

УДК 664.001.76

№ держреєстрації 0120U100504

Інв. № 07-20-22Б

ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

вул. Алчевських, 44, м. Харків, 61002

тел. +38(057) 7003888 <http://btu.kharkiv.ua>, info@btu.kharkiv.ua



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи

Валерій МИХАЙЛОВ

ЗВІТ

ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОМАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ

ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

(остаточний)

Керівник НДР

Зав. кафедри фізики та математики

д-р техн. наук, доц.

А.О. Пак

2023

Рукопис закінчено 30 листопада 2023 р.

Результати роботи схвалено науково-технічною радою факультету мехатроніки та інжинірингу Протокол № 4 від 12.12.2023 р.

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник:

зав. кафедри фізики та математики

д-р техн. наук, доцент



А.О. Пак

Виконавці:

д-р техн. наук, професор



М.І. Погожих

д-р техн. наук, професор



О.І. Завгородній

канд. фіз.-мат. наук, доцент



Д.О. Торяник

ст. викл.



О.В. Сіняєва

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 63 с., 12 рис., 7 табл., 50 джерел, 2 додатки.

Метою роботи є експериментальні та теоретичні дослідження та розробка наукових основ удосконалення фізичних методів аналізу технологій та процесів харчових виробництв.

На основі проведених досліджень доведено моделюванням ефекту індукованого тепломасообміну (ІнТМО) за наявності твердої, рідкої та газової фаз в термостаті з розривами між фазами, що «запуск», «протікання» та «завершення» ефекту ІнТМО можливі за такої організації процесу; встановлено, узагальнюючою необхідною умовою реалізації ефекту ІнТМО є збереження суцільності газового середовища всередині термостата; встановлена питома продуктивність робочої поверхні термостата з ІнТМО; встановлений основний параметр порядку ефекту ІнТМО – наявність суцільності газового середовища за парціальним тиском пари рідини всередині термостата; знайдений ефективний коефіцієнт фільтрації обтюратора необхідний для реалізації ефекту ІнТМО; розроблено вимоги до конструкційних особливостей тепломасообмінного модуля апарату для сушіння з ефектом ІнТМО вологої сировини з високою питомою поруватістю; запропоновані оптимальні умови для приготування маршмелу з антоціановими добавками – кріас-порошками з чорноплідної горобини та суданської троянди; розроблений дослідний зразок віброударного сепаратора з використанням повітряного потоку, для якого проведені випробування методом багатофакторного експерименту; доведено ефективність використання пневматичного сепаратора з нахиленим каналом для підготовки посівного матеріалу сафлору.

Основні результати досліджень відображено у 10 працях, в тому числі 3 статтях, 1 з яких у науковому виданні, що входить до наукометричної бази даних Scopus, 7 тезах доповідей на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях. Отримані в дослідженні результати впроваджені у

виробництво та в навчальний процес ДБТУ в рамках госпдоговірної теми «Впровадження результатів оптимізації режимних характеристик процесу взаємодії сипкого матеріалу з вібруючими поверхнями».

ІНДУКОВАНІЙ ТЕПЛОМАСООБМІН, ОБТЮРАТОР
ТЕРМОСТАТА, ТЕПЛО- ТА МАСООБМІН, МАРШМЕЛОУ З
АНТОЦЯНОВИМИ ДОБАВКАМИ, КРІАС-ПОРОШКИ З ЧОРНОПЛІДНОЇ
ГОРОБИНИ ТА СУДАНСЬКОЇ ТРОЯНДИ, ВІБРОУДАРНИЙ СЕПАРАТОР,
ПНЕВМАТИЧНИЙ СЕПАРАТОР, ПОСІВНИЙ МАТЕРІАЛ САФЛОРУ,
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. АДАПТАЦІЯ АПАРАТА З ІНДУКОВАНИМ ТЕПЛОМАСООБМІНОМ ДЛЯ СУШІННЯ ВОЛОГОЇ СИРОВИНИ З ВИСОКОЮ ПОРУВАТІСТЮ	7
1.1. Аналіз літературних даних та постановка проблеми переробки вологої сировини з високою поруватістю	7
1.2. Матеріали і методи, що використовувались під час моделювання ефекту ІнТМО	10
1.3. Результати моделювання ефекту ІнТМО за різної його організації	12
1.4. Результати моделювання ефекту ІнТМО за різної його організації	18
Висновки за розділом 1	24
РОЗДІЛ 2. ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИГОТУВАННЯ МАРШМЕЛОУ З АНТОЦІАНОВИМИ ДОБАВКАМИ	26
2.1. Аналіз літературних даних щодо оптимізації технологічних параметрів приготування маршмелю	26
2.2. Розробка математичної моделі технологічних процесів виготовлення маршмелю з рослинними добавками антоціанової природи	27
2.3. Результати математичного моделювання технологічних процесів виготовлення маршмелю з рослинними добавками антоціанової природи	32
Висновки до розділу 2	34
РОЗДІЛ 3. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕПАРАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР	35
3.1. Випробування дослідного зразку віброударного сепаратора з використанням повітряного потоку методом багатofакторного експерименту	35

	6
3.2. Дослідження ефективності пневматичного сепаратора з нахиленим каналом на підготовці посівного матеріалу сафлору	40
Висновки до розділу 3	50
ВИСНОВКИ	52
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	55
Додатки	62

РОЗДІЛ 1. АДАПТАЦІЯ АПАРАТА З ІНДУКОВАНИМ ТЕПЛОМАСООБМІНОМ ДЛЯ СУШІННЯ ВОЛОГОЇ СИРОВИНИ З ВИСОКОЮ ПОРУВАТІСТЮ

1.1. Аналіз літературних даних та постановка проблеми переробки вологої сировини з високою поруватістю

Індустріалізація країн світу та інтенсивний розвиток промисловості привели до необхідності пошуку рішень проблем ефективного використання енергетичних ресурсів [1]. Кожні 12 років енергетична потужність світового виробництва подвоюється, а кожні 15 років – обсяг промислового виробництва [2]. Дефіцит енергії в світі зростає. При цьому перспективним є пошук дійсно «штучних» енерготехнологічних процесів, які не протікають самовільно, а лише за умови їх індукування [3]. Для таких індукованих процесів один або декілька параметрів системи не мають «спорідненості» з навколишнім середовищем. Прийняти рівноважне значення вони можуть тільки за умови подолання деякого енергетичного активаційного бар'єра. Апарати, створені на використанні таких процесів, як правило, характеризуються високою енергоефективністю та екологічністю [4].

Таким чином, пошук і розробка теоретичних основ нових індукованих процесів та практична реалізація апаратів із їх використанням є досить пріоритетними напрямками всесвітньої політики у сфері енергоефективності.

Особливу важливість, у цьому плані, представляє процес зневоднення, який широко застосовується у різних галузях промисловості [5]. Ця технологічна операція характеризується високими енерговитратами на процес тепло- та масообміну.

При цьому в межах даної проблеми слід виділити зневоднення матеріалів з низькою кількістю сухих речовин або високою питомою поруватістю [6]. Існує низка способів, які реалізують процес сушіння такої сировини, та технологій, що їх забезпечують.

Як правило, у виробництві для зневоднення вологих матеріалів з

низькою кількістю сухих речовин або високою питомою поруватістю застосовують два основних прийоми.

Перший прийом полягає у використанні додаткових операцій з попередньої підготовки сировини. Так сировину з високою питомою поруватістю подрібнюють і таким чином знижують поруватість [7], а далі направляють таку сировину на сушіння. Результат є енергетично ефективним, однак через подрібнення та збільшену тривалість обробки суттєво знижується якість. Для сушіння сировини з низькою кількістю сухих речовин часто, як попередню підготовку, використовують пресування [8] або центрифугування [9]. За допомогою таких додаткових операцій зменшують кількість рідини у вихідній сировині, а, відповідно, кількість сухих речовин на одиницю маси – збільшують. Далі таку сировину висушують. Рідину, що утворилась під час пресування або центрифугування утилізують або випарюють в залежності від виду сировини та цінності отриманої рідини [10]. З точки зору енерговитрат на такі способи вони є також ефективними, однак якість отримуваної продукції, як правило, – низька. Застосовують такі способи для сировини, яка не містить нутрієнтів, що потребують збереження. Іншим способом збільшення кількості сухих речовин у вихідній сировині є операція з попереднього випарювання рідини з подальшим сушінням згущеної сировини [11]. Такий спосіб тягне за собою додаткові енергетичні витрати на процес випарювання, що знижує його економічну привабливість.

Другий прийом полягає у виборі способу сушіння. Сировину з високою питомою поруватістю, як правило, висушують способом сушіння у киплячому шарі або способом вібраційного сушіння [12]. Такі способи дозволяють видалити вологу із сировини, однак тривалість процесу сушіння суттєва, а температурний вплив високий. Це тягне за собою суттєві втрати термолабільних нутрієнтів. Сировину з низькою кількістю сухих речовин зневоднюють випарюванням за низького тиску [13], сублімаційним сушінням [14] або розпилювальним сушінням [15]. Якість продукції отримуваної сублімаційним сушінням та сушінням за низького тиску є високою. Однак

обладнання для забезпечення процесу видалення вологи є складним, а енерговитрати – високими. Тому використання даних способів є рентабельним для сировини з цінними термолабільними нутрієнтами, які необхідно зберегти, що широко використовується на фармацевтичних виробництвах. Часто використовують по черзі різні способи сушіння або підбирають різні режими в залежності від виду вихідної сировини та вимог до якості отримуваної кінцевої продукції [16]. Даний спосіб очевидно ускладнює технологію зневоднення та вимагає додаткових витрат на контроль за зовнішніми чинниками, що впливають на параметри процесу тепломасообміну.

Загальним недоліком способів та технологій, які реалізують процес сушіння вологих матеріалів з низькою кількістю сухих речовин або високою питомою поруватістю, є додаткові капітальні вкладення у обладнання та часто низька якість кінцевої продукції.

Одним із способів уникнення означених недоліків є використання апарату, що працює з використанням ефекту індукованого тепломасообміну (ІнТМО) [17]. Ефект ІнТМО є «штучним» енерготехнологічним процесом, який самовільно не протікає, а лише за умови індукування. Перевагами його застосування для тепломасообміну є висока енергоефективність.

Апарати з ефектом ІнТМО достатньо широко використовуються для різної сировини рослинного та тваринного походження [18]. Однак існують обмеження щодо застосування цих апаратів для сировини з низькою кількістю сухих речовин або високою питомою поруватістю. Це обумовлено низькою особливостей протікання ефекту ІнТМО, фізичний механізм яких залишається недостатньо розкритим.

Все це дозволяє стверджувати, що доцільним є проведення досліджень характеру ефекту ІнТМО за різної його організації. Отримані результати дозволять розширити можливості застосування апаратів з ІнТМО для сушіння вологих матеріалів з низькою кількістю сухих речовин або високою питомою поруватістю.

Метою даного напряму дослідження є підвищення енергоефективності харчових, хімічних та фармацевтичних виробництв шляхом застосування інноваційного ефекту ІнТМО для сушіння вологих матеріалів з високою поруватістю або низькою кількістю сухих речовин.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

– провести моделювання процесу сушіння з використанням ефекту ІнТМО за наявності твердої, рідкої та газової фаз всередині термостата з розривами між фазами;

– провести моделювання процесу сушіння з використанням ефекту ІнТМО вологої сировини з високою поруватістю або низькою кількістю сухих речовин;

– з використанням результатів дослідження розробити вимоги до конструкційних особливостей тепломасообмінного модуля апарату для сушіння з ефектом ІнТМО вологої сировини з високою питомою поруватістю або низькою кількістю сухих речовин.

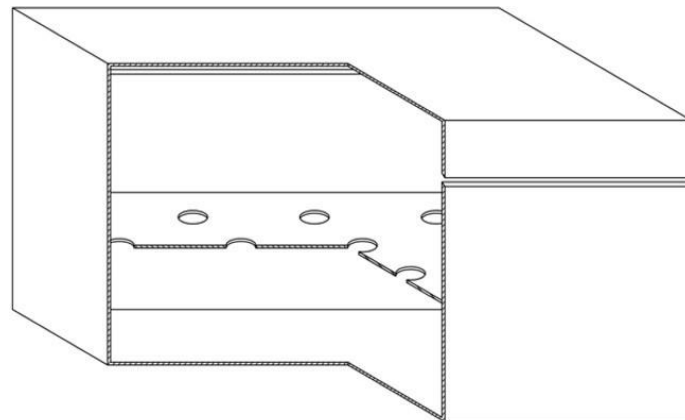
1.2. Матеріали і методи, що використовувались під час моделювання ефекту ІнТМО

Для моделювання процесів сушіння із застосуванням ефекту ІнТМО за наявності твердої, рідкої та газової фаз всередині термостата з розривами між фазами використовувалась установка, представлена на рис. 1.

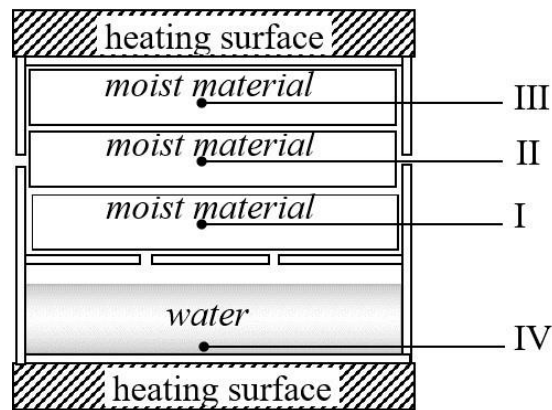
Внутрішній об'єм термостата, наведеного на рисунку, складається з двох камер 1 та 2.

Камери одна від одної відділялись алюмінієвою перегородкою 3. Товщина перегородки складала – 4 мм. В перегородці були виконані отвори. Загальна площа отворів – $6,3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$. Вона складала не більше 3% від загальної площі перегородки, яка дорівнювала – $2,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$. Верхня камера щільно заповнювалась вологим матеріалом (4), а нижня частково або повністю заповнювалась водою. Як вологий матеріал використовувався модельний колоїдний капілярно-пористий матеріал – синтетична повсть.

Схема розміщення модельного вологого матеріалу наведені на рис.1b.



a



b

Рис. 1. Загальний вигляд: а – модуля, що обмежує внутрішню частину термостата з двома камерами; б – схема розміщення термопар (I, II, III, IV) в модулі

Обтюратори наявні лише в верхній камері внутрішньої частини термостата. Всі стики між стінками були загерметизовані. Єдиним шляхом для масообміну між навколишнім середовищем та внутрішнім середовищем термостата є обтюратори. Вихід води із нижньої камери можливий лише в газовому стані через отвори в перегородці до верхньої камери, а до оточуючого середовища лише через вологий матеріал та обтюратори.

Під обтюратором розуміється пристрій, який служить для обмеження доступу газу навколишнього середовища до внутрішнього об'єму термостата.

Під час ІнтМО обтюратор являє отвір в термостаті, з розміщеним в ньому колоїдним капілярно-пористим матеріалом, об'єм якого значно менший внутрішнього об'єму термостата. Площа поверхні обтюратора значно менша за площу поверхні термостата. Функція створення флуктуації газового середовища в об'ємі обтюратора забезпечувалась потоком повітря відносно зовнішньої поверхні термостата.

Термостатування проводилось шляхом кондуктивного підведення теплоти від нагрівальної поверхні до зовнішньої поверхні термостату.

Конструкцією нижньої камери передбачений оглядовий отвір та можливість додавати рідину через капіляр безпосередньо під час тепломасообміну.

Дослідження характеру ефекту ІнтМО проводилось за атмосферного тиску та температури термостата 60...70 °С. Реєстрація сигналів від термопар проводилась з використанням аналого-цифрових і цифро-аналогових перетворювачів фірми DCON Utility (країна-виробник USA).

Необхідні та достатні умови для організації ефекту ІнтМО детально наведені в роботі [17]. Судити про «запуск» ефекту ІнтМО, можна виходячи з характеру кінетики температури в різних точках всередині термостата, яку отримують реєстрацією сигналу від термопар (рис. 1).

«Запуску» ефекту ІнтМО на термограмі відповідає падіння температури тіла. Після видалення рідкої фази всередині термостата температура тіла починає знову наближатися до температури термостата. Ефект ІнтМО закінчується за умови, коли маса рідини в термостаті буде дорівнювати нулю. Це означає, що система досягла рівноваги.

1.3. Результати моделювання ефекту ІнтМО за різної його організації

Результати моделювання сушіння з ефектом ІнтМО за організації процесу, як наведено на рис.1, полягають у наступному.

Спостереження проводились за кількістю води в нижній камері через

оглядовий отвір та за кінетиками температури від різних термопар. Кінетика процесу, отримана при цьому, наведена на рис. 2.

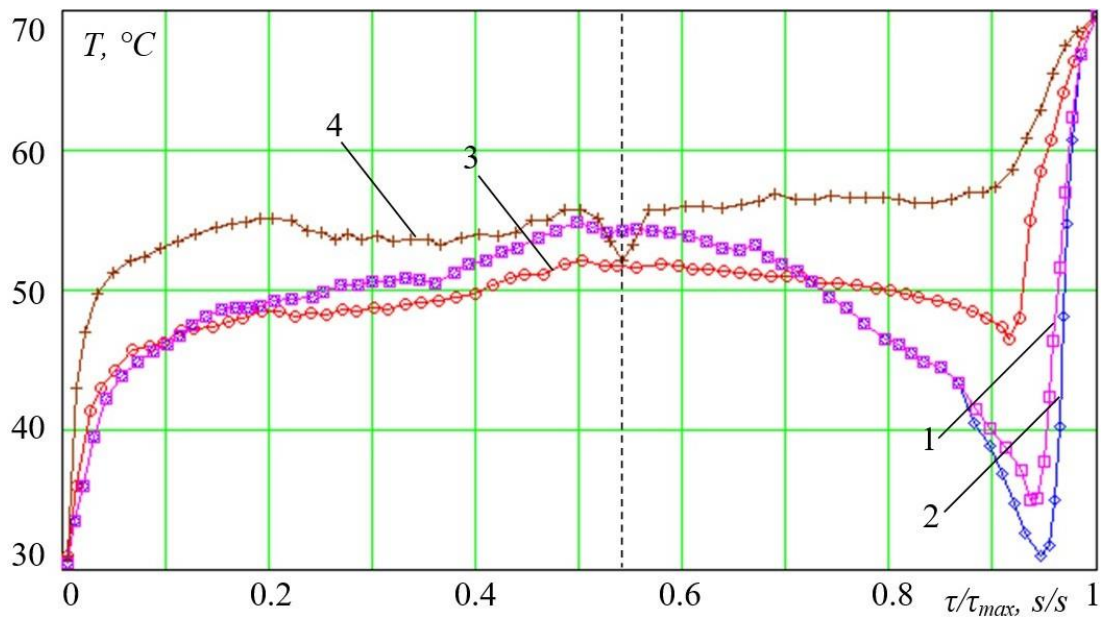


Рис. 2. Кінетики температури, отримані від різних термопар під час ІНТМО в термостаті, внутрішня частина якого складається з двох камер (рис.1), де I, II, III, IV – номери термопар

На початку процесу відбувається нагрівання внутрішнього середовища термостата. Воно супроводжується фазовим переходом I-го роду для води, що утримується вологим матеріалом, та води у нижній камері. При цьому кінетика температури вологого матеріалу має прирощення температури не менше нуля, тобто $dT \geq 0$.

Очевидно, у нижній камері знаходиться вільна (об'ємна) вода, випаровування якої потребує меншої енергії у порівнянні з водою, що зв'язана тим або іншим механізмом із оточенням. Тому першою починає випаровуватися до внутрішнього середовища вода із нижньої камери та частина системної води вологого матеріалу, яка має ті ж властивості. Кінетика температури при цьому має горизонтальну ділянку, для якої прирощення температури близьке до нуля – $dT \approx 0$. Горизонтальна ділянка обумовлена тим, що кількість води, що переходить в газовий стан за

одиницю часу (тобто швидкість випаровування) – постійна. Збільшення швидкості випаровування обмежене сталістю площі випаровування та значенням парціального тиску пари води у внутрішньому газовому середовищі термостата. Воно асимптотично прагне до тиску насиченої пари за даної температури.

Про повний перехід системної води, яка має властивості об'ємної, в термостаті в газоподібний стан свідчить локальний мінімум кінетики температури. Мається на увазі кінетика температури, отримана від термопари, яка знаходиться у нижній камері (термопара IV на рис. 1 та 2). Наявність локального мінімуму (пунктирна лінія на рис. 2) пояснюється тим, що по мірі зменшення у нижній камері кількості води, її поверхневий шар, з якого випаровується вода, переміщується та досягає спаю термопари. Очевидно, температура даного шару через випаровування молекул води – найменша, у порівнянні з шарами води, які знаходяться нижче. Оскільки термопара IV знаходиться на дні нижньої камери, то локальний мінімум кінетики температури, отриманої від неї, свідчить про закінчення води у даній частині термостата. При цьому закінчується системна вода вологого матеріалу, яка має ті ж властивості, що і об'ємна вода у нижній камері термостата.

Після цього продовжується випаровування частини системної води, яка зв'язана тим, або іншим механізмом з сухими речовинами вологого матеріалу. Випаровування системної води, властивості якої відмінні від властивостей об'ємної води, супроводжується під час ІнТМО утворенням та розвитком дисипативних структур в об'ємі вологого матеріалу. Розвиток дисипативних структур відбувається всередині термостата в різних місцях, де наявна границя розділу «рідина – газ». Збільшується інтенсивність випаровування системної води з вологого матеріалу, в результаті приріст температури для нього змінює свій знак на від'ємний – $dT < 0$. Ефект ІнТМО продовжується до повного випаровування частини системної води, для якої можливий фазовий перехід I роду за даної температури та атмосферного

тиску. Система надходить до гігроскопічного стану, якому відповідає локальний мінімум на кінетиках температури волого матеріалу.

Після досягнення колоїдним капілярно-пористим матеріалом гігроскопічного стану, відбувається нагрівання внутрішнього середовища термостата до температури термостата.

Для організації безперервно діючих процесів досліджувався ефект ІнтМО в тому ж термостаті з періодичним додаванням води у нижню камеру по мірі її випаровування. На рис. 3 наведено кінетики температури, отримані при цьому від різних термопар у термостаті з рис.1. Воду додавали по мірі її закінчення в нижній камері. За рівнем води спостерігали через оглядовий отвір.

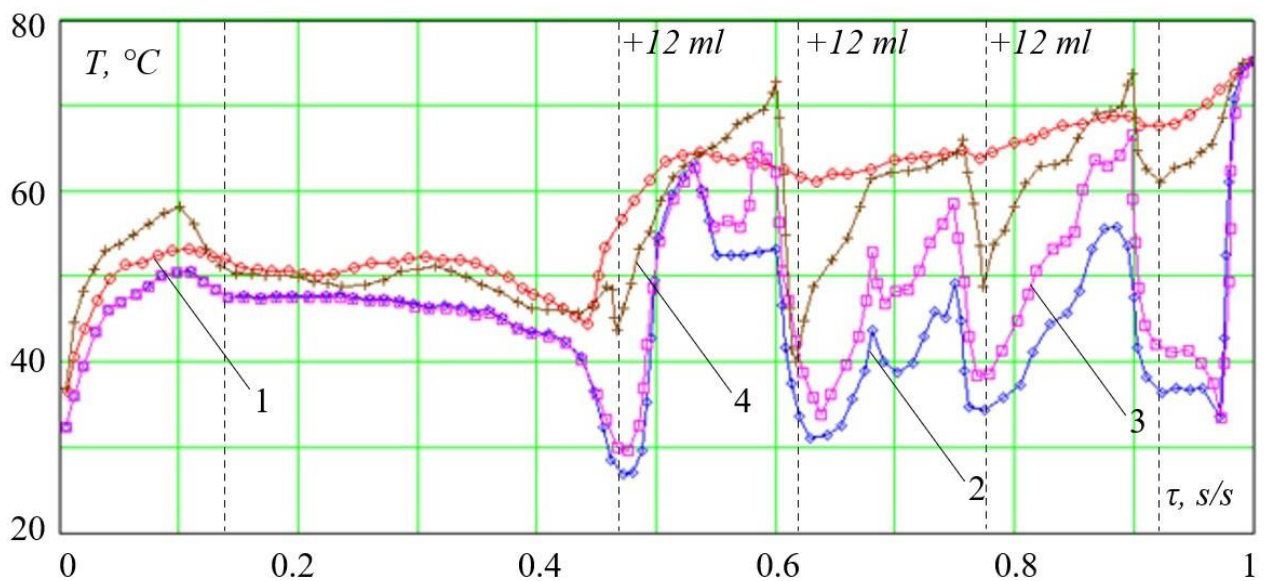


Рис. 3. Кінетики температури, отримані від різних термопар (I, II, III, IV – термопари з рис. 1) під час ІнтМО в термостаті з періодичним додаванням води

Про закінчення води у нижній камері свідчать характерні стрибкоподібні зміни кінетики температури, отриманої від термопари IV, спай якої знаходиться в об'ємній воді.

Перше додавання води у нижню камеру внутрішньої частини

термостата було проведено, коли температура вологого матеріалу досягла локального мінімуму, тобто вологий матеріал знаходився в гігроскопічному стані.

Після введення у нижню камеру термостата об'ємної води, її температура починає рости. Об'ємна вода нагрівається і одночасно випаровується, при цьому газове середовище всередині термостата насичується паром води. В той же час, по мірі насичення газового середовища водою, вологовміст вологого матеріалу збільшується. Збільшення вологовмісту відбувається через те, що вологий матеріал поглинає воду із газового середовища всередині термостата. Температура його при цьому збільшується.

Далі вся об'ємна системна вода переходить в газовий стан, частина її виходить в газовому стані через обтюратори в оточуюче середовище. Парціальний тиск пари води у суцільному газовому середовищі всередині термостата при цьому зменшується, а інтенсивність випаровування системної води вологого матеріалу збільшується за рахунок розвитку дисипативних структур. Температура вологого матеріалу починає зменшуватися до досягнення ним гігроскопічного стану через закінчення частини системної води, для якої можливий фазовий перехід I роду за даних умов.

Моделювання сушіння з ІнТМО сировини з високою поруватістю, високим ступенем усадки або низькою кількістю сухих речовин проводилось шляхом створення між шарами вологого матеріалу розривів сумірних з внутрішнім об'ємом термостата (рис. 4).

Внутрішній об'єм термостата заповнювали шарами вологого матеріалу з габаритними розмірами $95 \times 5 \times 22$ мм, як показано на рис. 4.

Як видно з рис. 4, у внутрішньому об'ємі термостата мають місце розриви об'єму вологого матеріалу. При цьому величина об'єму заповненого тільки газовим суцільним середовищем сумірна з об'ємом шару вологого матеріалу.

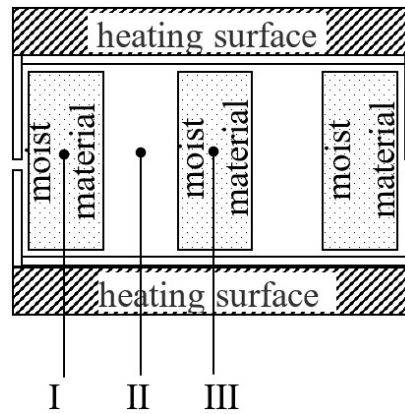


Рис 4. Схема заповнення внутрішньої частини термостата шарами вологого матеріалу під час моделювання ІнтМО в сировині з високою поруватістю або високим ступенем усадки: I, II, III – термопар

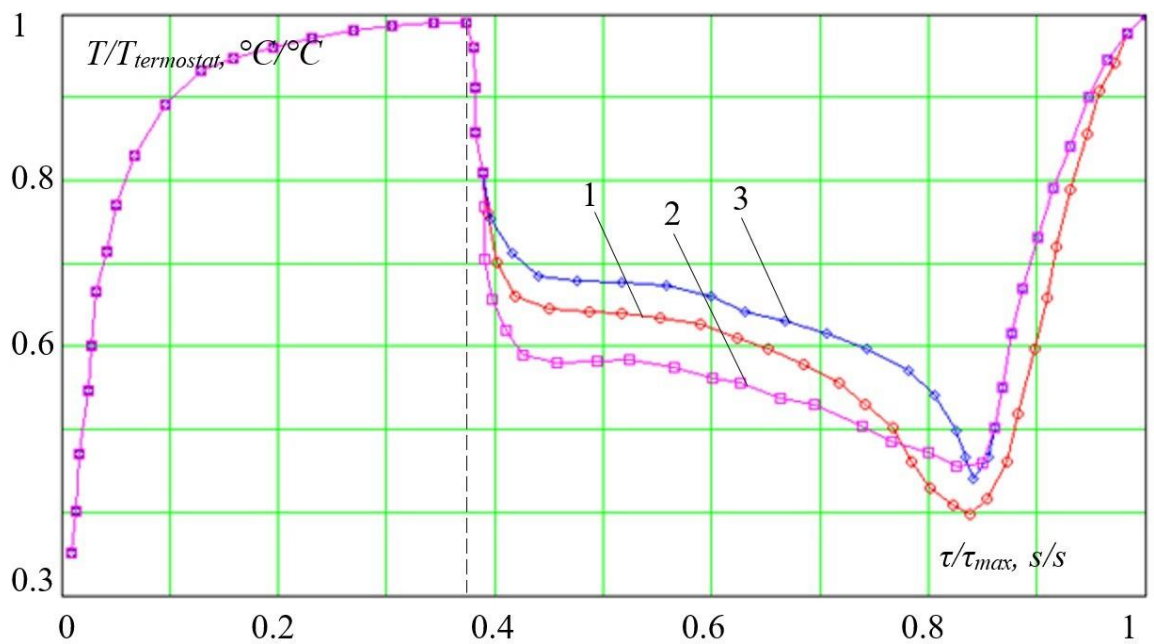


Рис. 5. Кінетика температури суцільного газового середовища (2) та шарів вологого матеріалу (1, 3) всередині термостата під час ІнтМО, за умови наявності розривів в твердій фазі всередині термостата сумірних за розмірами з габаритними розмірами його внутрішнього виділеного об'єму

За «запуском» та характером «протікання» ефекту ІнтМО стежили за кінетиками температури, які отримували від термопар розміщених у внутрішньому середовищі термостата (рис. 4). Експеримент організовувався

таким чином, що обдування обтюраторів потоком повітря проводили після досягнення температурою внутрішнього середовища температури термостата. Тобто флуктуації газового середовища в об'ємі обтюратора створювались після досягнення системою точки нестійкої рівноваги, яка є точкою біфуркації.

Створення зовнішньої флуктуації приводить до того, що система виходить із стану нестійкої рівноваги та починає рухатись до стану стійкої рівноваги. Кінетики температури суцільного газового середовища (термопара II) та шарів вологого матеріалу (термопари I та III), отримані при цьому, наведені на рис. 5.

Про «запуск» ефекту ІнтМО, відповідно, свідчить негативне прирощення температури $dT < 0$, а про його закінчення – зміна знаку прирощення температури на позитивний $dT > 0$.

1.4. Результати моделювання ефекту ІнтМО за різної його організації

Проведені дослідження доводять наступне. Наявність розривів в рідкій та твердій фазах всередині термостата сумірних за розмірами з габаритними розмірами внутрішньої частини термостата не вносить видимих змін у характер протікання ефекту ІнтМО.

Тобто «запуск», «протікання» та «завершення» ефекту ІнтМО можливі навіть за наявності просторового відокремлення рідкої та твердої фаз у внутрішньому виділеному об'ємі термостата за виконання необхідних умов для реалізації даного ефекту (Рис.2). При цьому узагальнюючою необхідною умовою реалізації ефекту ІнтМО (основний параметр порядку ефекту ІнтМО) є збереження суцільності газового середовища всередині термостата.

Ця особливість ефекту ІнтМО має практичну цінність для здійснення операцій з просторовим відділенням сухих речовин і рідини, таких як ароматизація або одночасна гідротермічна обробка з сушінням. При цьому організація ІнтМО реалізується в одному універсальному апараті.

Необхідно відмітити, що як видно з рис. 3, тривалість випаровування доданої в нижню камеру води відрізняється у межах похибки (відстані між пунктирними лініями на рис. 3). Отримане свідчить про те, що продуктивність термостата по випаруваній воді постійна і обумовлена продуктивністю обтюратора за даних керуючих параметрів. При цьому продуктивність обтюратора визначається його фізичними властивостями. Продуктивність обтюратора є одним із чинників, за допомогою яких можливе керування ефектом ІнтМО під час застосування його на практиці.

Продуктивність обтюратора можна розрахувати за формулою:

$$Pr_{obt} = \frac{m_{liquid}}{S_{obt} \cdot t} \Bigg|_{T=T_{termostat}}, \quad (1)$$

де m_{liquid} – маса рідини, що випарувалась за час t (с), кг;

S_{obt} – площа зовнішньої поверхні обтюратора (по відношенню до внутрішнього об'єму термостата), m^2 .

Розрахована таким чином продуктивність обтюратора для температури термостата $75\text{ }^\circ\text{C}$ за умови $m_{liquid} = 12 \cdot 10^{-3}$ кг; $t = 3600$ с;

$$S_{obt} = 190 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \text{ дорівнює } Pr_{obt} \cdot 17 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}.$$

Для порівняння, випаровування води з відкритої поверхні за тієї ж температури без обдування складає $Pr_{v=0} = 3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}} \Bigg|_{T_{termostat}=75\text{ }^\circ\text{C}}$, а за

швидкості $v = 10 \text{ м/с}$ повітря, що рухається відносно відкритої поверхні рідини – $Pr_{v=10} = 10 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}} \Bigg|_{T_{air}=75\text{ }^\circ\text{C}}$.

Таким чином, проведеними експериментом та розрахунками встановлено, питома продуктивність робочої поверхні термостата з ІнтМО в 1,7 рази більша у порівнянні з продуктивністю випаровування з відкритої

поверхні води. При цьому вимірювання проводились за тих же температури (75 °C) та швидкості руху ($v=10$ м/с) над поверхнею, що вигідно вирізняє ІнтМО.

Кінетики температури, отримані під час моделювання сушіння з ІнтМО сировини з високою поруватістю, високим ступенем усадки або низькою кількістю сухих речовин, доводять наступне (рис.5). Характер ефекту ІнтМО за умови наявності розривів в твердій фазі всередині термостата сумірних за розмірами з габаритними розмірами внутрішньої частини термостата не відрізняється від характеру ефекту ІнтМО за умов відсутності таких розривів.

Таким чином, можна зробити наступний висновок. Моделюванням ІнтМО за наявності твердої, рідкої та газової фаз всередині термостата з розривами між фазами встановлений основний параметр порядку ефекту ІнтМО. Цей параметр – наявність суцільності газового середовища за парціальним тиском пари рідини всередині термостата. За умови забезпечення даного параметра порядку ефект ІнтМО можливий навіть за умови просторового відділення сухих речовин і рідини.

Для забезпечення суцільності газового середовища за парціальним тиском пари рідини всередині термостата використовуються обтюратори. Обтюратори створюють енергетичний бар'єр E_A необхідний для переходу системи від стану нестійкої рівноваги до стану стійкої рівноваги.

Обтюратори характеризуються ефективним коефіцієнтом фільтрації потоку газу $k_{ф.эф.}$. Функції обтюлятора полягають в тому, що він створює визначений опір, як потоку повітря, що рухається відносно зовнішньої поверхні обтюлятора, та його флуктуаціям, так і внутрішньому середовищу. Фільтраційні властивості обтюлятора повинні бути такими, щоб повний тиск навколишнього газового середовища урівноважувався повним тиском внутрішнього газового середовища, причому границя розділу між даними середовищами повинна знаходитись в об'ємі обтюлятора. Ефективний коефіцієнт фільтрації обтюлятора при цьому визначається властивостями

матеріалу, із якого він виконаний (коефіцієнтом фільтрації матеріалу k_ϕ), його площею поперечного перерізу S та товщиною l :

$$k_{\phi.эф.} = \frac{k_\phi \cdot l}{S}, \quad (2)$$

де k_ϕ – коефіцієнт фільтрації матеріалу обтюратора, який дорівнює швидкості фільтрації газу v_ϕ через одиницю площі матеріалу при градієнті напору газу dH/dl , який дорівнює одиниці:

$$k_\phi = \frac{v_\phi}{(dH/dl)}, \quad (3)$$

де dH – різниця напорів, завдяки якій відбувається фільтрація, м;

dl – довжина шляху фільтрації, м.

Виходячи із наведених виразів, необхідні вимоги до обтюратора досягаються трьома способами.

Першим способом створення обтюратора на практиці є його самочинне утворення із сировини, яка підлягає технологічній обробці з використанням ефекту ІнтМО. Так під час сушіння змішаним теплопідводом [18], окремого випадку ефекту ІнтМО, обтюратор виконується із сировини, яка підлягає сушінню. Вологою сировиною при підготовці до даного способу сушіння заповнюють тепломасообмінний модуль таким чином, щоб сировина щільно прилягала до його стінок та зазорів. На початку процесу першою висихає частина сировини, що знаходиться біля зазору, створюючи таким чином обтюратор термостата. Перевагою такого способу є відсутність додаткових пристроїв (відсутність обтюратора із штучних матеріалів), спрощена конструкція внутрішньої частини термостата та простота санітарної обробки. Недоліком є те, що такий спосіб прийнятний за умови обробки сировини однорідного складу з розмірами частинок значно меншими за характерні

розміри внутрішнього виділеного об'єму термостата. При цьому об'єм сировини не повинен зменшуватись під час ІнтМО більше ніж на 10...15%. У разі більшої усадки, сировина відділяється від зазору і перестає виконувати функції обтюратора – ефект ІнтМО «зривається». Необхідно відмітити, що на даному етапі розвитку теорії та техніки ефекту ІнтМО фільтраційні властивості обтюраторів, які утворюються під час процесу масообміну із сировини, досліджені недостатньо, і на практиці вони застосовуються виходячи із напрацьованого досвіду.

Другий спосіб полягає у виборі відповідного капілярно пористого матеріалу, який заповнює зазор у стінці термостата та обумовлює його фільтраційні властивості. Третій – полягає у виборі товщини капілярно-пористого матеріалу та площі поперечного перерізу зазору у внутрішній стінці термостата, у якій він розміщений.

Виходячи із експериментальних досліджень та теоретичних розрахунків ефективний коефіцієнт фільтрації обтюратора необхідний для реалізації ефекту ІнтМО обирається із діапазону від $2 \cdot 10^{-2}$ до $3 \cdot 10^{-2}$ м/с. Досягнути необхідного значення коефіцієнта фільтрації можливо одним із трьох способів описаних вище.

Оскільки сировина, для якої планується використовувати апарат, має високу питому поруватість або низьку кількість сухих речовин, то самочинне утворення обтюратора із неї не відбувається. В результаті цього «запуск» ефекту ІнтМО – відсутній. Виходячи з цього створення обтюраторів, а, відповідно, і створення необхідних вимог для «запуску» ефекту ІнтМО, можливе другим або третім способом. Тобто створити обтюратори можливо варіюванням обраним матеріалом та його геометричними розмірами.

Пропонується як матеріал для штучного створення обтюраторів використовувати синтетичну повсть та фільтрувальну сітку із нержавіючої сталі. Схема розміщення синтетичної повсті та фільтрувальної сітки в обтюраторі наведені на рис. 6.

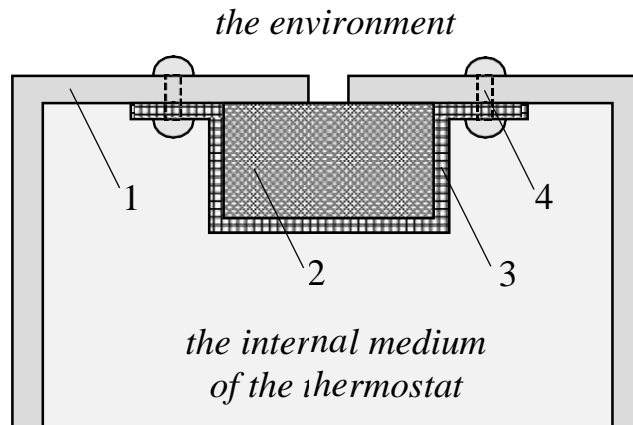


Рис.6. Загальний вигляд штучно створеного обтюратора: 1 – стінка термостата; 2 – синтетична повсть; 3 – фільтрувальна сітка із нержавіючої сталі; 4 – кріплення

Синтетична повсть відповідної товщини та поперечного перерізу створює енергетичний бар'єр між зовнішнім та внутрішнім середовищем термостата. Це забезпечує суцільність газового середовища за парціальним тиском пари рідини всередині термостата. Металева фільтрувальна сітка створює захист повсті від забруднення та обмежує зміну її об'єму через набухання у разі зволоження даного матеріалу.

Таким чином, використання штучного обтюратора дозволяє забезпечити одну із необхідних умов для «запуску» та «протікання» ефекту ІнтМО під час сушіння сировини з високою поруватістю або низькою кількістю сухих речовин. А, саме, такі обтюратори забезпечують суцільність газового середовища всередині термостата за парціальним тиском пари рідини.

Необхідно відмітити, що використання штучно створених обтюраторів в тепломасообмінних модулях для сушіння з ІнтМО робить апарати, в яких вони застосовуються універсальними. Їх універсальність полягає в можливості використання одного тепломасообмінного модуля для сушіння сировини з різною питомою поруватістю та різною кількістю сухих речовин. Економічна привабливість застосування такого апарату для сушіння з

ефектом ІнтМО полягає у можливості зменшення енерговитрат на процес зневоднення до 30 % порівняно з конвективним. В той же час якість отримуваної продукції наближена до якості продукції, що отримується сублімаційним або вакуумним сушінням.

Обмеженням дослідження є відсутність адаптованих технологічних ліній з сушіння з використанням ефекту ІнтМО сировини з високою питомою поруватістю або низькою кількістю сухих речовин. Оскільки застосування тепломасообмінних модулів зі штучними обтюраторами вимагає додаткової операції з очищення або заміни синтетичної повсті, що використовується при цьому. Тому перспективами подальших прикладних досліджень є адаптація тепломасообмінного модуля зі штучними обтюраторами під виробничі вимоги.

Висновки за розділом 1

1. Доведено моделюванням ефекту ІнтМО за наявності твердої, рідкої та газової фаз в термостаті з розривами між фазами, що «запуск», «протікання» та «завершення» ефекту ІнтМО можливі навіть за такої організації процесу. При цьому узагальнюючою необхідною умовою реалізації ефекту ІнтМО є збереження суцільності газового середовища всередині термостата. Моделюванням ефекту ІнтМО вологої сировини з періодичним додаванням води в термостат встановлена питома продуктивність робочої поверхні термостата з ІнтМО. Визначено, що вона в 1,7 рази більша у порівнянні з продуктивністю випаровування з відкритою поверхні води за температури 75 °С та швидкості руху повітря відносно робочої поверхні $v=10$ м/с.

2. Моделюванням процесу сушіння з ефектом ІнтМО вологої сировини з високою питомою поруватістю або низькою кількістю сухих речовин встановлений основний параметр порядку цього ефекту – наявність суцільності газового середовища за парціальним тиском пари рідини всередині термостата. За умови забезпечення даного параметра порядку

ефект ІнтМО можливий навіть за умови просторового відділення сухих речовин і рідини. Виходячи із експерименту та теоретичних розрахунків знайдений ефективний коефіцієнт фільтрації обтюратора необхідний для реалізації ефекту ІнтМО, який знаходиться в діапазоні значень від $2 \cdot 10^{-2}$ до $3 \cdot 10^{-2}$ м/с.

3. Розроблено вимоги до конструкційних особливостей тепломасообмінного модуля апарату для сушіння з ефектом ІнтМО вологої сировини з високою питомою поруватістю або низькою кількістю сухих речовин. Відмічено, що використання штучно створених обтюраторів в тепломасообмінних модулях для сушіння з ІнтМО робить апарати, в яких вони застосовуються, універсальними. Універсальність полягає в можливості використання одного тепломасообмінного модуля для сушіння сировини з різною питомою поруватістю та різною кількістю сухих речовин. Економічна привабливість застосування такого апарату для сушіння з ефектом ІнтМО полягає у можливості зменшення енерговитрат на процес зневоднення на 30 % порівняно з конвективним.

РОЗДІЛ 2. ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИГОТУВАННЯ МАРШМЕЛОУ З АНТОЦІАНОВИМИ ДОБАВКАМИ

2.1. Аналіз літературних даних щодо оптимізації технологічних параметрів приготування маршмелу

На сьогодні одним із актуальних напрямків розвитку кондитерської галузі України є виробництво продукції підвищеної харчової цінності та розширення асортименту шляхом використання натуральних рослинних інгредієнтів. Тому останнім часом збільшилася кількість досліджень і публікацій науковців, присвячених використанню рослинних добавок, у тому числі кріодобавок, в технологіях мармеладу, дріжджових виробів, пісочного печива тощо [19-23].

У ході проведених досліджень встановлено, що підвищити харчову цінність маршмелу та надати виробам рожевого забарвлення можна за рахунок використання антоціанових добавок – кріас-порошків із чорноплідної горобини та суданської троянди. Показано, що дані добавки слід вводити до складу виробів у формі 40% водно-спиртових екстрактів із додаванням лимонної кислоти. Встановлено, що введення екстрактів даних кріас-порошків до рецептурного складу маршмелу впливає на органолептичні, функціонально-технологічні, фізико-хімічні показники якості готових виробів. На перелічені властивості маршмелу під час приготування впливає не тільки концентрація екстракту кріас-порошку (ЕКП), але й концентрація лимонної кислоти. Тому важливо вивчити їх сумісну дію на процес виробництва маршмелу та визначити оптимальні параметри.

Аналіз літературних джерел показав, що для проведення оптимізації рецептурного складу кондитерських виробів, в залежності від кінцевої цілі, застосовують різні методи [24-30]. Так, в роботі [26] наведено ~~оптимальні~~ вибору технологічних параметрів приготування желейного мармеладу з кріас-порошками за даними отриманими мінімізацією математичної моделі

процесу. Для оптимізації рецептурного складу низькокалорійного змішаного мармеладу була використана методологія дослідження поверхні відгуку [27]. Методом багатокритеріальної оптимізації з використанням функції бажаності Харінгтона, який відноситься до психо-фізичних методів та не може претендувати на об'єктивність, оскільки в першу чергу відображає погляди на об'єкт дослідження та бажання експериментатора, проведена оптимізація рецептури міні-зефіру на желатині з функціональним інгредієнтом «Instantgum» на основі гуміарабіку та рецептури батончиків типу праліне [28, 29]. За результатами оптимізації математичної моделі рецептури зефіру з порошком із яблучних вичавок отримано вироби, що задовольняють вимогам стандарту [30].

Таким чином, використанню різних методів оптимізації технологічних процесів у вітчизняній та зарубіжній літературі приділяється багато уваги, що свідчить про доцільність використання математичного моделювання та оптимізації при розробці рецептур кондитерських виробів. Це підкреслюється використанням трифакторного рототабельного центрального композиційного планування для побудови моделі та оптимізації рецептурного складу піноподібного кондитерського виробу маршмелоу дієтичного призначення [31].

Мета роботи за даним напрямом – отримання за експериментальними даними математичної моделі технологічних процесів виготовлення маршмелоу з рослинними добавками антоціанової природи та її подальша оптимізація шляхом мінімізації побудованих рівнянь регресії.

2.2. Розробка математичної моделі технологічних процесів виготовлення маршмелоу з рослинними добавками антоціанової природи

Результати попередніх досліджень дозволили встановити, що під час внесення екстрактів кріас-порошків антоціанової природи до складу маршмелоу підвищується густина виробів та їх загальна кислотність. Ці дані

використано під час проведення оптимізації технологічних параметрів даного процесу.

Для проведення оптимізації рецептурного складу маршмелоу здійснили мінімізацію математичної моделі, яку отримали за ортогональним центральним композиційним планом (ОЦКП) другого порядку. Склали матрицю факторного експерименту (табл. 1) та провели його реалізацію, що дозволило знайти функції відгуку .

Критерієм оптимізації (y) була густина маршмелоу ($\text{г}\cdot\text{см}^3$), керуючими чинниками: x_1 – концентрація екстракту кріас-порошку (%), x_2 – концентрація лимонної кислоти (%).

Завданням оптимізації було визначення таких значень обраних чинників, за яких буде спостерігатись мінімальне значення густини готових виробів. Задачу побудови математичної моделі у вигляді поліному другої степені та її подальшої оптимізації вирішено в математичному пакеті MATLAB [<http://www-europe.mathworks.com/products/demos/>].

Таблиця 1

Рівні чинників та інтервали їх варіювання

Рівень варіювання	Маршмелоу з екстрактами кріас-порошків (ЕКП)			
	із чорноплідної горобини		із суданської троянди	
	x_1 , %	x_2 , %	x_1 , %	x_2 , %
Нульовий рівень (0)	10,0	0,09	4,0	0,09
Інтервал варіювання	2,0	0,06	2,0	0,06
Верхній рівень (+1)	12,0	0,15	6,0	0,15
Нижній рівень (-1)	8,0	0,03	2,0	0,03

Одержані квадратичні рівняння регресії у кодованих змінних мають наступний вигляд:

– для маршмелоу з ЕКП з чорноплідної горобини:

$$y = 0,651 + 0,0141x_1 + 0,0192x_2 + 0,0059x_1x_2 + 0,0095x_1^2 + 0,0104x_2^2 \quad (4)$$

– для маршмелоу з ЕКП з суданської троянди:

$$y = 0,521 + 0,045x_1 - 0,01x_2 - 0,03x_1x_2 + 0,047x_1^2 + 0,037x_2^2 \quad (5)$$

– маршмелоу на желатині з солубілізованими речовинами з ЕКП з чорноплідної горобини:

$$y = 0,6809 + 0,0139x_1 + 0,019x_2 - 0,0039x_1x_2 + 0,0169x_1^2 + 0,0134x_2^2 \quad (6)$$

– маршмелоу на желатині з солубілізованими речовинами з ЕКП з суданської троянди:

$$y = 0,5441 + 0,0557x_1 + 0,0043x_2 + 0,0007x_1x_2 + 0,0556x_1^2 + 0,0296x_2^2 \quad (7)$$

Відтворюваність результатів реалізації ОЦКП перевіряли за критерієм Кочрена, який розраховували за формулою:

$$G_p := \frac{\max(D)}{\sum D}, \quad (8)$$

де $\max(D)$ – максимальна дисперсія;

$\sum D$ – сума усіх дисперсій.

Оцінку однорідності дисперсій проводили шляхом порівняння розрахункового значення критерію Кочрена G_p з критичною точкою розподілу Кочрена $G_{кр}$ та виконання умови:

$$G_p < G_{кр}, \quad (9)$$

де $G_{кр}$ знаходили згідно з таблицею критичних точок розподілу Кочрена за числом ступені волі $k=4$ та рівня значущості $\alpha=5\%$.

Встановлено, що усі дисперсії є однорідними та можуть бути використані у подальших розрахунках для перевірки значущості коефіцієнтів регресії за критерієм Стьюдента.

Визначено, що всі коефіцієнти у рівняннях регресії виявились значущими. Тому рівняння регресії адекватні досліджуваному технологічному процесу і можуть бути використані для оптимізації обраного критерію.

Графічні інтерпретації математичних моделей приготування маршмелоу з рослинними добавками антоціанової природи у вигляді поверхонь відгуку та їх ліній рівня наведено на рис. 7-10.

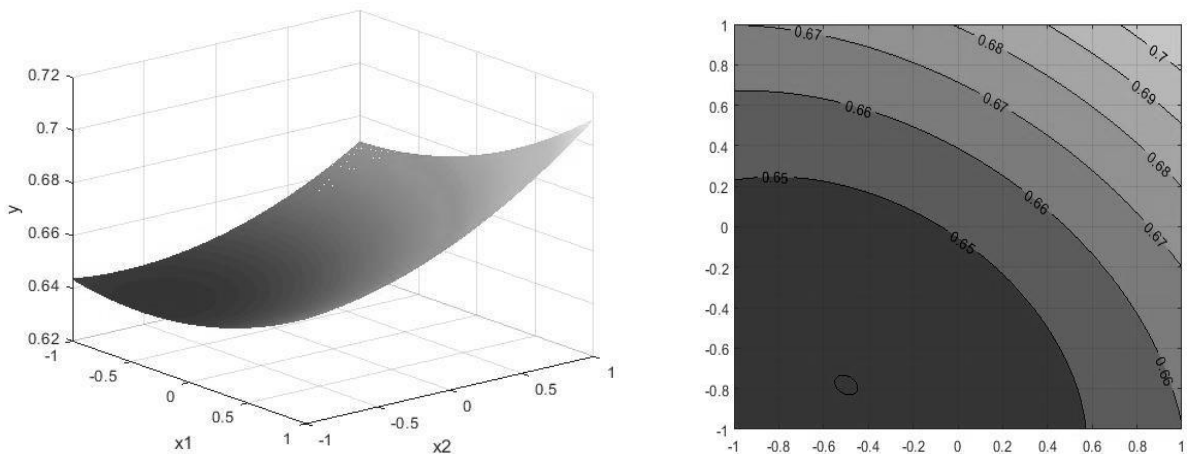


Рис. 7. Поверхня відгуку впливу ЕКП з чорноплідної горобини та лимонної кислоти на густину маршмелоу

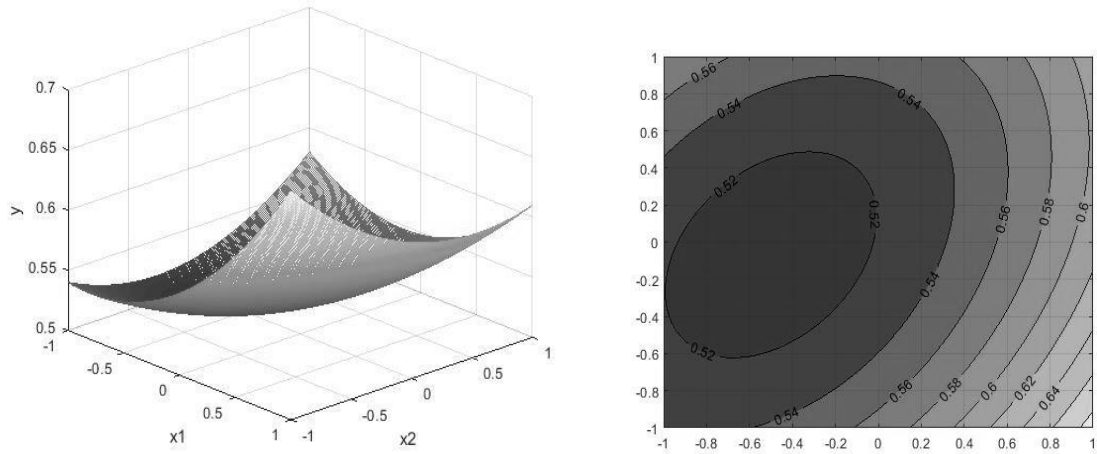


Рис. 8. Поверхня відгуку впливу ЕКП з суданської троянди та лимонної кислоти на густину маршмелоу

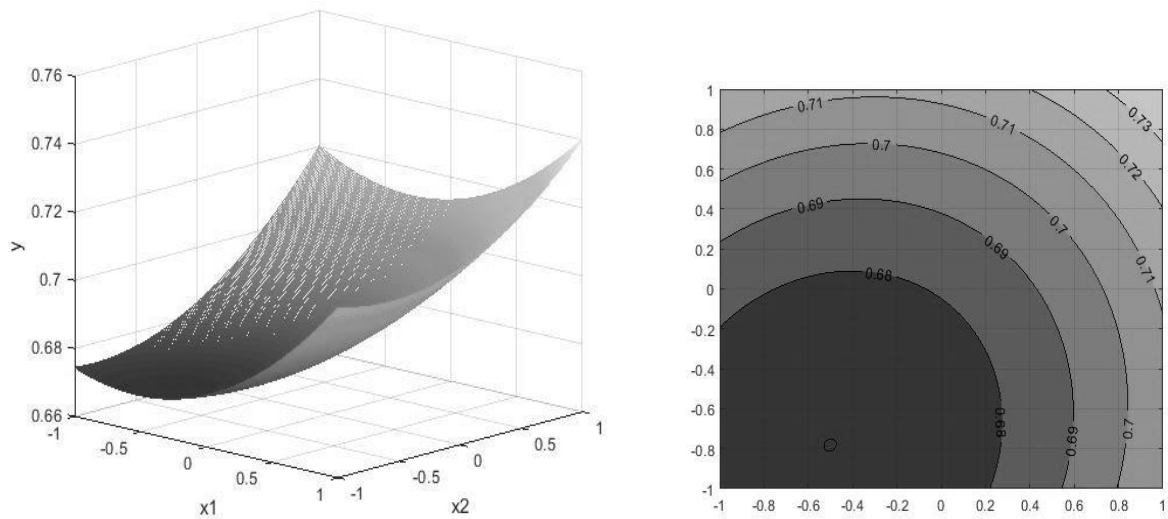


Рис.9. Поверхня відгуку впливу ЕКП з чорноплідної горобини та лимонної кислоти на густину маршмелоу на желатині з солюбілізованими речовинами

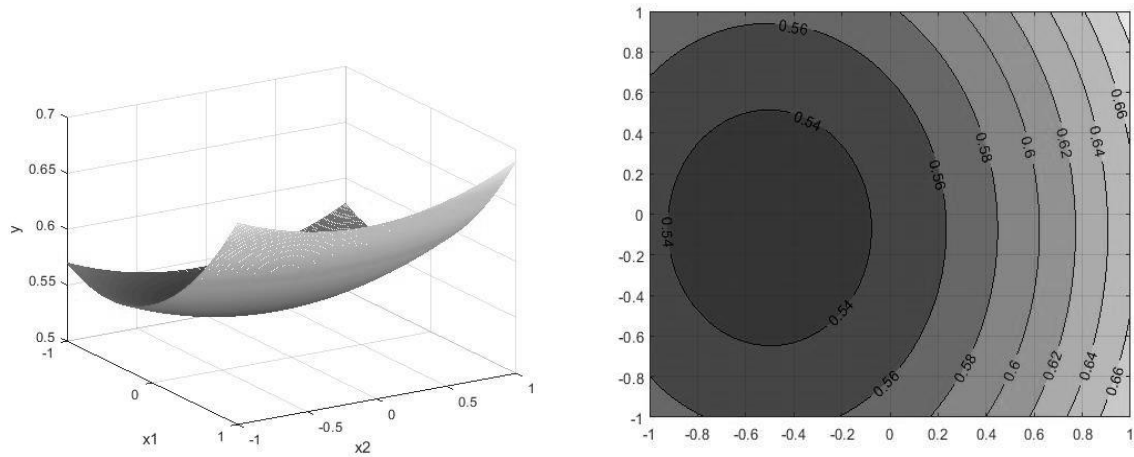


Рис.10. Поверхня відгуку впливу ЕКП з суданської троянди та лимонної кислоти на густину маршмелоу на желатині з солюбілізованими речовинами

Результати оптимізації шляхом знаходження мінімуму цільових функцій показали, що введення до рецептури маршмелоу ЕКП з чорноплідної горобини та суданської троянди в межах 8,0...10,0 % та 2,8.....3,2% відповідно приводить до зменшення густини виробів. Установлено, що оптимальними масовими частками цих компонентів у рецептурі маршмелоу є 9,0 % ЕКП з чорноплідної горобини та 0,043 % лимонної кислоти; 3,0 % ЕКП з суданської троянди та 0,086 % лимонної кислоти.

2.3. Результати математичного моделювання технологічних процесів виготовлення маршмелоу з рослинними добавками антоціанової природи

На основі отриманих даних удосконалено технологію та рецептури маршмелоу з антоціановими добавками: маршмелоу з ЕКП із чорноплідної горобини; маршмелоу з ЕКП із суданської троянди; маршмелоу на желатині з солюбілізованими речовинами з ЕКП із чорноплідної горобини; маршмелоу на желатині з солюбілізованими речовинами з ЕКП із суданської троянди.

Удосконалена технологія відпрацьована на виробництвах ТОВ «Кондитерська фабрика «Солодкий світ» (м. Харків), АТВО «Конті» (м. Костянтинівка), «ФОП Жирко С.О.» (м. Харків) тощо.

Установлено, що нові види маршмелоу мали високі органолептичні показники якості. Форма виробів □ правильна, з чітким контуром, без деформації. Поверхня була сухою, не липкою, без грубих затвердінь. Вироби рівномірно обсипані сумішшю цукрової пудри та кукурудзяного крохмалю. Завдяки введеним антоціановим добавкам маршмелоу мало рожевий колір та кислувато-солодкий смак, з присмаком чорноплідної горобини або суданської троянди. Сторонній присмак та запах були відсутні. Структура маршмелоу □ рівномірна, дрібнодисперсна. Консистенція виробів піноподібна, м'яка, зтяжна. Фізико-хімічні показники якості нових видів виробів наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники якості маршмелоу з антоціановими добавками

Найменування показника	Значення показника для маршмелоу			
	на желатині		на желатині з солюбілізованими речовинами	
	з ЕКП з чорноплідно ї горобини	з ЕКП з суданської троянди	з ЕКП з чорноплідної горобини	з ЕКП з суданської троянди
Масова частка вологи, %	21,5□0,9	19,0±0,8	21,5□0,9	19,0±0,8
Масова частка редукувальних речовин, %	13,0□0,6	13,0□0,6	13,0□0,6	13,8 □ 0,6
Загальна кислотність, град	3,5□0,1	3,5□0,1	3,5□0,1	3,5□0,1
Густина, г□см ³	0,64±0,02	0,51±0,02	0,67±0,02	0,53±0,02

Отримані дані покладено в основу ТУ У 10.8–01566330–314:2016 «Вироби мармеладно-пастильні. Технічні умови», які розроблено за затверджено в установленому порядку.

Висновки за розділом 2

Таким чином, на основі математичної моделі отриманої за даними ОЦКП та проведеної оптимізації, що полягала в знаходженні мінімуму цільової функції, запропоновані оптимальні умови для приготування маршмелоу з антоціановими добавками □ кріас-порошками з чорноплідної горобини та суданської троянди.

Наступним етапом даної роботи є впровадження удосконаленої технології маршмелоу у масове виробництво.

РОЗДІЛ 3. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕПАРАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

3.1. Випробування дослідного зразку віброударного сепаратора з використанням повітряного потоку методом багатofакторного експерименту

Виділення посівного матеріалу з якісними показниками – задача сьогодення. Врожайність зерна в першу чергу пов'язана з різною якістю посівного матеріалу.

Створення вітчизняних зернових сепараторів нового покоління, які забезпечують підвищення якості очищення і поділу зерна та круп'яних сумішей являється першочерговим завданням сільського господарства.

Встановлено, що найбільш надійними і простими машинами являються сепаратори, які працюють з використанням повітряного потоку. Розділення компонентів зернової суміші з використанням повітряного потоку у горизонтальному напрямку має певні переваги у порівнянні з рухом повітря у вертикальному напрямку тому, що у ньому краще виявляються аеродинамічні властивості, і поліпшується якість розділення.

Метою даного напрямку роботи – розробка лабораторно-дослідної установки віброударного сепаратора для розділення зернових сумішей на фракції за питомою вагою, як основним якісним фактором сепарації; проведення багатofакторного експерименту з використанням рівняння регресії.

Як відбувається процес сепарування зернової суміші детально розглянемо на прикладі схеми лабораторно-дослідної установки віброударного сепаратора (рис.11).

При роботі машини вихідний матеріал з бункера 4, минувши заслінку 5 потрапляє між пластинами 1. Далі частки матеріалу здійснюють рух під впливом сили тяжіння, повітряного потоку і коливальних дій з боку пластин 1. При цьому пил, легкі домішки і частки з високим коефіцієнтом

вітрильності несуться потоком повітря і збираються в периферійній частині пристосування 13 для збору продуктів. Частки «важкої» фракції, що мають різні фізико-механічні властивості і різний коефіцієнт вітрильності, переміщуються в нижню частину пакета 1 фрикційних пластин по різних траєкторіях і розподіляються по вічках 12 пристосування 13 для збору продуктів розділення.

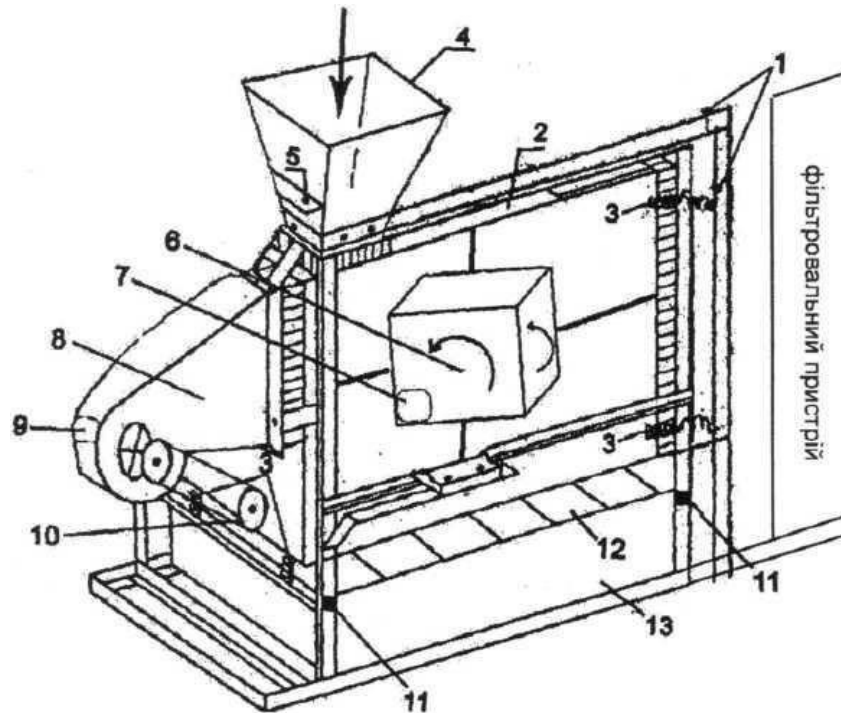


Рис.11. Схема лабораторно-дослідної установки: 1 – пакет вертикальних пластин, 2 – нерухома рама, 3 – пружинна підвіска, 4 – завантажувальний бункер, 5 – регульована заслінка, 6 – вібратор, 7 – регулятор амплітуди та напрямку коливань, 8 – вентилятор, 9 – регулятор зміни повітряного потоку, 10 – електродвигун, 11 – фіксатор, 12 – ділильні вічка, 13 – пристосування для збору продуктів розділення

Таким чином, наявність регуляторів амплітуди та напрямку коливань вібратора і регулятора зміни сили повітряного потоку, а також за рахунок зміни кута нахилу пластин в вертикальній площині і відстані між ними стає можливим регулювати час і якість розділення, вибирати оптимальні режими

роботи машини для різних сипких матеріалів і при високій продуктивності отримувати високу якість розділення.

При плануванні багатофакторного експерименту використовувались роботи [32-39], а також теоретичні дослідження авторів [32, 33, 37, 38, 39]. При плануванні багатофакторного експерименту визначався вплив оптимальних режимів робочих органів віброударного сепаратора : швидкість повітря і відстань між робочими площинами сепаратора,

частота і амплітуда вібрації у робочій зоні сепаратора, кут нахилу робочих пластин на якість сепарації зернової суміші. На основі багатофакторного експерименту були отримані дані про поверхню відгуку даних параметрів , які можна записати у загальному вигляді:

$$Y=f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5),$$

де Y – якість зернової суміші, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 – закодовані значення параметрів роботи віброударного сепаратора з використанням повітряного потоку.

Результати експерименту виражаються математичною моделлю у вигляді полінома, який називається рівнянням регресії. Для повнофакторного експерименту з п'яти показників повне квадратне рівняння представимо у вигляді:

$$Y = b_0 + b_1 \times X_1 + b_2 \times X_2 + b_3 \times X_3 + b_4 \times X_4 + b_5 \times X_5 + b_{12} \times X_1 \times X_2 + b_{13} \times X_1 \times X_3 + b_{14} \times X_1 \times X_4 + b_{15} \times X_1 \times X_5 + b_{23} \times X_3 \times X_2 + b_{24} \times X_4 \times X_2 + b_{25} \times X_5 \times X_2 + b_{34} \times X_3 \times X_4 + b_{35} \times X_3 \times X_5 + b_{45} \times X_4 \times X_5 + b_{12345} \times X_1 \times X_2 \times X_3 \times X_4 \times X_5$$

На основі теоретичних досліджень і апріорної інформації були з'ясовані нижній і верхній рівні параметрів робочих органів віброударного сепаратора: кут нахилу робочої зони: від 40 до 90°, швидкість повітряного потоку- від 1 до 6 м/с, частота вібрації від 40 с⁻¹ до 200 с⁻¹, амплітуда- від 1 до 11 мм, відстань між робочими пластинами – від 5 до 15 мм. Результати кодування параметрів надаються в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати кодування параметрів

Фактори	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Умови планування експерименту					
Нульовий рівень (0)	65	3,5	6	10	120
Інтервал варіювання	25	2,5	5	5	80
Верхній рівень (+1)	90	6	11	15	200
Нижній рівень (-1)	40	1	1	5	40

Для побудови плану матриці експерименту була з'ясована кількість дослідів за формулою $2^5=32$.

Перед проведенням експерименту були визначені рівні варіювання факторів і виконано їх кодування за формулою:

$$x_i = \frac{X_i - X_{0i}}{\varepsilon}$$

де x_i кодоване значення фактору, верхній рівень якого позначений +1, а нижній рівень позначений -1, x_{0i} натуральне значення на нульовому рівні, ε – інтервал варіювання.

Для знаходження оптимального поєднання виділених факторів проведений експеримент, що включає 16 дослідів, складових напіврепліки повного факторного експерименту типу 2^5 .

Таблиця 4

Робоча матриця повнофакторного експерименту

№ п/п	Фактори					Результати паралельних дослідів		
	X1	X2	X3	X4	X5	Y1	Y2	Y3
1	+1	-1	-1	-1	-1	65,30	79,82	72,56
2	-1	+1	-1	-1	-1	62,43	73,07	67,18
3	-1	-1	+1	-1	-1	75,42	63,55	70,53
4	+1	+1	+1	-1	-1	69,27	76,49	70,72
5	-1	-1	-1	+1	-1	59,97	55,40	55,97
6	+1	+1	-1	+1	-1	52,80	57,80	56,14
7	+1	-1	+1	+1	-1	59,56	63,86	60,79
8	-1	+1	+1	+1	-1	55,52	59,56	58,41
9	-1	-1	-1	-1	+1	81,48	75,95	79,90

10	+1	+1	-1	-1	+1	75,38	81,66	78,52
11	+1	-1	+1	-1	+1	76,62	82,20	80,61
12	-1	+1	+1	-1	+1	83,25	87,54	86,68
13	+1	-1	-1	+1	+1	69,16	74,92	72,04
14	-1	+1	-1	+1	+1	69,83	74,92	73,47
15	-1	-1	+1	+1	+1	62,91	67,45	64,21
16	+1	+1	+1	+1	+1	67,33	72,82	65,95

У результаті обробки представлених даних була отримана наступна залежність:

$$\begin{aligned}
 Y = & 69,75 + 0,351 * X_1 + 0,156 * X_2 + 0,306 * X_3 - 5,963 * X_4 + 5,454 * X_5 - \\
 & - 1,512 * X_1 * X_2 + 0,116 * X_1 * X_3 + 0,297 * X_1 * X_4 - 0,783 * X_1 * X_5 + \\
 & + 0,921 * X_2 * X_3 - 0,226 * X_2 * X_4 + 1,089 * X_2 * X_5 - 0,891 * X_3 * X_4 - \\
 & - 0,708 * X_3 * X_5 + 0,348 * X_4 * X_5
 \end{aligned} \quad (10)$$

де: Y - вихід якісного (кондиційного) зерна, %;

X_1 – кут нахилу пакету робочих пластин, град;

X_2 – відстань між пластинами в пакеті, мм;

X_3 – амплітуда коливань, мм;

X_4 – швидкість повітря, м/с;

X_5 – частота вібрації, 1/с.

При аналізі отриманої залежності можна зробити наступні висновки: найбільш значимими конструктивними факторами, що впливають на вихід кондиційного зерна є швидкість повітря (X_4) і частота вібрації (X_5), що мають найбільші коефіцієнти при змінних (5,963 і 5,454 відповідно).

При збільшенні швидкості повітря вихід кондиційного зерна зменшується (негативний коефіцієнт при змінній X_4), що може бути пояснено тим, що при великій швидкості повітря в сепараторі якість сепарації за питомою вагою зменшується. Збільшення частоти вібрації призводить до збільшення виходу кондиційного зерна.

Розроблений дослідний зразок віброударного сепаратора з використанням повітряного потоку, проведені випробування даної установки методом багатфакторного експерименту.

3.2. Дослідження ефективності пневматичного сепаратора з нахиленим каналом на підготовці посівного матеріалу сафлору

Постановка проблеми. Сафлор красильний, або американський шафран, дикий шафран, – однорічна рослина родини айстрових.

Сафлор є олійною культурою, батьківщиною якої є Ефіопія й Афганістан. З давніх часів його намагались вирощувати в різних частинах Африки та Євразії.

До України сафлор завезений у другій половині XVIII ст. Переважно вирощувався на невеликих ділянках південних посушливих регіонів. Квітки та олія сафлору включені до ряду зарубіжних фармакопей.

Сафлор – посухостійка рослина, добре пристосована до сухого континентального клімату, а його сходи витримують до -4 нетривалих заморозків. Сафлор запилюється як перехресним способом комахами, і особливо бджолами, так і самозапилюється. Його рослини не вимогливі до ґрунтів і можуть вирощуватись у зонах ризикованого землеробства [40-43].

Врожай сафлору збирають серійними зернозбиральними комбайнами, а технологія післязбиральної обробки врожаю, і особливо підготовка посівного матеріалу для масового виробництва, не відпрацьована повною мірою [44].

Сучасний клімат характеризується частими та аномальними змінами зі стійкою тенденцією до постійного росту середньорічних температур, що негативно впливає на врожайність більшості сільськогосподарських культур. У цьому сафлор вигідно відрізняється від традиційних для України олійних культур [45-50]. Окрім того, сафлор не боїться заморозків, а це дає змогу виконувати його посів у ранні строки, що дозволяє більш ефективно використовувати запаси ґрунтової вологи й отримувати високі врожаї. Але це часто перешкоджає виконанню повного комплексу робіт щодо підготовки ґрунту до сівби, що призводить до зростання засміченості як посівів, так і зернової частини врожаю після його збирання [41; 45].

Аналіз технологій вирощування та засміченості зернової частини зібраного врожаю показує, що вміст насіння бур'янів у зерновій масі несталий для різних посівних площ як за видом бур'янів, так і за їхньою кількістю. Основними видами бур'янів для зібраного врожаю є ті, які є характерними для певних полів і залишилися після вирощування попередньої культури.

Таким чином, ранні посіви гарантують підвищення врожайності сафлору, але при цьому зростає засміченість зернової частини врожаю, що ускладнює його післязбиральну обробку. Крім того, посушливий клімат призводить до формування неповноцінного (порожнього) насіння сафлору, що ще більше ускладнює підготовку посівного матеріалу. Масове виробництво сафлору як в Україні, так і на території більшості східноєвропейських держав не набуло поширення. Тому й технології післязбиральної обробки розроблені не повною мірою. Практика виробництва сафлору в окремих господарствах показує, що післязбиральну обробку як зернової частини, так і посівного матеріалу виконують традиційними способами з використанням технологічних ліній, агрегатів і комплексів, призначених для післязбиральної обробки зернових культур [47; 50].

Водночас проводяться дослідження використання нових способів та нових технічних засобів з обґрунтуванням параметрів процесу сепарації попереднього обробітку зернової частини врожаю [44] з максимальним відокремленням у відходів фракції незернової частини врожаю для створення сприятливих умов проведенню основної очистки іншими сепарувальними засобами.

Попередні дослідження використання решітних сепараторів на підготовці посівного матеріалу сафлору з перевіркою посівних особливостей відсортованих фракцій у польових умовах показали високу їх ефективність на додатковому сортуванні з виділенням у відходів фракції як найкрупнішого, так і дрібного насіння основної культури [43; 50; 49; 47].

Високу ефективність на додатковому сортуванні посівного матеріалу сафлору показало використання віброфрикційного сепаратора з неперфорованими робочими поверхнями [42; 46].

Незважаючи на отримані високі результати виконаних досліджень, проблема підготовки високоякісного посівного матеріалу загалом не вирішена і потребує подальшої розробки як способів, так і засобів сепарації.

Постановка завдання. Наше завдання - виявити закономірності формування продуктивності насіння сафлору, підготовленого на пневматичному сепараторі з нахиленим сепарувальним каналом.

Виклад основного матеріалу. Дослідження проводили на насіннєвій суміші сафлору сорту Лагідний, вирощеного на дослідному полі ХНТУСГ у 2020 р.

Вихідна суміш містила 92,7 % насіння сафлору від маси суміші, 5,14 % становили легкі домішки (часточки стебел різних розмірів та кусочки кошиків), 0,43 % – насіння інших

культурних рослин, 1,42 % – насіння бур'янів (щириця, лобода, мишій, пирій тощо) і 0,31 % – мінеральні домішки (грудочки ґрунту). Енергія проростання насіння основної культури становила лише 61,73 %, а його схожість – 65,24 %.

Можливість підвищення посівних якостей цільової фракції сафлору досліджували на пневматичному сепараторі з нахиленим сепарувальним каналом. Конструктивна схема сепаратора наведена на рис. 12. Сепаратор складається з вентиляторної установки і нахилоного повітряного каналу, які з'єднані між собою.

До вентиляторної установки входить вентилятор високого тиску 1 з вхідним патрубком 2, який приводиться в рух електродвигуном через пасову передачу. До вихідного патрубку вентилятора прикріплена проставка 4, в якій встановлено вертикальні жалюзі 3 для вирівнювання швидкості повітряного потоку в поперечному напрямі проставки. На виході проставка має розміри, які відповідають розмірам нахилоного каналу. У проставці 4

розташований механізм регулювання швидкості повітряного потоку по висоті каналу (рис. 12), який виконаний з набору поворотних пластин 5, закріплених жорстко на осях 29, що проходять через осеві лінії боковин 30 проставки, причому осі закріплені паралельно нижній (верхній) стінці проставки. Положення кожної пластини 5 (кут в її нахилу відносно поздовжньої осі каналу) можна регулювати окремо, повертаючи відповідні осі 29. Фіксація положення всіх пластин виконується одночасно притискними пластинами 28.

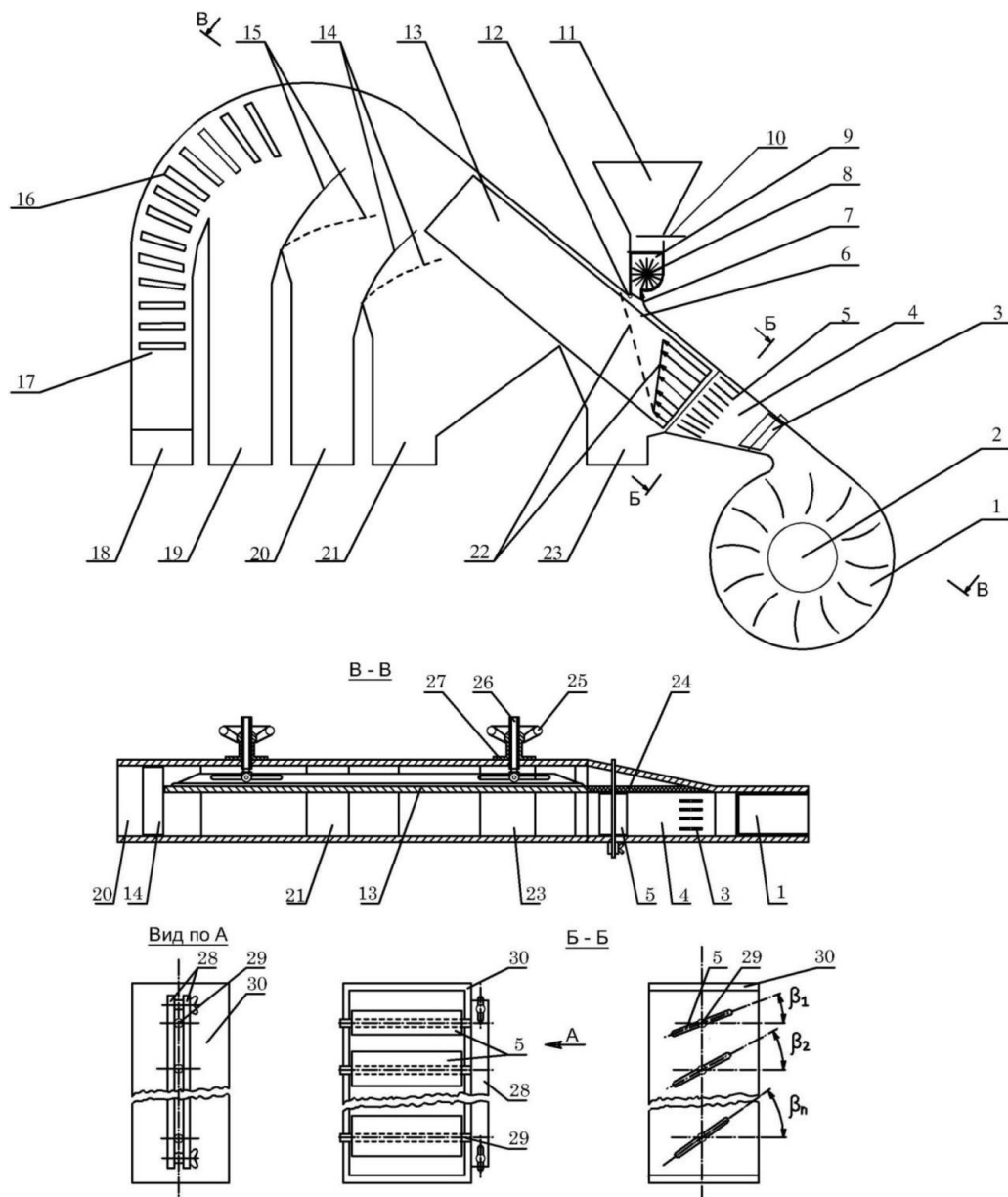


Рис.12. Конструктивна схема пневматичного сепаратора з нахиленим повітряним каналом

Нахилений повітряний канал складається зі сепарувальної камери 6, у нижній частині якої розміщені чотири приймачі 19, 20, 21 і 23 продуктів розділення. Перегородки 14 між 20 і 21 приймачами, а також 15 між 19 і 20 приймачами виконані поворотними, що дає змогу регулювати вміст приймачів. У нижній частині приймачів встановлено заслінки і мішкотримачі, які дозволяють закріплювати мішки для збирання продуктів розділення кожного приймача окремо.

До верхньої стінки сепарувальної камери 6 шарнірно закріплений живильник із циліндричною щіткою 8 і рухомою боковиною 9. До живильника приєднаний бункер 11, який у нижній частині має регулювальну заслінку 10.

До сепарувальної камери 6 прикріплюється інерційний пиловідокремлювач 16 з осаджувальною камерою 17, яка закінчується фільтрувальним пилозбірником 18 із тканини (мішковини).

Регулювання швидкості повітряного потоку в сепарувальній камері 6 виконується зміною її ширини, переміщенням ділильника 13 за допомогою регулювальних гвинтів 26, закріплених в опорах 27 штурвалами 25. Ділильник 13 еластичним напрямником 24 з'єднується з вихідним патрубком вентилятора 1.

Вихідний матеріал сафлору з бункера 11 циліндричною щіткою 8 живильника подається в нахилений повітряний канал 6 рівномірно по всій його ширині. Інтенсивний повітряний потік у верхній частині каналу (швидкість повітря більша критичної швидкості переважної більшості компонентів вихідного матеріалу) має велику транспортувальну здатність, за рахунок чого швидко «розвантажується» зона каналу біля завантажувального вікна. Причому більшість легких домішок із великим коефіцієнтом вітрильності відділяється у верхній частині каналу і транспортується також уздовж верхньої частини каналу (вони не можуть опуститися, оскільки максимальна швидкість повітряного потоку є дещо нижче верхньої стінки каналу через опір стінок каналу, див. вигляд епюри 22 швидкостей повітря по

висоті каналу) аж в осаджувальну камеру 17. Важчі компоненти вихідного матеріалу з меншими коефіцієнтами вітривності інтенсивно транспортуються за більшої швидкості повітря, яку мають дещо нижчі шари повітряного потоку. Ці шари повітряного потоку остаточно видувають легші домішки, які з якихось причин не відділилися повітряним потоком на вищих відрізках повітряного каналу. Важчі компоненти під дією гравітаційних сил рухаються по криволінійних траєкторіях і потрапляють у нижню частину каналу, де повітряний потік помірніший. У таких умовах (спокійніших) компоненти матеріалу мають змогу повніше проявити свої аеродинамічні властивості, точніше розділитися за їх різницею і надходять у приймачі 19, 20, 21, 23 продуктів розділення. Співвідношення мас компонентів у цих приймачах, а отже, і якість розділення, чи сортування, можна регулювати поворотом перегородок 14 і 15. Важкі домішки (грудочки ґрунту, камінці, металеві включення тощо) потрапляють до приймача 23.

Легкі домішки і пил з осаджувальної камери 17 потрапляють у фільтрувальний пилозбірник 18, який виконано в дослідному зразку з мішківини.

Результати сортування насінневої суміші сафлору наведено в таблиці 5.

Таблиця 5.

Результати підготовки посівного матеріалу сафлору на пневматичному сепараторі

Показник	Фракція				
	Вихідни	1	2	3	4
Розподіл насінневого матеріалу за	100	38,52	22,46	16,53	22,49
Вміст насіння основної культури, %	92,70	98,14	98,41	85,95	82,64
Вміст легких домішок, %	5,14	0,21	0,27	12,61	12,95
Вміст насіння інших культурних	0,43	0,51	0,59	0,42	0,14
Вміст насіння бур'янів, %	1,42	0,57	0,33	1,02	4,26
Вміст мінеральних домішок, %	0,31	0,57	0,40	0	0
Маса 1000 насінин сафлору, г	30,43	41,98	38,47	20,15	10,17
Енергія проростання насіння сафлору,	61,73	84,42	74,18	61,17	10,84
Схожість насіння сафлору, %	65,24	89,69	78,29	62,11	12,63

Компоненти насінневої суміші розділилися на чотири фракції. Найбільш повноцінне насіння сафлору відокремилося до першого і другого приймачів. Уміст першого приймача становив 38,52 % від загальної маси вихідного матеріалу, включав насіння основної культури – 98,14 %, що на 5,44 % більше, ніж у вихідній суміші. Причому схожість і енергія проростання насіння сафлору цієї фракції найвищі і становлять відповідно 84,42 і 89,69 %. До другої фракції виділилося 22,46 % маси вихідного матеріалу, причому вміст насіння основної культури в цій фракції на 0,37 % вищий, ніж у першій фракції, і становить 98,41 %. Його посівні властивості дещо нижчі від показників першої фракції: енергія проростання насіння сафлору становить 74,18 %, а схожість – 78,29 %, що більш ніж на 10 % перевищує показники вихідного матеріалу. Третя фракція за об'ємом найменша і становить 16,53 % від маси вихідної суміші. Показники посівних якостей насіння сафлору цієї фракції є на рівні вихідного матеріалу, але маса 1000 насінин основної культури на 10,27 г менша, ніж у насіння вихідного матеріалу. Матеріал, який виділився до четвертого приймача, за всіма якісними показниками значно поступається показникам насіння, що виділилося до інших фракцій.

Третя фракція за масою лише на 5,21 % менша від другої фракції, а за якісними показниками набагато гірша від перших двох. Так, уміст насіння основної культури в ній становить лише 37,52 % від загальної маси, що у 2,21 разу менше від вмісту другої фракції і навіть на 19,04 % менше від його вмісту у вихідному матеріалі. Крім того, слід зазначити, що саме насіння сафлору менш виповнене, його маса 1000 шт. становить лише 21,70 г, що на 16,06 г менше від маси в другій фракції, майже у два рази (1,89 рази) менше від маси в першій фракції і аж на 6,83 г менше від маси 1000 насінин сафлору у вихідному матеріалі.

Переважну більшість третьої фракції становлять легкі домішки (60,75 % від маси фракції). Також у цю фракцію відокремились частина

пошкодженого насіння інших культурних рослин (0,73 % від маси фракції) і повноцінне насіння бур'янів в оболонках (1,0 % від маси фракції).

Уміст четвертої фракції найменший і становить лише 12,15 % від маси вихідного матеріалу. У ній насіння сафлору становить лише 18,55 % від загальної маси, причому саме насіння дрібне за розмірами, а маса 1000 насінин становить лише 16,13 г, що на 12,40 г менше порівняно з насінням вихідного матеріалу.

Основну частину цієї фракції становлять легкі домішки (77,03 %). До неї також виділилось щупле, подрібнене насіння інших культурних рослин (0,44 % від маси фракції) і насіння бур'янів в оболонках (3,98 %).

Дуже схожою на четверту фракцію за гранулометричним складом є п'ята фракція, яка становить за масою 19,76 % від загальної маси вихідного матеріалу. Насіння основної культури в ній лише 16,16 %, причому маса його 1000 шт. становить лише 10,51 г, що у 2,71 разу менше порівняно з масою насіння вихідної суміші, і, очевидно, ця фракція для сівби цінності не має.

Для оцінки здатності пневматичного сепаратора сортувати насіння сафлору за посівними якостями дослідили енергію проростання і схожість насіння основної культури кожної фракції. Із табл. 1 видно, що в перші два приймачі відокремилось насіння сафлору більш повноцінне, його енергія проростання становить відповідно 67 і 61 %, що майже в 1,5 разу перевищує таку в насіння вихідного матеріалу. Схожість теж найвища у двох перших приймачах - відповідно 72 і 67 %. Посівні показники останніх трьох фракцій дуже низькі і як посівний матеріал це насіння цінності не має.

Таким чином, аналіз результатів первинної сепарації на пневматичному сепараторі з нахиленим повітряним каналом насінневої суміші сафлору, отриманої за збирання врожаю прямим комбайнуванням, показав, що жодна з отриманих п'яти фракцій не відповідає вимогам до посівного матеріалу.

Зважаючи на велику засміченість останніх трьох фракцій та низьку якість насіння сафлору в них, подальше доочищення цих насінневих сумішей малоефективне.

Уміст перших двох приймачів загалом становить 53,57 % маси вихідного матеріалу. Така об'єднана насіннева суміш містить 85,24 % насіння основної культури, що на 28,68 % більше, ніж у вихідного матеріалу. Саме насіння сафлору в об'єднаній фракції має масу 1000 насінин 39,84 г, що на 11,31 г більше від маси насіння вихідної суміші. Енергія проростання і схожість насіння підвищились відповідно на 23 і 24 % і дорівнюють 65 і 70 %. У цьому насінневому матеріалі легких домішок зменшилось майже в 7 разів, що покращує як умови тимчасового його зберігання, так і умови подальшого доочищення на інших насіннеочисних машинах.

Польові дослідження проводили у 2021 р. в умовах навчально-дослідного поля кафедри агротехнологій та екології на базі НДП «Центральне» ХНТУСГ. Об'єктом дослідження були відсортовані фракції насінневого матеріалу сафлору районаного сорту Лагідний. Закладення дослідів проводили з дотриманням вимог наукової агрономії. Повторність дворазова, розміщення ділянок рандомізоване. Облікова площа дослідної ділянки - 25 м². Попередник - чорний пар.

У польовому досліді вивчали ріст, розвиток та продуктивність сафлору залежно від виповненості насіння, відсортованого за аеродинамічними властивостями на чотири фракції (табл. 6) пневматичним сепаратором.

Таблиця 6.

Морфологічні показники рослин сафлору залежно від фракції посівного матеріалу

Фракція насіння	Висота рослин, см	Товщина стебла, мм	Висота закладки перших бічних пагонів, см	Довжина кореня, см
I	100,9	5,9	64,0	13,1
II	101,8	6,4	59,2	13,5
III	80,1	6,9	58,8	14,8
IV	0	0	0	0

Польові дослідження проводили відповідно до загальноприйнятих методик [46; 48].

У польових дослідах реєстрували основні фази вегетації рослин: сходи, формування кошиків, цвітіння, дозрівання. Проведенням замірів при повному настанні фаз вегетації визначали динаміку росту рослин. Продуктивність сафлору за варіантами визначали відбором проб рослин з 1 м² кожного повторення для кожного варіанта. Насіння висівали вручну з міжряддям 45 см за температури ґрунту 4,3...4,8 °С без внесення мінеральних добрив. Під час визначення врожайності враховували густоту продуктивного стеблостою, середню масу зерна з однієї рослини.

До збирання врожаю з ділянок визначали середню кількість рослин сафлору на 1 м² кожної дослідної ділянки. Цей показник для перших трьох фракцій змінювався в обмеженому діапазоні від 61 рослини на ділянках, засіяних насінням першої фракції, до 56 – насінням третьої фракції, а продуктивних рослин – відповідно 58, 44 рослини. Слід зазначити, що з насіння, яке відсортувалося до четвертої фракції, у польових умовах не з'явилися сходи на ділянках жодної повторності.

Проведені дослідження з вивчення впливу виповненості насіння, відсортованого пневматичним сепаратором, на продуктивні показники сафлору показали, що виповненість насіння впливає як на морфологічні показники рослин у процесі розвитку, так і на показники структури врожаю. У польових дослідженнях тривалість вегетаційного періоду від повних сходів до повної стиглості для всіх фракцій насіння була однаковою і становила 116 діб.

На початковому етапі польових досліджень морфологічних показників рослин сафлору, отриманих із відсортованого насіння перших трьох фракцій, особливих відмінностей не виявлено. Але за подальшого вегетаційного розвитку спостерігалось відставання росту в посівах, отриманих із насіння, відсортованого до третьої фракції (менш виповненого). Висота рослин третьої фракції у фазі повної стиглості становила лише 80,1 см, що на понад 20 см менше порівняно з висотою рослин із насіння попередньої фракції.

Висота закладки перших бічних пагонів у цих рослин теж найменша (58,8 см), а довжина коренів найбільша.

Польовими дослідженнями також встановлено, що виповненість насіння, відсортованого за аеродинамічними властивостями, впливає на структурні показники посівів, у тому числі на кількість кошиків на одній рослині, їх діаметр і кількість насіння з однієї рослини та масу його 1000 шт. (табл. 7).

Таблиця 7.

Структура врожаю та врожайність сафлору в умовах дослідю

Фракція насіння	Кількість кошиків на 1 рослині, шт.	Діаметр кошиків, см	Кількість насіння з 1 рослини, шт.	Маса 1000 насінин, г	Кількість рослин на 1 м ² , шт.		Біологічна врожайність, ц/га
					всього	продуктивних	
I	7,2	3,1	117,7	117,7	61	58	32,08
II	5,3	2,7	109,9	109,9	60	56	28,74
III	3	2,6	80,3	80,3	56	44	14,98
IV	0	0	0	0	0	0	0

За цими показниками найкращими були рослини, отримані з насіння, що відсортувалося до першої фракції. Так, кількість кошиків була на 35,85 % більшою від кількості кошиків рослин, отриманих із насіння другої фракції, і на 140 % від рослин третьої фракції. Розмір кошиків і кількість насіння з однієї рослини першої фракції теж найбільші і становлять відповідно 3,1 мм і 117,7 шт. Насіння, отримане з рослин першої фракції, найбільш повноцінне і має масу 1000 насінин 47 г.

Висновки за розділом 3.

Розроблений дослідний зразок віброударного сепаратора з використанням повітряного потоку, проведені випробування даної установки методом багатofакторного експерименту.

Для перевірки впливу виповненості насіння на врожайність сафлору відсортовано на пневматичному сепараторі чотири фракції. Найбільш виповнене насіння потрапило до першої фракції і становило 38,52 % від маси

вихідного матеріалу, до другої фракції відсортувалось 22,46 %, до третьої – 16,53 %, а до четвертої – 22,49 %.

Враховуючи показники росту і розвитку, структури врожаю та врожайності, отримані за вирощування насіння сафлору фракцій різної виповненості, можна зробити висновок, що для сівби найбільш повноцінним є насіння, відсортоване до першої фракції, яке забезпечує найвищий показник врожайності.

Цілком достойні показники виробництва сафлору забезпечує висів насіння другої фракції. Насіння третьої, а особливо четвертої, фракції доцільніше використовувати для інших цілей.

Насіння середніх розмірів мало найбільший показник врожайності за достатньо високих показників росту і продуктивних якостей та найкращий показник виживання рослин.

ВИСНОВКИ

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень вперше:

– Доведено моделюванням ефекту ІнтМО за наявності твердої, рідкої та газової фаз в термостаті з розривами між фазами, що «запуск», «протікання» та «завершення» ефекту ІнтМО можливі навіть за такої організації процесу. При цьому узагальнюючою необхідною умовою реалізації ефекту ІнтМО є збереження суцільності газового середовища всередині термостата. Моделюванням ефекту ІнтМО вологої сировини з періодичним додаванням води в термостат встановлена питома продуктивність робочої поверхні термостата з ІнтМО. Визначено, що вона в 1,7 рази більша у порівнянні з продуктивністю випаровування з відкритої поверхні води за температури 75 °С та швидкості руху повітря відносно робочої поверхні $v=10$ м/с.

– Моделюванням процесу сушіння з ефектом ІнтМО вологої сировини з високою питомою поруватістю або низькою кількістю сухих речовин встановлений основний параметр порядку цього ефекту – наявність суцільності газового середовища за парціальним тиском пари рідини всередині термостата. За умови забезпечення даного параметра порядку ефект ІнтМО можливий навіть за умови просторового відділення сухих речовин і рідини. Виходячи із експерименту та теоретичних розрахунків знайдений ефективний коефіцієнт фільтрації обтюратора необхідний для реалізації ефекту ІнтМО, який знаходиться в діапазоні значень від $2 \cdot 10^{-2}$ до $3 \cdot 10^{-2}$ м/с.

– Розроблено вимоги до конструкційних особливостей тепломасообмінного модуля апарату для сушіння з ефектом ІнтМО вологої сировини з високою питомою поруватістю або низькою кількістю сухих речовин. Відмічено, що використання штучно створених обтюраторів в тепломасообмінних модулях для сушіння з ІнтМО робить апарати, в яких

вони застосовуються, універсальними. Універсальність полягає в можливості використання одного тепломасообмінного модуля для сушіння сировини з різною питомою поруватістю та різною кількістю сухих речовин. Економічна привабливість застосування такого апарату для сушіння з ефектом ІпТМО полягає у можливості зменшення енерговитрат на процес зневоднення на 30 % порівняно з конвективним.

– На основі математичної моделі отриманої за даними ОЦКП та проведеної оптимізації, що полягала в знаходженні мінімуму цільової функції, запропоновані оптимальні умови для приготування маршмелову з антоціановими добавками □ криас-порошками з чорноплідної горобини та суданської троянди.

– Розроблений дослідний зразок віброударного сепаратора з використанням повітряного потоку, проведені випробування даної установки методом багатofакторного експерименту.

– Для перевірки впливу виповненості насіння на врожайність сафлору відсортовано на пневматичному сепараторі чотири фракції. Найбільш виповнене насіння потрапило до першої фракції і становило 38,52 % від маси вихідного матеріалу, до другої фракції відсортувалось 22,46 %, до третьої – 16,53 %, а до четвертої – 22,49 %. Враховуючи показники росту і розвитку, структури врожаю та врожайності, отримані за вирощування насіння сафлору фракцій різної виповненості, можна зробити висновок, що для сівби найбільш повноцінним є насіння, відсортоване до першої фракції, яке забезпечує найвищий показник врожайності. Раціональні показники виробництва сафлору забезпечує висів насіння другої фракції. Насіння третьої, а особливо четвертої, фракції доцільніше використовувати для інших цілей. Насіння середніх розмірів мало найбільший показник врожайності за достатньо високих показників росту і продуктивних якостей та найкращий показник виживання рослин.

Основні результати досліджень відображено у 10 працях, в тому числі 3 статтях, 1 з яких у науковому виданні, що входить до наукометричної бази

даних Scopus, 7 тезах доповідей на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Rode A., Carleton T., Delgado M. et al. Estimating a social cost of carbon for global energy consumption // *Nature*. 598. 2021. pp. 308–314.
<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03883-8>
 (https://www.nature.com/articles/s41586-021-03883-8)
2. Bilgen S. Structure and environmental impact of global energy consumption // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 38. 2014. pp. 890-902. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.004>
 (https://www.mendeley.com/catalogue/46a4efdb-f95e-3419-af13-d11b1ca0fb73/)
3. Cabezas H. Editorial overview: Energy and environmental engineering // *Current Opinion in Chemical Engineering*. Vol. 17. 2017. pp. 98-99.
<https://doi.org/10.1016/j.coche.2017.08.006>
 (https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211339817300461?via%3Dihub)
4. Keil F. Process intensification // *Reviews in Chemical Engineering*. Vol. 34(2). 2018. pp. 135-200. <https://doi.org/10.1515/revce-2017-0085>
 (https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/revce-2017-0085/html)
5. Iqbal M. J., Akbar M. W., Aftab R., Younas I., Jamil U. Heat and mass transfer modeling for fruit drying: a review // *MOJ Food Processing & Technology*. 7(3). 2019. pp. 69–73. <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2019.07.00222>
 (https://medcraveonline.com/MOJFPT/MOJFPT-07-00222.pdf)
6. Calín-Sánchez Á., Lipan L., Cano-Lamadrid M., Kharaghani A., Masztalerz K., Carbonell-Barrachina Á. A., Figiel A. Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables and aromatic herbs // *Foods* 2020. 9. 2020. pp. 1261.
<https://doi.org/10.3390/foods9091261>
 (https://www.mendeley.com/catalogue/e3c84c11-e5d9-30e0-920e-6270ec7ba5ad/)
7. Woo M. W. Heat and mass transfer in drying of porous media // *Drying Technology*. 39(4). 2021. pp. 576–576.

<https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1686518>

(<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07373937.2019.1686518?scroll=top&needAccess=true>)

8. Gao W., Chen F., Wang X., Meng Q. Recent advances in processing food powders by using superfine grinding techniques: A review // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 19(4). 2020. pp. 2222–2255.

<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12580>

(<https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1541-4337.12580>)

9. Kumar P., Mishra H. N. Yoghurt powder – A review of process technology, storage and utilization // *Food and Bioproducts Processing*. Institution of Chemical Engineers. *Food Engineering*. 82. 2004. 133–142.

<https://doi.org/10.1205/0960308041614918>

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960308504704198?via%3Dihub>)

10. Celeiro M., Lamas J. P., Arcas R., Lores M. Antioxidants profiling of by-products from eucalyptus greenboards manufacture // *Antioxidants*. 8(8). 2019. pp. 1–16. <https://doi.org/10.3390/antiox8080263> (<https://www.mdpi.com/2076-3921/8/8/263>)

11. Kasabova K., Zagorulko A., & Zahorulko A. Development of a method for producing fruit berry paste and equipment for its implementation. *Technology Audit and Production Reserves*. 2(3(52)). 2020. pp. 38–40.

<https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.202291>

(<http://journals.uran.ua/tarp/article/view/202291>)

12. Lehmann S. E., Buchholz M., Jongsma A., Innings F., Heinrich S. Modeling and flowsheet simulation of vibrated fluidized bed dryers // *Processes*. 9(1). 2021. pp. 1–31. <https://doi.org/10.3390/pr9010052>

(<https://www.mdpi.com/2227-9717/9/1/52>)

13. Khanzharov N. S., Abdizhapparova B. T., Ospanov B. O., Dosmakanbetova A. A., Baranenko A. V., Kumisbekov S. A., Serikuly Z. Designs of dryers based on combination of vacuum and atmospheric drying of food

products // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. 5(431). 2018. pp. 141–149. <https://doi.org/10.32014/2018.2518-170X.20> (<http://www.geolog-technical.kz/images/pdf/g20185/141-149.pdf>)

14. Michalska-Ciechanowska A., Majerska J., Brzezowska J., Wojdyło A., & Figiel A. (2020). The influence of maltodextrin and inulin on the physico-chemical properties of cranberry juice powders // *ChemEngineering*. 4(1). pp. 1–12. <https://doi.org/10.3390/chemengineering4010012> (<https://www.mendeley.com/catalogue/6a45a491-3ec6-3fbe-bb02-59b9cd01487f/>)

15. Wang Y., Selomulya C. (Spray drying strategy for encapsulation of bioactive peptide powders for food applications // *Advanced Powder Technology*. 31(1). 2020. pp. 409–415. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2019.10.034> (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921883119304054?via%3Dihub>)

16. Lv W., Li D., Lv H., Jin X., Han Q., Su D., Wang Y. Recent development of microwave fluidization technology for drying of fresh fruits and vegetables // *Trends in Food Science and Technology*. Elsevier Ltd. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.047> (<https://www.mendeley.com/catalogue/1a5d6c3a-c921-3401-b66e-018dc249882e/>)

17. Pogozhikh M., Pak A. The development of an artificial energotechnological process with the induced heat and mass transfer // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 1/8(85). P. 50–58. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.91748> (<http://journals.uran.ua/eejet/article/view/91748>)

18. Погожих М. І., Пак А. О., Пак А. В., Жеребкін М. В. Технічна реалізація апаратів з використанням процесу індукованого тепломасообміну // *Science Rise*. 2017. № 6(35). С. 29–33. <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2017.103600> (http://nbuv.gov.ua/UJRN/text_2017_6_8)

19. Артамонова М. В. Технологія мармеладу желейного з використанням кріас-порошків рослинного походження / М. В Артамонова, Г. М. Лисюк, Н. Ф. Туз. – Х. : ХДУХТ, 2015. – 134 с.

20. Артамонова М. В., Пілюгіна І. С., Шматченко Н. В. Удосконалення технологій мармеладно-пастильних виробів з використанням рослинних добавок, отриманих за кріотехнологіями // Повноцінне харчування: інноваційні аспекти технології, енергоефективного виробництва, зберігання та маркетингу: колективна монографія. Харків: ХДУХТ, 2015. С. 229–256.

21. Артамонова М.В. Шматченко Н.В. Технология мармелада с использованием плодово-овощных криопаст и криопорошков //Хлебопек. 2015. № 6. С. 36–37.

22. Shmatchenko N., Artamonova M., Aksonova O., Oliinyk S. Investigation of the properties of marmalade with plant cryoadditives during storage // Food Science and Technology. 2018. Vol. 12, Issue 1. P. 87–94.

23. Чуйко А. М., Чуйко М. М., Орлова О. С., Єрьоменко С. О. Дослідження якості виробів із дріжджового тіста і пісочного печива з використанням кріо-порошків із рослинної сировини // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. Т. 2, № 12 (68). С. 133–137.

24. Дорохович А.М. Оптимізації технологічних процесів галузі (кондитерське виробництво): конспект лекцій для студ. спец. 7.091702 «Технологія хліба, кондитерських, макаронних виробів та харчоконцентратів» / А.М. Дорохович, В.І. Оболкіна, О.О. Гавва. – К.: НУХТ, 2009. – 89 с.

25. Дорохович А., Дорохович В., Зинченко Т. Оптимізація технологічних процесів галузі. Інкос. 2018. 392 с.

26. Туз Н.Ф., Артамонова М.В., Лисюк Г.М. Оптимізація технологічних параметрів приготування желейного мармеладу з кріас-порошками// Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. пр. 2012. Вип. 1 (15). С. 190–196.

27. Acosta O., Viquez F. Cubero E. Optimisation of low calorie mixed fruit jelly by response surface methodology // Food Quality and Preference. 2008. № 19. P. 79-85.
28. Магомедов Г. О., Журавлев А. А., Плотникова И. В., Шевякова Т. А. Оптимизация рецептуры зефира на желатине функционального назначения // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. № 1. С. 126-129.
29. Магомедов Г.О., Журавлев А.А., Шевякова Т.А., Седых Д.В. Использование функции Харрингтона для оптимизации рецептурного состава батончиков типа пралине // Вестник ВГУИТ. 2014. № 2. С. 99-103.
30. Свечников А.Ю., Чалдаев П.А. Использование математического моделирования для оптимизации рецептурного состава зефира на основе порошка из яблочных выжимок // Современное хлебопекарное производство: перспективы развития. Сб. науч. тр. XVI Всероссийской заочной научно-практической конференции. 2015. № 2. С. 103-108.
31. Бадрук В.В., Зінченко Т.В., Дорохович А.М., Оптимізація рецептурних композицій кондитерського виробу маршмеллоу дієтичного призначення // Обладнання та технології харчових виробництв. 2013. № 30. С. 320-326.
32. Завгородній О. І. Дослідження параметрів роботи сепаратора вертикального типу для розділення зернових сумішей/ Завгородній О. І., Синяєва О. В.// Матеріали тез XII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв». Харків, 2012.
33. Завгородній О. І., Просторовий удар сферичного тіла об перешкоду/Завгородній О. І., Синяєва О. В.// Матеріали тез XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв» , Харків, 2014

34. Заика П.М. Вибрационное перемещение твёрдых и сыпучих тел в сельскохозяйственных машинах: Практическое пособие / П.М. Заика. – Киев: Изд-во УСХА, 1998.-625 с.
35. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Том 3, розділ 7. Очистка і сортування насіння / П.М. Заїка. – Х.: Око, 2006. – 408 с.
36. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И.Г. Зедгинидзе. – М.: Наука, 1976. – 390 с.
37. Синяева О.В. Метод получения математической модели произвольного объекта/ Синяева О.В., Абдуев М.М., Журавский А.А. // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит, №12(94), 2011. – с.50.
38. Синяева О.В. Метод автоматического построения математической модели планирования эксперимента/О. В. Синяева// Матеріали Х Міжнародної науково-методичної конференції «Інноваційні напрямки розвитку технічного сервісу машин». Харків,2012
39. Olga Sinyayeva К вопросу планирования эксперимента на базе прикладного пакета Excel. / Olga Sinyayeva, Alexei Zavgrodney, Alexander Obyhvest // Commission of motorization and energetics in agriculture(MOTROL) : Lublin ,Poland, 2013. –Vol.15 №7 P. 200-205.
40. Бакум М. В., Крекот М. М., Абдуев М. М., Майборода М. М. Результаты виробничих випробувань пневматичного сепаратора на додатковому сортуванні насіння гороху. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. 2019. Вип. 198. С. 74-77.
41. Доочищення та сортування насіння сафлору на віброфрикційному сепараторі / М. В. Бакум та ін. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. 2019. Вип. 198. С. 12-17.
42. Дослідна справа в агрономії: навч. посіб.: у 2 кн. Кн. 1: Теоретичні аспекти дослідної справи / А. О. Рожков та ін.; за ред. А. О. Рожкова. Харків: Майдан, 2016. 316 с.
43. Дринча В. М. Исследование сепарации семян и разработка машинных технологий их подготовки. Воронеж: НПО «Модек», 2006. 384 с.

44. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Харків: Око, 2006. Т. 3. 408 с.
45. Методика наукових досліджень в агрономії: навч. посіб. / В. Г. Дідора та ін. Київ: Центр навч. літ., 2013. 264 с.
46. Обґрунтування ефективності використання решітних сепараторів для підготовки посівного матеріалу сафлору / М. В. Бакум та ін. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. 2019. Вип. 198. С. 18-25.
47. Ушкаренко В. О. Вирощування сафлору красильного на півдні України: практичні рекомендації / під ред. П. Н. Лазера. Херсон: ПП «ЛТ-Офіс», 2012. 28 с.
48. Філіпов Є. Г. Агротехнічні прийоми на економічну ефективність вирощування сафлору красильного в умовах зрошення півдня України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2014. Вип. 2. С. 143-149.
49. Харченко С. О. Апробація розроблених решіт з активаторами у виробничих умовах. *Матеріали наук.-практ. конф. викладачів, аспірантів та студентів*. Суми: НАУ, 2017. Т. 3. С. 68.
50. Харченко С. О. Теорія процесів просіювання зернових сумішей на віброрешетах зерноочисних машин. *Цілі сталого розвитку третього тисячоліття: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 23-25 трав. 2018 р.* Київ: НУБіП, 2018. Т. 5. С. 249-253.

ПОГОДЖЕНО

Проректор з наукової роботи
Державного біотехнологічного
університету

Валерій МИХАЙЛОВ
(підпис) 05 2023 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної роботи
Державного біотехнологічного
університету

Максим СЕРІК
(підпис) 05 2023 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ**результатів науково-дослідних, дослідно-конструкторських і
технологічних робіт в освітній процес закладів вищої освіти**

Замовник Державний біотехнологічний університет
(найменування організації)
Кудряшов Андрій Ігорович
(П.І.Б. керівника організації)

Дійсним актом підтверджується, що результати науково-дослідної роботи

Впровадження результатів оптимізації режимних характеристик
процесу взаємодії сипкого матеріалу з вібруючими поверхнями № 6-23 ДП
(найменування теми, № держ. реєстрації)

виконаної на кафедрі фізики та математикивиконуваної з 20.04.2023 по 29.09.23 р.впроваджені на кафедрі фізики та математики
(найменування структурного підрозділу, де здійснювалося впровадження)

1. Вид впроваджених результатів методика оптимізації режимних характеристик
процесу взаємодії сипкого матеріалу з вібруючими поверхнями
(технологія, обладнання, методики, тощо)
2. Форма впровадження доповнення до лекції з дисципліни «Фізика», наочні
матеріали для проведення занять
3. Новизна результатів науково-дослідних робіт модернізація відомих розробок, яка
полягає у створенні методики і програми проведення факторного експерименту
(піонерське, принципово нове, якісно нове, модифікації, модернізація старих розробок)
4. Перелік курсів і дисциплін, у рамках яких викладені результати НДР «Фізика»
5. Соціальний і науково-економічний ефект результати впроваджені у виробництво
ТОВ «НВК ВОСТОК-АЛЬФА»

Зав. кафедрою

А.О. Пақ
(підпис) (ініціали, прізвище)

Керівник НДР

А.О. Пақ
(підпис) (ініціали, прізвище)
« 29 » 05 2023 р.

Відповідальний за впровадження

О.В. Сіняєва
(підпис) (ініціали, прізвище)
« 29 » 05 2023 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ПОГОДЖЕНО
 Проректор з наукової роботи ДБТУ

Валерій МИХАЙЛОВ
 2023 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Директор ТОВ «НВК ВОСТОК-АЛЬФА»

М.П. Василь ПЕТРУШОВ
 2023 р.



А К Т
 ВПРОВАДЖЕННЯ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ У ВИРОБНИЦТВО

ТОВ «НВК ВОСТОК-АЛЬФА»

(найменування організації)

Петрушов Василь Володимирович

(П.І.Б. керівника організації)

Цим актом підтверджується, що результати роботи «Впровадження результатів оптимізації режимних характеристик процесу взаємодії сипкого матеріалу з вібруючими поверхнями», яку виконано на кафедрі фізики та математики Варгівського НП згідно договору № 6-23 ДП становить 40000,00 грн (сорок тисяч грн 00 коп.)

(цифрами та прописом)

Термін виконання: з 20 квітня 2023 року по 30 червня 2023 року

впроваджені в ТОВ «НВК ВОСТОК-АЛЬФА»

(найменування підприємства, де здійснювалось впровадження)

1. Вид впроваджених результатів режимні характеристики процесу взаємодії сипкого матеріалу з вібруючими поверхнями
2. Характеристика масштабу впровадження: створені методики і програми проведення факторного експерименту
3. Форма впровадження: оптимізація характеристики процесу взаємодії сипкого матеріалу з вібруючими поверхнями
4. Новизна результатів науково-дослідних робіт: адаптація методики проведення факторного експерименту під виробничі вимоги

5. Дослідно-промислова перевірка

(вказати номер і дату актів випробувань)

(найменування підприємства, період)

6. Впроваджені:

- в промислове виробництво

(участок, цех/и, процес)

ВІД ВИКОНАВЦЯ

Керівник НП

М.П. Андрій ПАК
 «___» _____ 2023 р.

ВІД ПІДПРИЄМСТВА

Директор ТОВ «НВК ВОСТОК-АЛЬФА»

М.П. Василь ПЕТРУШОВ
 «___» _____ 2023 р.