

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЯКОБЧУК РОМАН ЛЕОНІДОВИЧ



УДК 664.8.047:663.123

**РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ
ДЕСТРУКТУРОВАНИХ ПИВНИХ ДРІЖДЖІВ**

Спеціальність 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних
та фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ 2009

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор **Яровий Володимир Леонідович**, Національний університет харчових технологій, професор кафедри технологічного обладнання харчових виробництв

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Сукманов Валерій Олександрович**, Донецький національний університет економіки і торгівлі імені М. Туган-Барановського, завідувач кафедри загальноінженерних дисциплін, директор інституту харчових виробництв;

кандидат технічних наук, доцент **Бодров Віктор Семенович**, Національний університет харчових технологій, професор кафедри процесів і апаратів харчових виробництв та технології консервування.

Захист відбудеться “04” березня 2009 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02 Національного університету харчових технологій за адресою:

01033 м. Київ, вул. Володимирська, 68, аудиторія А-311.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01033 м. Київ, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розісланий “28” січня 2009 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., доц.



Л.О. Кривопляс-Володіна

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Проблема переробки і використання пивних дріжджів є однією з актуальних у галузі пивоваріння. У зв'язку з великим вмістом поживних речовин, а саме білків, вуглеводів, жирів та вітамінів, дріжджі набули широкого використання в харчовій, фармацевтичній і мікробіологічній промисловості.

Одним із найефективніших способів збільшення тривалості зберігання дріжджів є зневоднення, а саме висушування їх до рівноважної вологості.

Отже, розроблення нових та удосконалення існуючих способів сушіння пивних дріжджів, що дасть можливість зменшити енергетичні затрати, інтенсифікувати процес, уникнути забруднення довкілля і зберегти високі якісні показники готового продукту, є актуальним на даний час. Серед можливих шляхів вирішення проблеми сушіння пивних дріжджів викликає інтерес спосіб зневоднення в розпиленому стані у вібропсевдозрідженому шарі інертного матеріалу, який характеризується високою інтенсивністю і ефективністю.

У зв'язку з цим актуальним завданням сьогодення є розроблення процесу сушіння пивних дріжджів і механізму впливу ряду факторів на нього, що уможливить удосконалення існуючого та розроблення нового високоефективного сушильного обладнання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась відповідно до пріоритетного напрямку наукових робіт НУХТ на 2001–2005 рр. “Розроблення наукових основ тепломасообмінних та інших робочих процесів харчових виробництв з метою створення нового високоефективного обладнання, засобів механізації та автоматизації для харчових і переробних галузей АПК” (схвалено Вченою Радою УДУХТ, протокол №6 від 25.01.2001); на 2006–2010 рр. “Розроблення наукових основ тепломасообмінних та інших процесів харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв з метою створення нових високоефективних технологій та обладнання, засобів механізації та автоматизації для харчових та переробних галузей АПК” (схвалено Вченою Радою НУХТ, протокол №7 від 25.03.2006).

Автором особисто проаналізовано літературні джерела, визначені перспективні напрямки досліджень, запропоновані і проведені експерименти і узагальнення їх результатів.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розроблення процесу, обґрунтування способу та раціональних режимів сушіння деструктурованих пивних дріжджів.

Відповідно до поставленої мети досліджень були сформульовані такі завдання:

- розробити методику дослідження структурно-механічних і теплофізичних властивостей пивних дріжджів;
- обґрунтувати доцільність деструктуризації пивних дріжджів до їх висушування;

- дослідити та визначити раціональні параметри процесу зневоднення деструктурованих пивних дріжджів;
- проаналізувати результати експериментальних досліджень і встановити залежність процесу сушіння деструктурованих пивних дріжджів від їх структурно-механічних, теплофізичних характеристик і технологічних параметрів;
- проаналізувати результати експериментальних досліджень гідродинаміки процесу розпилення вихідних і деструктурованих пивних дріжджів і встановити залежності діаметра краплини та кута розкриття факела розпилення від параметрів процесу;
- дослідити кінетику сушіння одиночних краплин вихідних і деструктурованих пивних дріжджів в потоці теплоносія;
- дослідити кінетику сушіння тонкого шару вихідних та деструктурованих пивних дріжджів;
- дослідити механізм сушіння деструктурованих пивних дріжджів у вібропсевдозрідженому шарі інертного матеріалу;
- розробити рекомендації процесу сушіння деструктурованих пивних дріжджів.

Об'єкт досліджень: виробництво сухих деструктурованих пивних дріжджів.

Предмет досліджень: процес сушіння деструктурованих пивних дріжджів.

Методи дослідження: мікроскопічний і мікробіологічний аналіз, термічний аналіз, стандартні методи визначення структурно-механічних, теплофізичних властивостей, гідродинамічних параметрів розпилення та статистичного опрацювання дослідних даних з використанням комп'ютерної техніки.

Наукова новизна одержаних результатів.

Уперше встановлено вплив деструктуризації на структурно-механічні та теплофізичні характеристики пивних дріжджів.

Встановлено кінетичні залежності сушіння деструктурованих пивних дріжджів у тонкому шарі, одиночної краплини в потоці теплоносія.

Встановлено основні закономірності розпилення вихідних і деструктурованих пивних дріжджів відцентрово-пневматичною форсункою у разі зміни параметрів процесу.

Науково обґрунтовано параметри процесу теплообміну під час сушіння деструктурованих пивних дріжджів у вібропсевдозрідженому шарі інертних тіл.

Практичне значення отриманих результатів.

Розроблено нову конструкцію розпилювача для рідких харчових продуктів (патент на корисну модель України №24349 U від 25.06.2007р).

Запропоновано математичні залежності для визначення структурно-механічних та теплофізичних характеристик вихідних і деструктурованих пивних дріжджів, розрахунку конструктивних параметрів і режимів роботи розпилювача сушарки з вібропсевдозрідженим шаром інертного матеріалу.

Запропоновано раціональні режими процесу сушіння деструктурованих пивних дріжджів у сушарках із вібропсевдозрідженим шаром інертного матеріалу.

Основні положення роботи використовуються у навчальному процесі студентів спеціальності 7.090221 "Обладнання переробних і харчових виробництв".

Рекомендовано до впровадження нову конструкцію розпилювача та рекомендації щодо встановлення його в сушильній камері установки з вібропсевдозрідженим шаром інертного матеріалу.

Особистий внесок здобувача.

Автором особисто проведено теоретичні та експериментальні дослідження, розроблено методики експериментальних досліджень, оброблено, проаналізовано і узагальнено результати експериментів та їх опубліковано. Розроблено рекомендації процесу сушіння деструктурованих пивних дріжджів і сформульовано загальні висновки роботи.

Аналіз та узагальнення результатів досліджень проведено спільно з науковим керівником к.т.н. В. Л. Яровим.

Апробація результатів дисертації.

Основні положення дисертації доповідались на 71, 72, 73 та 74-й наукових конференціях молодих учених, аспірантів і студентів у НУХТ 2005, 2006, 2007, 2008рр., ІХ Міжнародній науково-технічній конференції "Нові технології та технічні рішення в харчовій та переробній промисловості: сьогодення і перспективи" (Київ, 2005).

Робота виконувалась на кафедрі технологічного обладнання харчових виробництв Національного університету харчових технологій. Автор висловлює вдячність працівникам Інституту технічної теплофізики АН України.

Публікації.

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 13 друкованих праць, у тому числі п'ять статей у фахових виданнях, шість тез доповідей на Міжнародних науково-технічних та наукових конференціях, отримано три Патенти України.

Структура і обсяг роботи.

Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку посилань і додатків. Робота викладена на 176 сторінках основного тексту, містить 53 рисунка, 16 таблиць та вісім додатків. Список використаної літератури містить 149 вітчизняних і зарубіжних джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, показано її народногосподарське значення, сформульовані мета і завдання досліджень, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, викладено її загальну характеристику.

У **першому розділі** на основі аналізу результатів теоретичних та експериментальних досліджень вітчизняних і зарубіжних авторів наведено основні положення теорії і практики сушіння продуктів мікробіологічного синтезу, наведено характеристику пивних дріжджів як об'єкта промислового перероблення, встановлено склад, основні фізико-механічні, гігроскопічні та теплофізичні

властивості деструктурованих пивних дріжджів.

Показано, що наведені в літературі дані щодо кінетичних характеристик і температурних режимів процесу сушіння пивних дріжджів характеризуються недостатнім дослідженням і не дають змоги визначити раціональні способи та режими їх сушіння.

Проведено критичний аналіз способів сушіння продуктів мікробіологічного синтезу, що уможливило визначення шляхів розроблення процесу сушіння деструктурованих пивних дріжджів і конструкцій сушильних апаратів.

Аналіз літературних джерел дав можливість сформулювати мету та визначити завдання досліджень.

У **другому розділі** обґрунтовано передумови підготовки методик для проведення експериментальних досліджень з вихідними та деструктурованими дріжджами.

Розроблено методики мікробіологічного та термічного аналізу деструктурованих пивних дріжджів, дослідження фізико-механічних, кінетичних, тепло-масообмінних характеристик, кінетики сушіння краплин і тонкого шару вихідних і деструктурованих пивних дріжджів, розподілу розпиленої дріжджової суспензії у факелі форсунки, теплообміну у процесі сушіння вихідних і деструктурованих пивних дріжджів на поверхні інертного матеріалу. Наведено схеми та опис експериментальних установок.

У **третьому розділі** наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень структурно-механічних характеристик і гідродинаміки розпилення вихідних та деструктурованих пивних дріжджів.

Досліджено та отримано залежності в'язкості вихідних і деструктурованих пивних дріжджів від швидкості зсуву, температури і концентрації сухих речовин. При цьому встановлено зв'язок між ступенем руйнування структури та характером течії пивних дріжджів, а також між швидкістю зсуву рідини у віскозиметрі та швидкістю течії рідини в каналі.

Аналіз графічних залежностей (рис.1, 2), що мають вигляд, характерний для колоїдних капілярно-пористих речовин, свідчить про зменшення в'язкості зі збільшенням швидкості зсуву. Встановлено, що найменше значення в'язкості досягається за швидкості зсуву $150 - 250 \text{ c}^{-1}$ для вихідних дріжджів (рис.1а, 2а) та $250 - 500 \text{ c}^{-1}$ – для деструктурованих (рис. 1б, 2б). При цьому в'язкість вихідних дріжджів вища, ніж деструктурованих, що пояснюється руйнуванням структури пивних дріжджів у процесі їх деструктуризації. Так, за концентрації вихідних дріжджів 6,81 % і швидкості зсуву 250 c^{-1} ефективна в'язкість становить $15 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$, а за концентрації деструктурованих дріжджів 6,84 % і швидкості зсуву $250 \text{ c}^{-1} - 8 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

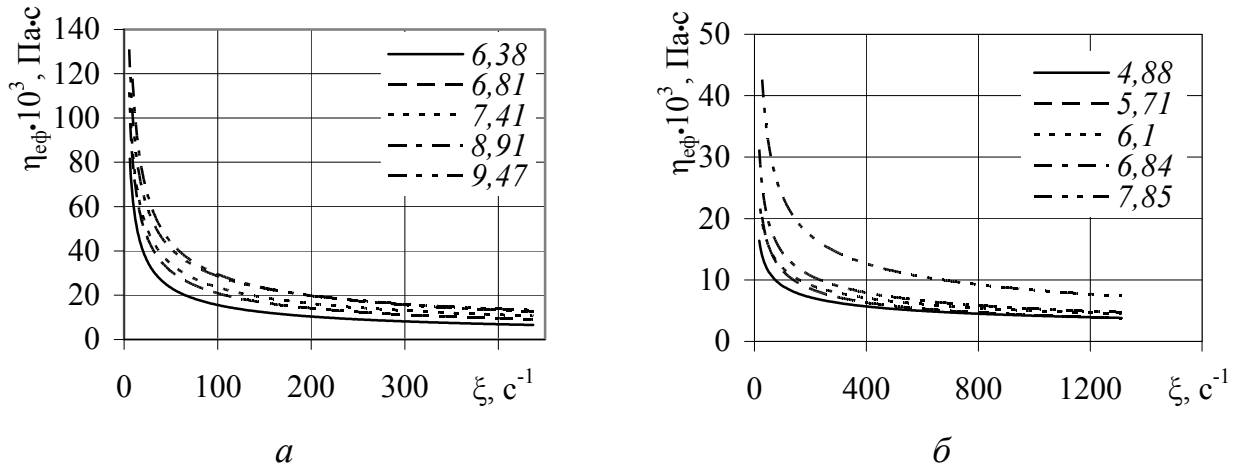


Рис.1. Залежність ефективної в'язкості пивних дріжджів від швидкості зсуву при $T=22\text{ }^{\circ}\text{C}$:
 а – концентрації сухих речовин вихідних дріжджів 6,38 – 9,47 %; б – концентрації сухих речовин деструктурованих дріжджів 4,88 – 7,85 %

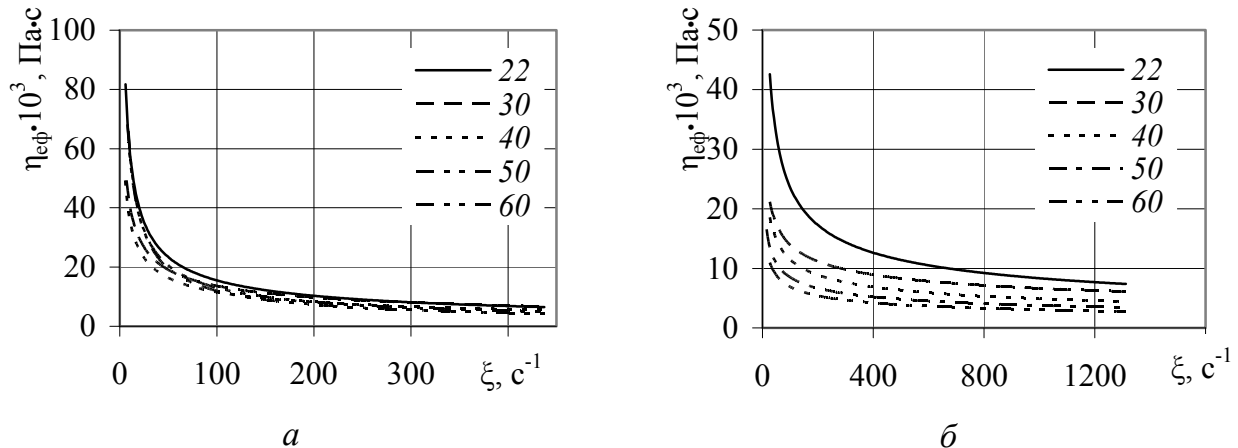


Рис.2. Залежність ефективної в'язкості пивних дріжджів від швидкості зсуву при $T=22 - 60\text{ }^{\circ}\text{C}$:
 а – концентрації сухих речовин вихідних дріжджів 6,38 %; б – концентрації сухих речовин деструктурованих дріжджів 7,85 %

Аналізом результатів експериментальних досліджень в'язкості вихідних і деструктурованих пивних дріжджів встановлено функціональні залежності $\eta_{\text{еф}} = f(\xi, T, \text{CP})$ (табл.1).

Таблиця 1

Функціональна залежність ефективної в'язкості пивних дріжджів від швидкості зсуву та концентрації сухих речовин при $T=22\text{ }^{\circ}\text{C}$

Пивні дріжджі	Функціональна залежність	Константи	Функціональна залежність констант
Вихідні	$\eta_{\text{еф}} = i\xi^{-j} \cdot 10^{-3}$	i	$i = 38,794\text{CP}^3 - 909,42\text{CP}^2 + 7039,8\text{CP} - 17736$
		j	$j = 0,0023\text{CP}^3 - 0,0394\text{CP}^2 + 0,1588\text{CP} + 0,5766$
Деструктуровані	$\eta_{\text{еф}} = i\xi^{-j} \cdot 10^{-3}$	i	$i = 16,051\text{CP}^2 - 155,18\text{CP} + 417,55$
		j	$j = -0,0173\text{CP}^3 + 0,3274\text{CP}^2 - 1,9881\text{CP} + 4,2517$

У процесі сушіння пивних дріжджів у розпилювальних сушарках, у сушарках з вібропсевдозрідженим шаром інертного матеріалу одними із визначальних параметрів, що впливають на процес розпилення і сушіння, є поверхневий натяг і кут змочування.

На рис.3 показано отримані залежності коефіцієнта поверхневого натягу від концентрації сухих речовин для вихідних і деструктурованих пивних дріжджів при температурі 22 °С.

За результатами досліджень встановлено, що зменшення поверхневого натягу зі збільшенням вмісту сухих речовин для вихідних пивних дріжджів відбувається значно інтенсивніше, ніж для деструктурованих.

У табл.2 наведено значення кута змочування для вихідних і деструктурованих пивних дріжджів на поверхні твердих матеріалів. Аналіз результатів досліджень свідчить про доцільність використання фторопласту як інертного матеріалу сушарок із вібропсевдозрідженим шаром.

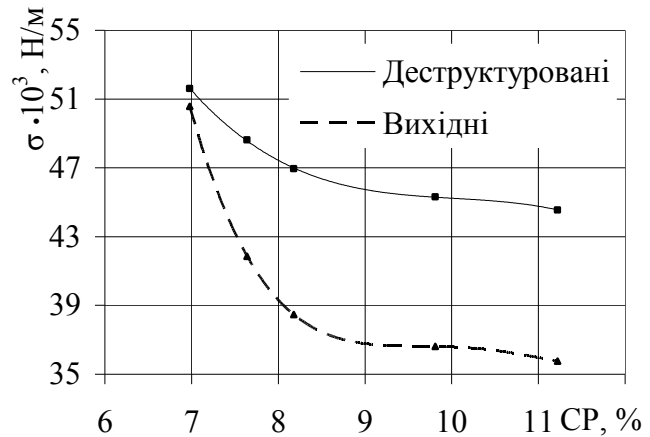


Рис.3. Залежність поверхневого натягу вихідних і деструктурованих пивних дріжджів від концентрації при $T=22\text{ }^{\circ}\text{C}$

Таблиця 2

Значення кута змочування дріжджів залежно від концентрації сухих речовин

Матеріал	Кут змочування, град, за концентрації дріжджів, %			
	вихідні		деструктуровані	
	6,98	8,18	6,26	8,23
Скло	48,3	43	44,75	44,75
Метал	39	52	35,5	40,25
Фторопласт	84	82,25	75,75	61,5

Аналітично досліджено розпилення рідини відцентрово-струменевими та відцентрово-пневматичними форсунками. В результаті отримано графічні та функціональні залежності коефіцієнтів заповнення сопла форсунки φ_c та витрат рідини μ_p від геометричної характеристики форсунки A_c та залежність кута факела розпилення γ від A_c . При зміні геометричної характеристики A_c від нуля до трьох коефіцієнти μ_p , φ_c зменшуються відповідно від 1 до 0,23 та 0,43.

Аналіз залежності геометричної характеристики A_c від радіусів закручування потоку рідини R , вхідного каналу $r_{вх}$ та сопла r_c проводився при їх зміні в межах: $R=7-9$ мм, $r_{вх}=2-4$ мм, $r_c=0,25-1,5$ мм, які узагальнюють геометричні параметри форсунок промислових сушарок для рідких харчових продуктів.

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що за сталого значення радіуса закручування потоку рідини $R=8$ мм і зміни значення

геометричної характеристики $0 \leq A_c \leq 3$ кут факела розпилення γ змінюється за степеневою залежністю. Найбільше його значення дорівнює $\gamma = 104^\circ$, якщо радіус сопла $r_c = 1,5$ мм та радіус входу $r_{вх} = 2$ мм. Аналізом результатів експериментів встановлено, що зміна радіуса сопла форсунки впливає інтенсивніше на збільшення кута факела розпилення γ .

У результаті аналізу факторів, що впливають на значення кута факела розпилення γ та узагальнення їх значень отримано степеневе рівняння

$$\gamma = 65,284 A_c^{0,496}, \quad (1)$$

при $R = 7 - 9$ мм, $r_{вх} = 2 - 4$ мм, $r_c = 0,25 - 1,5$ мм.

У результаті аналітичних та експериментальних досліджень гідродинаміки розпилення відцентрово-пневматичними форсунками отримано рівняння (2) для розрахунку дисперсності розпилення:

$$d_m = 3,15 d_c \sigma^{0,42} \eta^{0,33} v_c^{-0,31}, \quad (2)$$

де v_c – швидкість газорідинної суміші, м/с;

d_c – діаметр сопла, м.

Дослідженням дисперсності краплин дріжджів, отриманих при застосуванні відцентрово-пневматичної форсунки без подачі повітря, встановлено, що зі збільшенням швидкості руху рідини у форсунці діаметр краплин дріжджової суспензії зменшується, але не забезпечує необхідну дисперсність. Так, найменший діаметр краплин для вихідних дріжджів при швидкості $v_{oc} = 7$ м/с у каналі форсунки становить 210, а для деструктурованих – 160 мкм.

Для зменшення дисперсності при розпиленні дріжджів доцільно забезпечити збільшення швидкості їх руху на виході із сопла форсунки подачею повітряного потоку у форсунку.

Результатами досліджень впливу подачі повітряного потоку у сопло форсунки (рис.4) встановлено, що в межах швидкості газорідинної суміші 10 – 40 м/с інтенсивність зменшення діаметра вища, ніж у межах 40 – 80 м/с, як для вихідних, так і деструктурованих дріжджів. При цьому найменший середній діаметр крапель вихідних пивних дріжджів за швидкості газорідинної суміші 80 м/с становить 100, а деструктурованих – 75 мкм.

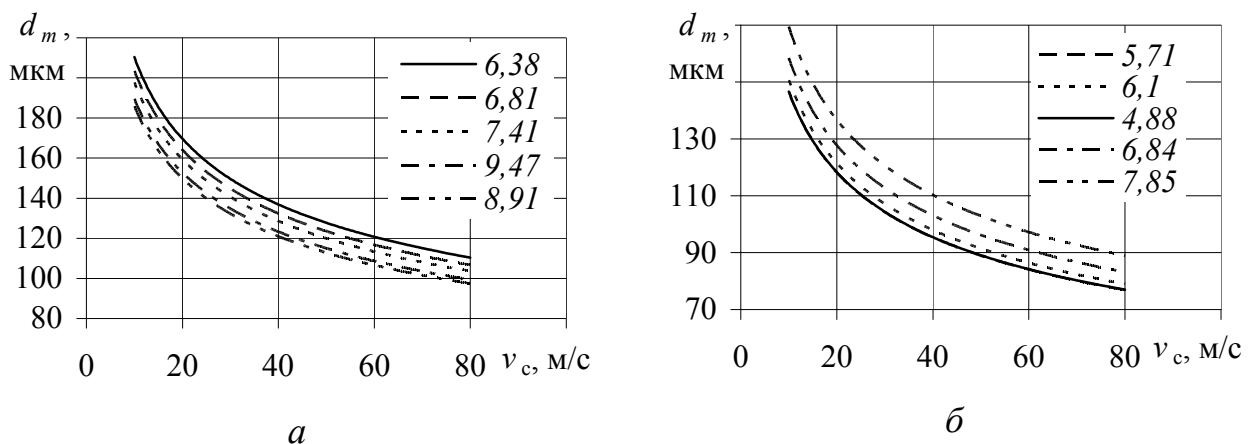


Рис.4. Залежність медіального діаметра крапель пивних дріжджів від швидкості газорідинної суміші: *a* – вихідні дріжджі за концентрації сухих речовин 6,38 – 9,47%; *б* – деструктуровані дріжджі за концентрації сухих речовин 4,88 – 7,85%

У результаті узагальнення досліджень дисперсності розпилення пивних дріжджів запропоновано спрощені функціональні залежності визначення діаметра краплин (табл. 3) за концентрації пивних дріжджів $CP=4 - 10 \%$, оптимального діаметра сопла $d_c=0,002$ м і при температурі $T=22$ °С.

Таблиця 3

Рівняння для визначення медіального діаметра краплин дріжджів

	Дріжджі	Функціональна залежність
Без подачі повітря	Вихідні	$d_m = 734,76CP^{-0,2948}v_{oc}^{-0,31}$
	Деструктуровані	$d_m = 134,4CP^{0,458}v_{oc}^{-0,31}$
З подачею повітря	Вихідні	$d_m = 835,72CP^{-0,3622}v_c^{-0,31}$
	Деструктуровані	$d_m = 134,4CP^{0,458}v_c^{-0,31}$

Рівномірний розподіл крапель рідини у факелі форсунки суттєво впливає на ефективність покриття поверхні інертного матеріалу та інтенсивність процесу сушіння у вібропсевдозрідженому шарі.

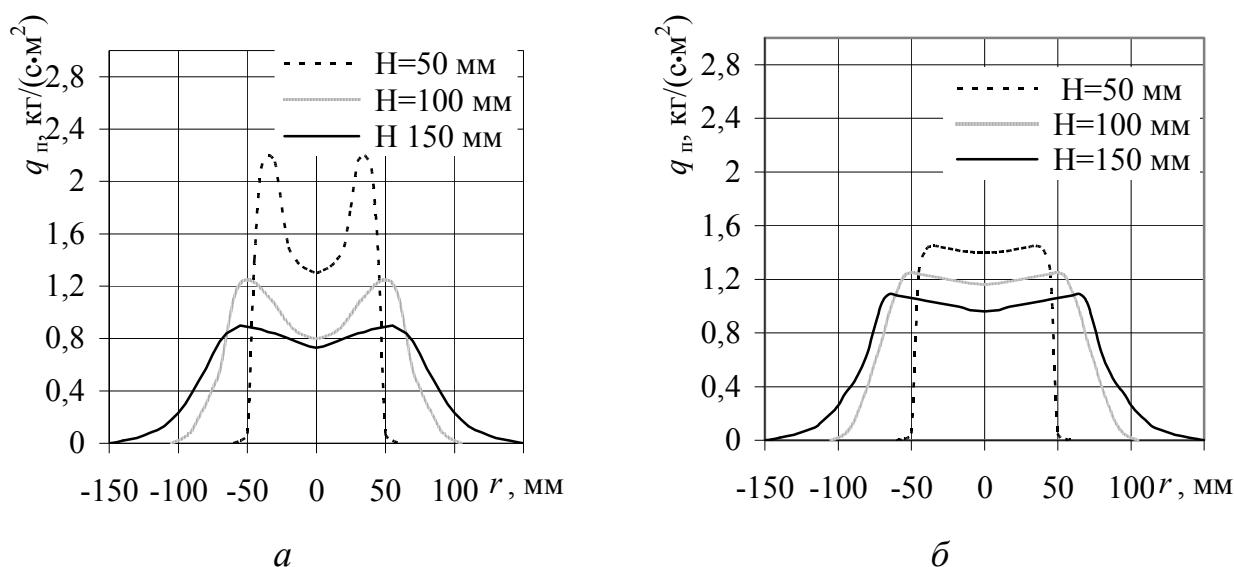


Рис. 5. Розподіл краплин деструктурованих пивних дріжджів у факелі відцентрово-пневматичної форсунки на відстані H від сопла:

a – без подачі повітря; b – з подачею повітря $v_c = 40$ м/с

Так, у факелі відцентрово-пневматичної форсунки без подачі повітря питомий потік розпиленої рідини на осі має менші значення, ніж з подачею повітря, а зі збільшенням відстані від осі він спочатку збільшується, а потім, досявши максимального значення, поступово зменшується (рис.5). Ця відмінність притаманна також для вихідних і деструктурованих дріжджів. Найкращий розподіл питомих потоків забезпечується відцентрово-пневматичною форсункою з подачею повітря для розпилення деструктурованих пивних дріжджів (рис. 5б).

У четвертому розділі наведено результати досліджень гігроскопічних і термічних властивостей вихідних і деструктурованих пивних дріжджів, процесу сушіння їх у тонкому шарі, окремої краплини в потоці теплоносія, у вібропсевдозрідженому шарі інертних тіл.

За результатами досліджень встановлено, що питомий вміст зв'язаної вологи у деструктурованих пивних дріжджах більший, ніж у вихідних. Середнє значення його відповідно дорівнює $1,487 \text{ г}_{\text{води}} / \text{г}_{\text{ср}}$ та $1,227 \text{ г}_{\text{води}} / \text{г}_{\text{ср}}$, що пояснюється зміною структури, а саме утворенням дріжджової дрібнодисперсної суспензії.

Для обґрунтування способу сушіння та вибору раціональних параметрів ведення цього процесу проведено повний термічний аналіз пивних дріжджів. На рис. 6 показано термограми пивних дріжджів у діапазоні температур 20 – 250 °С: крива втрати ваги ТГ, диференціальна крива втрати ваги ДТГ, температурна крива Т і диференціальна крива зміни тепловмісту в процесі термічного оброблення ДТА.

З аналізу отриманих результатів, інтенсивне видалення вологи супроводжується ендотермічним ефектом, який починається при температурі 30 – 35 °С і закінчується при температурі 125 – 135 °С, про що свідчать криві ДТГ і ДТА, які практично паралельні осі часу на цьому проміжку.

При видаленні вологи спостерігаються чотири характерних періоди: перший – відповідає початку прогрівання матеріалу і видаленню вологи при температурах 25 – 50 °С, другий – максимальній швидкості видалення вологи при температурах 50 – 100 °С. Втрата ваги, що відповідає цій температурі, становить близько 70 % початкової вологості. Оптимальна температура цього періоду становить 90 – 95 °С. Встановлено, що в інтервалі температур від 50 до 100 °С видалається вільна та частково зв'язана волога. Це підтверджується графіком прямолінійної зміни швидкості сушіння дріжджів. Подальше зменшення вологості супроводжується підвищенням температури до 125 – 130 °С і зниженням швидкості сушіння. У третьому періоді при температурі від 100 до 130 °С видалається до 10 % вологи, що відповідає вологості пивних дріжджів 8 – 10 %. Четвертий період на кривій ТГ відповідає кінцевій вологості, рівній 3 – 4 %. У цьому періоді крива ТГ різко змінює свій напрямок, наближаючись до прямої, паралельної осі часу. Як видно, процес закінчується при температурі 135 – 140 °С. На цій ділянці відбувається видалення зв'язаної вологи, про що свідчить крива ДТА, яка наближається до прямої, паралельної осі часу.

За результатами термічного аналізу встановлено: рівноважна вологість пивних дріжджів становить 8 – 10 %, що відповідає початку видалення зв'язаної вологи. Максимальне видалення зв'язаної вологи відбувається при

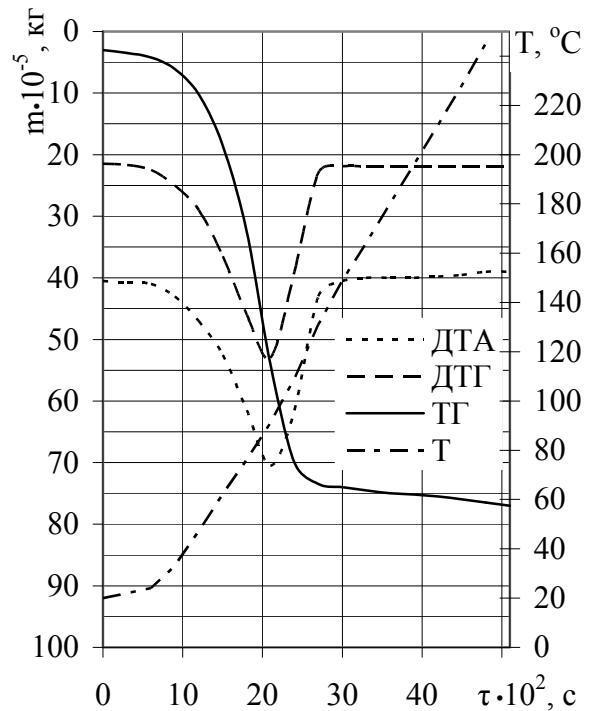


Рис. 6. Термограми пивних дріжджів в діапазоні температур до 250 °С

100 – 130 °С, максимальна швидкість сушіння спостерігається при температурі матеріалу 90 – 95 °С.

Проведеними дослідженнями встановлено суттєвий вплив вмісту вологи W в матеріалі на значення питомої теплоємності c при зміні температури T . За результатами узагальнення експериментальних даних в інтервалі температур 30 – 90 °С за зміни вологості в межах 7,5 – 84 % для визначення питомої теплоємності пивних дріжджів отримано рівняння, Дж/(кг·град):

$$c = 0,10198 + 0,04058W + 0,02498T - 0,0002434WT, \quad (3)$$

Рівняння (3) дає можливість розрахувати значення питомої теплоємності пивних дріжджів в інтервалі зміни температури і вологості продукту, який спостерігається в сушарках.

Дослідження кінетичних характеристик у процесі сушіння пивних дріжджів у тонкому шарі виконано за початкової масової частки сухих речовин $CP=15 - 18\%$ та при температурі теплоносія $t = 75, 130\text{ °С}$.

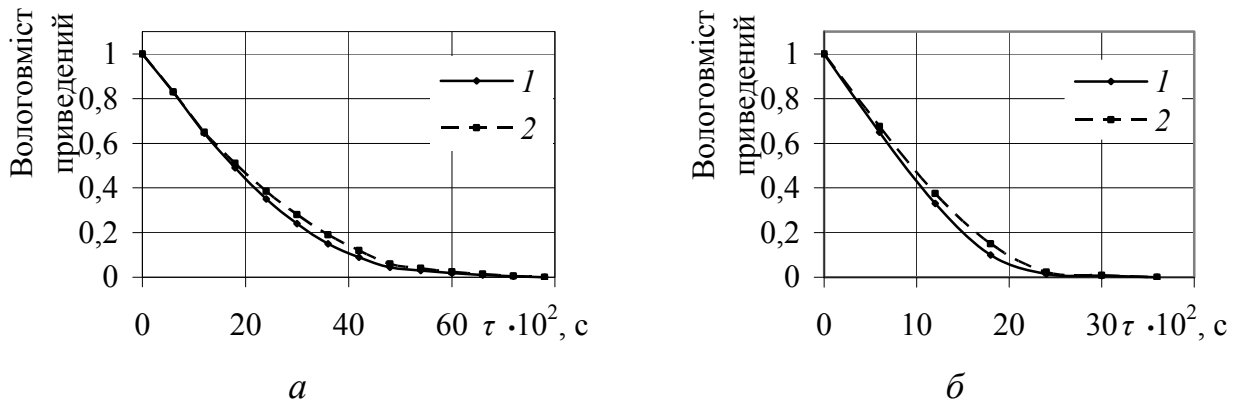


Рис. 7. Відносні кінетики сушіння пивних дріжджів:
1 – вихідних, 2 – деструктурованих при температурі, °С 75 (а) і 130 (б)

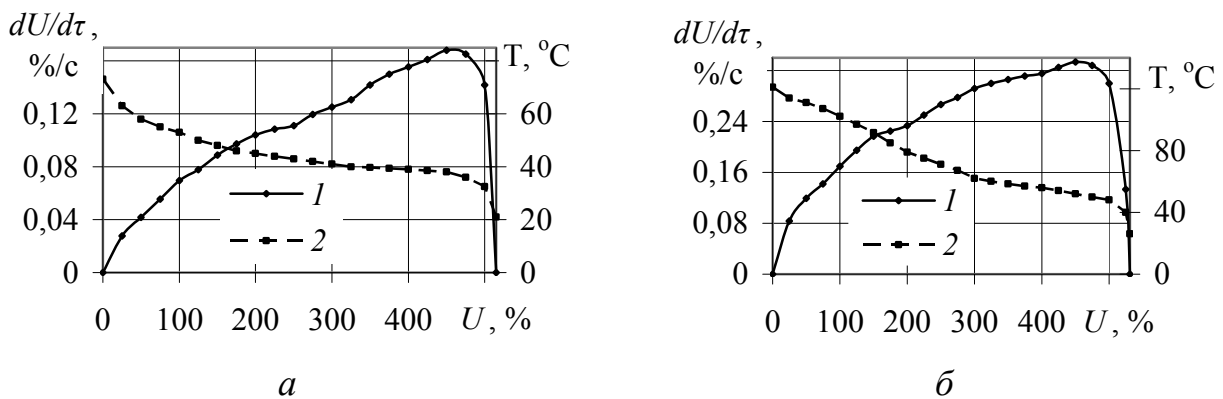


Рис. 8. Швидкість сушіння (1) деструктурованих дріжджів при температурі дріжджів (2), °С 75 (а) і 130 (б)

З графічних залежностей кінетики сушіння (рис. 7 і 8) вихідних і деструктурованих дріжджів при температурі теплоносія 75 і 130 °С видно, що температура матеріалу змінюється не інтенсивно, лише в кінці процесу сушіння вона наближалася до температури теплоносія. Швидкість сушіння вихідних дріжджів вища, ніж деструктурованих, на 2 – 4 % при температурі теплоносія 75, 130 °С, лише при температурі 75 °С на початковому етапі швидкість сушіння

деструктурованих дріжджів на 6 – 7 % вища, ніж вихідних. Тривалість процесу сушіння вихідних дріжджів менша, ніж деструктурованих, на 3 – 5 %, що пояснюється різним вмістом вільної та зв'язаної води.

Результати дослідження гідродинаміки розпилювання пивних дріжджів спонукали до вивчення кінетики сушіння окремої краплини як одиночного елемента загальної полідисперсної системи в об'ємі сушильної камери. Дослідження були виконані з вихідними та деструктурованими дріжджами в потоці теплоносія з температурою 100, 140, 180 °С і швидкістю 0,5 м/с. Результати дослідження показано на рис. 9.

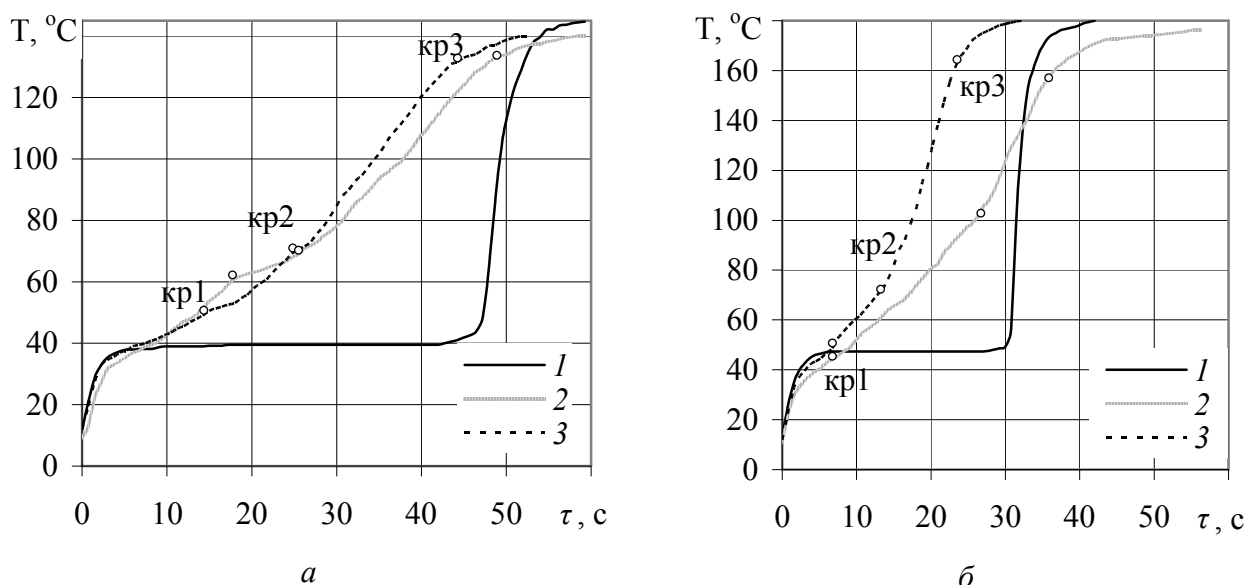


Рис. 9. Термограми процесу сушіння одиночної краплини в потоці теплоносія при температурі, °С: 140 (а) і 180 (б);

1 – вода; пивні дріжджі: 2 – вихідні; 3 – деструктуровані

Як видно з термограм сушіння краплин вихідних і деструктурованих пивних дріжджів, температура і час у критичних точках, а також тривалість періодів процесу сушіння різняться. Це можна пояснити різною температурою потоку теплоносія, подрібненням дріжджових клітин, що забезпечує інтенсивність перенесення води із внутрішніх шарів краплини до зовнішніх і швидше її випаровування.

Аналізом теоретичних досліджень гідродинаміки вібропсевдозрідженого шару інертних частинок з одночасним продуванням через нього теплоносія встановлено збільшення пористості шару та рівномірний розподіл теплоносія в об'ємі камери.

У процесі сушіння у вібропсевдозрідженому шарі інертних тіл продукт наноситься на їх поверхню за допомогою форсунок у вигляді краплин і по досягненню кінцевого вмісту води подрібнюється. При цьому теплоносій рухається внаслідок продування його через шар, а також насосної дії вібропсевдозрідженого шару. У цьому разі рівняння сил, що діють на інертну частинку у вібропсевдозріджуваному шарі, який створюється вертикальними гармонійними коливаннями решітки, можна записати у вигляді

$$m_i \ddot{y} = -m_i g - m_i A \omega^2 \cdot \cos \theta \mp N \mp P_i, \quad (4)$$

де m_i – маса інертної частинки, кг; A – амплітуда коливань решітки, м; ω – кутова частота коливань, с^{-1} ; N – нормальна реакція поверхні решітки на частку, Н; P_i – сила, викликана дією на частку інерту повітря що проходить через шар, Н.

Вібраційні впливи з амплітудою $A=0,022$ м, частотою коливань $f=7,5$ Гц уможливають створення необхідної структури шару інертного матеріалу.

При цьому частинки інертного матеріалу неперервно рухаються в об'ємі камери, що забезпечує вирівнювання температури в середині шару і зменшення температурних градієнтів як у поздовжньому, так і в радіальному напрямках. Підвищення ступеня перемішування частинок сприяє інтенсифікації теплообміну за рахунок турбулізації потоку теплоносія.

Характерним для зміни температури теплоносія або концентрації вологи в ньому по висоті вібропсевдозрідженого шару є інтенсивність зміни значення цих параметрів біля основи шару (активна зона) і сталість в його основному об'ємі. Вирівнювання температур і концентрацій за межами активної зони як у поздовжньому, так і у радіальному напрямках відбувається за рахунок інтенсивної циркуляції частинок.

Зміна температури по висоті шару визначається рівнянням:

$$t_h = t_T + (t_1 - t_T) \exp \left[- \frac{6\alpha M_{\text{ш}}}{\rho_i a M_n c_n} \frac{h}{H_{\text{ш}}} \right], \quad (5)$$

де t_h , t_T – температура теплоносія по висоті вібропсевдозрідженого шару h , інертної частинки в шарі, $^{\circ}\text{C}$; t_1 – температура теплоносія початкова, $^{\circ}\text{C}$; a – сторона інертної частинки, м; α – коефіцієнт теплообміну, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$; $M_{\text{ш}}$ – маса інертних частинок у вібропсевдозрідженому шарі, кг; ρ_i – густина інертної частинки, $\text{кг}/\text{м}^3$; M_n – витрата теплоносія, $\text{м}^3/\text{с}$; c_n – теплоємність теплоносія, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$; $H_{\text{ш}}$ – висота шару інертного матеріалу, м.

Для якісного і кількісного оцінювання теплообміну між теплоносієм і частинками інертного матеріалу досліджено зміну температурного поля по висоті вібропсевдозрідженого шару та визначено висоту зони інтенсивного теплообміну (активної зони):

$$H_{\text{аз}} = 1,67 \cdot 10^{-3} \frac{t_1 \nu \rho_n c_n a}{(1 - \epsilon_{\text{ш}})}, \quad (6)$$

Аналіз результатів дослідження процесу сушіння деструктурованих пивних дріжджів у вібропсевдозрідженому шарі інертних частинок (рис.10) показав, що температура для всіх початкових висот шару різко змінюється на відстань 160 – 200 мм від газорозподільної решітки і поступово переходить до сталої величини з підвищенням висоти шару. Вплив температури з достовірною точністю описується експоненціальним рівнянням (5).

При цьому значення коефіцієнтів теплообміну при оптимальному гідродинамічному режимі, температурі теплоносія 100, 120, 140 $^{\circ}\text{C}$ для швидкості теплоносія 3,2 м/с відповідно становить 82,7, 86,9, 101,3 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$, для 3,0 – 89,5, 97,8, 120,5, для 2,8 м/с – 109,4, 121,8, 138,3 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$, що свідчить про їх збільшення зі збільшенням температури та зменшенням швидкості теплоносія.

З аналізу отриманих результатів випливає, що при оптимальному режимі вібропсевдозрідження збільшення швидкості теплоносія сприяє інтенсивному

перемішуванню частинок у шарі, приводить до інтенсифікації теплообміну та підвищенню температури висушених дріжджів.

У результаті математичного оброблення результатів експериментальних даних по теплообміну в вібропсевдозрідженому шарі між плівкою деструктурованих пивних дріжджів і теплоносієм за неперервного режиму роботи установки отримано критеріальне рівняння для визначення коефіцієнтів теплообміну

$$Nu = 4 \cdot 10^7 Re^{-0,33} \quad (7)$$

при $v = 3,2 - 2,8$ м/с; $Pr = 0,7$; $t_1 = 100 - 140$ °С; сталій амплітуді $A = 0,022$ м і частоті коливань газорозподільної решітки $f = 7,5$ Гц.

У процесі сушіння деструктурованих пивних дріжджів у вібропсевдозрідженому шарі інертних тіл визначено температури теплоносія на виході із сушарки.

Аналіз отриманих результатів експериментів та їх опрацювання дало можливість отримати функціональну залежність $t_2 = f(v, W)$:

$$t_2 = 683,49v^{-0,74}W^{-0,78}, \quad (8)$$

де t_2 – температура відпрацьованого повітря, °С; v – швидкість теплоносія, м/с; W – кінцева вологість деструктурованих пивних дріжджів, %.

Залежність (8) отримано в таких межах: $2,8 \leq v \leq 3,2$, $5 \leq W \leq 13$.

За результатами досліджень встановлено доцільність застосування вібропсевдозрідженого шару інертного матеріалу, що визначається рівномірним висушуванням усієї маси деструктурованих пивних дріжджів, ліквідацією застійних зон і локальних перегрівів, що в комплексі значно поліпшує якість готового продукту.

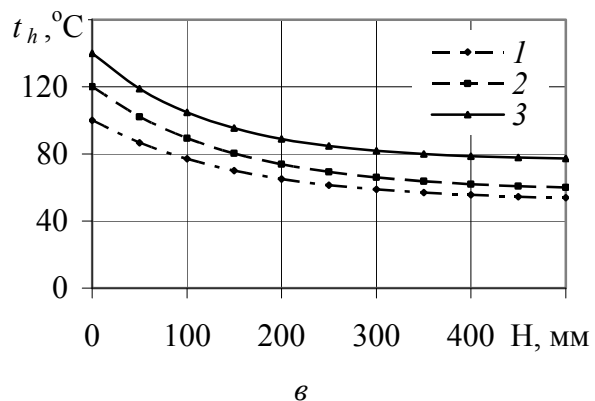
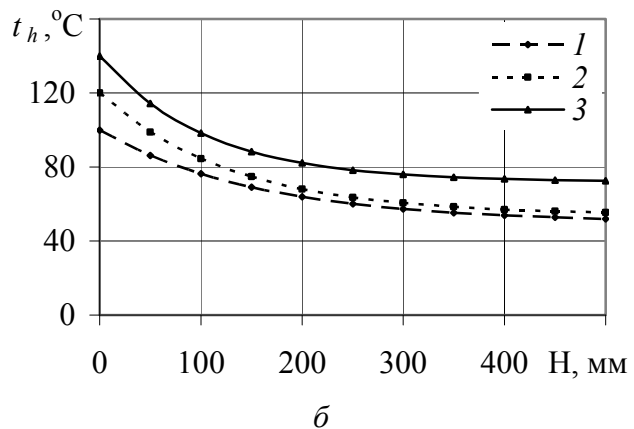
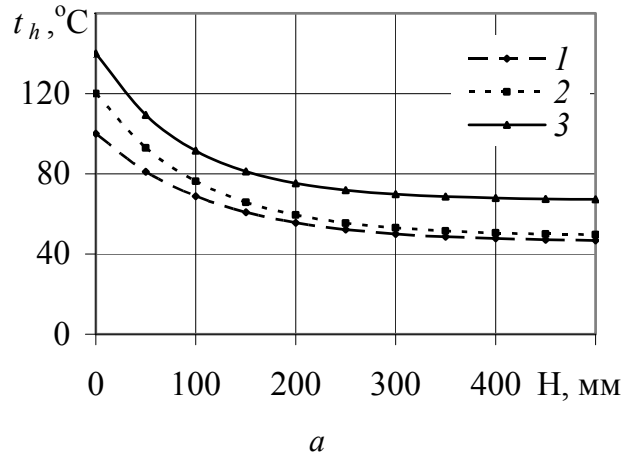


Рис. 10. Зміна температури теплоносія по висоті вібропсевдозрідженого шару інертного матеріалу з початковою температурою, °С:

1 – 100, 2 – 120, 3 – 140 при швидкості теплоносія, м/с: 2,8 (а); 3 (б); 3,2 (в)

ВИСНОВКИ

Виконаний у даній роботі комплекс досліджень дав змогу науково обґрунтувати спосіб і розробити процес сушіння деструктурованих пивних дріжджів.

На основі виконаних аналітичних та експериментальних досліджень зроблено такі висновки:

1. Обґрунтовано доцільність деструктуризації пивних дріжджів перед висушуванням та її вплив на гігроскопічні властивості.

2. Експериментально встановлено залежності впливу температури та концентрації вихідних і деструктурованих пивних дріжджів на коефіцієнт ефективною в'язкості за зміни швидкості зсуву.

3. Встановлено залежність коефіцієнта поверхневого натягу та кута змочування від зміни концентрації вихідних і деструктурованих пивних дріжджів у межах 5 – 12% при температурі 22 °С та рекомендовано використання гранул фторопласту як інертного матеріалу сушарок із вібропсевдозрідженим шаром у разі зневоднення деструктурованих пивних дріжджів.

4. Встановлено залежність кута факела розпилення γ від геометричної характеристики форсунки A_c , визначено основні закономірності впливу конструктивних і технологічних факторів форсунки на дисперсність крапель розпиленних вихідних і деструктурованих дріжджів, рівномірність розподілу їх у факелі та одержано рівняння для визначення діаметра краплин.

5. Методом термічного аналізу встановлено характер видалення вологи з пивних дріжджів в інтервалі температур 20 – 250 °С.

6. Визначено основні закономірності впливу деструктуризації пивних дріжджів на кінетику сушіння їх у тонкому шарі та краплин у потоці теплоносія і обґрунтовано доцільність застосування способу сушіння деструктурованих пивних дріжджів під час розпилювання їх у вібропсевдозріджений шар інертного матеріалу.

7. Визначено висоту зони активного теплообміну вібропсевдозрідженого шару інертного матеріалу та зміну температури по його висоті.

8. Отримано критеріальне рівняння $Nu = 4 \cdot 10^7 Re^{-0,33}$ та визначено значення коефіцієнтів теплообміну у процесі сушіння деструктурованих пивних дріжджів у вібропсевдозрідженому шарі інертного матеріалу за швидкості теплоносія 3,2 – 2,8 м/с, при його температурі 100 – 140 °С та параметрах вібрації $A=0,022$ м, $f=7,5$ Гц.

9. Встановлено функціональні залежності температури теплоносія на виході із сушильної камери від його швидкості та кінцевої вологості деструктурованих пивних дріжджів $t_2 = 683,49v^{-0,74}W^{-0,78}$.

10. Рекомендовано раціональні параметри процесу сушіння вихідних і деструктурованих пивних дріжджів у вібропсевдозрідженому шарі інертного матеріалу: температура теплоносія – 140 °С, температура в шарі – 70 – 90 °С, швидкість газорідинної суміші на виході із сопла відцентрово-пневматичної

форсунки – 40 – 50 м/с, концентрація деструктурованих пивних дріжджів – 8 – 15%, швидкість теплоносія – 2,8 – 3,2 м/с, амплітуда коливань $A=0,022$ м і частота коливань газорозподільної решітки $f=7,5$ Гц.

11. Запропоновано нову конструкцію відцентрово-пневматичної форсунки для розпилення деструктурованих пивних дріжджів у шар інертного матеріалу (патент на корисну модель України №24349 У від 25.06.2007 р.) та рекомендовано встановлювати її в межах закінчення зони активного тепломасообміну $H_{аз}$.

12. Економічна ефективність сушіння пивних дріжджів у сушарках з вібропсевдозрідженим шаром інертного матеріалу на пивоварних заводах становить 214414 грн./рік.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ

1. Якобчук, Р.Л. Пивні дріжджі як об'єкт сушіння / Р.Л. Якобчук, В.Л. Яровий // Харч. пром-сть. – 2005. – № 4. – С. 178–179.

Особистий внесок дисертанта: проведення аналітичного огляду, опрацювання результатів.

2. Якобчук, Р.Л. Дослідження термічних та фізико-хімічних властивостей дріжджів пивних / Р.Л. Якобчук, В.Л. Яровий // Наук. пр. НУХТ, 2006. – № 18. – С. 52–53.

Особистий внесок дисертанта: виконання експериментів, опрацювання результатів.

3. Яровий, В.Л. Дослідження в'язкості пивних дріжджів / В.Л. Яровий, Р.Л. Якобчук // Харч. пром-сть. – 2007. – № 5. – С. 8–10.

Особистий внесок дисертанта: виконання експериментів, опрацювання та аналіз результатів.

4. Якобчук, Р.Л. Дослідження закономірності кінетики сушіння пивних дріжджів / Р.Л. Якобчук, В.Л. Яровий, К.Д. Малецька // Наук. пр. НУХТ. – 2007. – № 20. – С.35–38.

Особистий внесок дисертанта: виконання експериментів, опрацювання та аналіз результатів.

5. Якобчук, Р.Л. Дослідження кута змочування та поверхневого натягу дріжджів пивних / Р.Л. Якобчук, І.В. Житнецький, В.Л.Яровий // Харч. пром-сть. – 2008. – № 6. – С. 15–17.

Особистий внесок дисертанта: виконання експериментів, опрацювання та аналіз результатів.

6. Якобчук, Р.Л. Дослідження процесу зневоднення пивних дріжджів / Р.Л. Якобчук, В.Л.Яровий // Програма і матеріали 70-ї наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів “Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті”. – К.: НУХТ, 2004. – Ч. 2. – С. 52.

Особистий внесок дисертанта: виконання експериментів, опрацювання та аналіз результатів, підготовка матеріалів до друку.

7. Якобчук, Р.Л. Залишкові пивні дріжджі – перспектива використання / Р.Л. Якобчук, В.Л. Яровий // Матеріали 71-ї наук. конф. молодих учених,

аспірантів і студентів „Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людини у XXI столітті”. – К.: НУХТ, 2005. – Ч. 2. – С. 48.

Особистий внесок дисертанта: проведення аналітичного огляду, опрацювання та аналіз результатів, підготовка матеріалів до друку.

8. Якобчук, Р.Л. Результати термічного аналізу дріжджів пивних / Р.Л. Якобчук, В.Л. Яровий // Матеріали 72-ї наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів „Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людини у XXI столітті”. – К.: НУХТ, 2006. – Ч. 2. – С. 47.

Особистий внесок дисертанта: виконання експериментів, опрацювання та аналіз результатів.

9. Якобчук, Р.Л. Дослідження фізико-механічних властивостей пивних дріжджів / Р.Л. Якобчук, В.Л. Яровий // Матеріали 73-ї наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів „Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людини у XXI столітті”. – К.: НУХТ, 2007. – Ч. 2. – С. 48.

Особистий внесок дисертанта: виконання експериментів, опрацювання результатів.

10. Якобчук, Р.Л. Вплив фізико-механічних властивостей дріжджів пивних на процес розпилення та плівкоутворення на поверхні інертного матеріалу / Р.Л. Якобчук, В.Л. Яровий // Матеріали 74-ї наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів „Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людини у XXI столітті”. – К.: НУХТ, 2008. – С. 247.

Особистий внесок дисертанта: проведення аналітичного огляду, опрацювання та аналіз результатів, підготовка матеріалів до друку.

11. Деклараційний патент на винахід 63512 А Україна, F26B11/00, C12C13/00. Барабанний апарат для сушіння сипких продуктів / В.Л. Яровий, Р.Л. Якобчук, О.І. Свідерська (Україна). – Опубл. 15.01.2004, Бюл. №1.

Особистий внесок дисертанта: розроблення конструкції, підготовка матеріалів до друку.

12. Деклараційний патент на винахід 70090 А Україна, F26B17/00, A21B, A23C12. Пристрій для сушіння дріжджів / А.І. Соколенко, В.Л. Яровий, Р.Л. Якобчук (Україна). – Опубл. 15.09.2004, Бюл. №9.

Особистий внесок дисертанта: розроблення конструкції, підготовка матеріалів до друку.

13. Патент на корисну модель 24349 U Україна, F26B21/00, F26B23/00, B05B7/04, B05B7/02, B05B7/24. Пневматична форсунка / Р.Л. Якобчук, В.Л. Яровий, В.А. Хомічук (Україна). – Опубл. 25.06.2007, Бюл. № 9.

Особистий внесок дисертанта: проведення аналітичного огляду, опрацювання результатів, розроблення конструкції, підготовка матеріалів до друку.

АНОТАЦІЯ

Якобчук Р.Л. Розроблення процесу сушіння деструктурованих пивних дріжджів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. Національний університет харчових технологій Міністерства освіти і науки України, Київ, 2009.

Дисертаційна робота присвячена розробленню процесу, обґрунтуванню способу та раціональних режимів сушіння деструктурованих пивних дріжджів.

На основі аналізу існуючих розпилювачів для рідких харчових продуктів розроблено нову конструкцію розпилювача, на який отримано патент на корисну модель України №24349 У від 25.06.2007р. та рекомендації щодо встановлення його в сушильній камері установки з вібропсевдозрідженим шаром інертного матеріалу.

Отримано математичні залежності для визначення структурно-механічних і теплофізичних характеристик вихідних та деструктурованих пивних дріжджів, розрахунку конструктивних параметрів і режимів роботи розпилювача сушарки з вібропсевдозрідженим шаром інертного матеріалу. Розроблено раціональні режими процесу сушіння деструктурованих пивних дріжджів у сушарках із вібропсевдозрідженим шаром інертного матеріалу.

Ключові слова: вихідні та деструктуровані пивні дріжджі, кінетика, вібропсевдозріджений шар інертного матеріалу, сушіння, розпилювання, теплообмін, вологовміст.

АННОТАЦІЯ

Якобчук Р.Л. Разработка процесса сушения деструктурированных пивных дрожжей. - Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 - процессы та оборудование пищевых, микробиологических та фармацевтических производств. Национальный университет пищевых технологий Министерства образования и науки Украины, Киев, 2009.

Диссертационная работа посвящена разработке процесса, обоснованию способа и рациональных режимов сушения деструктурированных пивных дрожжей.

На основе анализа теоретических и экспериментальных данных показано, что механическое измельчение пивных дрожжей (деструктуризация) влияет на их сушение и гигроскопические свойства.

Разработано методики микробиологического и термического анализа деструктурированных пивных дрожжей, исследования физико-механических, кинетических, тепломасообменных характеристик, кинетики сушения капель и тонкого слоя исходных и деструктурированных пивных дрожжей, распределения распыленной дрожжевой суспензии в факеле форсунки, теплообмена в процессе сушения исходных и деструктурированных пивных дрожжей на поверхности инертного материала. Приведены схемы и описание экспериментальных установок.

Обосновано влияние температуры, концентрации и скорости сдвига на коэффициент вязкости исходных и деструктурированных дрожжей, которое дало возможность получить зависимость эффективной вязкости от технологических параметров процесса сушения.

Экспериментальными исследованиями коэффициента поверхностного натяжения и угла смачивания показана эффективность использования гранул

фторопласта в качестве инертного материала сушилок с вибросжиженным слоем при обезвоживании деструктурированных пивных дрожжей.

Установлено, что изменение геометрической характеристики форсунки A_c и технологических факторов распыления влияет на значение угла факела распыления γ , дисперсность капель распыленных исходных и деструктурированных дрожжей и равномерность распределения их в факеле форсунки. На основе этого получено уравнение для определения диаметра капель.

В результате термического анализа пивных дрожжей в интервале температур 20 – 250 °С установлено, что значение равновесной влажности равно 8 – 10 %. Максимальное удаление связанной влаги происходит при 100 – 130 °С, максимальная скорость сушения наблюдается при температуре материала 90 – 95 °С.

Экспериментальными исследованиями кинетики сушения тонкого слоя и капель пивных дрожжей в потоке теплоносителя установлено влияние измельчения на скорость и продолжительность сушения исходных и деструктурированных пивных дрожжей.

Обосновано и рекомендовано применение способа сушения пивных дрожжей при распыливании их на поверхность инертного материала вибросжиженного слоя.

В результате исследования теплообмена в вибросжиженном слое инертного материала получены зависимости для определения высоты зоны активного теплообмена вибросжиженного слоя инертного материала

$H_{аз} = 1,67 \cdot 10^{-3} \frac{t_1 \nu \rho_n c_n a}{(1 - \varepsilon_{ш})}$ и изменения температуры по его высоте

$t_h = t_T + (t_1 - t_T) \exp \left[- \frac{6\alpha M_{ш}}{\rho_i a M_n c_n} \frac{h}{H_{ш}} \right]$, температуры теплоносителя на выходе из су-

шильной камеры от его скорости и конечной влажности деструктурированных пивных дрожжей $t_2 = 683,49 v^{-0,74} W^{-0,78}$.

Определено, что значение коэффициентов теплообмена при оптимальном гидродинамическом режиме – параметрах вибрации $A=0,022$ м, $f=7,5$ Гц, температуре теплоносителя 100, 120, 140 °С для скорости теплоносителя 3,2 м/с соответственно составляют 82,7, 86,9, 101,3 Вт/(м²·град), для 3,0 – 89,5, 97,8, 120,5, для 2,8 м/с – 109,4, 121,8, 138,3 Вт/(м²·град). Получено критериальное уравнение $Nu = 4 \cdot 10^7 Re^{-0,33}$ для определения коэффициентов теплообмена в вибросжиженном слое. Установлено, что увеличение скорости теплоносителя способствует интенсивному перемешиванию частиц инертного материала в слое, приводит к интенсификации теплообмена и увеличению температуры высушенных пивных дрожжей.

В результате экспериментальных данных установлено рациональные параметры процесса сушения исходных и деструктурированных пивных дрожжей в вибросжиженном слое инертного материала: температура теплоносителя – 140 °С, температура в слое – 70 – 90 °С, скорость газожидкостной смеси на выходе из сопла центробежно-пневматической форсунки – 40 – 50 м/с, concentra-

ция деструктурированных пивных дрожжей – 8–15 %, скорость теплоносителя – 2,8 – 3,2 м/с, амплитуда колебаний $A=0,022$ м и частота колебаний газораспределительной решетки $f=7,5$ Гц.

Разработана новая конструкция центробежно-пневматической форсунки для распыления деструктурированных пивных дрожжей в слой инертного материала (патент на полезную модель Украины №24349 U от 25.06.2007 р.) и рекомендовано устанавливать ее в пределах окончания зоны активного теплообмена $H_{аз}$.

В результате исследования установлено целесообразность применение вибросжиженного слоя инертного материала, который обеспечивает равномерное высушивание всей массы деструктурированных пивных дрожжей, ликвидацию застойных зон и локальных перегревов, что в комплексе значительно улучшают качество готового продукта.

Ключевые слова: исходные и деструктурированные пивные дрожжи, кинетика, вибросжиженный слой инертного материала, сушение, распыление, теплообмен, влагосодержание.

SUMMARY

Yakobchuk R.L. Development of process of drying of destructured beer yeast. – Manuscript.

The dissertation for the degree of candidate of technical science on the speciality 05.18.12 - Processes and equipment of food, microbiologic and pharmaceutical productions. - National University of Food Technologies, Kiev, 2009.

The dissertational work is devoted to development of process, substantiation of a way and rational modes of drying of destructured beer yeast.

On the basis of the analysis of existing sprays for liquid foodstuff it is developed a new design of a spray about what the patent for useful model of Ukraine №24349 U from 25.06.2007p and recommendations concerning its establishment in drying to the chamber of installation with vibroliquefied a layer of an inert material is received.

The received mathematical dependences for definition structurally-mechanical and thermalphysic characteristics of beer yeast, calculation of design data and operating modes of a spray of a dryer with vibroliquefied a layer of an inert material. The developed rational modes of process of drying of beer yeast in dryers with vibroliquefied a layer of an inert material.

Keywords: initial and destructured beer yeast, kinetics, vibroliquefied a layer of an inert material, drying, spraying, heat-mass exchange, moisture load.