

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ  
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**ЗБІРНИК ПРАЦЬ**

***XVII Міжнародної наукової конференції***  
**«УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І**  
**ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ТА**  
**ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ»**

***3-8 вересня 2018 р.***



**ОДЕСА  
2018**

Публікуються доповіді, представлені на XVII Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв» (3 – 8 вересня 2018 р.) і присвячені актуальним проблемам підвищення енергоефективності в сфері АПК, харчових та хімічних виробництвах, розробки та впровадження ресурсо-та енергоефективних технологій та обладнання, альтернативних джерел енергії.

Редакційна колегія:

Доктор техн. наук, професор  
Кандидат техн. наук

О.Г. Бурдо  
Ю.О. Левтринська

## МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ОРГКОМІТЕТ

|                                                  |                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Єгоров</b><br><i>Богдан Вікторович</i>        | – голова, Одеська національна академія харчових технологій, ректор, д.т.н., професор                                       |
| <b>Бурдо</b><br><i>Олег Григорович</i>           | – вчений секретар, Одеська національна академія харчових технологій, д.т.н., професор                                      |
| <b>Атаманюк</b><br><i>Володимир Михайлович</i>   | – Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор                                                       |
| <b>Васильєв</b><br><i>Леонард Леонідович</i>     | – Інститут тепло- і масообміну ім. А.В. Ликова, Республіка Білорусь, д.т.н., професор                                      |
| <b>Гавва</b><br><i>Олександр Миколайович</i>     | – Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор                                                           |
| <b>Гумницький</b><br><i>Ярослав Михайлович</i>   | – Національний університет „Львівська політехніка”, д.т.н., професор                                                       |
| <b>Долинський</b><br><i>Анатолій Андрійович</i>  | – Інститут технічної теплофізики, почесний директор, д.т.н., академік НАН України                                          |
| <b>Зав’ялов</b><br><i>Владимир Леонідович</i>    | – Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор                                                           |
| <b>Сукманов</b><br><i>Валерій Олександрович</i>  | – Полтавський університет економіки і торгівлі, д.т.н., професор                                                           |
| <b>Колтун</b><br><i>Павло Семенович</i>          | – Technident Pty. Ltd., Australia, Dr.                                                                                     |
| <b>Корнієнко</b><br><i>Ярослав Микитович</i>     | – Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, д.т.н., професор                          |
| <b>Малежик</b><br><i>Іван Федорович</i>          | – Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор                                                           |
| <b>Михайлов</b><br><i>Валерій Михайлович</i>     | – Харківський державний університет харчування та торгівлі, д.т.н., професор                                               |
| <b>Паламарчук</b><br><i>Ігор Павлович</i>        | – Національний університет біоресурсів та природокористування України, д.т.н., професор                                    |
| <b>Снежкін</b><br><i>Юрій Федорович</i>          | – Інститут технічної теплофізики, директор, д.т.н., академік. НАН України                                                  |
| <b>Сорока</b><br><i>Петро Гнатович</i>           | – Український державний хіміко-технологічний університет, д.т.н., почесний професор                                        |
| <b>Тасімов</b><br><i>Юрій Миколайович</i>        | – Віце-президент союзу наукових та інженерних організацій України                                                          |
| <b>Товажнянський</b><br><i>Леонід Леонідович</i> | – Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, д.т.н., професор, член-кореспондент НАН України |
| <b>Ткаченко</b><br><i>Станіслав Йосифович</i>    | – Вінницький національний технічний університет, г. Вінниця, д.т.н., професор                                              |
| <b>Черевко</b><br><i>Олександр Іванович</i>      | – Харківський державний університет харчування та торгівлі, ректор, д.т.н., професор                                       |
| <b>Шит</b><br><i>Михайл Львович</i>              | – Інститут енергетики Академії Наук Молдови, к.т.н., в.н.с.                                                                |
| <b>Сухий</b><br><i>Константин Михайлович</i>     | – ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», д. хім. н., професор                                      |

---

**СЕКЦІЯ 1.**

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ  
ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ,  
ТЕПЛОВИХ, МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ**

---

УДК 66.047

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ СУСПЕНЗОВАНОГО ГРИБА ШИІТАКЕ В СИСТЕМІ «КРАПЛЯ-ПАРОГАЗОВЕ СЕРЕДОВИЩЕ»

Шаркова Н.О., канд. техн.наук, пров. наук. співр., Турчина Т.Я., канд. техн. наук., ст. наук. співр.,  
Жукотський Е.К., ст.наук. співр., Костянець Л.О.  
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

## INVESTIGATION OF THE PROCESS OF DRYING SUSPENDED SCHIATAK MUSHROOM IN THE SYSTEM "DROP – STEAM ENVIRONMENT"

Sharkova N.A., Cand. Sc. Science, Lead.Res., Turchyna T.J., Cand. Sc. Science, Sen. Res. Fell.,  
Zhukotsky E.K., Sen. Res. Fel., Kostyanets L.A.  
Institute of Engineering Thermophysics NAS of Ukraine, m. Kyiv

*Вивчено вплив температурних режимів на кінетичні залежності процесу сушіння крапель суспензій гриба шиїтаке та морфологічні, термопластичні і адгезійні характеристики висушених часток.*

*The influence of temperature regimes on the kinetic dependence of the drying process of shiitake mushroom suspension droplets and morphological, thermoplastic and adhesion characteristics of dried particles were studied.*

Ключові слова: грибна суспензія, крапля, теплоносій, випарювання, температура, час сушіння.

Унікальні лікувальні якості гриба шиїтаке широкого відомі у світі. Зацікавленість у використанні його як лікувального засобу зростає, а вивчення його як об'єкту розпилювального сушіння на сьогодні є актуальним та перспективним, оскільки у порошковій формі значно подовжується термін його зберігання і розширюються можливості його застосування у різних галузях.

Виробництво порошкової форми гриба шиїтаке на розпилювальній сушарці має включати стадію підготовки грибної суспензії до сушіння та безпосередньо стадію розпилювального сушіння.

Особливості будови та міцність волокнистих структур гриба шиїтаке вимагають окремої уваги щодо вибору на стадії підготовки продукту до сушіння технічних засобів диспергування та гомогенізації для отримання достатньо текучої суспензії з високим ступенем дисперсності часточок нерозчинних фракцій, що важливо для забезпечення однорідного дисперсного складу крапель у факелі розпилу, що в свою чергу обумовлює рівномірність їх висушування й уникнення відкладень в сушильній камері.

Вибір режимів розпилювального сушіння суспензованого гриба шиїтаке має ґрунтуватись на знанні кінетичних закономірностей процесу сушіння і розумінні доцільності використання раціональних температурних режимів для досягнення ефективного висушування продукту до низької кінцевої вологості за умов збереження цінних біологічно активних речовин та лікувальних його якостей.

**Мета** роботи полягала у вивченні впливу температурних режимів на процеси тепловологопереносу при сушінні одиничних крапель грибної суспензії у потоці нагрітого теплоносія та стан висушених часток на наявність термопластичних та адгезійних властивостей, їх міцність та щільність.

Дослідження проводились в системі «крапля – парогазове середовище» на експериментальному стенді ІТТФ НАН України (рис. 1), де створені умови для моделювання процесів тепломасопереносу при сушінні одиничних крапель розміром ~1,5 мм в потоці нагрітого теплоносія. Нещодавно стенд був оновлений завдяки застосуванню сучасної цифрової техніки. Програмне забезпечення запису в автоматичному режимі «1с» зміни температури краплі у часі здійснюється тепер за допомогою спеціального цифрового реєстратора температури. Накопичені в ньому цифрові дані передаються на ПК, де за ними отримують термограми, обробляють їх та будують кінетичні залежності. Цифровим мікроскопом, який транслює зображення краплі й усі операції, що відбуваються з нею, на монітор ПК, здійснюється відеозапис процесу сушіння краплі[1]. Завдяки такому програмному забезпеченню експериментальні дослідження процесу сушіння одиничних крапель у потоці нагрітого теплоносія проводяться на сучасному рівні, при цьому забезпечується скорочення часу на обробку та аналіз отриманих експериментальних та розрахункових даних.

Дослідження процесу сушіння одиничних крапель грибної суспензії проводились при температурах теплоносія (повітря): 140°C, 160°C, 180°C та 200°C, отримані термограми наведені на рис. 2.

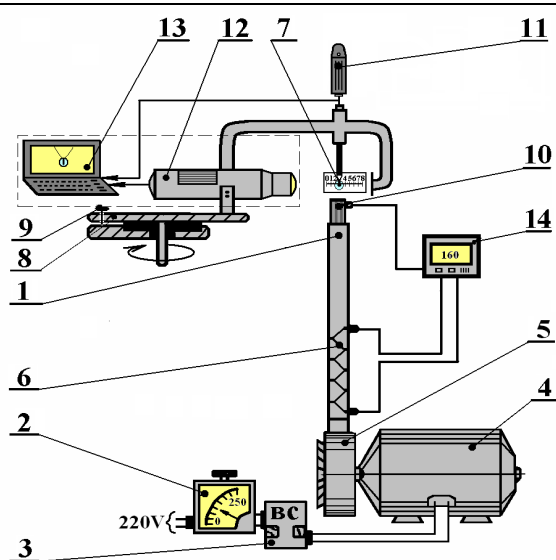


Рис. 1. Схема експериментального стенду для досліджень процесу сушіння одиничних крапель в потоці нагрітого повітря:

- 1 – кварцова аеродинамічна труба;
- 2 – регулятор напруги;
- 3 – перетворювач струму;
- 4 – двигун постійного струму;
- 5 – вентилятор;
- 6 – електронагрівач повітря;
- 7 – термопара для навішування крапель;
- 8 – обертовий столик;
- 9 – фіксатор;
- 10 – термопара контролю температури теплоносія;
- 11 – цифровий реєстратор температури з програмним забезпеченням накопичення даних у ПК;
- 12 – цифровий мікроскоп;
- 13 – ПК;
- 14 – датчик контролю температури теплоносія.

Ідентифікація термограм сушіння крапель грибної суспензії згідно класифікації рідинних матеріалів як об'єктів сушіння методом розпилювання [2] показує, що суспензії, отримані з плодового тіла гриба шийтаке, відносяться до II типу рідинних матеріалів, для яких процес сушіння протікає у два періоди, що розділені на термограмі сингулярною крапкою кр.1:

➤ випарювальному (низькотемпературному) – періоді постійної швидкості випарювання, тривалість якого складає  $\tau_{\text{вип}} = \tau_{\text{кр.1}} = \tau_1 + \tau_2$ , де

$\tau_1$  – короточасна стадія прогрівання краплі (2-3с), яка не розглядається;

$\tau_2$  – достатньо тривала стадія випарювання вологи з вільної поверхні при температурі краплі, близькій до температури «мокрого» термометру (42-58°C);

➤ сушильному (високотемпературному) – періоді падаючої швидкості сушіння, тривалість якого -  $\tau_{\text{суш}} = \tau_3 + \tau_5$ , де

$\tau_3$  – тривалість стадії кіркуттворення ( відрізок термограми від крапки кр.1 до кр.2=кр.3 (за відсутністю стадії кипіння);

$\tau_5$  – тривалість стадії досушування (відрізок від кр.2-3 до виходу температури краплі на постійне значення  $T_k = T_n = \text{const}$ ).

Для даного типу матеріалів за даними [2] максимальна інтенсивність вологопереносу відбувається до крапки кр.1, при цьому:

- інтенсивність вологопереносу є величиною постійною ( $N \approx \text{const}$ ), а вологовміст крапель змінюється в межах  $u_0 > \bar{u} > \bar{u}_{\text{кр.1}}$ ;

- площа поверхні краплі у часі рівномірно зменшується ( $dS/d\tau \approx \text{const}$ ), а її лінійний розмір зменшується до крапки кр.1 і далі залишається без змін:  $\delta_{\text{кр.1}} < \delta_0$  і  $\delta_{\text{кон}} \approx \delta_{\text{кр.1}}$ .

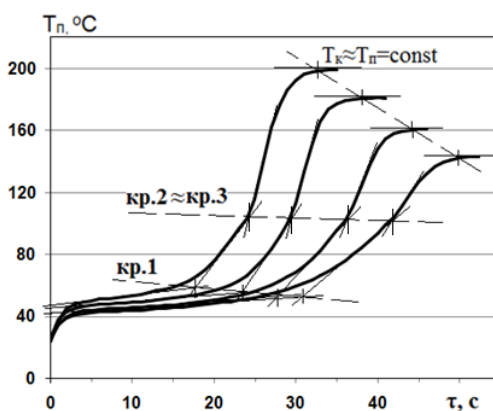


Рис. 2 Термограми сушіння крапель грибної суспензії при температурах теплоносія 140-200°C

Кінетичні залежності, отримані за даними обробки термограм, (рис. 3, 4), показали, що підвищення температури  $T_n$  від 140°C до 160°C не впливає на співвідношення тривалості випарювального  $\tau_{\text{кр.1}}/\tau_{\text{заг}}$  і

сушильного  $\tau_{\text{суш}}/\tau_{\text{заг}}$  періодів, а також співвідношення тривалості зневоднення крапель до крапки кр.3 та стадії досушування  $\tau_{\text{в}}/\tau_{\text{заг}}$ . При цьому показники  $\tau_{\text{кр.1}}/\tau_{\text{заг}}$  і  $\tau_{\text{кр.3}}/\tau_{\text{заг}}$  достатньо високі  $>0,6$  і  $>0,8$  відповідно (рис. 3), що свідчить про високу вірогідність висушування крапель до сухого стану за умов скорочення стадії досушування до значень  $<0,2$  (рис.3, б) і зростанні темпу їх прогрівання до  $14^\circ/\text{с}$  (рис.4, а).

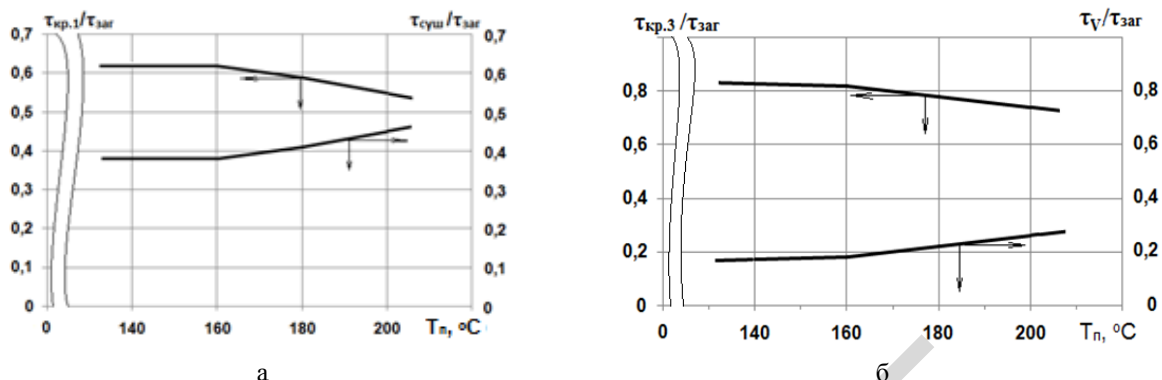


Рис. 3. Кінетичні залежності відносної тривалості: а) випарювального та сушильного періодів процесу сушіння крапель грибної суспензії від  $T_n$ ; б) зневоднення до крапки кр.3 та стадії досушування від  $T_n$ .

При підвищенні температури  $T_n$  до  $180-200^\circ\text{C}$  спостерігається незначне скорочення часу випарювального періоду ( $\tau_{\text{кр.1}}/\tau_{\text{заг}}$ ) і тривалості зневоднення до крапки кр.3 ( $\tau_{\text{кр.3}}/\tau_{\text{заг}}$ ) і відповідне збільшення часу сушильного періоду ( $\tau_{\text{суш}}/\tau_{\text{заг}}$ ) і стадії досушування ( $\tau_{\text{в}}/\tau_{\text{заг}}$ ) (рис.3). Зростання темпу прогрівання крапель у стадії досушування ( $dT_k/d\tau$ )<sub>v</sub> (рис.4, а) обумовлює низькі значення ( $<0,25$ ) тривалості цієї стадії (рис.3,б) і скорочення загального часу сушіння в середньому на 25%(рис.4,б).

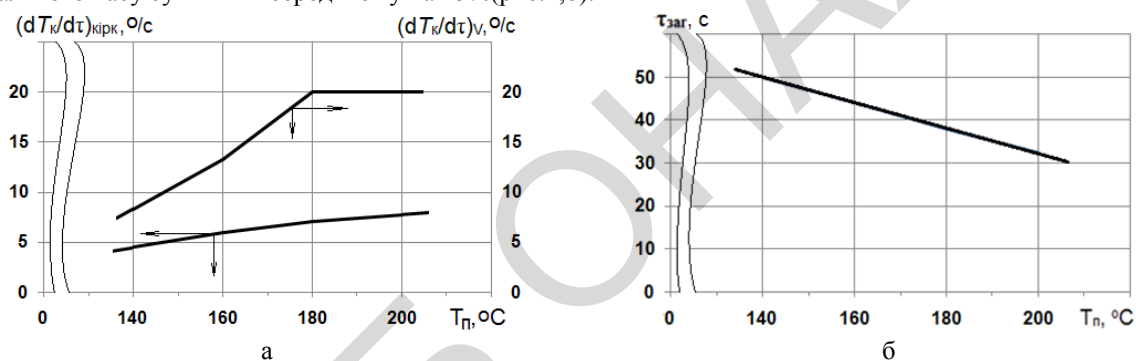


Рис. 4. Кінетичні залежності: а) темпу прогрівання крапель у стадії кіркоутворення та стадії досушування; б) загального часу сушіння крапель грибної суспензії від температури теплоносія  $T_n$ .

Обстеження стану висушених часток, розміри яких були майже удвічі менші за початкові, показали, що в потоці теплоносія частки сухі, м'які і схильні до деформації, адгезійні властивості не проявляють, при зондуванні – рихлі, легко розриваються, виявляючи порожнину всередині частки з тонкими, нещільними й неміцними стінками, що може призвести до відкладень в камері сушарки, зниженню виходу порошку та погіршенню його якості. Після охолодження частки стають твердими і крихкими.

#### Висновки.

Результати досліджень показали, що грибна суспензія може висушуватись методом розпилювання за умов додавання певних структуруючих добавок для підвищення міцності, щільності, термостійкості та поліпшення структурно-механічних характеристик порошку для забезпечення високої якості продукту.

#### Література

1. Шаркова Н.О. Модернізація експериментального стенду для дослідження процесу сушіння одиничних крапель рідинних систем / Н.О.Шаркова, Т.Я. Турчина., Е.К.Жукотський, Л.О.Костянець Л.О./Наукові праці НУХТ. – 2017. – Т.23, №4. – С.120-126.
2. Долинский А.А., Малецкая К.Д. Распылительная сушка. В 2-х т. Т. 1 Теплофизические основы. Методы интенсификации и энергосбережения. – Киев: Академперіодика. – 2011.– 376 с.

## ЗМІСТ

### ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ, ТЕПЛОВИХ, МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ

|                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВПЛИВ МЕТОДИКИ РОЗМІЩЕННЯ СИРОВИННИХ ПОЛІН ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ДЕРЕВНОГО ВУГІЛЛЯ ПІРОЛІЗНИМ СПОСОБОМ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ                                                     |    |
| Товажнянский Л.Л., Ведь В.Є., Миронов А.М. ....                                                                                                                                    | 5  |
| ТЕПЛООБМІННИКИ КРІОМОДУЛІВ НА БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ СУМІШАХ                                                                                                                           |    |
| Литвиненко М.П., Туз В.О. ....                                                                                                                                                     | 10 |
| ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ФІТОЕСТРОГЕННОЇ СИРОВИНИ                                                                                                                   |    |
| Петрова Ж.О., Слободянюк К.С. ....                                                                                                                                                 | 12 |
| ЗВ'ЯЗОК ЯВИЩА ГІДРОДИНАМІЧНОЇ КАВІТАЦІЇ ТА ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОКАЗНИКІВ ВОДИ                                                                                                     |    |
| Авдєєва Л.Ю., Жукотський Е.К., Макаренко А.А. ....                                                                                                                                 | 17 |
| КОНВЕКТИВНО-ТЕРМОРАДІАЦІЙНЕ СУШІННЯ ЯБЛУЧНИХ СНЕКІВ ЗА УМОВ РУХУ ПОВІТРЯ                                                                                                           |    |
| Малежик І. Ф., Дубковецький І. В., Стрельченко Л. В. ....                                                                                                                          | 20 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ЕКСТРАГУВАННЯ СІРЧАНОКИСЛОЇ МІДІ ЗА УМОВ ВАКУУМУВАННЯ                                                                                                         |    |
| Симак Д.М. Склабінський В.І. ....                                                                                                                                                  | 24 |
| ВПЛИВ РОЗЧИННИХ РЕЧОВИН НА СТАН ВОДИ В РОСЛИННИХ ТКАНИНАХ ТА КІНЕТИКУ ЇХ СУШІННЯ                                                                                                   |    |
| Дмитренко Н.В. ....                                                                                                                                                                | 30 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДІОКСИДУ СУЛЬФУРУ ТА НІТРОГЕНУ НА ПРОЦЕС ПОГЛИНАННЯ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ ХЛОРОФІЛСИНТЕЗУЮЧИМИ МІКРОВОДОРОСТЯМИ                                                     |    |
| Дячок В.В., Катишева К.В., Гуглич С.І., Мандрик С.Т. ....                                                                                                                          | 35 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АБСОРБЦІЇ КИСНЮ В РОТОРНО-ПУЛЬСАЦІЙНОМУ АПАРАТІ                                                                                                           |    |
| Ободович О.М., Сидоренко В.В. ....                                                                                                                                                 | 41 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО СОСТАВА БАКТЕРИАЛЬНОГО ПРЕПАРАТА «БИФАЦИЛ» НА ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА РАСПЫЛИТЕЛЬНОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОНЕЧНОГО ПРОДУКТА |    |
| Переяславцева Е.А. ....                                                                                                                                                            | 44 |
| ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ                                                                                                                    |    |
| Рябова І.Б., Петухова О.А., Горносталь С.А., Щербак С.М. ....                                                                                                                      | 50 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ СУСПЕНЗОВАНОГО ГРИБА ШИЇТАКЕ В СИСТЕМІ «КРАПЛЯ-ПАРОГАЗОВЕ СЕРЕДОВИЩЕ»                                                                                  |    |
| Шаркова Н.О., Турчина Т.Я., Жукотський Е.К., Костянець Л.О. ....                                                                                                                   | 55 |
| КОНВЕКТИВНЕ ЗНЕВОДНЕННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ БАТАТУ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ                                                                                                     |    |
| Шапар Р.О., Гусарова О.В. ....                                                                                                                                                     | 58 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ БУРЯКОВОГО ЖОМУ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОКОРМІВ                                                                                                       |    |
| Гнатів З.Я., Мосюк М.І., Дулеба В.П. ....                                                                                                                                          | 62 |
| ПРОЦЕС ЕКСТРАГУВАННЯ З ПЛОДІВ ШИПШИНИ У ВАКУУМНОМУ МІКРОХВИЛЬОВОМУ АПАРАТІ                                                                                                         |    |
| Левтринська Ю.О., Альхурі Юсеф, Голінська Я.А., Терзієв С.Г. ....                                                                                                                  | 66 |

### МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕНОСУ. ОПТИМІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ І СИСТЕМ

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| ТЕПЛООБМІН ПРИ ПЛАВЛЕННІ ТА КРИСТАЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ |    |
| Корінчевська Т.В., Снєжкін Ю.Ф., Михайлик В.А. ....                   | 73 |