

**О.І. Черевко**, д-р техн. наук

**Л.В. Кіптела**, д-р техн. наук

**В.О. Захаренко**, д-р техн. наук

**О.Є. Загорулько**, канд. техн. наук

## **ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ СТРУКТУРИ ПАСТ ІЗ ДИКОРΟΣЛОЇ ПЛОДОВО-ЯГІДНОЇ СИРОВИНИ**

*Визначено міцність структури багатокomпонентних паст із дикорослої сировини з використанням модифікованого сорбційного методу. Показано, що добавки дикорослої плодово-ягідної сировини з високим вмістом пектину – айва, кизил, глід, обліпиха, чорниця, бузина, зізіфус – максимально структурують зразки.*

*Определена прочность структуры многокомпонентных паст из дикорастущего сырья с использованием модифицированного сорбционного метода. Показано, что добавки дикорастущего плодово-ягодного сырья с большим содержанием пектина – айва, кизил, боярышник, облепиха, черника, бузина, зизифус – максимально структурируют образцы.*

*Determined by the strength of the structure of multi-component pastes with native materials using a modified sorption method. Shown that the addition of wild fruits and berries rich in pectin – a quince, blueberries, elderberries, zizifus – structures as examples.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Одним із перспективних шляхів створення функціональних оздоровчих продуктів є використання для їх виробництва різних рослинних БАД, які вміщують значну кількість натуральних БАР, що сприяють підвищенню імунітету (вітаміни, фенольні сполуки). Їх джерелами є рослинна сировина, в тому числі дикоросла плодово-ягідна сировина (ДПС). У працях [1; 2] нами розглянуто купажування культурних плодів яблук із різними видами ДПС: кизил, глід, обліпиха, бузина, айва, зізіфус, чорниця.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Отримана багатокomпонентна харчова маса призводить до істотних змін первинних структурних складових, що входять до пасти, що загалом впливає на міцність зв'язку її структурних складових. Це потребує дослідження впливу складових паст на формування їх структурно-механічних властивостей (міцність). Раніше [1; 2] в якості критерію, що дозволяє оцінювати структурні зміни в пастах при зміні співвідношення компонентів використовували дисперсність продукту,

а саме диференціальну функцію розподілу пор за радіусами (ДФР), оскільки ця функція залежить від хімічної спорідненості складових, що входять до складу паст.

**Мета та завдання статті.** Особливістю методики, що використовувалася у працях [1; 2] для знаходження ДФР продуктів, було використання аналітичного виразу, що описує ізотерми сорбції-десорбції та постійні якого входять у аналітичний вираз для визначення ДФР. Побудова графіків для ДФР паст дозволила визначити радіуси превалюючих пор, що і використовувалося як основний критерій міцності досліджуваних паст. Такий підхід дає уявлення про загальні відмінності у структурній побудові паст, але не достатньо точно характеризує міцність скріплення компонентів, що входять до складу паст. Для усунення цього недоліку в даній роботі для оцінки міцності визначали теплоту адсорбції водяної пари.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Із сказаного виходить, що для контролю структурно-механічних змін під час створення комбінованих продуктів харчування необхідно контролювати зміну ДФР, а також зміни енергії та зв'язку вологи з продуктом. Для цих цілей у роботі визначалася теплота адсорбції  $Q$ , методику визначення якої за однією опорною ізотермою сорбції наведено нижче.

Рівняння Клапейрона-Клаузіуса стосовно ізотерм сорбції записується як [4]:

$$P_u = P_H \cdot \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right), \quad (1)$$

де  $P_u$  – тиск рівноважної водяної пари над матеріалом, що має певну вологість, Па;

$P_H$  – тиск насиченої пари над відкритою поверхнею води за певної температури (Т), Па;

$R$  – 8,31 Дж/моль · К – універсальна газова стала.

Тут  $Q$  повна теплота адсорбції, яка визначається як сума питомої теплоти випаровування вільної води ( $r$ ), теплоти затраченої на подолання енергії зв'язку ( $L$ ) (ця величина характеризує зменшення внутрішньої енергії) і теплоти, витраченої на подолання ентропійного зв'язку ( $T\Delta S$ )

$$Q = r + L + T\Delta S. \quad (2)$$

Відповідно до формули (1), величина ізотермічної теплоти адсорбції  $Q$  може бути визначена за нахилом кривої – ізостери, яка описує залежність між рівноважним тиском  $\phi$ , і зворотною температурою  $1/T$ . У зв'язку з цим виникає потреба в розрахунку сімейства ізотерм сорбції за однією експериментально знайденою ізотермою – опорною. Такий підхід дозволяє істотно поліпшити експертизу і знизити витрати на дорогі експерименти.

У працях [2; 3] нами для опису експериментальних ізотерм сорбції-десорбції використовували формулу, що кількісно описує криві сорбції-десорбції та сталі якої одночасно входять до ДФР.

$$W = W_0 \exp\left(-\frac{a \cdot \ln r + b}{r}\right), \quad (3)$$

де  $W_0$  – гігроскопічне значення продукту;

$a$  і  $b$  – постійні, які знаходять, виходячи з виду експериментальної ізотерми сорбції-десорбції;

$r$  – радіус капіляра, м;

$w$  – текуче значення вологовмісту.

Використовуватимемо експериментальну ізотерму, отриману за кімнатної температури  $T_1 = 293\text{K}$ , для набуття розрахункових значень за іншої (вищої) температури  $T_2 = (313\text{K})$ . При цьому вважаємо, що константи  $a_{293}$ ,  $b_{293}$ ,  $W_{0_{293}}$ , що входять у формулу (3) відомі – визначені у працях [2; 3].

При підвищеній температурі величини поточного вологовмісту  $W$  і гігроскопічного вологовмісту  $W_0$  зменшуються, тому відносні значення  $W/W_0$  для кривих сорбції-десорбції при різних температурах повинні приблизно співпадати. Це дозволяє за аналітичної експертизи перейти від однієї опорної ізотерми (при кімнатній температурі) до інших, які описують процес сорбції при вищих температурах  $T_2$ . Для чого необхідно скласти як мінімум два рівняння для довільних відносних значень вологовмісту повітря  $\phi$ , (але не близьких). А в цілому, таких пар рівнянь може бути чотири, в яких задіяні рівноважні вологовмісти  $W$  від  $\phi = 0,2$  до  $\phi = 0,9$ . Одержані значення сталих  $a_{313}$  і  $b_{313}$  після обчислення усереднюються. Практично таку процедуру зручно проводити використовуючи ПК. У результаті виконаних дій одержимо значення констант  $a_{313}$  і  $b_{313}$ , що входять у аналітичний вираз ізотерми сорбції та ДФР пор за радіусами при температурі  $313\text{ K}$ . Оскільки ДФР визначається лише значеннями  $a_{313}$  і  $b_{313}$ , то можна, за необхідності, відразу побудувати графік  $f(r)$  при температурі  $T_2 = 313\text{ K}$ .

Для знаходження гігроскопічного вологовмісту  $w_{0,313}$  при  $T_2$  враховуємо ту обставину, що за однакового вологовмісту повинна виконуватися рівність  $r_{0,293} = r_{0,313}$ , тобто для ізотерм мінімальний радіус не залежить від температури ізотерм, оскільки його значення визначається вологовмістом зразка, яке у ізостер має однакову величину. З рівності мінімальних радіусів пор маємо

$$r_{0,293} = a_2 \cdot \ln r_2 + \epsilon_2 = a_{313} \cdot \ln r_2 + \epsilon_{313}. \quad (4)$$

Звідси знаходимо  $r_2$ , оскільки решта величин відома ( $r_{0,293}$  визначається параметрами  $a_{293}$  і  $\epsilon_{293}$ )  $r_2$  – максимальний радіус, який заповнюється за відповідної вологості повітря ( $\varphi$ ) для ізотерми, яка характеризується температурою  $T_2$ . Для знаходження гігроскопічного значення  $w_{0,313}$  для ізотерми з температурою  $T_2$ , виходимо з наступних міркувань. Оскільки аналітичний вираз для ізотерм має вигляд (3), то рівності вологовмісту для ізостери маємо значення гігроскопічного вологовмісту для ізотерми з температурою  $T_2$

$$\ln w_{0,313} = \ln w_{293} + \frac{a_{313} \ln r_{313\varphi} + b_{313}}{r_{313\varphi}}, \quad (5)$$

де  $w_{293}$  – значення вологовмісту для відносної вологості повітря  $\varphi$  для опорної ізотерми ( $T=293K$ ):

$r_{2\varphi}$  – значення радіусу пор для відносної вологості повітря  $\varphi$  для ізотерми, яка характеризується температурою  $T_2$  (313K).

У результаті виконаних процедур можна, таким чином, визначити параметри  $a_{313}$  і  $\epsilon_{313}$  і  $w_{0,313}$  ізотерми за вищої температури  $T_2=313K$ . Тепер можна знайти теоретичні значення рівноважної вологості при температурі  $T_2=313K$ , оскільки всі параметри, що входять у формулу (3) відомі. Величина ізотермічної теплоти абсорбції ( $Q$ ) може бути визначена за нахилом кривої – ізостери, що описує залежність між рівноважним тиском або величиною  $\varphi$ , і зворотною температурою  $1/T$ . Якщо використовувати дві точки (температури), то теплоту дисоціації зв'язаної води можна обчислити за формулою

$$Q = \frac{r_2 \cdot r_2 - T_1 \cdot r_1 \cdot RT_1 \ln \varphi}{r_2 - T_1 r_2}. \quad (6)$$

Тут  $r_1$  визначається за формулою Кельвіна [4], а  $r_2$  – за формулою (4). Розглянемо застосування вищевказаної методики на конкретних прикладах, використовуючи для цих цілей ізотерми сорбції-десорбції для дикорослої сировини, одержані у працях [2; 3].

Як основний компонент у працях [2] використовувалося пюре з яблука, а як домішки, що різко змінюють органолептичні властивості паст використовували пюре з дикорослої сировини: кизилу, глуду, обліпіхи, бузини чорної. У трикомпонентну композицію, окрім яблука, добирали плоди з ДПС із підвищеним вмістом вітамінів і пектинів (обліпіха, глід) і з природними барвними речовинами (бузина чорна, кизил). Отриману масу після подрібнення уварювали впродовж 30 хв. У табл. 1 наведено співвідношення рецептурних компонентів паст у композиціях.

Співставлення значення теплоти сорбції  $Q$  для різних вологовмістів мікрокапілярів дозволяє кількісно оцінити внесок кожної домішки в побудову пасти, шляхом співставлення цих значень із контрольним зразком.

Таблиця 1 – Рецептурні компоненти паст у композиціях

Рецептурний склад	Зразок											контроль	
	1а	1б	1в	2а	2б	2в	3б	3б	3в	4а	4б		4в
Яблуко	60	70	50	60	70	50	60	70	50	60	70	50	100
Кизил	30	20	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Глід	10	10	10	-	25	-	-	-	-	-	-	-	
Обліпіха	-	-	-	35	5	45	-	-	-	-	-	-	
Бузина	-	-	-	5	-	5	5	5	5	-	-	-	
Айва	-	-	-	-	-	-	35	25	45	-	-	-	
Зізіфус	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35	25	45	
Чорниця	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5	5	

У таблиці 2 наведено значення теплоти сорбції  $Q$  для різних відносних вологовмістів мікрокапілярів: для  $\varphi=0,5$ ,  $\varphi=0,7$ ,  $\varphi=0,9$ , а також наведено сумарне значення теплоти сорбції для цих  $\varphi$ .

Таблиця 2 – Значення теплоти сорбції для різних відносних вологовмістів різних мікрокапілярів

Сталі ізотер	Зразок												Контр.
	1а	1б	1в	2а	2б	2в	3а	3б	3в	4а	4б	4в	
$W_0$	0,29	0,37	0,31	0,34	0,36	10,1	0,43	0,48	0,31	0,51	0,74	0,5	0,6
$W_{0,2}$	0,06	0,08	0,05	0,07	0,05	0,08	0,05	0,08	0,07	0,06	0,05	0,06	0,10
$W_{0,4}$	0,08	0,10	0,10	0,11	0,09	0,10	0,07	0,09	0,04	0,14	0,17	0,15	0,11
$W_{0,6}$	0,12	0,15	0,15	0,16	0,14	0,12	0,12	0,18	0,13	0,24	0,26	0,24	0,15
$W_{0,9}$	0,23	0,27	0,25	0,28	0,27	0,16	0,28	0,27	0,23	0,42	0,41	0,43	0,37
$a_{3,3}$	0,43	1,61	0,22	0,39	0,44	0,05	1,04	1,16	0,65	0,15	0,08	0,08	1,35
$B_{3,3}$	1,36	0,68	1,21	1,15	1,45	0,51	1,81	1,13	1,25	1,35	1,11	1,33	1,82
$Q_{0,5}$	1,68	3,07	4,4	2,81	2,81	6,28	2,00	11,2	1,90	6,20	13,6	8,9	1,02
$Q_{0,7}$	2,45	-	2,88	1,77	1,86	4,47	1,22	5,9	1,45	3,76	7,33	5,55	-
$Q_{0,9}$	1,28	-	1,12	1,5	0,73	1,72	0,42	1,77	0,66	1,30	2,19	1,92	0,11
$\Sigma Q$	5,41	3,07	8,4	6,08	5,4	12,4	3,69	18,9	4,01	11,2	23,1	16,3	1,14

Якщо порівняти зразки 1а, 1б, 1в, що визначаються різною кількістю домішок кизилу (домішка з глоду стабільна у всіх зразках), то перевагу слід надати зразку 1в, що має значну сумарну перевагу теплоти сорбції –  $Q = 8,4 \cdot 10^5$  Дж/кг. – по відношенню до зразка 1а –  $5,41 \cdot 10^5$  Дж/кг і зразка 1б –  $3,07 \cdot 10^5$  Дж/кг. Ці результати добре корелюють із максимальним значенням ДФР для цих зразків, які наведені у праці [2]. Кількісне порівняння значень теплоти сорбції для контрольного зразка ( $Q = 1,147 \cdot 10^5$  Дж/кг) і експериментальних вказує на значне зростання міцності компонентів створених паст – у 8 разів. Характерним для зразка № 2 є варіювання обліпихи за рахунок яблучного пюре (бузина стала для всіх зразків). Як впливає із табл. 2. максимальна міцність притаманна зразку 2в –  $Q = 12,47 \cdot 10^5$  Дж/кг, що також корелює з результатами по визначенню ДФР у цих зразках: максимум для зразка 2в має найбільше значення [2]. Порівняння  $Q$  для зразка 1в та 2в показує, що обліпиха, значно раціональніша по відношенню до кизилу – в 1,48 рази.

**Висновки.** Аналіз графіків ДФР зразки 3а, 3б, 3в та 4а, 4б, 4в представлених у праці [2], показує, що криві ДФР розташовуються тісно, тобто відсутній переважаючий вплив якого-небудь із зразків за умов збільшення концентрації добавки. У той же час порівняння максимальних значень для ДФР контрольного та дослідного зразка показує, що в разі внесення добавок максимальне значення ДФР змінюється у бік малих радіусів пор у 2-2,2 рази, що вказує на значне збільшення їх дисперсності, що можна більш детально оцінити, використовуючи значення теплоти сорбції, які наведені в табл. 2. Із таблиці 2 випливає, що максимальну міцність має зразки 3б та 4б, які мають мінімальні значення айви (зразок 3б) та мінімальну кількість зіфіуса (зразок 4б), тобто у цьому випадку додана кількість домішок діє навпаки; існує максимум кількості домішки після якого збільшення домішки призводить до зменшення міцності пасти. Порівняння міцнісних властивостей усіх домішок, що використовувались у праці показує, що найбільш міцною є паста з використанням зіфіуса –  $23,15 \cdot 10^5$  Дж/кг, наступною є айва –  $18,92 \cdot 10^5$  Дж/кг, потім іде обліпиха –  $12,47 \cdot 10^5$  Дж/кг та кизил –  $8,4 \cdot 10^5$  Дж/кг. Загалом усі домішки створюють досить міцну пасту, якщо порівняти з контрольним зразком –  $1,147 \cdot 10^5$  Дж/кг. Таким чином запропонований метод оцінки міцності паст за ізотермами сорбції-десорбції дозволяє кількісно оцінити вплив кожної домішки на структурно механічні властивості паст.

### *Список літератури*

1. Черевко О. І. Фруктові пасти з використанням дикорослої сировини / О. І. Черевко, Л. В. Кіптела, О. Є. Загорулько // Харчова та переробна промисловість. – 2002. – № 3. – С.18–19.

2. Обґрунтування стабільності структури багатокомпонентних паст з ДПС / О. І. Черевко [та ін.] // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівля: зб. наук. праць. – Х., 2011. – Вип. 2. – С. 121–128.

3. Черевко О. І. Аналіз стабільності структури багатокомпонентних паст з дикорослої плодово-ягідної сировини / О. І. Черевко, Л. В. Кіптела, В. О. Захаренко // Харчова промисловість. – 2012. – № 13. – С. 146–150.

4. Пат. 55621 А Україна, МКВ G 01 N 30/00. Спосіб визначення теплоти адсорбції пористих харчових продуктів / Захаренко В. О.; заявник та патентовласник ХДУХТ. – № 2002010439 ; заявл. 17.01. 02 ; опубл. 15.04. 03, Бюл. № 4. – 4 с.

Отримано 01.02.2013. ХДУХТ, Харків.

© О.І. Черевко, Л.В. Кіптела, В.О. Захаренко, О.Є. Загорулько, 2013.

УДК 644.8:658.562.5

**Л.В. Кіптела**, д-р техн. наук, проф.

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

**А.М. Загорулько**, асп.

**О.С. Мольський**, студ.

## **МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ІЧ-ВИПРОМІНЮВАННЯ В СУШАРКАХ ІЗ ЦИЛІНДРИЧНОЮ ФОРМОЮ РЕФЛЕКТОРА**

*Подано результати моделювання розповсюдження ІЧ-випромінювання в сушарках із рефлектором циліндричної форми за допомогою комп'ютерного комплексу TracePro.*

*Представлены результаты моделирования распространения ИК-излучения в сушилках с рефлектором цилиндрической формы с помощью компьютерного комплекса TracePro.*

*The results of the modeling of the IR-radiation in the dryer using reflectors of different geometric shapes using a computer complex TracePro.*