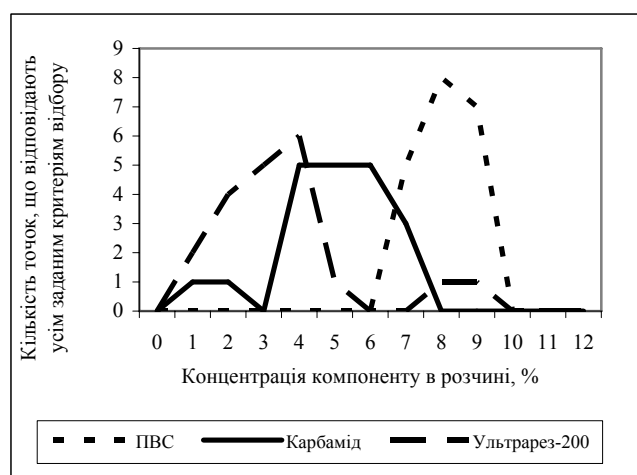


Рис. 2. Багатокритеріальна оптимізація складу просочувального розчину

Заданим умовам найчастіше відповідають розчини з концентрацією ПВС – 8 % та Ультрарез-200 – 4 %. Концентрація карбаміду понад 4 % на покращення властивостей матеріалу суттєво не впливає, однак може призвести до збільшення вартості розчину. Саме тому оптимальною його кількістю можна вважати 4 %. Решта 84 % розчину припадає на воду.

Основними показниками, за якими проводиться розрахунок оптимальної композиції є водонепроникність, яка має бути не нижчою 1800 с, вологоміцність – не нижче 30 % та поверхнева вбирність води – не більше 30 г/м². Верхні значення цих показників і діапазони значень показників міцності та повітропроникності встановлено з урахуванням результатів експериментальних досліджень, і є максимально допустимими. При них забезпечується дотримання нижніх рівнів основних показників. Оптимальні значення цієї точки досліджень підтвердились також проведенням оптимізації за допомогою програмного забезпечення STAT-SENS [4]. Паперовий матеріал, просочений таким розчином, характеризується значеннями показників, що визначені розрахунковим методом (табл. 2).

Таблиця 2

Фізико-механічні показники паперових пакувальних матеріалів

Критерії та розрахунок оптимізації	Водопроникність, с	Міцність під час розтягування, кН/м				Вологоміцність, %	Повітропроникність, см ³ /хв	Поверхнева вбирність води, г/м ²
		у сухому стані		у вологому стані				
		машинний напярм	поперечний напярм	машинний напярм	поперечний напярм			
Мінімальне значення	1800	2.50	1.80	0.80	0.60	30.00	9.00	20.00
Максимальне значення	3000	3.00	2.30	1.10	0.90	40.00	15.00	30.00
Розрахункове значення	2400	2.94	2.10	0.95	1.11	34.4	10.8	21.4

Отже, за результатами проведення регресійного аналізу показників паперових пакувальних матеріалів побудовано математичні моделі та їх зміни залежно від концентрації компонентів розчину для просочення паперу. Застосування цих моделей дає змогу спрогнозувати значення певного показника досягти бажаних результатів із мінімальними виробничими витратами та часом. За допомогою розроблених моделей проведено багатокритеріальну оптимізацію, в результаті якої визначено оптимальний склад розчину для надання паперу підвищених водонепроникності, вологоміцності та інших міцнісних і бар'єрних властивостей. Упакування кондитерських виробів у паперові матеріали, просочені таким складом, сприяє кращому збереженню їхніх споживних властивостей протягом подовженого терміну.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пат. 61813 Україна, МПК В65D 65/42 D21H 17/20. Склад розчину для надання водонепроникності паперу / Осика В. А., Коптюх Л. А., Мостика К. В. ; заявник і патентовласник Осика В. А., Коптюх Л. А., Мостика К. В. — № 2011 01514 ; заявл. 10.02.11; опубл. 25.07.11, Бюл. № 14. — 4 с.
2. *Коптюх Л. А.* Нові технології і процеси створення пакувального паперу і фільтрувального картону для харчової промисловості : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.17.22 "Технологія та обладнання хімічної переробки деревини" / Л. А. Коптюх ; Нац. техн. ун-т України "КПІ". — К., 1998. — 33 с.
3. *Федоров В. В.* Теорія оптимального експерименту (планування регресійних експериментів) / В. В. Федоров. — М. : Наука, 1971. — 356 с.
4. *Статюха Г. О.* Розробка комп'ютерної системи підготовки та обробки даних у межах застосування експериментально-статистичної методології для хіміко-технологічних систем / Г. О. Статюха, А. Г. Петрань // Наукові Вісті НТУУ "КПІ". — 2000. — № 1. — С. 100—106.

Стаття надійшла до редакції 21.09.2011.

Осыка В., Мостыка К. *Моделирование физико-механических показателей бумажных упаковочных материалов. Проанализированы разработанные математические модели зависимости физико-механических показателей бумажных упаковочных материалов от состава раствора, которым их пропитывали. На основе этих моделей методом многокритериальной оптимизации определен состав раствора для придания бумаге водонепроницаемости.*

Osyka V., Mostyka K. *Modeling of physical and mechanical indicators of paper packaging materials. The developed mathematical models of dependence of physical and mechanical properties of paper packaging materials on the composition of the solution with which they are soaked is analyzed in the article. Based on models developed by multi criteria optimization the composition of the solution to provide waterproof paper is defined.*