

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ПАНЬКІВ ЮЛІЯ ЮРІЇВНА

УДК 664.643.1

ДИСЕРТАЦІЯ

**ПІДВИЩЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ТА РОЗРОБЛЕННЯ
ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРЕМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ**

13 Механічна інженерія
133 Галузеве машинобудування

Подається на здобуття ступеня доктора філософії.

Дисертація містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

—



Ю.Ю. Паньків

Науковий керівник:

Стадник Ігор Ярославович,

доктор технічних наук, професор.

Тернопіль – 2021

АНОТАЦІЯ

Паньків Ю.Ю. «Підвищення інтенсивності процесу та розроблення обладнання для перемішування компонентів». – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, 2021 р.

У дисертаційній роботі вирішено нове наукове завдання зниження енерговитрат процесу приготування рідкої опари шляхом дискретно-імпульсного дозованого введення компонентів у зваженому стані та обґрунтування раціональних параметрів робочих органів змішувача.

Зниження енергоємності процесу приготування рідкої опари досягається за рахунок інтенсифікації основних етапів і, як наслідок, скорочення часу її приготування.

Метою дослідження є зменшення енергетичних витрат процесу приготування рідкої опари шляхом удосконалення технології та обладнання за рахунок застосування дискретно-імпульсного введення компонентів у зваженому стані під час їх перемішування.

Для досягнення поставленої мети визначено такі задачі дослідження:

- на основі аналізу відомих способів і конструкцій удосконалити спосіб приготування рідкої опари та розробити конструкцію дискретно-імпульсного змішувача компонентів для виконання технологічних операцій;

розробити:

- аналітичні залежності для визначення параметрів утвореної суміші рідкої опари та робочої камери змішувача залежно від дозованої маси компонентів перемішування;

- математичні моделі опису взаємозв'язку закономірності руху дозованих компонентів і формування суміші в об'ємі робочої камери дискретно-імпульсного змішувача залежно від параметрів процесу перемішування;

- емпіричні моделі, які описують:

- робочу висоту утвореної суміші та коефіцієнт однорідності приготовленої рідкої опари залежно від секундної подачі дозованого борошна, амплітуди коливання дозатора борошна, частоти обертання приводного вала;

- висоту бродіння опари з урахуванням сумарної секундної подачі компонентів суміші та часу бродіння опари;

- споживану витрату потужності для трьох способів приготування рідкої опари залежно від часу та температури процесу;

- провести дослідження показників якості приготовленої рідкої опари базовим та розробленими способами.

Обґрунтовано удосконалену технологію та основні показники структуроутворення рідкої опари за дискретно-імпульсного введення дозованих компонентів у зваженому стані.

На цій підставі:

вперше розроблено:

- диференціальні рівняння опису руху дозованих компонентів у циліндричній частині робочої камери змішувача та процес формування суміші рідкої опари у гравітаційному полі об'єму робочої камери із врахуванням аеродинамічної сили опору газової фази;

- емпіричні моделі для визначення робочої висоти утвореної суміші та коефіцієнта однорідності приготовленої рідкої опари залежно від секундної подачі дозованого борошна, амплітуди коливання вібруючого решета та частоти обертання тарілчастого диска;

уточнено:

- вплив конструктивних параметрів робочих органів змішувача та дозованої маси компонентів на зміну робочої висоти утвореної суміші під час приготування рідкої опари;

- аналітичну залежність для визначення діаметра робочої камери змішувача залежно від дозованої маси компонентів;

- визначено допустиму мінімальну та максимальну частоту обертання мішалки за прийнятих умов;

набули подальшого розвитку:

- емпіричні моделі висоти бродіння рідкої опари та витрат споживаної потужності залежно від параметрів процесу.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та поставлено задачі дослідження. Описано наукову новизну, практичне значення отриманих результатів та особистий внесок здобувача. Наведено відомості щодо апробації та опублікування результатів наукових досліджень.

У першому розділі наведено аналіз способів приготування тіста і рідкої опари та конструкцій змішувачів компонентів, основних положень і результатів теоретично-експериментальних досліджень процесу приготування рідкої опари, а також наведено обґрунтування вибору способу дискретно-імпульсного введення компонентів у зваженому стані та конструктивно-компонувальну схему змішувача компонентів для проведення досліджень.

У другому розділі наведено програму, опис експериментальних установок і методику проведення досліджень.

Згідно з сформульованою метою дисертаційної роботи та поставлених наукових завдань, а також для перевірки адекватності результатів теоретичних досліджень технологічного процесу дискретно-імпульсного перемішування компонентів у зваженому стані в робочій камері дискретно-імпульсного змішувача, програма теоретично-експериментальних досліджень була такою: провести лабораторні експериментальні дослідження для розробки емпіричних моделей, які характеризують: функціональну залежність зміни робочої висоти утвореної суміші в камері дискретно-імпульсного змішувача та коефіцієнта однорідності залежно від основних параметрів процесу приготування рідкої опари; залежність зміни споживаних витрат потужності та кислотності залежно від часу та температури приготування рідкої опари для прийнятих циклів роботи електромотора-редуктора дискретно-імпульсного змішувача; провести дослідження зміни висоти, коефіцієнта динамічної в'язкості та порівняльні лабораторні дослідження показників якості приготовленої рідкої опари для трьох варіантів і «контролю» приготування рідкої опари.

Лабораторна установка складається з рами (корпусу) на якому змонтовано циліндричну та усічену конічну частини робочої камери, зверху якої встановлено кришку. В кришці через вхідну горловину встановлено вібрودозуючий пристрій борошна та приводний вал, який розташовується всередині робочої камери дискретно-імпульсного змішувача. На приводному валу змонтовано систему змінних регулювальних тарілчастих дисків, які мають отвори, а на нижньому торці приводного вала закріплено мішалку.

Всередині робочої камери по її периметру та периферії циліндричної частини робочої камери закріплено водопровід в якому змонтовано дев'ять струминних розпилювачів для дозованої подачі водно-дріжджової суспензії всередину робочої камери.

Методика проведення експериментальних досліджень базувалася на основі наукових методів планування та реалізації планованих факторних експериментів з метою отримання рівнянь регресії параметра оптимізації.

Обробку експериментального масиву даних проводили за загальновідомими методами розрахунку з використанням методик регресійного та кореляційного аналізу.

У третьому розділі наведено теоретичний аналіз технологічного процесу приготування рідкої опари. На основі аналізу було встановлено, що:

- функціональна зміна висоти циліндричної частини робочої камери дискретно-імпульсного змішувача компонентів має лінійний і пропорційний характер – за збільшення маси дозуючих компонентів (маси борошна від 1,5 до 10,5 кг, маси дріжджів від 0,2 до 0,8 кг, маси води від 2,5 до 6,5 кг) висота циліндричної частини зростає в межах від 0,15 до 0,35 м;

- максимальна робоча висота утвореної суміші під час приготування рідкої опари в робочій камері дискретно-імпульсного змішувача знаходиться в межах від 0,25 до 0,55 м залежно від збільшення діаметра тарілчастого диска від 0,2 до 0,5 м та його частоти обертання від 140 до 220 об/хв;

- допустима частота обертання тарілчастого диска знаходиться в межах від 115 до 267 об/хв залежно від зміни діаметра робочої камери та зміни сумарної маси дозованих компонентів від 4,5 до 17,8 кг;

- для забезпечення розрахункової продуктивності дискретно-імпульсного змішувача встановлено, що діаметр робочої камери змішувача повинен знаходитися у межах від 0,2 до 0,4 м залежно від зміни діаметра отвору вібраційного решета від 5 до 10 мм і амплітуди поздовжніх коливань від 0,5 до 1,5 мм за зміни діаметра шнека дозатора борошна від 0,05 до 0,1 м та максимальної робочої висоти утвореної суміші рівній, або менше 0,3 м;

- за зміни діаметра робочої камери від 0,24 до 0,26 м допустима частота обертання тарілчастого диска повинна бути в межах від 175 до 230 об/хв за зміни сумарного об'єму завантажених компонентів від 0,1 до 0,2 м³.

У четвертому розділі наведено результати реалізації програми експериментальних досліджень.

На основі обробки експериментального масиву даних отримано рівняння регресії, які описують функціональну зміну: робочої висоти та коефіцієнта однорідності приготовленої опари залежно від секундної подачі дозованого борошна, амплітуди коливання віброуючого решета та частоти обертання тарілчастого диска; висоти бродіння рідкої опари та витрат споживчої потужності залежно від параметрів процесу.

Встановлено, що апроксимоване значення максимальної робочої висоти утвореної суміші знаходиться в межах від 0,17 до 0,34 м, при цьому за зміни секундної подачі борошна від 0,03 до 0,07 кг/с максимальна робоча висота утвореної суміші зростає в середньому на 0,05...0,08 м, або на 22...25 %; а за зміни частоти обертання тарілчастого диска від 160 до 200 об/хв – зростає в середньому на 0,04, або на 18 %. Розбіжність між теоретичними та експериментальними значення максимальної робочої висоти становить у середньому від 5 до 8 %.

Апроксимоване значення коефіцієнта однорідності утвореної суміші знаходиться в межах від 0,43 до 1,2 м, при цьому коефіцієнт однорідності має максимальне значення 0,93 за наступних значень вхідних факторів: за значення масової секундної подачі борошна від 0,065 до 0,07 кг/с, амплітуди дозуючого борошна від 0,5 до 1,0 мм, частоти обертання тарілчастого диска від 180 до 190 об/хв.

Зі збільшенням секундної подачі борошна від 0,033 до 0,077 кг/с та часу бродіння опари до 30 хв висота бродіння опари збільшується від 0,056 м до 0,227 м. При цьому домінуючий вплив на приріст висоти бродіння опари має час бродіння приготовленої рідкої опари – в межах зміни фактора приріст висоти бродіння становить у середньому від 0,13 до 0,21 м, тобто за 5 хв бродіння висота опари збільшується в середньому 1,4...1.5 раза.

Найбільше значення газоутворюючої здатності 448 мл CO₂ на 100 г, підіймальної сили 64 Н, титруючої кислотності 5,2 град. та активної кислотності 5,96 отримано у другому варіанті приготування опари за часу бродіння приготовленої рідкої опари рівному 30 хв., а окислювально-встановлюючий потенціал практично однаковий для всіх варіантів приготування рідкої опари та близький до контрольного варіанту.

Встановлено, що найменші значення витрати споживаної потужності отримано при варіанті роботи електромотора-редуктора за «цикл 2», а показники апроксимованих значень споживаних витрат потужності знаходяться в діапазоні від 0,23 до 0,39 Вт.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень, передано спеціалістам ПрАТ «Тера» (м. Тернопіль) для розробки нових, або удосконалення існуючих способів і обладнання для приготування рідкої опари.

Було рекомендовано такі раціональні параметри: діаметр робочої камери змішувача 0,28...0,3 м за висоти утвореної опари не більше 0,25 м; діаметр тарілчастого диска 0,24...0,26 м; кутова швидкість обертання тарілчастого диска від 175 до 230 об/хв за зміни сумарного об'єму завантажених компонентів від 0,1 до 0,2 м³; амплітуда поздовжніх коливань вібраційного решета від 0,5 до 1,0 мм; час приготування рідкої опари – до 30 хв.

Ключові слова: спосіб, рідка опара, дозування компонентів, дискретно-імпульсний змішувач, борошно, дріжджі, секундна подача борошна, коефіцієнт однорідності, показники якості опари, витрати потужності.

ANNOTATION

Pankiv Y.Y. «Increasing the intensity of the process and the development of equipment for mixing components». – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 133 Industrial Engineering. Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyuy, Ternopil, 2021.

In the dissertation work, the new scientific problem reduction of energy consumption of preparation process of liquid sponge by discrete-pulse dosed injection of components in a suspended state and substantiation of rational parameters of mixer working bodies is solved.

Reducing the energy consumption of the liquid sponge preparation process is achieved by intensifying the main stages and, as a consequence, reducing its cooking time.

The aim of the study is to reduce the energy costs of the preparation process of liquid sponge by improving the technology and equipment with discrete-pulse injection of components in a suspended state during mixing.

To achieve this goal, the following research objectives are identified:

- based on the analysis of known methods and designs to improved the method of liquid sponge preparation and develop a design of discrete-pulse mixer of components for technological operations;

to develop:

- analytical dependences for determining the parameters of the formed mixture of liquid sponge and the working chamber of the mixer depending on the dosed mass of the mixing components;

- mathematical models which describe the relationship between the pattern of movement of dosed components and the formation of the mixture in the volume of the working chamber of the discrete-pulse mixer depending on the parameters of the mixing process;

- empirical models that describe:

- the working height of the formed mixture and the coefficient of homogeneity of the prepared liquid sponge depending on the second feed of metered flour, the amplitude of the flour dispenser oscillation, drive shaft rotation speed;

- the sponge fermentation height, taking into account the total second feed of the mixture components and the fermentation time of the sponge;

- power consumption for three ways of preparing liquid sponge depending on the time and temperature of the process;

- to carry out research of quality indicators of the prepared liquid sponge in basic and developed ways.

The improved technology and the main indicators of the structure formation of liquid sponge with discrete-pulse injection of dosed components in the suspended state are substantiated.

Based on this:

first developed:

- differential equations describing the motion of dosed components in the cylindrical part of the working chamber of the mixer and the process of forming a mixture of liquid sponge in the gravitational field of the working chamber taking into account the aerodynamic resistance of the gas phase;

- empirical models for determining the working height of the formed mixture and the coefficient of homogeneity of the prepared liquid sponge depending on the second feed of metered flour, the amplitude of sieve vibration and the frequency of plate disk rotation;

specified:

- the influence of the design parameters of the mixer working bodies and the dosed mass of the components on the change in the working height of the formed mixture during the preparation of the liquid sponge;

- analytical dependence for determining the diameter of the mixer working chamber depending on the dosed mass of the components;

- the allowable minimum and maximum speed of the stirrer under the accepted conditions is determined;

acquired further development: empirical models of liquid sponge fermentation height and power consumption depending on process parameters.

The introduction substantiates the relevance of the topic, formulates the purpose and objectives of the study. The scientific novelty, practical significance of the obtained results and personal contribution of the applicant are described. Information on approbation and publication of research results is given.

In the first section are given an analysis of preparation methods of dough and liquid sponge and designs of components mixer, the main provisions and results of theoretical and experimental studies of preparation process of liquid sponge, and also the substantiation of a choice of a way of discrete-pulse injection of components in the suspended state and the constructive-assembling scheme of the components mixer for carrying out researches is resulted.

In the second section are given the program, description of experimental installations and research methods.

According to the formulated purpose of the dissertation and scientific tasks, as well as to verify the adequacy of theoretical research results of the technological process of discrete-pulse mixing of components in suspended state in the working chamber of the discrete-pulse mixer, the program of theoretical and experimental research was next: to conduct laboratory experimental studies to develop empirical models that characterize: functional dependence of the change in the working height of the formed mixture in the discrete-pulse mixer chamber and the coefficient of

homogeneity depending on the main parameters of the preparation process of liquid sponge; the dependence of the change in power consumption and acidity depending on the time and temperature of preparation of liquid sponge for the accepted cycles of the electric motor-reducer discrete-pulse mixer; to carry out research of height change, coefficient of dynamic viscosity and comparative laboratory researches of quality indicators of the prepared liquid sponge for three variants with the «control» of liquid sponge preparation.

The laboratory installation consists of a frame (housing) on which the cylindrical and truncated conical part of the working chamber is mounted, on top of which the cover is installed. A vibrating flour dosing device and a drive shaft are installed in the lid through the inlet neck. Drive shaft is located inside the working chamber of the discrete-pulse mixer. A system of replaceable adjusting plate discs with holes is mounted on the drive shaft, and a stirrer is mounted on the lower end of the drive shaft.

Inside the working chamber along its perimeter and the periphery of the cylindrical part of the working chamber there is a water supply system in which nine jet sprayers are mounted for dosed feed of water-yeast suspension inside the working chamber.

The method of conducting experimental research was based on scientific methods of planning and implementation of planned factorial experiments in order to obtain the regression equations of the optimization parameter.

Processing of the experimental data set was performed according to well-known calculation methods using the methods of regression and correlation analysis.

In the third section is given a theoretical analysis of the technological process of liquid sponge preparation. Based on the analysis, it was found that:

- functional change of the cylindrical part height of the working chamber of the discrete-pulse mixer of components has linear and proportional character - for increase in weight of dosing components (flour weight from 1.5 to 10.5 kg, yeast weight from 0.2 to 0.8 kg, water weight from 2.5 to 6.5 kg) the height of the cylindrical part increases in the range from 0.15 to 0.35 m;

- the maximum working height of the formed mixture during the preparation of liquid sponge in the working chamber of the discrete-pulse mixer is in the range from 0.25 to 0.55 m depending on the increase in the diameter of the plate disk from 0.2 to 0.5 m and its speed from 140 up to 220 rpm;

- the permissible speed of the plate disk is in the range from 115 to 267 rpm depending on the change in the diameter of the working chamber and the change in the total weight of the dosed components from 4.5 to 17.8 kg;

- to ensure the design productivity of the discrete-pulse mixer, it is established that the diameter of the working chamber of the mixer should be in the range from 0.2 to 0.4 m depending on the change in diameter of the vibrating sieve from 5 to 10 mm and the amplitude of longitudinal oscillations from 0.5 to 1, 5 mm with changes in the diameter of the auger of the flour dispenser from 0.05 to 0.1 m and the maximum working height of the resulting mixture is equal to or less than 0.3 m;

- for changes in the diameter of the working chamber from 0.24 to 0.26 m, the allowable speed of the plate disk should be in the range from 175 to 230 rpm for changes in the total volume of loaded components from 0.1 to 0.2 m³.

In the fourth section are given the results of the experimental research program implementation.

Based on the processing of the experimental data set, regression equations are obtained, which describe the functional change: working height and homogeneity coefficient of the prepared dough depending on the second feed of metered flour, vibration amplitude and vibration frequency of the plate disk; the fermentation height of the liquid sponge and the consumption of consumer power depending on the process parameters.

It is established that the approximate value of the maximum working height of the formed mixture is in the range from 0.17 to 0.34 m, with changes in the second feed of flour from 0.03 to 0.07 kg / s the maximum working height of the formed mixture increases on average by 0.05... 0.08 m, or 22... 25%; and with changes in the speed of the plate disk from 160 to 200 rpm - increases by an average of 0.04, or 18%. The discrepancy between theoretical and experimental values of the maximum working height is on average from 5 to 8%.

The approximate value of homogeneity coefficient of the resulting mixture is in the range from 0.43 to 1.2 m, while the coefficient of homogeneity has a maximum value of 0.93 for the following values of input factors: for the value of mass per second feed of flour from 0.065 to 0.07 kg / s , amplitude of dosing flour from 0,5 to 1,0 mm, frequency of rotation of a plate disk from 180 to 190 rpm.

With an increase in the second feed of flour from 0.033 to 0.077 kg / s and the fermentation time of the sponge to 30 minutes, the height of the fermentation of the sponge increases from 0.056 m to 0.227 m. The dominant effect on the increase in the fermentation height of the sponge has the fermentation time of the prepared liquid sponge – within the change of the factor the increase in the fermentation height is on average from 0.13 to 0.21 m, ie for 5 minutes of fermentation 1.4...1.5 times.

The highest value of gas-forming capacity is 448 ml CO₂ per 100 g, lifting force 64 N, titratable acidity 5.2 deg. and active acidity of 5.96 was obtained in the second variant of preparation of the sponge during the fermentation time of the prepared liquid sponge equal to 30 minutes, and the redox potential is almost the same for all variants of preparation of the liquid sponge and close to the control variant.

It is established that the lowest values of power consumption are obtained in the variant of operation of the electric motor-reducer for «cycle 2», and the indicators of the approximate values of power consumption are in the range from 0.23 to 0.39 W.

The results of theoretical and experimental research were presented to the specialists of PJSC "Tera" (Ternopil) for the development of new or improvement of existing methods and equipment for the preparation of liquid sponge.

The following rational parameters were recommended: diameter of the working chamber of the mixer 0,28... 0,3 m at height of the formed steam no more than 0,25 m; diameter of a plate disk 0,24... 0,26 m; angular velocity of the plate disk from 175 to 230 rpm with changes in the total volume of loaded components from 0.1 to 0.2 m³; amplitude of longitudinal vibrations of the vibrating sieve from 0.5 to 1.0 mm; liquid sponge cooking time – up to 30 minutes.

Keywords: method, liquid sponge, dosing of components, discrete-pulse mixer, flour, yeast, second feed of flour, homogeneity factor, quality indicators of sponge, power consumption.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковано основні результати дисертаційної роботи

1. Карпик Г., Стадник І., **Паньків Ю.** Оцінка однорідності суміші при змішуванні. Научно-практический журнал «Хранение и переработка зерна». Дніпро. 2018. № 9 (228). С. 49 – 51. *(Здобувачем наведено аналіз способів і методів оцінки однорідності суміші при змішуванні компонентів).* *Індексується в міжнародній наукометричній базі **Google Scholar**.*
2. Стадник І.Я., **Паньків Ю.Ю.** Метод інтенсивного формування фазового контакту компонентів при змішуванні. Volumul include materialele Simpozionului Științific Internațional „Realizări și perspective în inginerie agrară și transport auto” dedicat aniversării a 85 ani de la fondarea Universității Agrare de Stat din Moldova. Chișinău : UASM, 2018. Vol. 51. P. 78–82. *(Здобувачем наведено аналіз утворення фазового потоку борошна вібродозатором).* ISBN 978-9975-64-300-9. *Індексується в міжнародних наукометричних базах **Index Copernicus**, **Google Scholar**.*
3. Igor Yaroslavovych Stadnyk, **Juilia Pankiv**, Petro Havrylko, Halina Karpyk. Researching of the concentration distribution of soluble layers when mixed in the weight condition. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. Slovak. 2019. Vol. 13. No. 1. P. 581 – 592. *(Здобувачем наведено аналіз розподілу концентрацій розчинних шарів при змішуванні компонентів у зваженому стані).* <https://doi.org/10.5119/1129>. ISSN 1337-0960 (online). *Індексується в міжнародній наукометричній базі **Scopus**.*
4. Стадник І.Я., **Паньків Ю.Ю.**, Чорна Н.В., Лісовська Т.О. Дискретно-імпульсне змішування борошняних компонентів. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наукових праць / відпов. ред. О.І. Черевко. Х.: ХДУХТ, 2020. Вип. 1 (31). С. 157 – 171. *(Здобувачем розроблено залежності, які описують процес переміщення борошна в робочій камері змішувача).* DOI: 10.5281/zenodo.3937783. ISSN 2519-2922 (online). *Індексується в міжнародних наукометричних базах **Index Copernicus**, **Google Scholar**.*

5. **Паньків Ю.Ю.**, Стадник І.Я., Василів В.П., Кос Т.С. Динаміка міжфазової взаємодії між компонентами при перемішуванні. Продовольчі ресурси: зб. наук. праць Інституту продовольчих ресурсів НААН. К.: ТОВ «БАРМИ». Т. 8(2020). № 15. С. 174 – 184. *(Здобувачем наведено результати визначення висоти рідинної фази)*. <https://doi.org/10.31073/foodresources/2020-15-19>. ISSN 2616-809X online. *Індексується в міжнародній наукометричній базі Google Scholar.*

6. Стадник І.Я., **Паньків Ю.Ю.**, Піддубний В.А. Визначення питомої потужності при змішуванні компонентів. Наукові праці Національного університету харчових технологій (категорія Б). Т. 26. №. 6. С. 143 – 153. *(Здобувачем розроблено залежність для визначення питомої потужності під час змішування компонентів)*. DOI: 10.24263/2225-2924-2020-26-6-16. *Індексується в міжнародних наукометричних базах Index Copernicus, Google Scholar.*

7. Піддубний В.А., **Паньків Ю.Ю.**, Стадник І.Я., Петриченко Є.А. Інтегровані рішення і апаратурне оформлення перехідних процесів змішування компонентів у псевдошарі. Збірник наукових праць. Обладнання та технології харчових виробництв. 2021. № 1(42). С. 82 – 90. *(Здобувачем запропоновано методика визначення дозованої кількості води та дріжджів для приготування водно-дріжджової суспензії)*. DOI : 10.33274/2079-4827-2021-42-1-82-90. ISSN 2079-482. *Індексується в міжнародних наукометричних базах Index Copernicus, Google Scholar.*

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертаційної роботи

8. **Паньків Ю.**, Стадник І.Я. Основні закономірності процесу перемішування : тези доп. VII Міжн. наук.-техн. конф. «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції», 6-7 листопада 2018 р., м. Київ. К.: НУХТ, 2018 р. С. 36 – 37. *(Здобувачем проведено аналіз фізичних явищ процесу перемішування компонентів)*.

9. Стадник І.Я., **Паньків Ю.Ю.** Розроблення конструкції змішувача для інтенсифікацій перемішування компонентів : тези доп. VII Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», (Тернопіль, 28–29 лист. 2018.) в 3-х томах / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2018. Т. 1. С. 146 – 147. *(Здобувачем запропонована конструктивна схема дискретно-імпульсного змішувача).*

10. **Паньків Ю.**, Стадник І., Василів В. Визначення поверхні фазового контакту у процесах змішування сумішей : тези доп. VIII Міжн. наук.-практ. конф. вчених, аспірантів і студентів. «Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства», (м. Київ, 17 квітня 2019 р. – 18 квітня 2019 р.). К. : РВВ НУБіП України, 2019. С. 272. *(Здобувачем розроблено залежність для визначення об'єму компонентів суміші).*

11. Паньків Ю. Визначення геометричних параметрів змішувача : тези доп. II Міжн. студентської наук.-техн. конф. «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання». Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 25-26 квітня 2019 р.). С. 16.

12. **Паньків Ю.**, Стадник І., Василів В. Динаміка міжфазової взаємодії змішувально-збивального процесу : тези доп. VIII Міжн. наук.-практ. конф. вчених, аспірантів і студентів. «Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства», (м. Київ, 17 квітня 2019 р. – 18 квітня 2019 р.). К. : РВВ НУБіП України, 2019. С. 275. *(Здобувачем наведено аналіз газоутворюючої здатності середовища змішування компонентів).*

13. **Паньків Ю.Ю.**, Стадник І.Я. Визначення геометричних параметрів змішування : тези доп. XII Міжн. наук.-практ. конф. «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький, 6-8 листопада 2019 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С. 18 – 19. *(Здобувачем розроблено рівняння для визначення висоти циліндричної частини робочої камери змішувача).*

14. Стадник І.Я., Пилипець О.М., **Паньків Ю.** Обґрунтування параметрів надійності і довговічності машини статистичним моделюванням : тези доп. Міжн. наук. конф. «Іван Пулюя: життя в ім'я науки та України» (до 175-ліття від дня народження), 28-30 вересня 2020 р. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Тернопіль: ФОП Паляниця А.В. 2020. С. 101. *(Здобувачем наведено аналіз принципів оцінювання ефективності роботи тістомісильних машин).*

15. Стадник І.Я., **Паньків Ю.** Змішувач рідких компонентів : тези доп. Міжн. наук.-техн. конф. до 60 річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175 річчя з дня народження Івана Пулюя, (Тернопіль, 14–15 травня 2020 року). Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2020. С. 232. *(Здобувач запропонувала конструкцію робочої камери змішувача).*

16. Паньків Ю. Характеристика процесів змішування : тези доп. IV Міжн. студентської наук.-техн. конф. «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання». Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 28-29 квітня 2021 р.) С. 111 – 112.

Наукові праці, які додатково розкривають результати дисертаційної роботи

17. Патент України 124070, МПК А21D 8/02, А21С 1/00. Спосіб приготування опари. Стадник І.Я., **Паньків Ю.Ю.**; заявник і власник патенту Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. № а201902245; заявл. 05.03.2019; опубл. 14.0.2021. Бюл. № 28/2021. 3 с. *(Здобувач запропонував співвідношення частоти обертання вертикального вала з робочими органами).*

18. Патент 134226 Україна, МПК А01С 1/02, В01F 7/00. Змішувач напіврідких фабрикатів. Стадник І.Я., **Паньків Ю.Ю.**, Лясота О.М. ; заявник і власник патенту Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. № u201811745; заявл. 28.11.2018; опубл. 10.05.2019. Бюл. № 9/2019. 3 с. *(Здобувач запропонував конструкцію вертикального вала камери змішування).*

19. Патент 137278 Україна, МПК А01С 1/02, В01F 7/00. Змішувач напівфабрикатів. Стадник І.Я., **Паньків Ю.Ю.**, Гіджеліцький В.М. ; заявник і власник патенту Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. № u2019003951; заявл. 15.04.2019; опубл. 10.10.2019. Бюл. № 19/2019. 3 с. *(Здобувач запропонував конструкцію привода тарілчастих дисків).*

20. Патент 137426 Україна, МПК А01С 1/02. Спосіб приготування опари. Стадник І.Я., **Паньків Ю.Ю.** ; заявник і власник патенту Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. № u201902242; заявл. 05.03.2019; опубл. 25.10.2019. Бюл. № 20/2019. 3 с. *(Здобувач запропонував співвідношення частот обертання робочого органу).*

ЗМІСТ

ВСТУП	20
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СПОСОБІВ І КОНСТРУКЦІЙ ЗМІШУВАЧІВ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ РІДКОЇ ОПАРИ	26
1.1. Способи приготування рідкої опари та особливості конструкцій машин для перемішування компонентів	26
1.2. Аналіз теоретично-експериментальних досліджень процесу приготування рідкої опари	46
1.3. Обґрунтування способу приготування рідкої опари та конструктивних особливостей змішувача компонентів	52
1.4. Постановка завдань дослідження	58
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	60
2.1. Програма, об'єкт і предмет проведення досліджень	60
2.2. Методика реалізації процесу приготування рідкої опари способом дискретно-імпульсного введення компонентів у зваженому стані	73
2.3. Методика проведення експериментальних досліджень робочої висоти утвореної суміші та коефіцієнта однорідності рідкої опари	78
2.4. Методика проведення експериментальних досліджень енергетичних показників процесу приготування та показників якості і реологічних характеристик приготовленої рідкої опари	87
2.5. Висновки до розділу.....	92
РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСКРЕТНО- ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ У ЗВАЖЕНОМУ СТАНІ	93
3.1. Обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів робочої камери дискретно-імпульсного змішувача	93
3.2. Математична модель технологічного процесу приготування рідкої опари	118

3.3 Аналіз розподілу концентрацій розчинних шарів при змішуванні у зваженому стані	95
3.3. Висновки до розділу	118
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДИСКРЕТНО-ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ	129
4.1. Результати експериментальних досліджень робочої висоти утвореної суміші та коефіцієнта однорідності рідкої опари	129
4.2. Результати експериментальних досліджень висоти бродіння та показників якості рідкої опари	142
4.3. Експериментальні дослідження споживчих витрат потужності та кислотності рідкої опари	151
4.4. Результати експериментальних досліджень якісних показників рідкої опари	125
4.5. Висновки до розділу	158
РОЗДІЛ 5. ВПРОВАДЖЕННЯ СПОСОБУ ПРИГОТУВАННЯ РІДКОЇ ОПАРИ ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ	160
5.1. Обґрунтування способу приготування рідкої опари	160
5.2. Впровадження результатів дослідження та економічний ефект.....	165
5.3. Висновки до розділу	167
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	168
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	170
ДОДАТКИ	189

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні ринкові відносини, які встановлені між виробниками хлібопекарської й кондитерської промисловості та закладами громадського харчуванням передбачають виробництво конкурентоспроможної продукції з мінімізованими витратами енергії.

Одним із напрямків підвищення ефективності процесу приготування дріжджового тіста, який базується на вирішенні комплексної науково-технічної задачі, є пошук нових інтенсивних безвідходних енергозберігаючих технологій його приготування до початку формувального процесу.

В основу вирішення науково-технічної задачі зменшення загальних витрат енергії процесу приготування дріжджового тіста покладено **наукову гіпотезу** про можливість застосування прискорених технологій виробництва борошняних виробів, яка передбачає значне зменшення часу приготування рідкої опари та дозрівання тіста за рахунок застосування дискретно-імпульсного введення компонентів у зваженому стані під час їх перемішування.

Застосування інтенсифікованого процесу приготування рідкої опари дозволить зменшити загальні питомі витрати енергії процесу виробництва продукції з дріжджового тіста та покращити фізико-механічні властивості напівфабрикатів з активацією дріжджів.

Тому проведення досліджень процесу дискретно-імпульсного введення компонентів у зваженому стані під час приготування рідкої опари та розробка удосконалених високоефективних дискретно-імпульсних змішувачів є важливим актуальним завдання впровадження енергозберігаючих технологій виробництва продукції.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана за результатами проведених наукових досліджень відповідно до державної тематики НДР, яка виконувалася в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя «Розробка та комплексне дослідження синтезованих транспортно-технологічних механізмів виробничих систем» (№ д.р. 0117U003998).

Отримані результати дослідження є наслідком часткового вирішення науково-технічної задачі з розробки та впровадження машин для приготування рідкої опари, яку затверджено МОН України у 2015 р. згідно з цільовою державною науково-технічною програмою наукових робіт і експериментальних розробок молодих вчених «Програма діяльності КМУ «Україна-2020».

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження є зменшення енергетичних витрат процесу приготування рідкої опари шляхом удосконалення технології та обладнання за рахунок застосування дискретно-імпульсного введення компонентів у зваженому стані під час їх перемішування.

Для досягнення поставленої мети визначено такі задачі дослідження:

1. На основі аналізу відомих способів і конструкцій удосконалити спосіб приготування рідкої опари та розробити конструкцію дискретно-імпульсного змішувача компонентів для виконання технологічних операцій.

2. Розробити:

- аналітичні залежності для визначення параметрів утвореної суміші рідкої опари та робочої камери змішувача залежно від дозованої маси компонентів перемішування;

- математичні моделі опису взаємозв'язку закономірності руху дозованих компонентів і формування суміші в об'ємі робочої камери дискретно-імпульсного змішувача залежно від параметрів процесу перемішування;

емпіричні моделі, які описують:

- робочу висоту утвореної суміші та коефіцієнт однорідності приготовленої рідкої опари залежно від секундної подачі дозованого борошна, амплітуди коливання дозатора борошна, частоти обертання приводного вала;

- висоту бродіння опари з урахуванням сумарної секундної подачі компонентів суміші та часу бродіння опари;

- споживану витрату потужності для трьох способів приготування рідкої опари залежно від часу та температури процесу.

3. Провести порівняльні дослідження показників якості приготовленої рідкої опари базовим та розробленими способами.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес приготування рідкої опари шляхом перемішування компонентів у робочій камері дискретно-імпульсного змішувача.

Предмет дослідження. Технологічні та конструктивно-кінематичні параметри процесу та їх взаємозв'язок впливу на показники структуроутворення рідкої опари способом дискретно-імпульсного введення компонентів у зваженому стані.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження було реалізовано на основі застосування механіко-математичних методів моделювання процесу дискретно-імпульсного змішування компонентів у зваженому стані з використанням основних положень гідродинаміки, вищої математики, теоретичної механіки та теорії машин і механізмів.

Експериментальні дослідження проводилися в лабораторних і виробничих умовах з використанням методів математичного планування і реалізації багатофакторних планованих експериментів. Теоретичні розрахунки та статистична обробка експериментальних даних проводилась з використанням прикладних програм для персонального комп'ютера.

Наукова новизна отриманих результатів. Обґрунтовано удосконалену технологію та основні показники структуроутворення рідкої опари за дискретно-імпульсного введення дозованих компонентів у зваженому стані. На цій підставі:

вперше розроблено:

- диференціальні рівняння опису руху дозованих компонентів у циліндричній частині робочої камери змішувача та процес формування суміші рідкої опари у гравітаційному полі об'єму робочої камери із врахуванням аеродинамічної сили опору газової фази;

- емпіричні моделі для визначення робочої висоти утвореної суміші та коефіцієнта однорідності приготовленої рідкої опари залежно від секундної подачі дозованого борошна, амплітуди коливання вібруючого решета та частоти обертання тарілчастого диска;

уточнено:

- вплив конструктивних параметрів робочих органів змішувача та дозованої маси компонентів на зміну робочої висоти утвореної суміші під час приготування рідкої опари;
- аналітичну залежність для визначення діаметра робочої камери змішувача залежно від дозованої маси компонентів;
- визначено допустиму мінімальну та максимальну частоту обертання мішалки за прийнятих умов.

набули подальшого розвитку:

- емпіричні моделі висоти бродіння рідкої опари та витрат споживаної потужності залежно від параметрів процесу.

Практичне значення отриманих результатів. Запропоновано та експериментально обґрунтовано удосконалену технологію приготування рідкої опари шляхом дозованого перемішування компонентів у зваженому стані та конструкцію дискретно-імпульсного змішувача і визначено його основні раціональні параметри та режими роботи.

Розроблено і виготовлено дослідний зразок дискретно-імпульсного змішувача компонентів і запропоновано рекомендації для вибору його раціональних параметрів і режимів роботи для приготування рідкої опари в виробничих умовах.

Конструктивна новизна технічного рішення захищена патентом та 3 патентами України на корисну модель.

Дослідний зразок дискретно-імпульсного змішувача у 2021 році пройшов виробничі дослідження, де було підтверджено зменшення енергетичних витрат процесу приготування рідкої опари в дискретно-імпульсному змішувачі приблизно в 1,2...1,3 рази.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень прийняті ПрАТ “ТерА” (м. Тернопіль) і використовуються у навчальному процесі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя під час викладання дисципліни «Технологічне обладнання хлібопекарських, кондитерських макаронних та харчоконцентратних виробництв».

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати, які наведені в дисертаційній роботі отримано здобувачем самостійно, формулювання мети, постановку завдання, аналіз і трактування результатів дослідження виконано спільно з науковим керівником.

Основні наукові результати дисертаційної роботи викладено автором одноосібно в 2 друкованих працях [11, 16].

У наукових працях, які опубліковано у співавторстві, дисертантові належить: [1, 14] – наведено аналіз способів і методів оцінки однорідності суміші при змішуванні компонентів і аналіз принципів оцінювання ефективності роботи тістомісильних машин; [2, 3] – наведено аналіз утворення фазового потоку борошна вібродозатором і аналіз розподілу концентрацій розчинних шарів при змішуванні компонентів у зваженому стані; [4, 5, 10, 13] – розроблено залежності, які описують процес переміщення борошна в робочій камері змішувача та залежність для визначення: висоти рідинної фази; об'єму компонентів суміші; висоти циліндричної частини робочої камери змішувача; [6] – розроблено залежність для визначення питомої потужності під час змішування компонентів; [7] – запропоновано методикку визначення дозованої кількості водно-дріжджової суспензії; [8] – проведено аналіз фізичних явищ процесу перемішування компонентів; [9, 15, 17-19] – запропоновано: конструктивну схему дискретно-імпульсного змішувача; конструкцію робочої камери змішувача; співвідношення частоти обертання робочого органу; конструкцію привода тарілчастих дисків; [12] – наведено аналіз газоутворюючої здатності середовища змішування компонентів.

Особистий внесок здобувача у працях, які опубліковано у співавторстві складає 65-80 %.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та отримали позитивну оцінку на: VII Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (м, Тернопіль, 2018); Simpozionului Științific Internațional „Realizări și perspective în inginerie agrară și transport auto” dedicat aniversării a 85 ani de la fondarea Universității Agrare de Stat

din Moldova. (Chişinău, 2018); VII Міжн. наук.-техн. конф. «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції» (м. Київ, 2018); VIII Міжн. наук.-практ. конф. вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства» (м. Київ, 2019); II Міжн. студентської наук.-техн. конф. «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (м. Тернопіль, 2019); XII Міжн. наук.-практ. конф. «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» (м. Кропивницький, 2019); Міжн. наук. конф. «Іван Пулюй: життя в ім'я науки та України» (до 175-ліття від дня народження) (м. Тернопіль, 2020); Міжн. наук.-техн. конф. до 60 річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175 річчя з дня народження Івана Пулюя, (м. Тернопіль, 2020); IV Міжн. студентської наук.-техн. конф. «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (м. Тернопіль, 202); розширеному фаховому науковому семінарі кафедри обладнання харчових технологій ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021 р.

Публікації. Основні результати досліджень за темою дисертації опубліковано в 20 наукових працях, із них – 5 статей у фахових виданнях України, одна стаття в наукометричній базі Scopus, одна стаття в закордонному виданні, один патент України на винахід і 3 патенти України на корисну модель, 9 тез наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаної літератури із 192 найменувань і 32 додатків. Основні результати роботи викладено на 150 сторінках, де містяться 66 рисунків і 9 таблиць. Загальний обсяг дисертації складає 228 сторінок.

АНАЛІЗ СПОСОБІВ І КОНСТРУКЦІЙ ЗМІШУВАЧІВ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ РІДКОЇ ОПАРИ

1.1. Способи приготування рідкої опари та особливості конструкцій машин для перемішування компонентів

Змішування різного структурованого середовища, або різних структурованих компонентів застосовується в промисловості для приготування однорідної маси суспензій, емульсій і отримання гомогенних систем або розчинів. При цьому відбувається інтенсифікація хімічних, теплових і дифузійних процесів, які визначають або регламентують відповідні конструктивні особливості та характеристики машин для реалізації цих технологічних етапів, або станів механічних систем [1, 2].

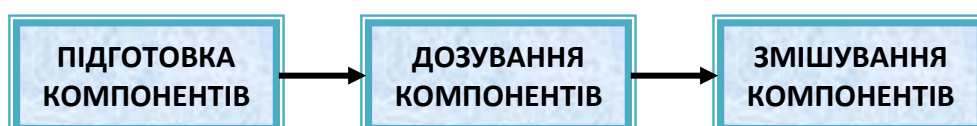
У харчовій промисловості послідовність виконання цих технологічних етапів, або реалізація технологічних операцій утворюють замкнутий цикл процесу перемішування компонентів і процесу їх структурних перетворень та приготування необхідного продукту – борошняного тіста, або кінцевого виробу хлібобулочних виробів, додаток Б.1.1 [3, 4].

Способи змішування компонентів і вибір конструкції та параметрів змішувача для його реалізації визначаються згідно кінцевої мети процесу отримання продукту (суспензії, тіста тощо) та агрегатним станом компонентів, які підлягають перемішуванню [5, 6].

Приготування однорідної маси суміші шляхом перемішування компонентів відбувається за прийнятою технологією, або вибраним способом в робочих камерах спеціальних машин – змішувачів.

При цьому в загальній системі компонентів «тверде тіло-рідина» виділяють такі основні три підсистеми: підготовка компонентів; дозування компонентів; змішування компонентів, рис. 1.1. У загальному реалізація трьох підсистем відбувається за допомогою механічної енергії та енергії вібраційних коливань робочих органів відповідних машин і механізмів [7].

Узагальнена схема технологічного процесу змішування компонентів



наведена на рис. 1.1.

Рисунок 1.1 – Узагальнена структурна схема технологічного процесу змішування компонентів

Спосіб приготування тіста залежить від виду та сорту борошна, яке будуть застосовувати для приготування тіста та хлібопекарських властивостей борошна, а також від методу приготування розпушеного тіста та виду технічного оснащення, яке буде реалізувати весь технологічний процес.

Для приготування тіста використовують різні інгредієнти залежно від призначення кінцевого хлібобулочного виробу, які наведено у додатку Б.2.1.

Основними компонентами, або інгредієнтами для хлібопечення є борошно, вода, сіль і дріжджі. При виробництві покращених і здобних продуктів використовують додатково цукор, патоку, молоко, яйця та яйцепродукти, жири, солод, ізюм, мак, прянощі тощо.

Борошно є базовим компонентом хлібопекарської промисловості, а якість борошна значно впливає на властивості готової продукції. У даний час для приготування хлібобулочних виробів застосовують такі види борошна: пшеничне та житнє хлібопекарне борошно; соєве та кукурудзяне борошно; овсяно-житнє борошно, продукти переробки зерна пшениці та жита тощо [8].

За цільовим призначенням розрізняють пшеничне хлібопекарне борошно та пшеничне борошно загального призначення. При цьому пшеничне хлібопекарне борошно залежно від білини зерна, або масової частки попелу, масової частки сирої клейковини. Від крупності перемелених зерен борошно поділяють на сорти: екстра, вищий, крупчатка, перший, другий [9].

Основним показником якості пшеничного борошна є кількість і якість клейковини у борошні, яку відмивають із нього. Залежно від еластичності та витягнення за якістю клейковину поділяють на три групи [10].

Вода повинна відповідати загальним вимогам держстандартів і санітарних норм централізованих систем водопостачання [11].

Сіль кухонна харчова застосовується для таких сортів пшеничного зерна: екстра, вищий, перший і другий. При цьому сорти розрізняються вмістом

хлориду натрію та домішок [12]. Йодовану сіль застосовують для лікувальних і профілактичних сортів хлібобулочних виробів з добавкою йодистого калію з терміном зберігання 2-3 місяці [13].

Дріжджі для виробництва хліба пресовані з вмістом СВ 30-31% виробляються в пачках масою від 0,5 до 1,0 кг. Зберігаються дріжджі при температурі 0-4 °С терміном до 12 діб [14]. З пресованих дріжджів виробляють дріжджі сушені, які характеризуються підвищеним вмістом сухих речовин – до 32-34%. Дріжджі упаковані в драф-пакети або в пачки, які упаковано під вакуумом. Термін зберігання таких дріжджів – до 24 місяців при температурі 18-22 °С. Тривале зберігання таких дріжджів досягається за рахунок їх висушування до вмісту вологи 8-9% [15].

Цукор при приготуванні хлібобулочних виробів застосовують у вигляді цукру-піску та цукру-рафінаду, або рафінованої пудри з розмірами кристалів не більше за 0,2 мм [16].

Інші додаткові інгредієнти повинні відповідати призначенню та вимогам якості кінцевого продукту.

Залежно від виду борошна розрізняють спосіб приготування тіста з пшеничного або житнього борошна різного ґатунку. Залежно від вигляду закваски розрізняють опарний і безопарний спосіб приготування борошняного тіста.

Приготування борошняного тіста може відбуватися за однофазною, або багатофазною технологією з застосуванням опарного або безопарного способу, рис. 1.2.

При цьому розрізняють декілька фаз протікання технологічного процесу:

- приготування рідкої опари або закваски;
- бродіння опари або закваски;
- заміс тіста та його бродіння, або дозрівання тіста [16, 17].

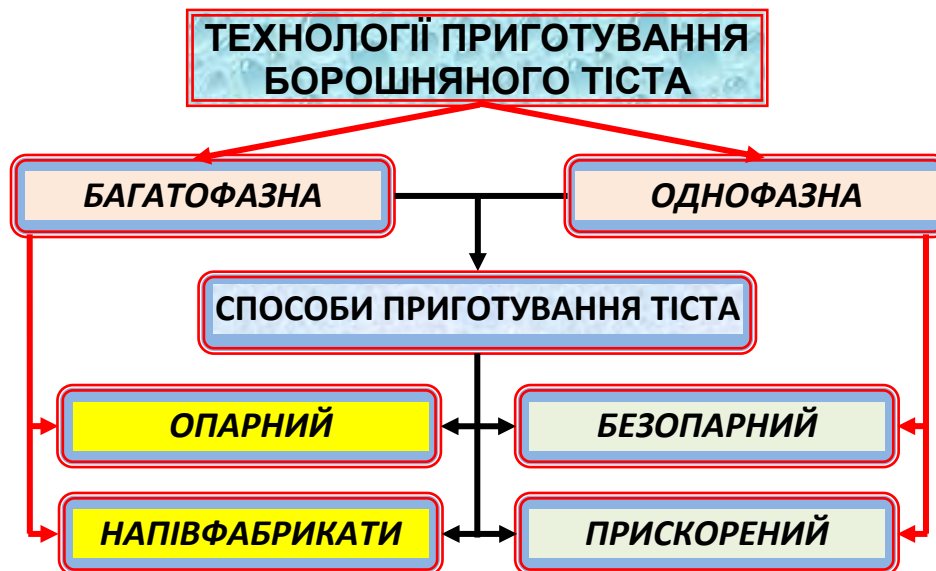


Рисунок 1.2 Технології приготування борошняного тіста

Опару та борошняне тісто приготують за рахунок змішування відповідних компонентів, а послідовність технологічних етапів утворюють замкнутий цикл процесу перемішування компонентів і утворення кінцевого продукту – однорідної суміші компонентів – рідкої опари, або борошняного тіста. Процеси змішування реалізуються, як на стадіях готування опари, так і на стадії замішування борошняного тіста [18].

За однофазного методу, приготування тіста відбувається безопарним, або прискореним способом за один етап – всі компоненти, які передбачені рецептурою вносять одночасно та отримують тісто густої консистенції.

Тривалість приготування такого безопарного тіста становить 4,5-5,0 год., але при цьому збільшуються витрати дріжджів за причиною утрудненого розвитку. Тому їх витрати становлять від 1,5 до 2,5% від маси борошна. Крім того, вироби значно поступаються показниками якості порівняно з опарним способом [19, 20].

Прискорений спосіб приготування безопарного борошняного тіста дозволяє реалізувати цей один етап за значно менший час – тривалість такого способу становить від 30 до 45 хв., а зменшення часу приготування тіста досягається шляхом інтенсивного замішування тіста, збільшеної дози інгредієнта бродіння – дріжджів до 3-4% і застосування молочної сироватки, органічних кислот [21, 22].

Але цей спосіб ефективний при виробництві дрібноштучних виробів, або при невеликих виробничих потужностях [23].

Застосовують також однофазний спосіб інтенсивної «холодної технології» безопарного приготування борошняного тіста з борошна пониженої якості без бродіння тіста. Він передбачає тривале інтенсивне механічне замішування тіста за температури 25-27 °С. При цьому необхідно використовувати дріжджі з значною мальтозною активністю у кількості 4-5% від кількості борошна, а загальний час приготування борошняного тіста становить у середньому від 2,5 до 4,5 год. [24, 25].

За багатофазного методу, приготування борошняного тіста відбувається опарним способом – на першій фазі приготують напівфабрикат, або рідку опару або спеціальну закваску. На другому етапі приготують борошняне тісто на основі приготовленої рідкої опари за прийнятою рецептурою.

Опара – це напівфабрикат хлібопекарського виробництва, який отримують шляхом замішування борошна, води та дріжджів. Опара необхідна для активації дріжджів і підвищення якості приготовленого тіста.

Розрізняють три основні види опар: рідка опара; густа опара; велика густа опара, рис. 1.3. Як правило, для приготування опари переважно застосовують пресовані дріжджі [26].



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд опари

Для приготування рідкої опари використовують такі компоненти: деяка частина борошна, дві третіх частини води та всі необхідні дріжджі. Рідка опара бродить 1,5-3,5 год. Потім на готовій опарі замішують тісто, додаючи до опари борошно, яке залишилося, воду та необхідні додаткові компоненти згідно з рецептурою.

Готове тісто бродить на протязі 1,0-1,5 год., при цьому тісто піддають одному, або двом короткочасним повторним замісам для рівномірного розподілу пухирів повітря. Загальна тривалість стадій – 4,5...6,0 год. [27].

За звичайного способу рідку опару готують вологістю 48-50%, кількість борошна становить 45-55% від загальної кількості борошна, яке призначене для приготування тіста. Відповідно, велику густу опару готують вологістю 41-45%, кількість борошна становить 60-70%, а рідку опару – вологістю 68-72%, кількість борошна – від 25 до 35% від загальної кількості борошна, яке призначене для приготування тіста [28-30].

Узагальнена та технологічна схема приготування дріжджового тіста опарним способом і основні показники та характеристики процесу наведено на рис. 1.4 та рис. 1.5.

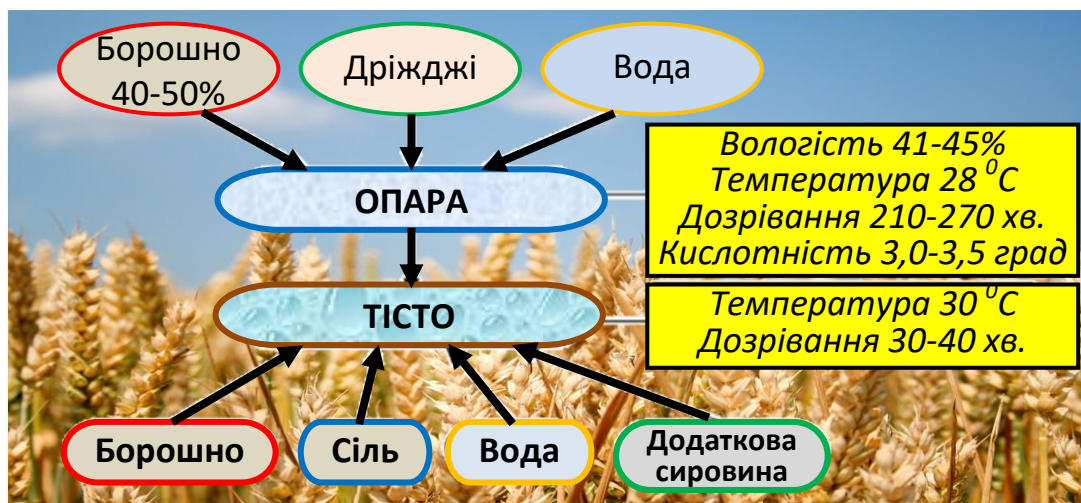


Рисунок 1.4 – Узагальнена схема приготування тіста опарним способом

Узагальнена характеристика опарного способу приготування борошняного тіста на пресованих дріжджах наведена на рис. 1.6.

Технологічні операції приготування борошняного тіста опарним способом і їх характеристики наведено на рис. 1.7, рис. 1.8.

Приготовлене на густих опарах тісто доцільно використовувати для виробництва хліба та булочних виробів з пшеничного сортового борошна, а також здобних продуктів. На великих густих опарах з скороченою тривалістю бродіння тіста готують головним чином подові сорти хліба з пшеничного борошна вищого гатунку, а також булочні вироби.

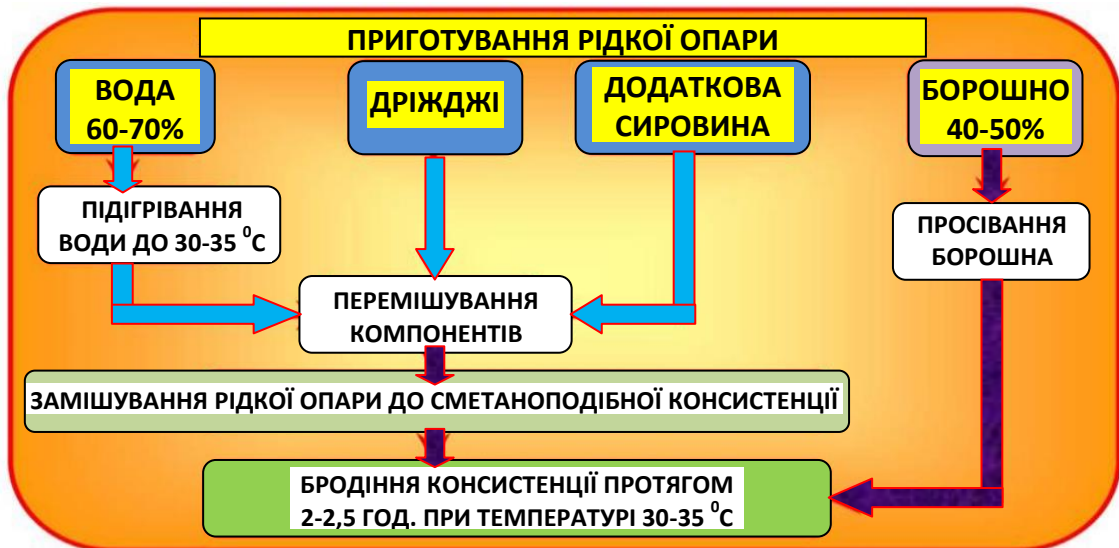


Рисунок 1.5 – Технологічна схема приготування дріжджового тіста опарним способом



Рисунок 1.6 – Узагальнена характеристика опарного способу приготування борошняного тіста на пресованих дріжджах

Опарний спосіб приготування борошняного тіста, як правило є основним у масовому виробництві хлібобулочних виробів. При цьому, основні переваги опарного способу приготування борошняного тіста такі: має гнучку технологічність процесів, потребує меншої кількості дріжджів, а хліб має кращу якість порівняно з безопарним способом приготування борошняного тіста [31].



Рисунок 1.7 – Технологічні операції приготування борошняного тіста опарним способом [24]



Рисунок 1.8 – Характеристика операцій приготування опарного тіста

Приготування тіста на рідинних пшеничних заквасках більше всього застосовується у Російській федерації. Закваска – це напівфабрикат хлібопекарського виробництва, яку отримано шляхом зброджування поживної суміші (цукрової заварки водно-борошняної суміші) різними видами бактерій і дріжджів, або цілеспрямованим накопиченням мікроорганізмів. До таких заквасок відносять: концентровану молочнокислу закваску; мезофільну закваску; пропіоново-кислу закваску; водно-дріжджову закваску, ацидофільну закваску тощо [32-34].

Такі закваски використовують для інтенсифікації технологічного процесу перемішування та розрихлення тіста, що забезпечує підвищення якості хліба та його мікробіологічної чистоти а також попередження різних хвороб [35, 36].

Тісто, яке приготовлене на диспергированій фазі використовують для виробництва булочних продуктів, у рецептуру яких входять молочні продукти. Диспергирована фаза являє собою спеціальний рідинний напівфабрикат, який отримано шляхом диспергування частини борошна, молочної сироватки, води та додаткових інгредієнтів.

Застосування попередньо приготовленої диспергированої фази дозволяє скоротити процес бродіння на 30-50 хв., тобто можна цей спосіб приготування тіста віднести до прискореного способу [37].

Науковцями та спеціалістами ВНДІ та ДержНДІ хлібопекарської промисловості (м. Красноярськ, РФ) розроблено спосіб приготування тіста на напівфабрикатах із цільного диспергированого зерна жита та пшениці, або їх суміші. Цей спосіб дозволяє усунути процес переробки зерна на борошно та використовувати практично всі біологічно корисні компоненти зерна [38].

Але цей спосіб, окрім приготування тіста, потребує також виконання додаткових технологічних операцій очищення та шелудіння цільного зерна, замочування та диспергування зерна, що призводить до значних відносних витрат енергії, які необхідні для виконання попередніх технологічних операцій підготовки зернових інгредієнтів. В якості розрихлювачів в сумішах використовують сушені активні дріжджі, іноді спільно з хімічними розрихлювачами [39, 40].

Тісто, яке приготовлене на сухих сумішах призначене, як для виробництва хліба, так і булочних виробів.

Проте, за сучасних тенденцій, які передбачають застосування енергозберігаючих технологій виробництва продукції, як в промисловому, так і аграрному секторах економіки України, відомі способи опарного та безопарного приготування борошняного тіста потребують значних витрат енергії та загального часу приготування виробів [40, 41].

Так середня тривалість, або середній час приготування рідкої опари за традиційними відомими способами для подальшого виробництва борошняного тіста та його продукції становить від 1,0 до 1,5 год., а середні витрати потужності, які необхідні для приготування рідкої опари знаходяться в межах від 0,7 до 1,2 Вт. Це призводить до зниження технологічної ефективності виробництва хлібобулочних виробів і їх удорожчання та зниження купівельної спроможності споживачів [41, 42].

Механізовані пристрої для реалізації хлібопекарської галузі поділяють на такі групи: технологічне обладнання для зберігання та транспортування сировини; пристрої для підготовки та формування сировини (сити, дозатори, фільтри, просіювачі тощо, рис. 1.9, додаток Б.3.1); пристрої для перемішування компонентів; технологічні машини для приготування тіста (рис. 1.10); технологічні машини для обробки тіста; машини для випікання хліба.



Рисунок 1.9 – Пристрої для підготовки та формування сировини: а – система дозування сипких компонентів BM-350 Toros; б – просіювач муки FSM Fimak; в – дозатор води WDM-15T Aquadoz; г – дозатор-змішувач серії 45 STM

Значного застосування в харчовій і фармацевтичній промисловості набули процеси перемішування твердих компонентів в рідких середовищах. Незалежно від того, яке рідинне середовище змішується, розрізняють два основні способи змішування в рідких середовищах: механічний (за допомогою мішалок різних конструкцій) і пневматичний (стиснутим повітрям або інертним газом), додаток Б.3.1 [43-45].



Рисунок 1.10 – Загальний вигляд тістомісильних машин

Для приготування рідкої опари та подальшого виробництва хлібобулочних виробів змішують твердий компонент, або борошно та рідину, або водно-дріжджову суміш, які утворюють систему компонентів «тверде тіло-рідина». У працях [46-49] відзначено, що незалежно від способу протікання процесу перемішування компонентів в робочі камері змішувача, в системі «тверде тіло-рідина» та його апаратного оформлення в тій, чи іншій мірі використовується один із видів енергії: тепла, електрична, механічна, акустична, або змішане поєднання цих видів енергетичного впливу на протікання процесів перемішування компонентів.

При цьому конкурентний вплив цих факторів визначає вибір конструкції змішувача, а специфіка процесів перемішування рецептурних сумішей в хлібопекарській та фармацевтичній галузі обумовлена, як властивостями сипкого твердого компоненту (борошна), так і рідкими компонентами, що містять мікроорганізми (дріжджі, молочнокислі бактерії тощо) та активні ферменти [50-53]. Окрім раціональних механічних дій при перемішуванні компонентів необхідно підтримувати оптимальну температуру процесу та структуроутворення суміші, які забезпечують контакт живильних речовин з клітинами бактерій і необхідний волого- та газообмін у середовищі [54].

Особливість процесу змішування компонентів полягає в тому, що їх фізичні властивості значно змінюються в процесі, і це суттєво впливає на всі стадії технологічного процесу виробництва борошняних виробів.

Найбільш важливими характеристиками робочих органів і змішувальних пристроїв при проведенні порівняльної оцінки є: ефективність змішування та отримання суспензій, які характеризуються ступенем рівномірності розподілу

твердої і рідкої фази в об'ємі робочої камери; рівень теплових і дифузійних процесів під час інтенсифікації процесу змішування; кількість енергії, яка вводиться в рідину; фіксованим часом виконання заданого технологічного процесу, або часом механічної дії робочих органів.

Основним показником ефективності процесу є інтенсифікація процесу перемішування компонентів, яка регламентує ступінь витрат часу, а отже і витрат енергії. Інтенсифікація процесів змішування призводить до зменшення габаритних розмірів змішувача за одночасного збільшення продуктивності. Тому при розроблені обладнання для змішування компонентів перевага надається методу інтенсивної механічної обробки, який дозволяє інтенсифікувати виробничий процес і отримати різноманітний асортимент напівфабрикатів високої якості [55-57].

Процес перемішування компонентів характеризується фізико-хімічними та механічними особливостями поведінки змішуваних інгредієнтів, які перебувають у різному агрегатному стані, який змінюється у часі залежно від функціональної зони їх перебування в робочій камері та відповідної механічної дії на них робочих органів [58].

Змішування компонентів характеризується процесом надання відносного руху всьому об'єму завантажених компонентів, який призводить до їх взаємодії між собою. При цьому відбуваються процеси взаємопроникнення частинок компонентів одна в іншу.

Якість суміші визначається рівномірним розподілом концентрації суміші, температури та окремих часток по всьому об'єму суміші, або узагальненим поняттям – високої однорідності всіх фізичних характеристик приготовленого кінцевого продукту [59].

Відомо [59-62], що змішування будь-яких інгредієнтів у машинах виконується переважно за рахунок виникнення зсувних деформацій частинок компонентів під час динамічної дії на них робочих органів і виникаючого при цьому вільного, або примусового відносного руху об'ємів компонентів в утвореному середовищі робочої камери змішувача.

Вільне змішування відбувається внаслідок молекулярної дифузії та природної конвенції. Воно зумовлене градієнтами температури, тиску або густини у різних зонах рідкого середовища в робочій камері машини. У рідких середовищах малої та помірної в'язкості, таких як опара, застосовують відомі способи змішування [63]: механічне перемішування за допомогою механічних змішувачів; потокове перемішування, або у потоках нерухожими турбулізаторами; барботаже та циркуляційне перемішування.

На рис. 1.11 наведено загальну класифікацію машин для змішування борошна або змішувачів, які призначені для приготування борошняного тіста. В основу систематизації покладено три основні критерії: режим роботи; принцип роботи; конструктивні ознаки.



Рисунок 1.11 – Класифікація машин для приготування борошняного тіста

За конструкцією робочі органи поділяють на: лопатеві, роторні, пропелерні, турбінні, дискові і спеціальні. За напрямком створюваного потоку рідини в робочу камеру змішувача робочі органи пристроїв для подачі рідких компонентів забезпечують тангенціальний, радіальний, осьовий та змішаний напрямок подачі течії [64].

Змішувачі-дозатори поєднують в собі одночасне дозування компонентів і їх перемішування. Дозатор, як окремий пристрій призначений для точного дозування, або вимірювання заданої кількості інгредієнта та підтримання (регулювання) встановленої дози компонента протягом всього циклу роботи змішувача.

За кількістю одночасно дозованих компонентів дозатори бувають однокомпонентні та багатоконпонентні, за структурою робочого циклу – безперервні та порційні (дискретні), за способом дозування – ваговим і об'ємним, за видом дозуючих інгредієнтів – сипких компонентів і рідких компонентів. Дозатори сипких компонентів бувають тільки безперервної дії, а рідинних – періодичної та безперервної дії [65].

За конструкцією дозатори сипких компонентів поділяються на барабанні, тарілчасті, шнекові, вібраційні, стрічкові, або їх комбінації.

Основні схеми дозаторів наведено в додатку Б.4.1.

За принципом роботи змішувачі поділяють на два види: із вільним протіканням процесу змішування, під дією сил гравітації (гравітаційні) та з примусовим перемішуванням. Гравітаційні змішувачі застосовують для приготування більш пластичних сумішей, а для приготування сумішей, які мають більший питомий опір перемішуванню, тобто для перемішування жорстких інгредієнтів, застосовують змішувачі примусової дії, які бувають лоткові та тарілчасті. Гравітаційні барабанні змішувачі, які у загальному складають 25...30% всіх видів змішувачів мають нескладний привод та зручні в обслуговуванні [66].

Змішувачі примусової дії є універсальні і характеризуються більшою, приблизно в 2-3 рази продуктивністю приготування суміші відносно гравітаційних змішувачів [67], при цьому змішувачі примусової дії з тарілчастими робочими органами не виробляються в Україні [68].

За характером роботи розрізняють змішувачі циклічної (періодичної, або дискретної) дії та неперервної дії. Змішувачі циклічної дії використовують під час приготування сумішей із частою зміною комбінацій різних компонентів, а змішувачі компонентів неперервної дії – для необхідного регульованого значення продуктивності виробництва продукції [69].

Згідно наведеної класифікації (рис. 1.11) в багатьох джерелах [70-75] подано функціональні та конструктивні схеми змішувачів і їх короткий опис. На рис. 1.12 подано функціональні схеми змішувачів емульсаторів і інтенсивні малогабаритні диспергатори, які лягли в основу для розробки змішувача дискретно-імпульсної дії.

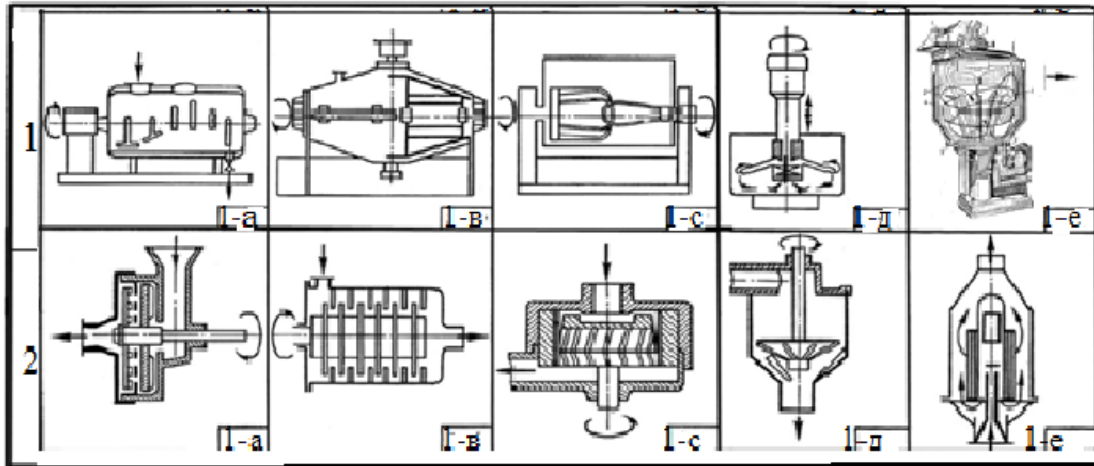


Рис. 1.12 – Функціонально-конструктивні схеми змішувачів

До функціональної схеми віднесені змішувальні машини періодичної дії з горизонтальними і вертикальними ємкостями. Їх застосування порівняно обмежене: для приготування рецептурних дисперсних сумішей для печива; для приготування бісквітного тіста; для приготування кремів; приготування високодисперсних емульсій для печива, вафельного тіста тощо [76].

На рис.1.12(1-е) зображено дискретно-імпульсний змішувач, який має циркуляційну систему із збірною ємністю та насосом. Робочий орган являє собою два чи декілька коаксіальних циліндри із циліндричними дрібними отворами, які співпадають. Друга група складає високо інтенсивні малогабаритні диспергатори, в яких суміш інтенсивно обробляється в порівняно вузьких щілинах між нерухомими робочими органами і тими, що обертаються. Вони одночасно з диспергуванням можуть забезпечувати насичення маси повітрям або газом, що подається від балона [77].

Робочі камери є різної конструкції з обертовими робочими органами: у вигляді дисків різної конструкції з проміжним нерухомим диском, що має отвори та виступи у вигляді радіальних поясів, між якими проходять западини

рухомого диска; із зубами, між якими на стінках робочої камери закріплені гальмівні лопаті; із тарілчастим оберненим диском, що обертається на вертикальному валу в циліндричній камері; ультразвуковий гідродинамічний перетворювач, який включають зазвичай в циркуляційний контур, що містить насос і збірну ємкість.

У наведених змішувачах крім наявності зустрічних потоків суміші, створюється ефект її «транспортування», «підкидання», «затягування», «пресування», «пластифікації». У цей момент частинки суміші стають рівнозваженими, добре перемішуючись між собою. Подібні змішувачі типу «Ротомікс» випускаються в Голландії фірмою «Тер Браак» і ін.

Отже, один із принцип перемішування компонентів суміші в змішувачах базується на створенні постійної інтенсивної турбулентності всередині робочої камери змішувача. У одновальних змішувачах з тарілчастими робочими органами інтенсивне перемішування відбувається тільки між тарілками (дисками), валом і камерою. У зоні, де тарілка відсутня, суміш залишається нерухомою відносно горизонту, при цьому завдяки більшій інтенсивності перемішування компонентів з утворенням в'язкого середовища (тіста), забезпечується гомогенність суміші за менший проміжок часу. Відповідно, робочий цикл змішувача коротший, ніж у двовального з лопатями приблизно в 1,2...1,4 рази. [78].

Одним з основних показників оцінки якості суміші є коефіцієнт заповнення K робочої камери та інтенсивність утворення суміші. Області оптимальних значень взаємодії компонентів у вигляді залежності коефіцієнта заповнення K об'єму від густини способу та за різних способів утворення суміші для різних типів змішувачів суміші наведено на рис. 1.13.

За загальними конструктивними признаками механічні перемішуючі пристрої складаються з чотирьох основних частин: робочої камери 1 (рис. 1.14), приводного механізму 2, робочих органів 3, 7 для перемішування компонентів, пристрою 4 для подачі рідких інгредієнтів і пристрою 5 для подачі сипких компонентів.

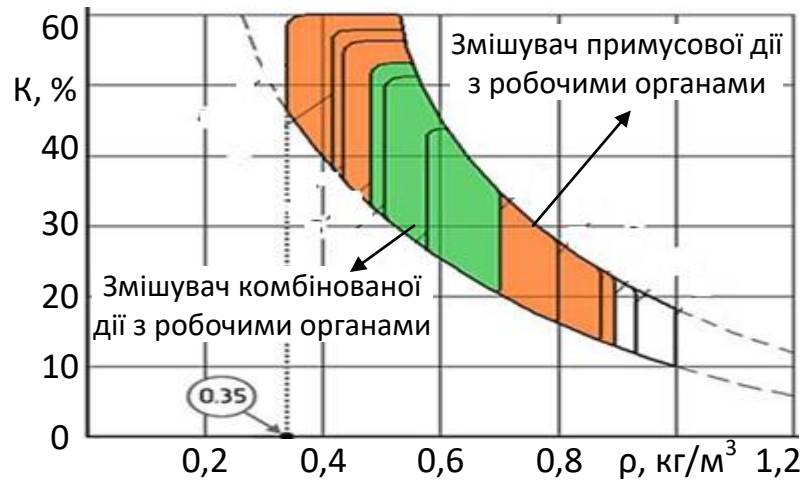


Рисунок 1.13 – Область оптимального застосування різних змішувачів

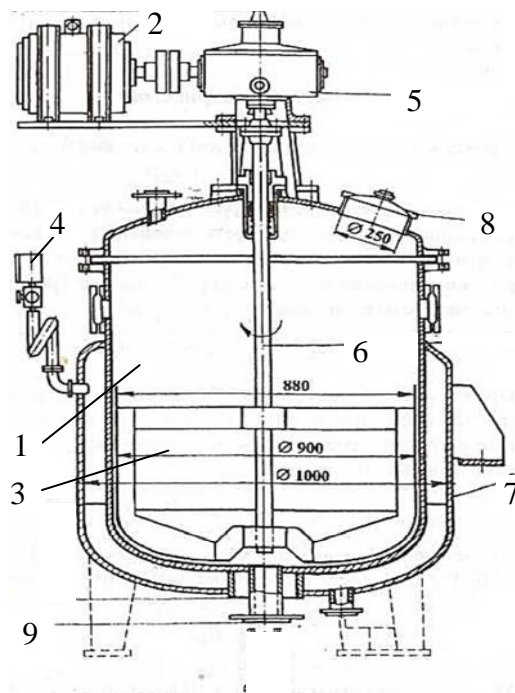


Рисунок 1.14 – Конструктивна схема механічного змішувача компонентів: 1 – робоча камера; 2 – приводний механізм; 3 – диски; 4 – пристрій для подачі рідких (рідинних) інгредієнтів; 5 – пристрій подачі сипкого компонента; 6 – приводний вал; 7 – мішалка; 8 – горловина; 9 – вивантажувальний канал

Переважно, основним робочим органом змішувача є мішалка 7 горизонтального, вертикального або похилого типу, яка розміщена в робочій камері та встановлена, відповідно, на вертикальному, горизонтальному або на похилому приводному валу 6. Привод вала для швидкохідних мішалок забезпечується безпосередньо від електродвигуна 2, або через ступінчатий редуктор, або через клинопасову передачу.

Складові компоненти рецептури пристроєм для подачі сипких компонентів завантажують через вхідну горловину у робочу камеру 1 з одночасною подачею в неї рідких інгредієнтів пристроєм 4. Вмикають приводний механізм 2, який приводить в дію робочі органи 3 і 7. За рахунок обертання диска 3 і мішалки 7 відбувається перемішування компонентів суміші. Приготовлена суміш зливається через вивантажувальний канал 9.

Подача рідких інгредієнтів в робочу камеру змішувача може бути тангенціальною та радіальною [79].

При тангенціальній течії рідина в робочій камері рухається концентричними колами, паралельними площині обертання робочого органу (ротора чи диска). Перпендикулярно осі обертання робочого органу буде радіальна течія. Вона характеризується направленим рухом рідини від центра до стінок робочої камери, при цьому осьовий рух рідини направлений паралельно осі обертання робочого органу. У змішувачах з мішалками можливі різні поєднання цих типів течій, або утворення похилої течії [80].

За технологією «Rapidojet» від фірми «Diosna», запропонованої Бернхардом Ноллем [81], борошно у вільному падінні дозується в камері змішувача і змочується спрямованим вниз похилим струменем води, або застосовується похилий напрямок течії. Струмінь води утворюється нагнітальним соплом із швидкістю до 200...500 км/год. Краплі води, що прискорюються в повітрі, зустрічаються з частинками борошна, в результаті вільного падіння змочують їх, захоплюють за собою і ударяють їх до стінок камери змішувача. Тут змочені частки борошна під високим тиском притискаються одна до одної, а їх швидкість знижується практично до нуля.

Але сфера застосування даної технології є неприйнятною для швидкого приготуванням закваски та опари.

Для розпилення розчину, використовуються різні конструкції форсунок з використанням різних способів подачі рідкої фази: розпилення розчину зверху над шаром, рис. 1.15а, розпилення знизу, рис. 1.15б та розпилення по дотичній при використанні ротора, рис. 1.15в. [82].

Пажи Д.Г. і Галустов В.С. [83] розробили класифікацію найбільш практичних розпилювачів. Він розділив їх на три категорії: під тиском або гідравлічні, обертові та комбіновані. Схеми розпилювачів наведено на рис. 1.16.

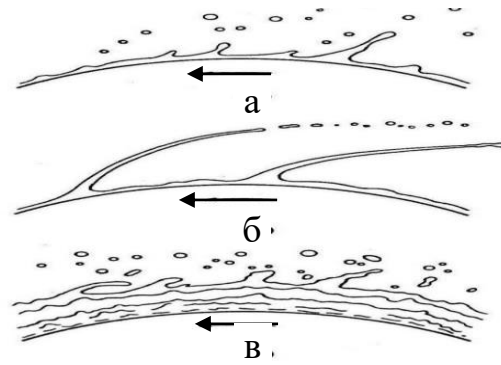


Рисунок 1.16 – Способи подачі рідкої фази через форсунки: а – розпилення розчину зверху; б – розпилення розчину знизу; в – розпилення розчину по дотичній [88]

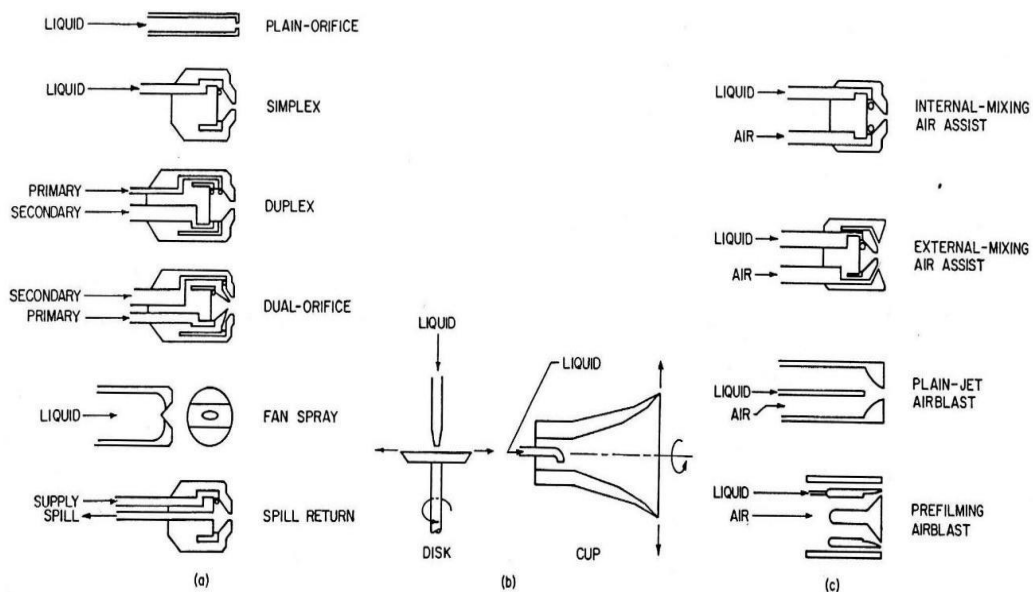


Рисунок 1.17 – Схеми поширених типів розпилювачів: (а) – гідравлічні розпилювачі (під тиском); (б) – ротаційні розпилювачі; (с) – комбіновані розпилювачі (повітряно-водні) [83]

У плоскому звичайному розпилювачі (рис.1.17а) рідини на виході розпилюється через круглий отвір-сопло. Він призначений для вприскування струменя рідини в навколишнє середовище робочої камери.

Основними факторами, які впливають на характеристики розпилення є геометрія сопла, властивості рідини та умови експлуатації. Наприклад, початковий тиск вприскування рідини в розпилювач і аеродинамічні сили навколишнього середовища впливають на збільшення рівня турбулентності в струмені рідини, при цьому виникають ефекти, які характеризують розпад струменя рідини.

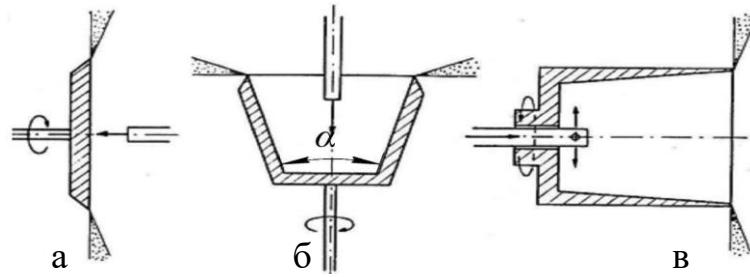


Рисунок 1.17 – Схеми ротаційних розпилювачів: а – дисковий; б – бортовий; в – чашковий

У напірно-вихрових форсунках великого тиску (рис. 1.17а) симплексної або дуплексної дії рідину вводять через ряд тангенціальних отворів або щілин, які розташовані перед вихровою камерою. Це створює доволі значні кільцеві швидкості вихорів і взаємодію в середовищі газоподібної (повітря) та твердої фази. Рідкі потоки у вигляді струминки розпадаються на краплі при виході з отвору. Розподіл крапель за розмірами залежить від тиску рідини та безпосередньо розмірів робочої камери.

В основу функціонування (рис. 1.18) ротаційних розпилювачів (рис. 1.17б) покладено принцип виникнення відцентрових сил, які діють на рідинні компоненти. При дозуванні компонентів ближче до осі обертання розпилювача, утворюється рідка плівка на його поверхні. Ця плівка вилітає з високою швидкістю в навколишнє середовище і розпадається на краплі поблизу краю обертового диска, при цьому краплі можуть бути одиночними, поточкові та плівкові, рис. 1.18 [84]. Найбільш важливий фактор у зміні розмірів крапель є швидкість обертання диска [84].

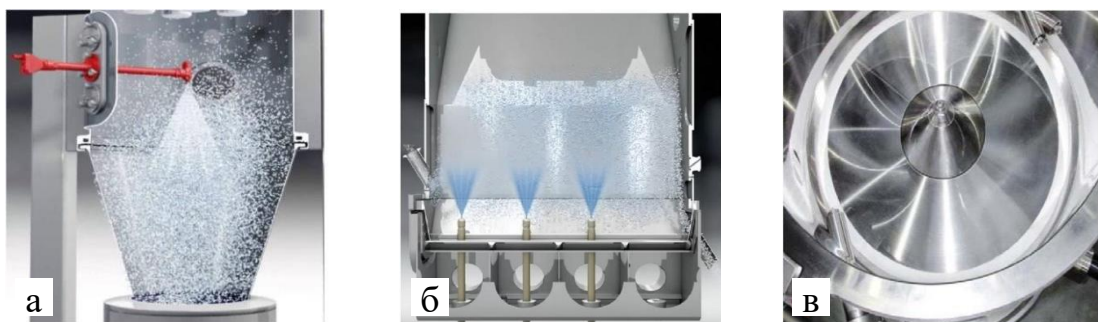


Рисунок 1.18 – Режими формування крапель: а – режим крапель; б – режим струменя; в – режим плівки [84]

Ротаційні розпилювачі бувають дискового, бортового та чашового вигляду. Бортові розпилювачі мають форму зрізаного конуса. Вони мають значний кута конуса вихідного отвору. Відповідно, поділяються на одношарові або багатошарові. Останні мають більш високі швидкості потоку та більшу ширину розпилення [85].

Комбіновані розпилювачі (рис. 1.15с) використовуються в багатьох випадках завдяки значній кінетичній енергії краплин, які вилітають у потоці розпиленого струменя та використовуються для дезінтеграції струменів рідини або плівок [86]. Потік всередині розпилювачів є складним через взаємодію з повітрям. Він приймає форму струменя або плівки. При дії потоку дисперсних частинок та системи повітря струмені розпадаються на краплі. Швидкість потоку збільшується в гетерогенних рідких системах.

Недоліком комбінованих розпилювачів є неможливість використання гетерогенних рідких систем в якості робочого розчину, який містить до 60 % сухих речовин і значні обмеження за навантаженням за вологою [87].

1.2. Аналіз теоретично-експериментальних досліджень процесу приготування рідкої опари

Значний вклад у розробку технологій, способів і машин для приготування борошняного тіста та вивчення механізмів впливу конструктивних параметрів змішувачів на основні показники процесу перемішування компонентів в хлібопекарській промисловості внесли вчені Вітенько Т.М., Ворощук В.Я., Добротвор І.Г., Долінський А.А., Доломакін Ю., Дробот В.І., Кухтин М.Д., Лісовенко О.Т., Литовченко І.М., Стадник І.Я., Сухенко В.Я., Федорів В.М., Breyear L., Collins T., Chamberlan W., Walker C. та інші.

За результатами теоретично-експериментальних досліджень [88-103] ними визначено основні засади технологічних процесів приготування рідкої опари та борошняного тіста загалом, розроблено моделі функціонування та оптимізовано параметри процесів перемішування компонентів, наведено методичні рекомендації застосування способів виробництва хлібобулочних виробів і конструктивних особливостей змішувачів компонентів.

За результатами досліджень [88, 89, 92-95] було встановлено, що процес змішування компонентів, залежно від конструкції машини і властивостей компонентів може відбуватися з різною інтенсивністю, частотою дії робочого органу та тривалістю процесу. У роботах Козлова В.П. [104] і Мерко І.Т. [104] досліджено тільки кінетику гомогенізації структурної системи без врахування процесу утворення міжфазової структури у псевдо розрідженому стані.

Проте, послідовність і механізм утворення гомогенної структури при змішуванні з урахуванням властивих їй особливостей повністю не вивчені, а без з'ясування механізму структуроутворення, що протікає в гомогенній структурі при змішуванні неможливо визначити методи та оптимальні режими управління процесом і раціональні параметри змішувача за яких досягається максимальна однорідність суміші та не вказано шляхи мінімізації енерговитрат для виконання процесу змішування [106].

У працях Стадника І.Я. та Волкова М.В. [95, 97, 98, 107] акцентовано, що специфіка процесів перемішування рецептурних сумішей обумовлена не тільки властивостями компонентів перемішування та впливом механічних дій на компоненти, а й значно залежить також від темпообмінних процесів – під час перемішування необхідно підтримувати раціональну температуру та структуру процесу, які забезпечать приплив живильних речовин до кліток бактерій і необхідний волого- та газообмін у середовищі. При надмірно інтенсивній ударній дії на суміш травмується бактеріальна культура та зменшується активність її життєдіяльності [108].

Автори в наукових працях [108-111] описують основні процеси життєдіяльності дріжджів та молочнокислих бактерій, де відбувається накопичення органічних кислот та ароматичних речовин і стверджують, що заміс опари повинен досягати двох цілей: зниження в'язкості та створення умов для інтенсивного дріжджового та молочнокислого бродіння.

А. Sadeghi, F. Shahidi, S. Vjrtazavi, B. Sadeghi та науковці University of Novi Sad, Faculty of Technology, University of Agriculture Faisalabod (Pakistan) та Кірієвої Т.В. [99-103, 112, 113] вивчали взаємодію дріжджів з середовищем і їх вплив на утворення середовища. Науковці встановили значні зміни впливу

методики замісу на реологічну поведінку системи та вплив різних видів заквасок на технологічний процес перемішування компонентів і вплив натуральних рослин на термін зберігання.

Лісовенком О.Т. [93] та ряд інших вчених [114-116], на основі моделювання процесу взаємодіє твердого компонента та рідини встановив, що змішування у машинах виконується переважно за рахунок зсувних деформацій або зміни деформації, а деформація зсуву D об'ємної маси суміші у робочій камері залежить від середньої швидкості зсуву u та тривалості τ всього циклу

$$D = u \cdot \tau. \quad (1.1)$$

При цьому важливе значення має аналіз залишкових напружень після змішування та їх релаксації [117]. Міжфазова взаємодія компонентів не обмежується адсорбцією на поверхні твердої фази (борошна) [118], при цьому відбуваються структурні перетворення на молекулярному рівні. Цей рівень зумовлює формування шарів суміші з подальшим утворенням однорідності.

В працях [119-121], з точки зору термодинаміки при формуванні гетерогенних систем, викладено аналіз здатності макромолекул рідини до адсорбції на поверхні твердої фази та встановлено, що поведінка суміші компонентів під впливом зовнішніх факторів залежить переважно від взаємодії компонентів на межі поділу фаз, при цьому в [121, 122] зазначено, що товщина пограничного шару δ малих потоків, які взаємодіють між собою залежить від коефіцієнта кінематичної в'язкості γ та частоти коливання середовища f

$$\delta = \sqrt{\gamma / \pi f}. \quad (1.2)$$

Зменшення товщини пограничного шару потоку зумовлює збільшення градієнтів масообміну, що в свою чергу збільшує дисперсність компонентів і вільну поверхню дисперсної фази із суттєвою аерацією. Це позитивно впливає на якість структуроутворення середовища.

Встановлено [123], що швидкість і тривалість установаження фазової рівноваги зумовлюється механізмом підведення сорбтиву до активних центрів поверхні всередині пор адсорберу, а загальний опір перенесення речовини

складається із суми опорів у примежовому шарі зовнішньої фази $1/\beta$ (зовнішня дифузія) та опору у фазі адсорбенту φ/β_x

$$1/K = (1/\beta) + (\varphi/\beta_x), \quad (1.3)$$

де K – коефіцієнт масопередачі, $\text{кг}/\text{м}^2 \text{ с}$; β і β_x – коефіцієнти масопередачі, відповідно, у фазі адсорбенту та зовнішній фазі, $\text{кг}/\text{м}^2 \text{ с}$; φ – тангенс кута нахилу ліній рівноваги, град.

При вивченні процесу адсорбції в нерухомому шарі Домарецьким В.А. [124] введено поняття про динамічну активність сорбенту та запропоновано рівняння, яке дозволяє практично характеризувати роботу шару сорбенту в динамічних умовах і пов'язує довжину шару L сорбенту із часом t його захисної дії (кількість пов'язаної речовини) яке має вигляд

$$t = K_z L - t_o, \quad (1.4)$$

де K_z – коефіцієнт захисної дії, величина пов'язана із швидкістю дозування компонентів (рідини) у систему взаємодії, $\text{хв.}/\text{м}$; t_o – час необхідний для утворення області градієнта швидкості концентрації взаємодіючого компонента у ваговому стані всередині середовища, хв .

При цьому величини K_z та t_o є емпіричними, а наявність часу t_o в (1.4) є закономірним [125] внаслідок дуже малої швидкості процесу адсорбції в динамічних умовах і формування фронту суміші не закінчується у момент їх дозування при досить значній довжині шару [126], а рівняння (1.4) лише формально описує процес адсорбції в динамічних умовах [127].

За результатами аналізу можна констатувати, що існує ряд теорій, висунутих науковцями, які описують адсорбційний процес в динамічних умовах: Никитенко Н.І. [128] вважає, що швидкість процесу адсорбції визначається швидкістю зовнішньої дифузії; А.В. Ликов [129] виходять із уявлень, що кінетика адсорбції визначається швидкістю внутрішньої дифузії процесу; ряд авторів [130-132] зазначають, що до відповідного періоду швидкість процесу визначається зовнішньою дифузією, а потім – швидкістю внутрішньої дифузії сорбуючого компонента.

Левич В.Г. [133] описав загальний метод визначення дифузійного потоку із поверхні, при цьому дифузійний шар приймає відповідне та кількісне визначення: на зовнішній границі дифузійного шару існуючі конвективне та молекулярне перенесення речовини є величини одного порядку, а зміна концентрації c в межах дифузійного шару визначається диференціальним рівнянням

$$D \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} = \mathcal{G}_x \frac{\partial c}{\partial x} + \mathcal{G}_y \frac{\partial c}{\partial y}, \quad (1.5)$$

де $\mathcal{G}_x, \mathcal{G}_y$ – проекції швидкостей руху рідини.

При цьому швидкість зовнішньої і внутрішньої дифузії записані у вигляді рівнянь:

$$\frac{da^{11}}{dt} = \beta^{11} (c^1 - c^{11}); \quad \frac{da^1}{dt} = \beta^1 (c_o - c^1), \quad (1.6)$$

а рівняння для визначення швидкості адсорбції у загальному випадку має вигляд

$$\frac{da}{dt} = \beta (c_o - c), \quad (1.7)$$

де c – концентрація суміші, рівноважна кількості компонента, яка взаємодіє в одиниці об'єму адсорбенту, кг/м³.

Величина обернена β є опором дифузії

$$\frac{1}{\beta} = R = R_{\text{внутр}} + R_{\text{зовн}}. \quad (1.8)$$

Основою для визначення динамічних і кінематичних параметрів змішаного шару середовища у перехідному процесі є рівняння руху за початкових умов $t_{(n)} = 0; x_{(n)} = 0; \dot{x}_{(n)} = 0$ [134]

$$\rho_{\text{рід}} F (H_{\text{рід}} - x) \ddot{x} = \rho_{\text{рід}} g u - \rho_{\text{рід}} g (H_{\text{заг}} - x) F, \quad (1.9)$$

а енергетичний потенціал утвореного шару середовища визначається

$$E_{\text{р.аз.}} = V_{\text{рід}} c_{\text{н}(c)} P_c, \quad (1.10)$$

де V_{pid} – об’єм рідинної фази; $c_{n(c)}$ – середня стала насичення по утвореному середовищі опари; P_c – середній тиск системи.

Оцінка рівня кінетичної енергії відбувається на основі відносної швидкості рідинного потоку, який є стабілізованим, що відзначено у праці [135], при цьому сумарна сила Архімеда визначається

$$P_{пуш} = \rho_{pid} u g = P_{оп}. \quad (1.11)$$

Враховуючи принцип суперпозиції, середня швидкість переміщення рідинної фази у верхніх контурах робочої камери і циркуляційних контурах камери визначається різницею абсолютної та відносної швидкості [135]

$$\mathcal{G}_{pid} = \mathcal{G}_{абс} - \mathcal{G}, \quad (1.12)$$

а потужність циркуляційних контурів визначається як

$$N_{ц.к} = \rho_{pid} u g \mathcal{G}_{pid}. \quad (1.13)$$

Ефективність змішування компонентів при утворенні опари оцінюють за ступенем однорідності λ маси перед подальшою стадією процесу [136]

$$\lambda = (b - a) / b = 1 - (a / b), \quad (1.14)$$

де b , a – середня концентрація середовища, задана умовами змішування та середнє відхилення від заданої концентрації, яке заміряється в декількох точках маси по всьому обсягу переміщення, при цьому $\lambda = 0,8 \dots 0,9$ [137].

Уточнене значення коефіцієнта розширення опари визначається [138]

$$K = H_{m.д} / H_{кан.}, \quad (1.15)$$

де $H_{m.д}$ – висота суміші компонентів до змішування, м; $H_{кан.}$ – висота суміші після змішування, м;

Критерій Рейнольдса R_e та Ейлера E_u визнаються за формулою [139]:

$$R_e = vl\rho / \mu; \quad E_u = p / \rho v^2, \quad (1.16)$$

де ρ – густина, кг/м³; μ – коефіцієнт динамічної в’язкості, Па·с; v – характерна швидкість течії рідини, м/с; l – характерний розмір (довжина робочого органу), мм; p – тиск, МПа.

1.3. Обґрунтування способу приготування рідкої опари та конструктивних особливостей змішувача компонентів

На основі проведеного аналізу характерних особливостей конструкцій машин, способів і показників теоретично-експериментального аналізу процесів приготування борошняного тіста було встановлено основні переваги та недоліки існуючих технологічних етапів і загальних процесів виробництва хлібобулочних виробів, додаток Б.1.1.

Сучасний напрямок розробки прогресивних способів і ефективного обладнання для виробництва хлібобулочних виробів і частково в фармацевтичній промисловості направлений на інтенсифікацію технологічних процесів, які дозволяють зменшити енергетичні витрати та розхідні ресурси матеріалів (інгредієнтів) згідно з рецептурою на основному етапі – етапі змішування інгредієнтів в змішувачах з дотриманням необхідних показників якості готової продукції [140, 141].

Аналіз існуючих технологій та їх практична реалізація показав високі питомі витрати енергоресурсів і напівфабрикатів на одиницю готової продукції та відносно низьку продуктивність задіяного обладнання за рахунок значного часу приготування борошняного тіста [142-144].

Це значно знижує економічну ефективність застосування апаратного обладнання та безпосередньо самого процесу змішування компонентів у промислових обсягах, а також обмежує область їх застосування. При цьому було акцентовано, що у світовій практиці окрім традиційних способів приготування пшеничного тіста до основних (базових) відносяться способи за яких відбувається безперервне перемішування компонентів суміші, а приготування борошняного тіста здійснюється шляхом реалізації двофазного способу – приготування рідкої опари в окремому технологічному ланцюгу, яку в подальшому з'єднують з іншими інгредієнтами згідно рецептури в змішувачах примусової дії, рис. 1.19. Рідку опару, як правило отримують за 7-10 хв., а зріле тісто – за 1,5-3 год. з високим вмістом вологи 60-65 % [145, 146].

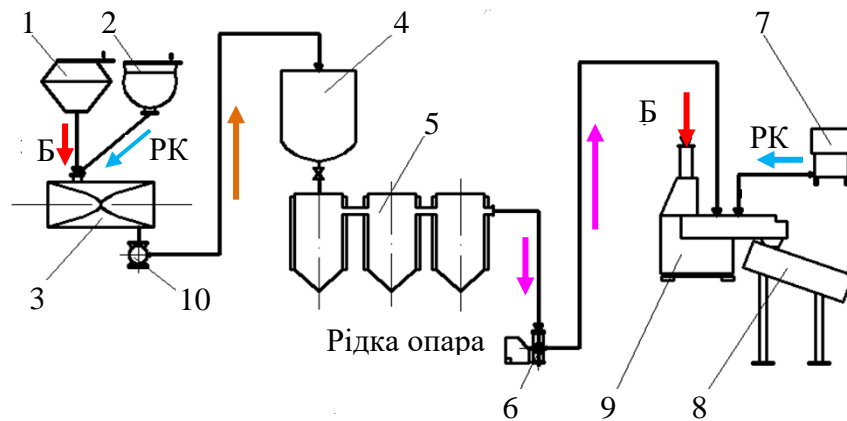


Рисунок 1.19 – Апаратна блок-схема безперервного приготування рідкої опари та тіста з пшеничного борошна: 1 – дозатор рідких компонентів; 2 – дозатор сипких компонентів; 3 – заварювальна машина; 4 – напірний чан; 5 – дріжджовий чан; 6 – дозатор опари; 7 – дозувальна станція; 8 – ємність для бродіння тіста; 9 – місильна машина; 10 – нагнітач опари

Приготування опари є своєрідний і складний гідродинамічний процес із утворенням фізико-хімічних зв'язків у її структурі. Питання створення сучасних енергозберігаючих технологій приготування рідкої опари, ключовим елементом яких є утворення дисперсних систем, є пріоритетним напрямком наукових розробок останнього десятиріччя. Значний інтерес для вивчення та перспективи застосування мають змішувачі і технології, які поєднують в собі комбіновані варіанти, як способів приготування, так і конструкцій змішувачів різного характеру [147].

Актуальним напрямком удосконалення виробничих процесів приготування рідкої опари є використання комбінованих механізмів, які поєднують у собі безперервне дискретно-імпульсне дозоване введення компонентів у робочу камеру в зваженому стані з використанням різноманітних фізико-хімічних ефектів, а також внутрішніх і зовнішніх джерел енергії [148].

За такого поєднання в робочому об'ємі камери змішувача виникають гідродинамічні та кавітаційні явища, зсувні напруження та сферичні ударні хвилі тощо, які призводять до інтенсифікації процесів перемішування компонентів, підвищення показників якості приготовленої опари та значного зменшення загального часу її приготування.

На думку багатьох учених, саме явища механічних впливів в значній мірі визначають високу ефективність змішування та конструкцію змішувача, робочі органи якого здійснюють необхідний механічний вплив на мікро- та нанорівні дисперсних систем, що дозволяє зменшити тривалість масообмінних процесів в рідких середовищах і питомі витрати енергії на одиницю готової продукції. Швидкість змішування компонентів є стадією, яка визначає загальну швидкість процесу та принципи раціонального перемішування інгредієнтів і це особливо характерно для процесів хлібопекарської галузі [149, 150].

Упровадження принципів раціонального перемішування компонентів потребує принципово нових підходів щодо створення нового покоління технологічного обладнання. Тому швидке впровадження в промисловість технологічних процесів дискретно-імпульсного способу введення компонентів у зваженому стані та застосування додаткових механічних впливів під час їх дозування дозволяє створюються сприятливі умови для його інтенсифікації. Це відбувається за рахунок збільшення міжфазової площі контакту, покращення масообміну та теплообміну, зменшення витрат енергії на вплив гідравлічних опорів системи та створення умов переходу від процесів періодичних до напівбезперервних і безперервних.

На основі узагальнення наукового-практичного досвіду нами було висунуто наукову гіпотезу нового підходу до інтенсифікації гідромеханічних та тепломасообмінних процесів у гетерогенних дисперсних середовищах, яку започаткували науковці Лісовенко О.Т. та Стадник І.Я. [151, 152].

Сутність підходу до вирішення задачі підвищення інтенсифікації процесів приготування рідкої опари, яка дозволяє зменшити енерговитрати процесу та підвищити якість продукту полягає в застосуванні принципу дискретно-імпульсного введення компонентів у зваженому стані.

Принцип дискретно-імпульсного введення компонентів обґрунтовує можливість суттєвого підвищення продуктивності технологічних процесів при мінімальних витратах питомої енергії, при цьому розроблений спосіб є комбінованими, у ньому передбачений одночасний вплив фізичних і хімічних факторів.

Для підвищення процесів інтенсифікації приготування рідкої опари та подальшого приготування борошняного тіста нами запропоновано удосконалений спосіб приготування рідкої опари, який захищено патентом України на винахід № 124070 [153] і деклараційним патентом України на винахід № 137426 [154] та конструкцію змішувача рідких напівфабрикатів і сипучих компонентів, яка захищена деклараційними патентами України на винаходи № 134226 і № 137278 [155, 156], додаток Б.5.3.

У сукупності запропонований спосіб приготування рідкої опари та конструкція змішувача компонентів для його реалізації передбачають реалізацію технології безперервного дозованого внесення та перемішування компонентів у зваженому стані, яка передбачає в загальному контексті дискретно-імпульсне введення компонентів, або нагнітання приготовленої водно-дріжджової суспензії (рідинної першої фази) та її одночасну взаємодію з вібродозованою подачею необхідної кількості сипучого борошна (другої фази) в одну загальну робочу камеру змішувача, де відбувається процес приготування рідкої опари [157].

Для реалізації запропонованого способу приготування рідкої опари на першому етапі технічного моделювання розроблено загальну схему (3D модель) конструкції дискретно-імпульсного змішувача компонентів, рис. 1.20, додаток Б.6.3. Приготовлена водно-дріжджова суспензія в дозованій кількості у зваженому стані подається дозатором 4 (рис. 1.16) через відповідні магістралі до розпилювачів 9, а з них через форсунки розпилювачів під відповідним тиском – в робочу камеру 2 змішувача.

Одночасно з подачею водно-дріжджової суспензії в робочу камеру відбувається дозована подача борошна робочими органами вібродозатора 3, при цьому частинки борошна у фазі вільного польоту взаємодіють з частинками розпиленої водно дріжджової суспензії, які у подальшому переміщуються на тарілчастий диск 11, де в кінцевому відбувається примусовий процес домішування компонентів механізмом приводних робочих органів, які встановлено на приводному валу 10 в робочій камері дискретно-імпульсного змішувача компонентів [158].

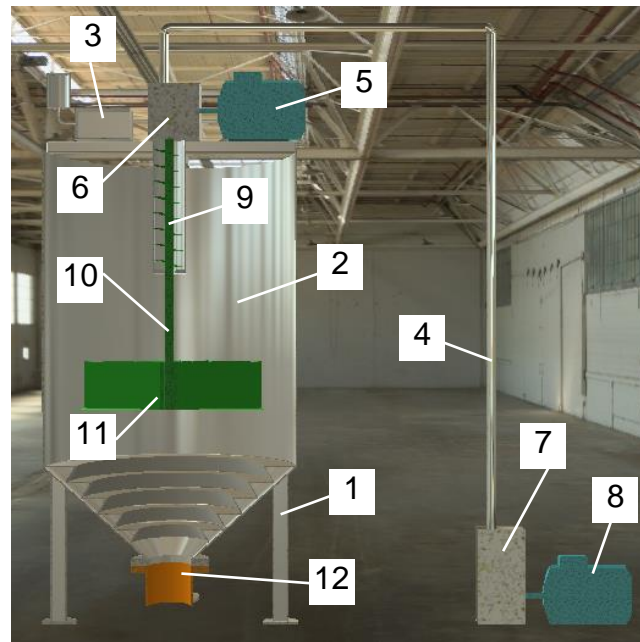


Рисунок 1.20 – Загальна схема (3D модель) конструкції дискретно-імпульсного змішувача компонентів: 1 – рама; 2 – циліндрична робоча камера; 3 – вібродозатор борошна; 4 – дозатор подачі рідких компонентів; 5, 8 – електродвигун; 6 – редуктор; 7 – ємність; 9 – розпилювачі рідини; 10 – приводний вал; 11 – тарілчастий диск; 12 – зливна горловина

На основі проведеного аналізу було запропоновано узагальнену структурну схему дискретно-імпульсного змішувача компонентів, рис. 1.21.

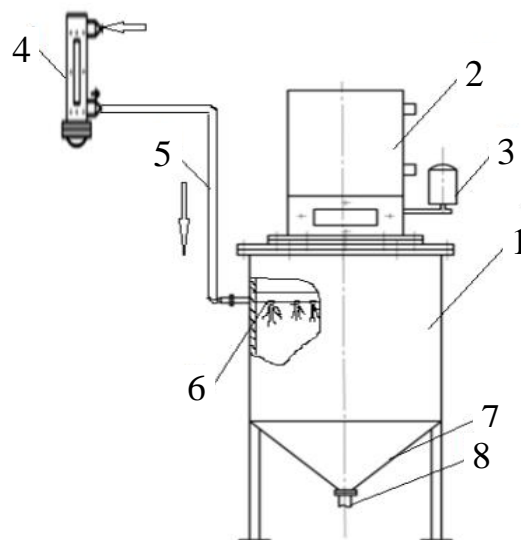


Рисунок 1.21 – Узагальнена структурна схема дискретно-імпульсного змішувача компонентів: 1 – робоча камера; 2 – дозатор сипких компонентів; 3 – електродвигун; 4 – дозатор рідких компонентів; 5 – трубопровід; 6 – розпилювачі; 7 – мішалка; 8 – зливна магістраль

Основними вузлами дискретно-імпульсного змішувача компонентів є робоча камера 1, дозатор сипких 2 і рідких 4 компонентів, електродвигун 4 приводу робочих органів, розпилувачі 6 та мішалка 7.

Причому процес перемішування виникаючих псевдорозріджених шарів суміші компонентів відбувається без утворення пульсацій її подачі, а початку утворення диспергованої газової фази відповідають псевдорозріджені шари з найменшими гідростатичними тисками, тобто у зваженому стані. За цієї частини перехідного процесу присутня повномасштабна взаємодія та циркуляція шарів суміші, оскільки перемішуванню сприяє тільки динаміка руху компонентів. В подальшому процесу утворення однорідної суміші сприяє дія тарілчастого робочого органу.

Застосування дискретно-імпульсного змішувача для приготування рідкої опари дозволяє інтенсифікувати процес перемішування компонентів і частково вирішити задачу енерго- та ресурсозбереження в галузях харчової та фармацевтичної промисловості.

Проведений аналіз процесів змішування дисперсних компонентів свідчить про те, що він є досить розповсюдженою темою наукових розробок в багатьох галузях.

Проте розглянуті фахові наукові праці [159-162] не конкретизують технологічного явища одночасного дозування та перемішування компонентів, що особливо важливо при економії енергоресурсів на підприємствах з малим обсягом виробництва. Технологічні завдання виготовлення опари часто різняться за функціональним і технічним станом обладнання. Процеси змішування реалізуються, як на стадіях готування опари, так і на стадії замішування тіста. Крім цього даний процес вирівнює вміст інгредієнтів і їх властивості по всій масі та об'єму, що знаходиться в робочій камері машини. Незважаючи на широке використання змішування і гомогенізації у виробництві, ці процеси ще досить погано вивчені.

Тому виникає потреба в розробленні методичних основ розрахунку технологічних і конструктивних параметрів робочих органів змішувача для дозування та перемішування компонентів у зваженому стані.

1.4. Постановка завдань дослідження

На основі проведеного аналізу можна констатувати:

1.4.1. В загальному випадку вирішення завдання інтенсифікації змішування компонентів пов'язано із впливом на структурну систему різноманітних зовнішніх факторів, які дозволяють змінити в потрібному напрямку стан системи і швидкість протікання в ній процесів переносу. Застосування найсучасніших способів інтенсифікації виробничих процесів пов'язано з використанням імпульсних методів впливу. Використання методу дискретно-імпульсного введення енергії сприяє інтенсифікації процесів змішування в усьому робочому об'ємі камери.

1.4.2. Проведений огляд літературних джерел сучасного стану проблеми інтенсифікації процесу змішування компонентів показав доцільність використання дискретно-імпульсних методів, в яких ефективно застосовуються механічні механізми.

1.4.3. Інтенсифікація процесів гідродинаміки і тепломасообміну відбувається при досягненні явища взаємної взаємодії компонентів у псевдорозріджених шарах, механічної дії робочих органів та часткової вібрації дозованого борошна.

1.4.4. На виникнення та розвиток змішувальних процесів мають вплив ряд гідродинамічних факторів: форма меж течії, параметри течії (швидкість) і критичний кут атаки робочого органу, при якому можуть утворюватися бульбашки або виникати каверни, а також властивості матеріалу: вміст повітря, газу або твердих частинок, поверхневий натяг, в'язкість тощо.

1.4.5. Для підвищення енергоефективності процесу приготування рідкої опари запропонований удосконалений спосіб дозованого введення компонентів у зваженому стані та конструкція дискретно-імпульсного змішувача.

Метою дослідження є зменшення енергетичних витрат процесу приготування рідкої опари шляхом удосконалення технології та обладнання дискретно-імпульсного введення компонентів у зваженому стані при їх перемішуванні.

Для досягнення поставленої мети визначені наступні задачі дослідження:

1. На основі аналізу відомих способів і конструкцій удосконалити спосіб приготування рідкої опари та розробити конструкцію дискретно-імпульсного змішувача компонентів для виконання технологічних операцій.

2. Розробити:

- аналітичні залежності для визначення параметрів утвореної суміші рідкої опари та робочої камери змішувача залежно від дозованої маси компонентів перемішування;

- математичні моделі опису взаємозв'язку закономірності руху дозованих компонентів і формування суміші в об'ємі робочої камери дискретно-імпульсного змішувача залежно від параметрів процесу перемішування;

емпіричні моделі, які описують:

- робочу висоту утвореної суміші та коефіцієнт однорідності приготовленої рідкої опари залежно від секундної подачі дозованого борошна, амплітуди коливання дозатора борошна, частоти обертання приводного вала;

- висоту бродіння опари з урахуванням сумарної секундної подачі компонентів суміші та часу бродіння опари;

- споживану витрату потужності для трьох способів приготування рідкої опари залежно від часу та температури процесу.

3. Провести порівняльні дослідження показників якості приготовленої рідкої опари базовим та розробленими способами.

Основні наукові результати розділу опубліковано в працях [41, 42, 63, 68, 106, 148, 153-158].

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Програма, об'єкт і предмет проведення досліджень

Згідно з сформульованою метою дисертаційної роботи та поставлених наукових завдань, а також для перевірки адекватності результатів теоретичних досліджень технологічного процесу дискретно-імпульсного перемішування компонентів у зваженому стані в робочій камері дискретно-імпульсного змішувача, програма теоретично-експериментальних досліджень була такою:

1. Провести теоретичні дослідження технологічного процесу приготування рідкої опари способом дискретно-імпульсного перемішування дозованих компонентів у зваженому стані в робочій камері дискретно-імпульсного змішувача з використанням основних положень теоретичної механіки, теорії машин і механізмів та вищої математики.

2. Розробити технічну документацію та виготовити макетний зразок експериментального зразка лабораторної установки удосконаленого дискретно-імпульсного змішувача компонентів і лабораторних стендів.

2. Провести лабораторні експериментальні дослідження для розробки емпіричних моделей, які характеризують:

- функціональну залежність зміни робочої висоти утвореної суміші в камері дискретно-імпульсного змішувача та коефіцієнта однорідності залежно від основних параметрів процесу приготування рідкої опари;

- залежність зміни споживаних витрат потужності та кислотності залежно від часу та температури приготування рідкої опари для прийнятих циклів роботи електромотора-редуктора дискретно-імпульсного змішувача;

3. Провести дослідження зміни висоти, коефіцієнта динамічної в'язкості та порівняльні лабораторні дослідження показників якості приготовленої рідкої опари для трьох варіантів і «контролю» приготування рідкої опари.

На цій основі розроблено узагальнену структурну схему проведення теоретичних і експериментальних досліджень процесу приготування рідкої опари в дискретно-імпульсному змішувачі компонентів, рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Узагальнена структурна схема проведення теоретично-експериментальних досліджень процесу приготування рідкої опари

У процесі проведення теоретичних і експериментальних досліджень передбачалося вивчення гідродинаміки руху середовища, зміни структурних характеристик утвореної суміші, вплив конструктивних і технологічних параметрів на дану структуру, дослідження показників якості приготовленої рідкої опари, визначення витрат споживаної потужності, зміни температури та кислотності в рідинному середовищі робочої камери залежно від часу приготування рідкої опари за допомогою спеціальних приладів.

При проведенні теоретичних досліджень велика частка досліджень спрямована на імітаційне моделювання процесу перемішування компонентів у зваженому стані, а їх основною метою є розробка узагальненого підходу для опису процесу перемішування компонентів у вертикальному одновальному змішувачі примусової дії, де процес змішування передбачає дискретно-імпульсне введення енергії із максимальним використанням поверхні контакту змішувача та компонентів, що забезпечить приготування рідинної системи в харчовій і фармацевтичній промисловості.

Узагальнена схема моделювання процесу змішування компонентів наведена на рис. 2.2 [41].

Для рішення задач процесів змішування компонентів спочатку розв'язується термомеханічна задача розподілу швидкостей та стану рідини, а потім на її основі – задача масообміну шляхами дифузії та конвекції. Так при розробці гіперболічної моделі одношвидкісного в'язкого теплопровідного середовища розглядається n -компонентна суміш з першими m стискаючими фракціями, в рівняння якої включено ефекти в'язкості та теплопровідності [163]. В розробленому підході встановлено принцип дискретизації термодинамічних параметрів, що дозволяє ввести в термодинаміку час, який є суттєвим параметром і визначати масштаб для опису процесів перенесення маси, тепла, імпульсу.

Для проведення теоретично-експериментальних досліджень процесу приготування рідкої опари шляхом дозованого перемішування компонентів у зваженому стані розроблено конструкцію дискретно-імпульсного змішувача.

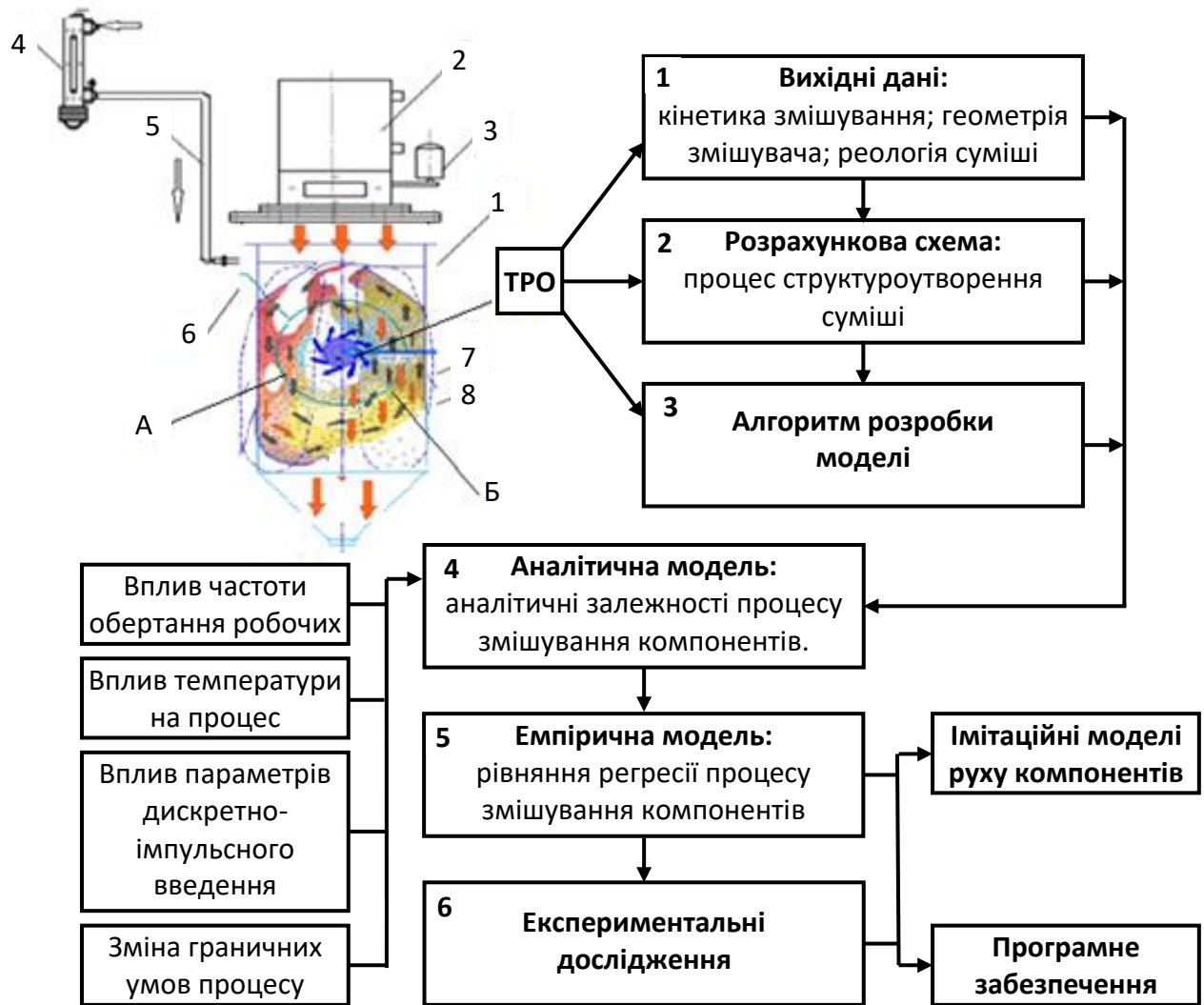


Рисунок 2.2 – Схема моделювання процесу змішування: 1 – корпус; 2 – дозатор борошна; 3 – двигун; 4 – дозатор рідини; 5 – трубопровід; 6 – сопла; 7 – робоча камера; 8 – рух суміші.

Конструктивна схема та 3D модель дискретно-імпульсного змішувача компонентів наведені на рис. 2.3а, б [41, 148, 164]. На рис. 2.3в, г, д наведено, відповідно, загальний вигляд змішувача, вигляд основних вузлів і робочих органів лабораторної установки: тарілчастих дисків і мішалки; дозатора подачі водно-дріжджової суспензії.

На рис. 2.4 та додатку В.1.1 наведено загальний вигляд панелі пульта керування (вигляд спереду) електромотором-редуктором дозатора секундної подачі борошна та частоти обертання приводного вала і керування відцентровим електронасосом дозатора секундної подачі водно-дріжджової суспензії в робочу камеру змішувача.

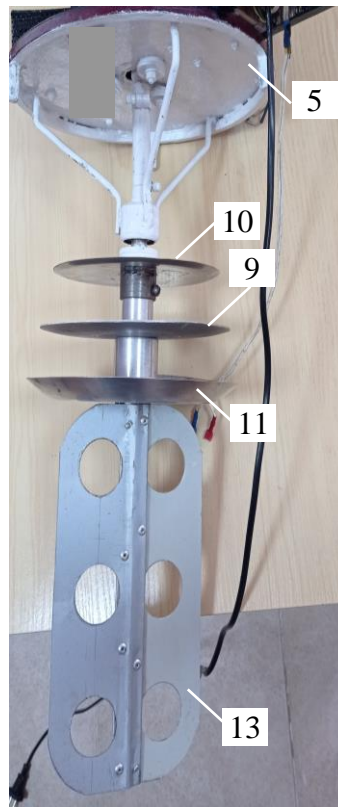
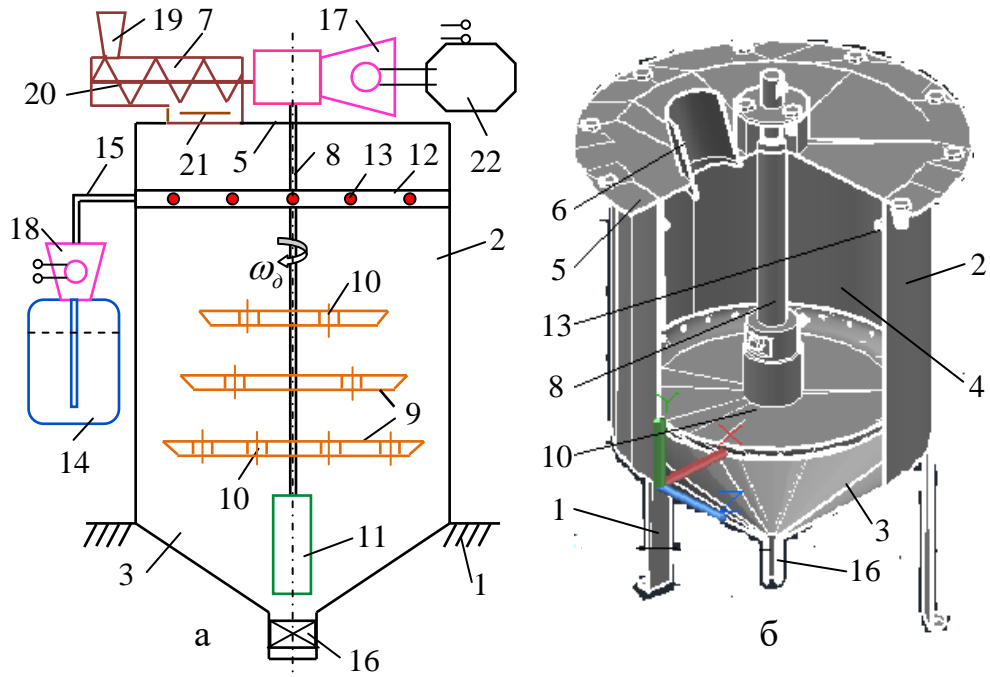


Рисунок 2.3 – Схема та загальний вигляд лабораторної установки: а, б – відповідно, конструктивна схема та 3D (б) модель дискретно-імпульсного змішувача компонентів; в – загальний вигляд лабораторної установки; г – загальний вигляд тарілчастих дисків і мішалки; д – загальний вигляд дозатора водно-дріжджової суспензії



Рисунок 2.4 – Загальний вигляд панелі пульта керування: 1 – перемикач живлення мережі; 2 – перемикач включення живлення електродвигунів; 3, 4 – відповідно, перемикач частоти обертання вала відцентрового електронасоса, мотор-редуктора вібродозатора борошна та приводу вала і мішалки

Лабораторна установка складається з рами (корпусу) 1 (рис. 2.3) на якому змонтовано циліндричну 2 та усічену конічну 3 частини робочої камери 4, зверху якої встановлено кришку 5. В кришці через вхідну горловину 6 встановлено вібродозуючий пристрій 7 борошна [165] та приводний вал 8, який розташовується всередині робочої камери дискретно-імпульсного змішувача.

На приводному валу змонтовано систему змінних регульовальних тарілчастих дисків 9, які мають отвори 10, а на нижньому торці приводного вала закріплено мішалку 11. Всередині робочої камери по її периметру та периферії циліндричної частини робочої камери закріплено водопровід 12 в якому змонтовано дев'ять струминних розпилювачів 13 для дозованої подачі водно-дріжджової суспензії всередину робочої камери [154, 155].

Дозування водно-дріжджової суспензії відбувається за рахунок встановленого на рамі змішувача дозуючого пристрою 14 водно-дріжджової суспензії через водопроводи 15 і 12 та струминні розпилювачі 13. Знизу усіченої конічної частини робочої камери змішувача встановлено зливний кран 16. Привод вібродозуючого пристрою борошна та приводного вала відбувається за допомогою електромотора-редуктора 17, який має два вихідних вали, а

дозуючого пристрою водно-дріжджової суспензії – за допомогою відцентрового електронасоса 18. Вібродозуючий пристрій борошна має завантажувальну ємність 19, шнековий живильник 20 і вібраційне решето 21, яке встановлено під вихідною частиною шнекового живильника та має кривошипно-шатунний механізм приводу.

Керування мотор-редуктором привода вібродозуючого пристрою борошна та приводного вала, а також відцентрового електронасоса дозованої подачі водно-дріжджової суспензії відбувається з панелі блока керування 22, який має органи регулювання (перемикачі 1-4) процесом роботи дискретно-імпульсного змішувача компонентів суміші, рис. 2.4, додаток В.1.1.

Технічна характеристика лабораторної установки наведена в додатку В.2.1.

Технологічний процес роботи лабораторної установка під час приготування рідкої опари в дискретно-імпульсному змішувачі компонентів у зваженому стані є таким.

На першому етапі зважену кількість дріжджів і необхідну кількість води згідно з рецептурою завантажують в робочу камеру, при цьому: на панелі пульта керування 22 перемикачем 1 (рис. 2.4) вмикають живлення мережі ~220 В; вмикають перемикач 2 «робота», а перемикачем 3 вмикають живлення (+12 В) відцентрового електронасоса 17 (рис. 2.3) дозатора водно-дріжджової суспензії; перемикачем 4 вмикають живлення електромотора-редуктора 16 приводного вала 8. За рахунок обертання мішалки 11 відбувається перемішування компонентів і утворення водно-дріжджової суспензії. Зупиняють роботу установки, а водно-дріжджову суспензію зливають в ємність через зливний кран 16.

На другому етапі приготовлену водно-дріжджову суспензію заливають у ємність дозуючого пристрою 14, зважують борошно та завантажують його в вібродозатор борошна 7 (рис. 2.3). На панелі пульта керування 22 вмикають приводи дозаторів водно-дріжджової суспензії, борошна та тарілчастих дисків 9 і мішалки 11. За рахунок обертання шнекового живильника 20 дозоване борошно надходить на вібраційне решето 21, а з нього через вхідну горловину 6

з певною амплітудою поздовжніх коливань надходить у робочу камеру на тарілчастий диск 9 у процесі вільного падіння під дією сили тяжіння. При цьому одночасно з дозованою подачею борошна, за рахунок обертання відцентрового електронасоса приводу дозатора водно-дріжджової суспензії, відбувається дозована пульсуюча секундна подача в робочу камеру змішувача водно-дріжджової суспензії через водопровід 15 та водопровід 12, а далі через сопла дев'яти розпилювачів 13.

При цьому відбувається початковий процес перемішування зважених компонентів і утворення псевдорозрідженого стану суміші компонентів, під час якого компоненти розподіляються по висоті робочої камери залежно від обраних початкового положення тарілчастих дисків 9 та їх частоти обертання. Частинки дозованого борошна з амплітудою коливання стикаються одна з одною та подрібнюються під дією відцентрових сил і сили тиску водно-дріжджової суспензії, а інтенсивність переходів елементів суміші варіюється залежно від встановлених конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів змішувача. За рахунок обертання мішалки 11 компоненти суміші змішуються до необхідної однорідності.

Утворене псевдозрідження є одним із найбільш прогресивних методів здійснення технологічних процесів із дисперсною фазою. Псевдозрідження в шарі є низьковитратним процесом і тому має своє використання в багатьох галузях промисловості. Використання пульсуючого потоку рідини крізь шар дисперсних частинок дає змогу інтенсифікувати процес перемішування. Разом з тим, використання пульсуючого потоку рідини та борошна призводить до збільшення продуктивності процесу змішування. При такому підході забезпечується зменшення загальних витрат енергії, які необхідні для реалізації процесу перемішування компонентів, в ході якого відсутні застійні зони із досить інтенсивними течіями утворюючого середовища.

Під час проведення експериментальних досліджень з визначення числового значення дозованої подачі водно-дріжджової суспензії в робочу камеру дискретно-імпульсного змішувача застосовували струминний розпилювач, схема якого наведена на рис. 2.5 [158].

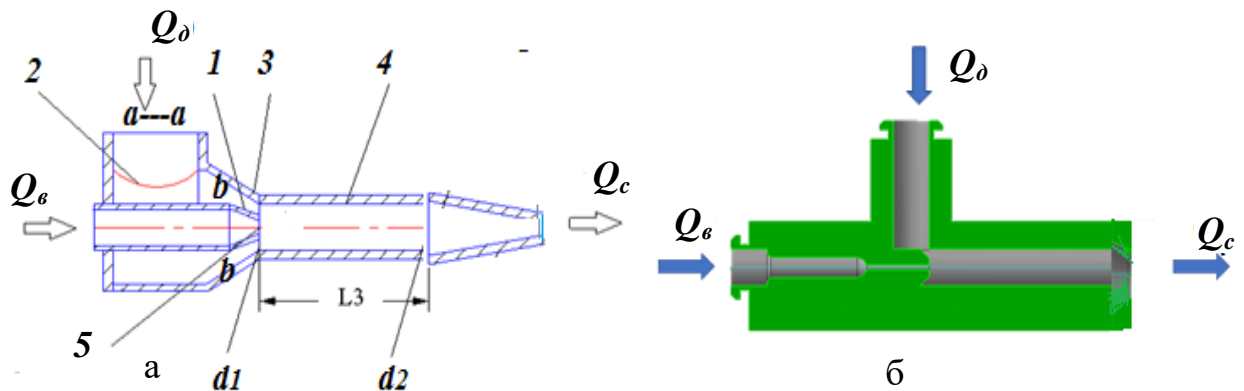


Рисунок 2.5 – Загальна конструкція струминного розпилювача водно-дріжджової суспензії: а – конструктивна схема; б – 3D модель; 1 – активне сопло; 2 – приймальна камера; 3 – пасивне сопло; 4 – камера змішування; 5 – дифузор; Q_e – подача води в сопловий переріз активного сопла; Q_d – подача рідких дріжджів у приймальну камеру; Q_c – подача змішаної водно-дріжджової суспензії у робочу камеру змішувача

Для визначення (тарування) числового значення дозованої подачі водно-дріжджової суспензії в робочу камеру через струминний розпилювач дискретно-імпульсного змішувача розроблено лабораторний стенд, схему якого наведено на рис. 2.6 [158].

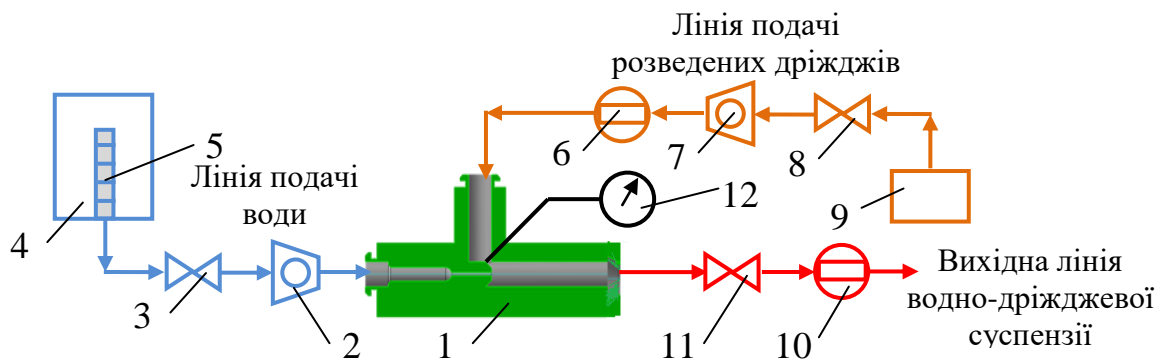


Рисунок 2.6 – Схема лабораторного стенду для визначення дозованої подачі водно-дріжджової суспензії: 1 – струминний розпилювач; 2, 7 – відцентровий насос; 3, 8, 11 – регулювальна засувка; 4, 9 – резервуар для води і розведених дріжджів; 5 – показчик рівня води; 6, 10 – витратомір; 12 – манометр

Лабораторний стенд для визначення (тарування) секундної подачі дозованої водно-дріжджової суспензії складається з струминного розпилювача 1 (рис. 2.6), резервуара для води 4 та резервуара 9 для розведених пресованих

дріжджів, відцентрового насоса 2 і 7 для подачі води та розведених дріжджів з відповідних резервуарів в відповідні лінії струминного розпилювача, регулювальних засувок 3, 8 і 11, витратомірів води 3 та розведених дріжджів 6, манометра 12 для контролю тиску в магістралі дифузора 5 (рис. 2.5) активного сопла 1 струминного розпилювача. Приймальний резервуар 4 обладнаний трубкою показчика рівня води 5.

Регулювання режиму роботи відцентрових насосів 2 (рис. 2.6) і 7 та розпилювача 1 здійснюється за допомогою регулювальних засувок 3, 8 і 11. Засувка 3 та 8 дозволяє змінювати, відповідно, секундну подачу води та секундну подачу розведених дріжджів ідентичними відцентровими насосами шляхом регулювання величини тиску на вхідних лініях $Q_в$ (рис. 2.5) і $Q_д$. Засувка 11 дає змогу здійснювати регулювання режиму роботи струминних розпилювачів шляхом зміни величини тиску змішаного потоку, не впливаючи безпосередньо на значення тиску інжектowanego потоку Q_c .

Оскільки розгалуження всмоктувальної лінії розпилювача розміщене перед потоком засувки 11, то зростання тиску змішаного потоку, викликане зміною ступеня її відкриття, не передається безпосередньо в вихідну лінію секундної подачі Q_c змішаної суміші у робочу камеру змішувача.

Зміна ступеня відкриття засувки 11 дає можливість регулювати режим роботи струминного пристрою за рахунок збільшення або зменшення секундної витрати Q_c водно-дріжджової суспензії через вихідну лінію.

Показами витратоміра 10 визначають необхідну секундну подачу Q_c водно-дріжджової суспензії в робочу камеру дискретно-імпульсного змішувача.

Технічна характеристика лабораторного стенду наведена в додатку В.3.1.

Оскільки геометрія робочої камери та робочого органу змішувача є конструктивним параметром, який безпосередньо впливає на якість структурно-механічних властивостей суміші, то в процесі теоретичного дослідження необхідно встановити раціональні параметри робочої камери дискретно-імпульсного змішувача, які регламентують технологічні режими роботи змішувача.

Досліджувався характер зміщення компонентів в робочій камері змішувачі із розташуванням трьох тарілчастих робочих органів з кутом атаки $\alpha = 30^\circ$, який приймали із припущення, що це є абсолютним початком відліку системи координат процесу переміщення компонентів по поверхні тарілчастих дисків.

Оцінка ефективності режимів роботи та якості утвореної суміші проводилася відносно цих прийнятих початкових координат.

Для дослідження реологічних характеристик (наприклад, густини та коефіцієнта динамічної в'язкості, приготовленої рідкої опари) було розроблено та виготовлено лабораторний стенд, принцип роботи якого базується на ротаційному методі дослідження.

Схема та загальний вигляд лабораторного стенду наведена на рис. 2.7.

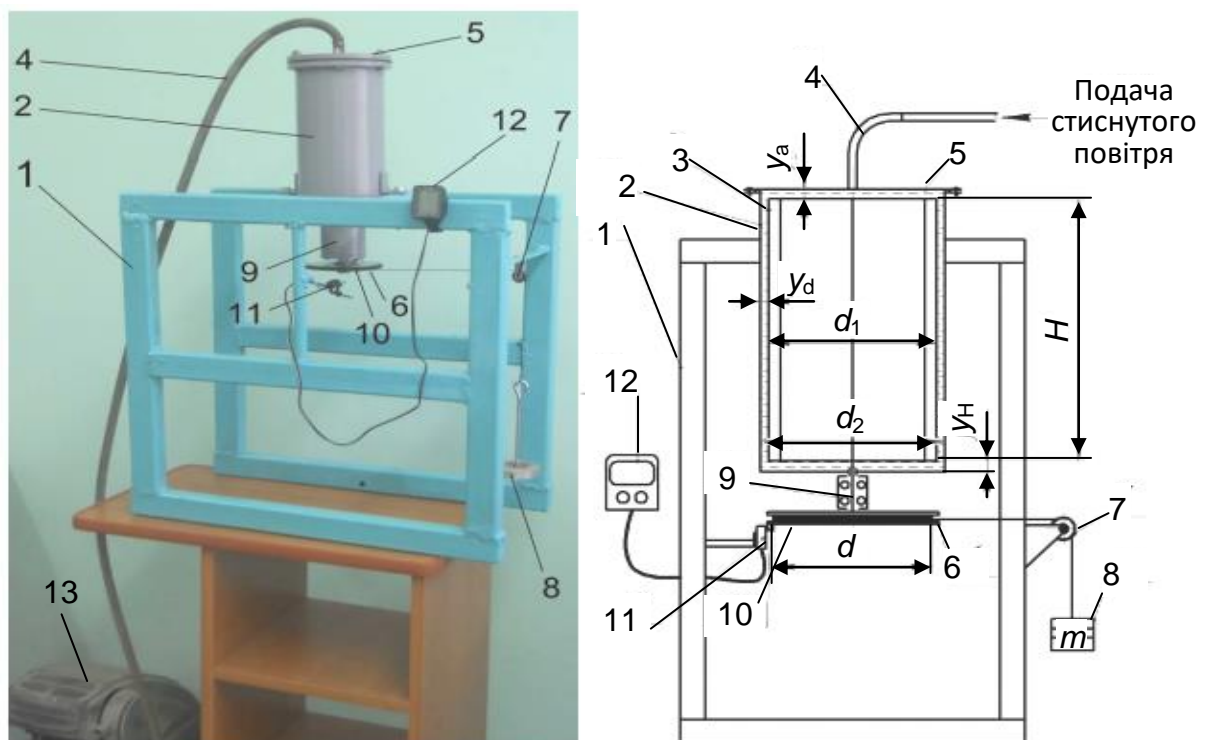


Рисунок 2.7 – Лабораторний стенд для дослідження коефіцієнта динамічної в'язкості приготовленої рідкої опари: а – загальний вигляд; б – конструктивна схема; 1 – рама; 2, 3 – відповідно, зовнішній нерухомий і внутрішній рухомий циліндр; 4 – шланг подачі стиснутого повітря; 5 – кришка; 6 – приводний шків; 7 – блок; 8 – вантаж; 9 – блок підшипників; 10 – постійний магніт; 11 – давач; 12 – вимірювальний прилад; 13 – компресор

Лабораторний стенд складається з рами 1, на якій встановлено зовнішній циліндр 2 і внутрішній циліндр 3. Зовнішній циліндр закритий кришкою 5, яка забезпечує його герметизацію, а в отвір кришки вмонтовано шланг 4 для подачі стиснутого повітря в порожнину внутрішнього циліндра. Внутрішній циліндр має вісь, яку встановлено в підшипникову опору 9. На нижньому кінці осі внутрішнього циліндра закріплено приводний шків 6. Також на рамі встановлено блок 7, постійний магніт 10, давач 11 та вимірювальний прилад 12, який зв'язаний з вантажем 8 за допомогою троса вмонтованого в систему шків-блок. Установка має також компресор 13 для нагнітання стиснутого повітря в простір між зовнішнім нерухомим і внутрішнім рухомим циліндрами.

У кільцевому проміжку між зовнішнім нерухомим 2 та внутрішнім рухомим 3 циліндрами розташовується досліджуваний матеріал. Обертотий рух внутрішній циліндр одержує через шків 6 та блок 7 вантажами 8. Обертання внутрішнього циліндра регулюється масою вкладених вантажів. Внутрішній циліндр має вісь, яка обертається у підшипниковій опорі 9.

Реєстрацію частоти обертання внутрішнього рухомого циліндра здійснює постійний магніт 10, який закріплений на шківу, а на рамі 1 – давач 11. Давач з'єднаний провідником із вимірювальним приладом для фіксації значення максимальної частоти обертання внутрішнього рухомого циліндра. Компресор 13 нагнітає стиснуте повітря через шланг 4 у робочу камеру внутрішнього рухомого циліндра.

Об'єктом дослідження експериментального зразка лабораторної установки (рис. 2.4) є основні операції технологічного процесу приготування рідкої опари способом дискретно-імпульсного перемішування дозованих компонентів у зваженому стані та робочі органи дискретно-імпульсного змішувача компонентів. Предметом дослідження є конструктивно-кінематичні параметри робочих органів дискретно-імпульсного змішувача, технологічні показники приготування та показники якості приготовленої рідкої опари.

Реалізацію експериментальних досліджень процесу приготування рідкої опари удосконаленим дискретно-імпульсним змішувачем проводили згідно з структурною схемою, яку наведено на рис. 2.8.

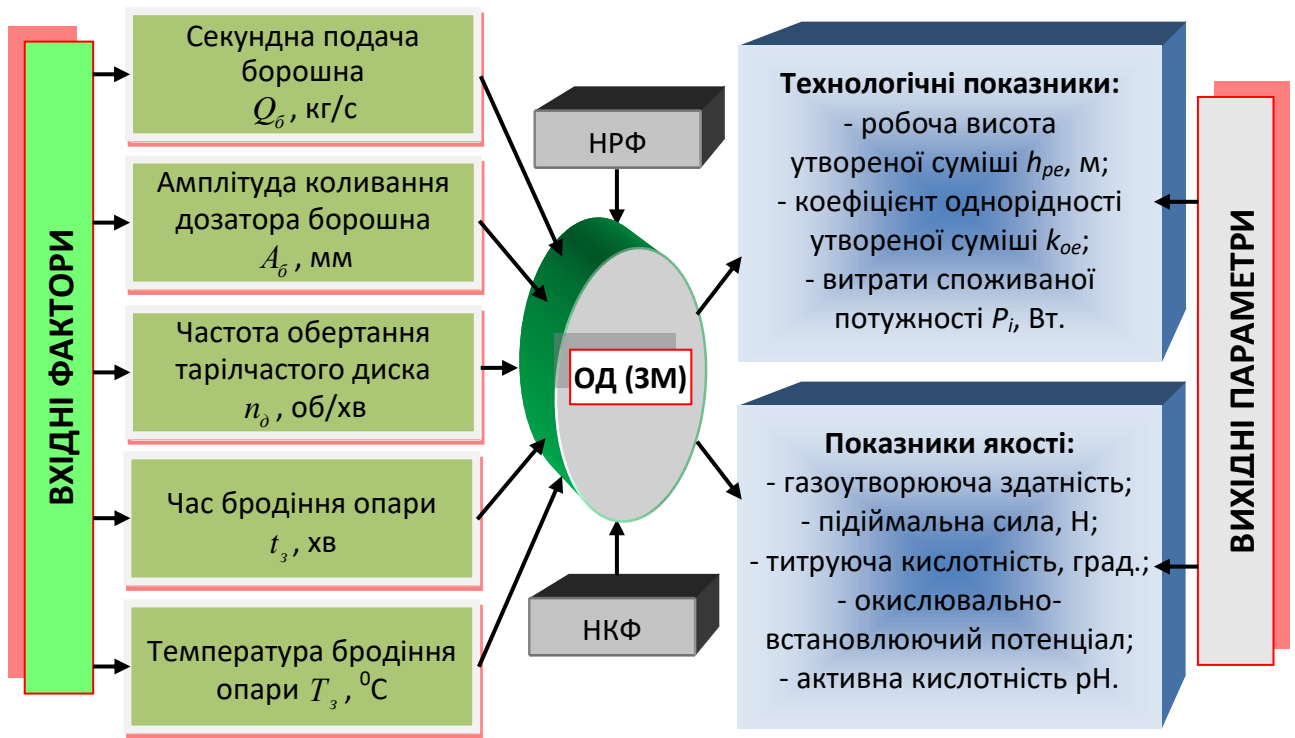


Рисунок 2.8 – Структурна модель проведення експериментальних досліджень процесу приготування рідкої опари; ОД (ЗМ) – відповідно, об’єкт дослідження (змішувач); НРФ, НКФ – нерегульовані та некеровані фактори

Вхідними змінними факторами об’єкту дослідження, або робочих органів дискретно-імпульсного змішувача компонентів є параметри перемішування, а її вихідними величинами – технологічні показники процесу приготування та показники якості приготовленої рідкої опари способом дискретно-імпульсного перемішування дозованих компонентів у зваженому стані.

Для реалізації експериментальних досліджень з визначення технологічних показників та показників якості приготовленої рідкої опари застосовували розроблений зразок дискретно-імпульсного змішувача.

Окрім гідродинаміки процесу перемішування компонентів, важливою характеристикою взаємодії цих компонентів є їх кінетика. Сумарна швидкість процесу взаємодії визначається інтенсивністю кінетичної та дифузійної стадій. Кінетика є одним із найважливіших аспектів взаємодії фаз компонентів і характеризується конструкцією розпилювача водно-дріжджової суміші або води. Параметри кінетики встановлюють закономірності перебігу процесу в часі та визначають швидкість протікання процесу перемішування компонентів.

2.2. Методика реалізації процесу приготування рідкої опари способом дискретно-імпульсного введення компонентів у зваженому стані

Основою способу перемішування компонентів у робочій камері дискретно-імпульсного змішувача є зволоження пиловидних часточок дозованого борошна, які мають певну амплітуду коливання розпиленим струменем водно-дріжджової суспензії під певним тиском, які перебувають у завислому вільнопадаючому стані та подальше вільне пересування утвореного псевдорозрідженого стану суміші на тарілчасті диски, які обертаються з певною кутовою швидкістю.

Загальний принцип методики реалізації процесу приготування рідкої опари способом дискретно-імпульсного перемішування компонентів у зваженому стані базується на двох основних процесах інтенсифікації змішування, які взаємопов'язані між собою: реалізація процесу дозування борошна, дріжджів і рідких компонентів, які є основними інгредієнтами та які необхідні для приготування рідкої опари; дослідження кінетики робочого органу та параметрів робочої камери дискретно-імпульсного змішувача.

Для приготування рідкої опари використовували борошно пшеничне 1-го гатунку, пресовані дріжджі, сіль, добавки та звичайну питну воду. Інтенсивність механічного впливу на компоненти суміші буде залежати від вибраної рецептури.

Для розрахунку рецептури водно-борошняної суміші приймали постулат, що її маса в робочій камері дискретно-імпульсного змішувача становила $m_3 = 4,0$ кг. Приймали таку рецептуру, яка перерахована на циклову дозу: маса борошна $m_b = 2,4$ кг; маса пресованих дріжджів $m_d = 0,5$ кг; загальна маса води $m_w = 3,6$ кг; маса солі $m_c = 0,03$ кг; маса інших добавок $m_{доб.} = 0,01$ кг.

Для приготування рідкої опари було використано: дріжджі пресовані «Львівські» виробництва Львівського дріжджового заводу (ЗАТ «Ензим») та «Криворізькі» виробництва ЗАТ «Надія» (ТОВ «Лесафр Україна»); борошно першого сорту виробництва ТОВ «Тернопільський комбінат хлібопродуктів»; звичайна питна вода без будь-якого оброблення.

Опару готували запропонованим способом за рецептурою пробної лабораторної випічки.

Компоненти для змішування було взято у співвідношенні борошно-дріжджі-сіль як 100 : 1,0 : 0,5, а необхідну кількість води розраховували згідно з вологістю борошна, яке використовувалось для приготування рідкої опари.

Якість дозування при змішуванні обумовлена раціональним досягненням рівномірності розподілу компонентів по масі суміші за мінімального часу дозування. Дозовану кількість кожного інгредієнта або компонента суміші визначали в такій послідовності.

Визначали необхідну об'ємну кількість води G_e (мл) для приготування водно-дріжджової суспензії за формулою згідно з положеннями [41, 166]

$$G_e = \frac{G_{\delta} (W_n - W_{cv})}{100 - W_n}, \quad (2.1)$$

де G_{δ} – сумарна маса борошна, г;

W_n, W_{cv} – вологість середовища та середньозважена вологість сировини, %.

При цьому

$$W_{cv} = \frac{G_{\delta} W_{\delta} + G_{cl} W_{cl} + G_d W_d}{G_c}, \quad (2.2)$$

де G_{cl}, G_d – відповідно, маса солі та дріжджів, г;

W_{δ}, W_{cl}, W_d – відповідно, вологість борошна, солі та дріжджів %.

Співвідношення маси борошна та води для приготування рідкої опари наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Співвідношення маси борошна та води для приготування рідкої опари

Сировина	Кількість суміші, (вологість суміші W , %)		
	65%	70%	75%
Борошно першого гатунку, г	2400 (40%)	2100 (35%)	1800 (30%)
Вода, мл	3600 (60%)	3900 (65%)	4200 (70%)
Пресовані дріжджі, кг	0,05	0,07	0,06
Концентрація, г/кг	0,666	0,540	0,432

Температуру t_g ($^{\circ}\text{C}$) води, витраченої на перемішування суміші визначали із розрахунку заданої температури приготовленої рідкої опари за формулою згідно з [41, 166]

$$t_g = \frac{t_n + c_{\bar{o}} G_{\bar{o}} (t_n - t_{\bar{o}})}{c_g m_g + K}, \quad (2.3)$$

де t_n , $t_{\bar{o}}$ – задана температура приготовленої рідкої опари та температура борошна, $t_n = 28$ $^{\circ}\text{C}$;

$c_{\bar{o}}$, c_g – теплоємність борошна та води, $c_{\bar{o}} = 1,257$ кДж/кг, $c_g = 4,19$ кДж/кг К;

K – поправочний коефіцієнт розширення рідкої опари; літом приймається рівним 0...1, у весняний і осінній час – 2, у зимовий – 3.

Вміст газової фази визначали за формулою [166]

$$G_z = \frac{\rho_{\bar{o},d} - \rho_{екс}}{\rho_{\bar{o},d}} \cdot 100\%, \quad (2.4)$$

де $\rho_{екс}$ – поточне (експериментальне) значення густини опари, кг/м³;

$\rho_{\bar{o},d}$ – значення густини опари без дріжджів заданої рецептури, кг/м³.

Масову секундну продуктивність визначаємо за формулою

$$Q_o = m_o / t_3, \quad (2.5)$$

де m_o – маса приготовленої рідкої опари, кг;

t_3 – загальний час приготування рідкої опари в змішувачі, с.

Спосіб приготування рідкої опари був двостадійним з застосуванням дискретно-імпульсного перемішування компонентів у зваженому стані.

На відміну від інших процесів змішування, поставлено задачу, щоб процес здійснювався за короткий період часу, а розподілення компонентів повинно утворюватись до того періоду, коли пройде поглинання рідкими компонентами частинок борошна. Тому першу стадію змішування розглянуто, як принцип отримання суміші за рахунок з'єднанням борошна і рідких інгредієнтів у тонкому шарі. В основу другої стадії закладено положення, де компоненти мають змішуватися у ваговому стані при дії робочого органу в неперервному потоці за дозованої вібраційної подачі борошна у робочу камеру.

За один цикл готується 5...6,0 кг суміші. Продуктивність регулюється за рахунок збільшення інтервалів поміж циклами, частотою обертання та зміною геометрії робочих органів.

Порядок приготування рідкої опари був таким.

1. Приготування водно-дріжджової суспензії:

- в ємність 1 (рис. 2.9) засипали розраховану кількість пресованих дріжджів 2 (100 г), масу яких зважували на терезах, додаток В.4.2;

- зважені пресовані дріжджі висипали в ємність 3 та розчиняли їх в 1,5 л води при температурі 27...28 °С, при цьому отримували водно-дріжджову суміш 4, температуру якої вимірювали електронним пристроєм 5, додаток В.4.2;

- до водно-дріжджової суміші 4 додавали 1 кг борошна, при цьому отримували водно-дріжджову суспензію 6 та проводили її активацію за рахунок додавання в неї 50 г цукру-піску.

2. В ємність 1 (рис. 2.10) засипали розраховану кількість борошна 2, масу якого зважували на терезах.

3. Зважену масу борошна засипали в горловину 3 дозатора борошна 4.

4. В горловину 5 дозатора 6 заливали водно-дріжджову суспензію 6.

5. З пульта управління 7 вмикали електромотор-редуктор 8 і відцентровий електронасос 9, або, відповідно, привод вібродозатора борошна 4 та тарілчастих дисків і мішалки, а також дозатора водно-дріжджової суспензії.

6. Компоненти суміші в зваженому стані за допомогою дозуючих пристроїв 1 і 2 (рис. 2.11) надходили в робочу камеру 3 дискретно-імпульсного змішувача: дозуюче борошно надходить на тарілчастий диск, частота обертання якого задається з пульта керування 4, а дозована водно-дріжджова суміш через водопровід 5 і струминні розпилювачі – в об'єм робочої камери.

7. За рахунок обертання тарілчастих дисків і мішалки та дії водно-дріжджової суспензії на частинки дозованого борошна відбувається перемішування компонентів суміші в псевдорозрідженому стані протягом заданого часу перемішування (6 хв), тобто утворення рідкої опари 6.

8. Приготовлену рідку опару через зливний кран 7 зливають в ємність 8.

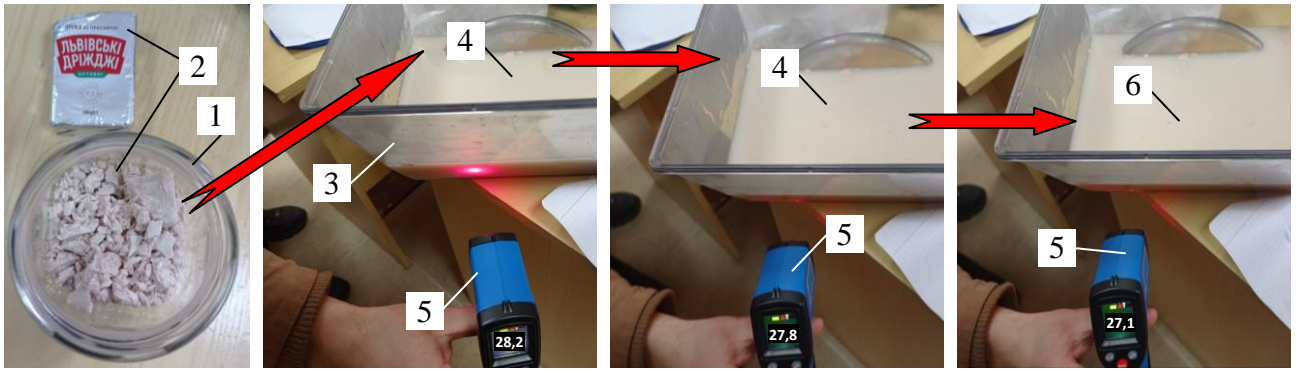


Рисунок 2.9 – Порядок приготування водно-дріжджової суміші

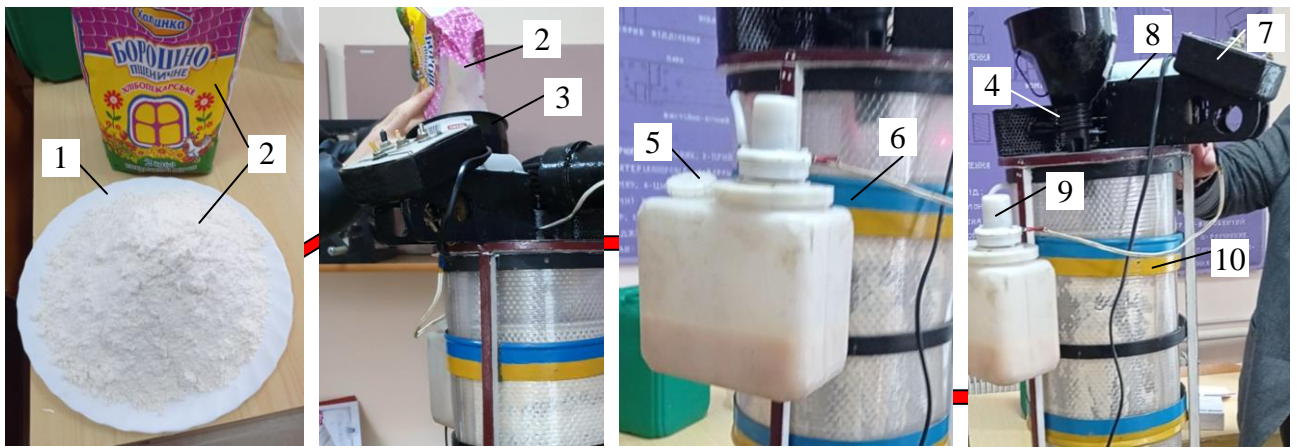


Рисунок 2.10 – Порядок подачі дозованих компонентів у змішувач

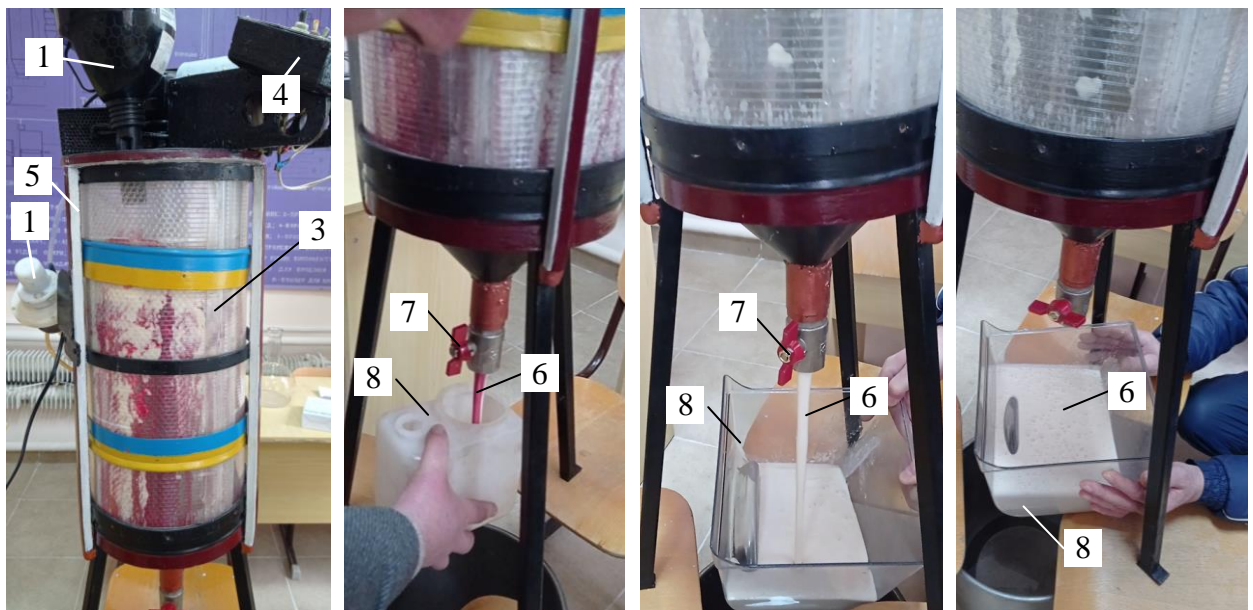


Рисунок 2.11 – Перемішування дозованих компонентів у зваженому стані у дискретно-імпульсному змішувачі

У подальшому проводять заплановані наукові дослідження технологічних показників приготування рідкої опари та показників якості приготовленої рідкої опари згідно з розробленою програмою експериментальних досліджень.

З приготовленої рідкої опари, застосовуючи традиційну методику приготування, виробляють хлібобулочні вироби.

На підставі вивчення взаємодії послідовних процесів, характеру фазових перетворень, структури й властивостей приготовленої суміші досліджують ефективність процесу приготування рідкої опари способом дискретно-імпульсного перемішування компонентів у зваженому стані в робочій камері дискретно-імпульсного змішувача.

2.3. Методика проведення експериментальних досліджень робочої висоти утвореної суміші та коефіцієнта однорідності рідкої опари

Якість процесу перемішування компонентів у робочій камері дискретно-імпульсного змішувача визначається якістю напівфабрикату та готової продукції. Моделювання процесів перемішування компонентів суміші у зваженому стані на робочих органах дискретно-імпульсного змішувача залежать від багатьох факторів: фізико-механічних властивостей інгредієнтів (борошна, дріжджів, води тощо), типу поверхонь робочих, органів, характеру силового навантаження для руйнування внутрішніх зв'язків тощо.

Дані фактори носять стохастичний випадковий характер, тому необхідно провести комплекс експериментальних досліджень для визначення домінуючих факторів, які суттєво впливають на технологічний процес приготування рідкої опари способом дискретно-імпульсного змішування дозованих компонентів у зваженому стані [167].

Для підтвердження адекватності розробленої теоретичної моделі (3.35), яка характеризує функціональну зміну максимальної робочої висоти h_p утвореної суміші під час приготування рідкої опари залежно від змінних вхідних факторів і встановлення функціональної залежності впливу цих змінних вхідних факторів на зміну коефіцієнта однорідності приготовленої рідкої опари провели експериментальні дослідження, які формалізовано у

вигляді структурної моделі (рис. 2.8) з застосуванням лабораторної установки, яку наведено на рис. 2.3.

Для отримання емпіричної моделі у вигляді рівняння регресії, яка характеризує зміну максимальної робочої висоти h_{pe} утвореної суміші під час приготування рідкої опари та коефіцієнта однорідності k_{oe} приготовленої рідкої опари вибирали план, трифакторного планованого експерименту, при цьому незалежними змінними факторами приймали: секундну подачу дозованого борошна Q_o , яку кодували індексом $Q_o \rightarrow x_1$; амплітуду коливання дозованого борошна A_o , яку кодували індексом $A_o \rightarrow x_2$; частоту обертання тарілчастого диска n_o , яку кодували індексом $n_o \rightarrow x_3$.

Планований трифакторний експеримент провели на трьох рівнях варіювання змінними вхідними факторами, тобто реалізували планований факторний експеримент типу ПФЕ 3^3 [168], реалізацію якого проводили згідно з стандартною методикою в наступній послідовності:

- визначення змінних вхідних факторів і проведення кодування факторів;
- встановлення верхнього, середнього та нижнього рівнів і інтервалу варіювання кожного фактора;
- складання план-матриці проведення планованого факторного експерименту типу ПФЕ 3^3 ;
- проведення рандомізації складеної план-матриці;
- реалізацію експериментів згідно з нумерованим порядком їх проведення, який наведено в рандомізованій план-матриці;
- обробку експериментального масиву даних з метою одержання рівняння регресії параметра оптимізації з визначенням вигляду функціональної залежності та її коефіцієнтів;
- перевірку відтворюваності одержаних функціональних числових значень експериментальному масиву даних;
- оцінку значущості коефіцієнтів регресії емпіричної моделі за відповідним критерієм;
- перевірку адекватності отриманої математичної моделі реальному експериментальному процесу за встановленим критерієм.

Методика планування експериментів і статистичної обробки експериментального масиву даних наведена у додатку В.5.3.

Вводили умовні позначення нижнього, нульового та верхнього рівнів варіювання факторів, відповідно +1, 0, -1 при побудові план-матриці планування експериментів [168]. Результати кодування факторів та рівні їх варіювання наведено у табл. 2.2.

Для зменшення загального числа N_s проведення дослідів однієї та загальних трьох повторності експериментів планованого типу ПФЕ 3^3 ($N_s = 3N_1 = 3p^k = 3 \cdot 3^3 = 81$) з визначення характеру зміни максимальної робочої висоти h_{pe} утвореної суміші та коефіцієнта однорідності k_{oe} приготовленої рідкої опари залежно від вхідних факторів застосували несиметричну план-матрицю Бокса-Бенкіна [169].

Таблиця 2.2 – Результати кодування факторів та рівні їх варіювання

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур./кодовані		
	Натур.	Код.				
Секундна подача дозованого борошна Q_6 , кг/с	X_1	x_1	0,02	0,03/-1	0,05/0	0,07/+1
Амплітуда коливання дозованого борошна A_6 , мм	X_2	x_2	0,3	0,5/-1	0,8/0	1,1/+1
Частота обертання тарілчастого диска n_6 , об/хв	X_3	x_3	20	160/-1	180/0	200/+1

Для усунення впливу неконтрольованих і нерегульованих факторів (відповідно, НКФ і НРФ, рис. 3.4) на значення параметра оптимізації під час реалізації несиметричної план-матриці Бокса-Бенкіна, провели її рандомізацію шляхом витягання пронумерованих порядкових номерів кожного експерименту з урни [170]. Рандомізовану несиметричну план-матрицю експерименту типу ПФЕ 3^3 наведено у додатку В.6.3.

Порядок приготування рідкої опари наведено у п. 2.2, при цьому порядок реалізації кожного наступного експерименту та встановлення необхідних рівнів варіювання числовими значеннями вхідних факторів проводили згідно з пронумерованим порядком рандомізованої несиметричної план-матриці Бокса-Бенкіна для експерименту типу ПФЕ 3^3 .

Числове значення масової секундної подачі дозованого борошна Q_b , амплітуду коливання дозованого борошна A_b та частоти обертання n_b тарілчастих дисків 9, 10 і мішалки 11 (або приводного вала 8) змінювали (встановлювали) шляхом перемикачання перемикача 4 (рис. 2.4), який розташований на панелі пульта керування 22 (рис. 2.3) дискретно-імпульсного змішувача, у відповідне положення тумблера перемикача, або зміною активного опору в ланцюгу живлення електромотора-редуктора 17: центральне положення тумблера відповідало нульовому рівню фактора; положення тумблера «вліво» відповідало верхньому рівню фактора; положення тумблера «вправо» відповідало нижньому рівню фактора.

Вимірювання та фіксацію частоти обертання частоти обертання n_b тарілчастих дисків 9, 10 (рис. 2.3) і мішалки 11, які встановлені в робочій камері дискретно-імпульсного змішувача компонентів проводили за допомогою електронного тахометра DT 2234C⁺ (додаток В.7.3).

Секундну подачу $Q_{e,d}$ водно-дріжджової суспензії встановлювали шляхом встановлення відповідної частоти обертання вала відцентрового насоса 16 (рис. 2.3), яку було визначено під час проведення тарування секундної подачі $Q_{e,d}$ (рис. 2.5, рис. 2.6) водно-дріжджової суспензії за показами витратоміра 10 та відповідною частотою обертання вала відцентрових насосів 2 і 7 та положення регульовальних заслінок 3, 8 і 11.

Для тарування секундної подачі $Q_{e,d}$ водно-дріжджової суміші застосовували лабораторний стенд, схема якого наведена на рис. 2.6. Порядок тарування секундної подачі водно-дріжджової суспензії був таким.

В резервуари 4 і 9 (рис. 2.6) заливали, відповідно, воду та концентровану суміш розведених пресованих дріжджів. Вмикали ідентичні за своїми характеристиками відцентрові насоси 2 і 7, попередньо відкривши регульовальні заслінки 3 і 8. Відцентрові насоси за рахунок обертання ротора всмоктували рідини та подавали їх в відповідну лінію секундної подачі Q_e води та лінію секундної подачі розведених дріжджів Q_d струминного розпилювача 1, де вода через дифузор 5 (рис. 2.5) активного сопла 1, а розведені дріжджі через

пасивне сопло 3 приймальної камери 2 надходили в камеру змішування 4. В камері змішування струминного розпилювача відбувалося змішування води та розведених дріжджів, де утворена водно-дріжджова суміш через регулювальну заслінку 11 (рис. 2.6) та витратомір 10 зливалася в ємність (на рис. 2.6 не показана), при цьому витратомір 10 показував секундну подачу $Q_{в.д}$ утвореної водно-дріжджової суміші.

Дозування секундної подачі води $Q_в$ та секундної подачі розведених дріжджів $Q_д$ здійснювалося шляхом відповідного встановленого положення регулювальних заслінок 3 і 8, якими регулювали співвідношення подачі води та водно-дріжджової суміші за однакової частоти обертання ротора відцентрових електронасосів 2 і 7. При цьому секундна подача $Q_{в.д}$ водно-дріжджової суміші, або числові покази витратоміра 10 за відповідного встановленого положення регулювальних заслінок 3 і 8 будуть залежать від заданої частоти обертання ротора відцентрових електронасосів 2 і 7.

Згідно попередньо прийнятого пропорційного масового співвідношення компонентів змішування дозованого борошна та дозованої водно-дріжджової суспензії в відповідній кількості 1,0 : 0,1 було встановлено, що секундна подача $Q_{в.д}$ водно-дріжджової суспензії під час проведення експериментальних досліджень процесу приготування рідкої опари залежно від встановленого рівня фактора, або секундної подачі $Q_б$ дозованого борошна в робочу камеру дискретно-імпульсного змішувача становила:

- верхній рівень дозування борошна $Q_б = 0,07$ кг/с – дозована подача водно-дріжджової суспензії буде становити $Q_{в.д} = 0,007$ кг/с, яка відповідала частоті обертання вала відцентрового насоса 17 рівного 280 об/хв (рис. 2.3);

- нульовий рівень дозування борошна $Q_б = 0,05$ кг/с – дозована подача водно-дріжджової суспензії буде становити $Q_{в.д} = 0,005$ кг/с, яка відповідала частоті обертання вала відцентрового насоса 17 рівного 200 об/хв (рис. 2.3);

- нижній рівень дозування борошна $Q_б = 0,03$ кг/с – дозована подача водно-дріжджової суспензії і буде становити $Q_{в.д} = 0,003$ кг/с, яка відповідала частоті обертання вала відцентрового насоса 17 рівного 120 об/хв (рис. 2.3).

Зміну максимальної робочої висоти h_{pe} утвореної суміші під час приготування рідкої опари визначали наступним чином:

- задавали необхідне значення варіювання вхідних факторів Q_o , A_o і n_o згідно порядкового номера рандомізованої план-матриці проведення експериментів;

- вмикали лабораторну установку в межах тривалості процесу роботи 1,0...1,5 хв;

- шляхом візуального спостереження лінійкою вимірювали робочу висоту h_{pe} утвореної суміші в відносно нижнього торця прозорої циліндричної частини робочої камери, після чого утворену опару зливали в прозору ємність, рис. 2.11.

- коефіцієнт однорідності опари визначали за формулою згідно з [106]

$$k_{oe} = (\lambda_3 - \Delta\lambda_3) \lambda_3 = 1 - (\Delta\lambda_3 / \lambda_3), \quad (2.6)$$

де λ_3 , $\Delta\lambda_3$ – середня концентрація середовища та середнє відхилення від заданої концентрації, які задані умовами перемішування.

Середнє відхилення $\Delta\lambda_3$ вимірювали в визначених декількох точках маси.

Для розробки емпіричної моделі, яка характеризує функціональну залежність зміни висоти h_{oe} (м) бродіння опари залежно від сумарної секундної подачі Q_c (кг/с) завантажених дозованих компонентів в робочу камеру змішувача та часу бродіння $t_{b.o}$ (хв) приготовленої рідкої опари реалізували планований двофакторний експеримент типу ПФЕ 3^2 на трьох рівнях варіювання змінними вхідними факторами.

Структурну схему реалізації експериментальних досліджень з визначення функціональної залежності зміни висоти h_{oe} бродіння опари залежно від сумарної секундної подачі Q_c завантажених компонентів в робочу камеру дискретно-імпульсного змішувача та часу бродіння $t_{b.o}$ приготовленої рідкої опари, або схему структурної моделі планованого двофакторного експерименту на трьох рівнях варіювання факторами, або експерименту типу ПФЕ 3^2 наведено на рис. 2.12.

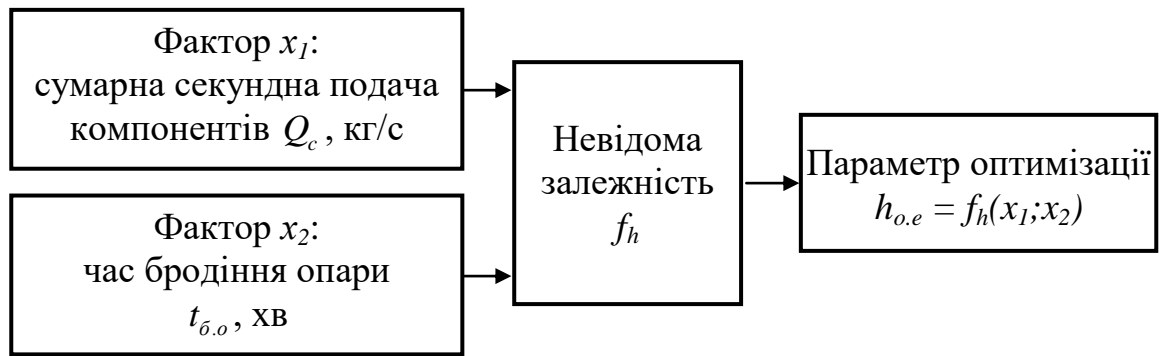


Рисунок 2.12 – Схема моделі планованого експерименту типу ПФЕ 3^2

Рівні варіювання факторами під час проведення експериментів зміни висоти h_{oe} бродіння опари визначали за формулами (2.9) - (2.11), при цьому сумарну секундну подачу Q_c завантажених дозованих компонентів у робочу камеру дискретно-імпульсного змішувача визначали як суму секундної подачі Q_{δ} завантаженого дозованого борошна та секундної подачі $Q_{\delta.o}$ водно-дріжджової суспензії і, або $Q_c = Q_{\delta} + Q_{\delta.o}$.

Вводили умовні позначення нижнього, нульового та верхнього рівнів варіювання факторів, відповідно +1, 0, -1 при побудові умовної план-матриці планування експериментів [168].

При цьому окремих цілеспрямованих експериментів для визначення функціональної зміни висоти h_{oe} бродіння опари залежно від сумарної секундної подачі Q_c завантажених дозованих компонентів в робочу камеру змішувача та часу бродіння $t_{\delta.o}$ приготовленої рідкої опари не проводили, а використали результати проведених експериментів згідно несиметричної план-матриці Бокса-Бенкіна, яку наведено у додатку В.6.3 та табл. 4.1 результатів експериментальних досліджень з визначення максимальної висоти h_{pe} та коефіцієнта однорідності k_{oe} приготовленої рідкої опари.

За цих умов побудову умовної план-матриці експерименту типу ПФЕ 3^2 проводили наступним чином.

З несиметричної матриці Бокса-Бенкіна (додаток В.6.3), або табл.4.1 вибирали порядковий номер експерименту, який відповідав встановленим рівням факторів $x_1 \rightarrow Q_{\delta} = 0,03; 0,05; 0,07$ (кг/с), $x_2 \rightarrow A_{\delta} = 1,1$ мм, $x_3 \rightarrow n_{\delta} = 180$ об/хв, наприклад порядковий номер експерименту № 1, 2 і 14 табл. 4.1.

Зважаючи на прийняте пропорційне масове співвідношення компонентів змішування дозованого борошна та дозованої водно-дріжджової суспензії в відповідній кількості 1,0 : 0,1 встановлювали відповідний рівень фактора, або сумарної секундної подачі Q_c завантажених дозованих компонентів в робочу камеру змішувача, яку кодували $x_1 \rightarrow Q_c$, при цьому, відповідно, сумарна секундна подача Q_c становила $Q_c = 0,033; 0,055; 0,077$ (кг/с). Час бродіння t_{σ} приготовленої опари кодували індексом x_2 , тобто $x_2 \rightarrow t_{\sigma}$.

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання під час проведення експериментальних досліджень з визначення функціональної зміни висоти h_{oe} опари бродіння наведено у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати кодування факторів та рівні їх варіювання під час проведення експериментальних досліджень з визначення функціональної зміни висоти h_{oe} бродіння опари

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур./кодовані		
	Натур.	Код.				
Сумарна секундна подача дозованих компонентів Q_c , кг/с	X_1	x_1	0,02	0,033/-1	0,055/0	0,077/+1
Час бродіння опари $t_{\sigma, o}$, хв	X_2	x_2	15	0/-1	15/0	30/+1

Визначення зміни висоти h_{oe} бродіння опари проводили у такій послідовності.

- вибирали необхідне значення варіювання вхідного фактора (секундної подачі борошна Q_{σ}) за значення амплітуди коливання борошна $A_{\sigma} = 1,1$ мм та $n_{\sigma} = 180$ об/хв згідно порядкового номера рандомізованої план-матриці проведення експериментів, яку наведено у додатку В.8.3;

- після проведення відповідного експерименту зливали приготовлену рідку опару б (рис. 2.11) в прозору ємність, яку щільно закривали плівкою;

- лінійкою вимірювали висоту h_{oe} безпосередньо зливої рідкої опари, тобто за час бродіння $t_{\sigma} = 0$, після часу бродіння опари $t_{\sigma} = 15$ хв та після часу бродіння опари $t_{\sigma} = 30$ хв, додаток В.9.3;

Отримані результати розрахунків зміни максимальної робочої висоти h_{pe} утвореної суміші, коефіцієнта однорідності k_{oe} приготовленої рідкої опари та зміни висоти h_{oe} бродіння опари зводили у таблицю отриманих результатів експериментальних досліджень.

Експериментальні дослідження з визначення функціональної залежності зміни максимальної робочої висоти h_{pe} утвореної суміші та коефіцієнта однорідності k_{oe} приготовленої рідкої опари залежно від секундної подачі дозованого борошна Q_{σ} , амплітуди коливання дозованого борошна A_{σ} та частоти обертання тарілчастого диска n_{σ} та експериментальні дослідження з визначення функціональної залежності зміни висоти h_{oe} бродіння опари залежно від сумарної секундної подачі Q_c завантажених дозованих компонентів в робочу камеру змішувача та часу бродіння $t_{\sigma,o}$ приготовленої рідкої опари провели у трикратній повторності.

Обробку отриманих результатів експериментів, або отриманого експериментального масиву даних зміни максимальної робочої висоти h_{pe} утвореної суміші, коефіцієнта однорідності k_{oe} приготовленої рідкої опари та зміни висоти h_{oe} бродіння опари проводили за допомогою загальновідомої методики статистичної обробки та аналізу отриманих результатів експериментальних досліджень [171], додаток В.5.3.

При цьому функцію відгуку (параметр оптимізації) зміни максимальної робочої висоти h_{pe} утвореної суміші, коефіцієнта однорідності k_{oe} приготовленої рідкої опари та висоти h_{oe} бродіння опари залежно від вхідних факторів, яку записано у вигляді функції в кодованих величинах $h_{pe} = f_h(x_1; x_2; x_3)$, $k_{oe} = f_k(x_1; x_2; x_3)$ та $h_{oe} = f_h(x_1; x_2)$, приймали у вигляді апроксимуючої математичної моделі повного квадратного полінома [172]:

$$\begin{aligned} h_{pe}; k_{oe} = & b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + \\ & + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad ; \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$h_{oe} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2; \quad (2.8)$$

де $h_{pe}; k_{oe}, h_{oe}$ – відповідно, експериментальне значення максимальної робочої висоти h_{pe} утвореної суміші, коефіцієнта однорідності k_{oe} приготовленої рідкої опари та висоти h_{oe} опари бродіння;

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$ – коефіцієнти регресії відповідних значень вхідних факторів x_i ;

x_1, x_2, x_3 – вхідні кодовані фактори.

Обробку отриманих даних експериментального масиву проводили за загальновідомими методиками та методами статистичної обробки з використанням загальновідомих методик кореляційного і регресійного аналізу експериментальних даних для отримання у кінцевому результаті емпіричних рівнянь регресії, які характеризували функціональну залежність зміни параметра оптимізації від зміни вхідних факторів [171, 173].

За результатами розрахунків, які проводили за допомогою пакету прикладних статистичних програм обробки та аналізу результатів експериментальних досліджень для персонального комп'ютера, будували залежності поверхонь відгуку та двомірний переріз поверхонь відгуку параметра оптимізації для наочного зображення результатів проведених експериментальних досліджень.

2.4. Методика проведення експериментальних досліджень енергетичних показників процесу приготування та показників якості і реологічних характеристик приготовленої рідкої опари

Для встановлення технологічної ефективності, або визначення енергетичних витрат споживаної потужності запропонованого способу дискретно-імпульсного перемішування компонентів під час приготування рідкої опари провели експериментальні порівняльні дослідження витрат споживчої потужності з застосуванням дискретно-імпульсного змішувача залежно від встановленого циклу роботи електромотора-редуктора 17 (рис. 2.3).

Приготування рідкої опари способом дискретно-імпульсного змішування компонентів суміші у зваженому стані відбувалося за трьома способами, які відрізнялися один від одного характером і послідовністю прийнятого циклу роботи електромотора-редуктора.

При цьому приймали та досліджували такі три цикли роботи електромотора-редуктора:

- «цикл 1»: електромотор-редуктор 17 (рис. 2.3) вмикали одночасно з початком завантаження дозованих компонентів суміші (дозованого борошна та дозованої водно-дріжджової суміші) у робочу камеру дискретно-імпульсного змішувача, при цьому час роботи тарілчастих дисків 9, 10 та мішалки 11 становив $t_3 = 2,8 \dots 3,05$ хв;

- «цикл 2»: електромотор-редуктор 17 (рис. 2.3) вмикали через 1,2 хв після початку завантаження дозованих компонентів суміші (дозованого борошна та дозованої водно-дріжджової суміші) у робочу камеру дискретно-імпульсного змішувача, при цьому час роботи тарілчастих дисків 9, 10 та мішалки 11 загальний час роботи $t_3 = 2,8 \dots 3,3$ хв;

- «цикл 3»: електромотор-редуктор вмикали через 2,2 хв після початку завантаження дозованих компонентів суміші (дозованого борошна та дозованої водно-дріжджової суміші) у робочу камеру дискретно-імпульсного змішувача, при цьому час роботи тарілчастих дисків 9, 10 та мішалки 11 загальний час роботи $t_3 = 2,9 \dots 3,4$ хв.

Споживана потужність P_i фіксувалася за допомогою цифрового електронного вимірювача DMK 30, який за допомогою засобів комунікації було з'єднано з роз'ємом аналогово-цифрового перетворювача частоти Altinar-71 (додаток В.10.4), який у свою чергу через роз'єм було з'єднано до персонального комп'ютера та встановленого на ньому програмного забезпечення Power Suite версії 2.3.0.

При цьому вмикали цифровий електронний вимірювач DMK 30, а утворений світловий пучок променів наводили на приводний вал 8 (рис. 2.3) дискретно-імпульсного змішувача. Отриманий сигнал визначеної частоти обертання приводного вала через засоби комунікації надходив на аналогово-

цифровий перетворювач частоти Altinar-71, сигнал від якого надходив до програмного забезпечення Power Suite версії 2.3.0. Після обробки прийнятого сигналу у вікні віртуального монітора програмного забезпечення Power Suite версії 2.3.0 відображалося числове значення та графічні відтворення частоти обертання n_0 (об/хв) приводного вала та споживана потужність P_i (Вт) процесу роботи змішувача (додаток В.11.4).

Під час проведення порівняльних досліджень показників якості приготовленої рідкої опари, рідку опару готували із борошна 1 сорту з середніми хлібопекарськими властивостями за рецептурою формового хліба. Вологість рідкої опари становила 65%.

Дослідження показників якості приготовленої рідкої опари проводили для таких трьох варіантів технології приготування рідкої опари.

Перший варіант. Перемішування дозуючих компонентів у зваженому стані відбувалося згідно способу дискретно-імпульсного змішування в робочій камері дискретно-імпульсного змішувача в такій послідовності: розведені водою борошно, пресовані дріжджі, або утворену дріжджову суспензію заливали у робочу камеру та її подачі в робочу камеру через розпилювачі з одночасною дозованою подачею борошна. Час приготування рідкої опари, або перемішування компонентів у робочій камері з застосуванням мішалки дорівнював 160 с.

Другий варіант. На першому етапі в робочу камеру дискретно-імпульсного змішувача завантажували дозоване борошно та одночасно подавали воду через розпилювачі, де відбувалося перемішування компонентів борошна з водою. Час інтенсивного перемішування борошна та води з застосуванням мішалки дорівнював 130 секунд після чого відбувалося перемішування компонентів в інерційному стані (обертання приводного вала та суміші по інерції) протягом часу рівного 5 секундам.

На другому етапі на 135 секунді тривалості процесу в робочу камеру подавали приготовлену водно-дріжджову суспензію, де відбувалося інтенсивне дискретно-імпульсне перемішування компонентів у зваженому стані. Через час

2 секунди, тобто на 157 секундів тривалості процесу приготування рідкої опари зупиняли обертання приводного вала змішувача, де у подальшому відбувався процес перемішування компонентів в інерційному стані протягом 3 с.

Третій варіант. На першому етапі пресовані дріжджі частково розводили водою, завантажували в робочу камеру та інтенсивно перемішували протягом часу рівного 100 секундам, після чого відбувалося перемішування дріжджової суміші в інерційному стані протягом часу рівного 5 секундам. На другому етапі на 105 секунди тривалості процесу в робочу камеру дозовано подавали борошно та воду через розпилювачі, де відбувалося інтенсивне дискретно-імпульсне перемішування компонентів у зваженому стані.

Визначали такі показники якості приготовленої рідкої опари, або ступінь інтенсивності впливу різнопланової механічної дії на суміш під час приготування рідкої опари (інтенсифікацію процесу): газоутворюючу здатність, підймальну силу, титруючу кислотність, окислювально-встановлюючий потенціал і активну кислотність приготовленої рідкої опари.

Показники якості приготовленої рідкої опари визначали за загальновідомими методами та методиками [174].

Приготовлені рідкі опари за трьома способами порівнювали між собою та з «контролем», або опарою, яку було приготовлено традиційним ручним способом.

Для визначення коефіцієнта динамічної в'язкості та густини приготовленої рідкої опари, шляхом реалізації конкретних умов проведення експерименту, застосовували розроблений лабораторний експериментальний стенд, схема якого наведена на рис. 2.7.

При цьому в процесі дослідження було використано реологічні методи визначення коефіцієнта динамічної в'язкості приготовленої рідкої опари [175].

Порядок визначення коефіцієнта динамічної в'язкості приготовленої опари був таким.

Установку встановлювали горизонтально та шляхом вкладання вантажів 8 (рис. 2.7) досягали компенсації опору обертанню внутрішнього рухомого циліндра 3 в блоці підшипників 9. Внутрішній простір між рухомим 3 та

нерухомим 4 циліндрами заповнювали зразком досліджуваної суміші приготовленої рідкої опари, забезпечуючи при цьому утворення рівномірної поверхні матеріалу. Герметизацію зовнішнього нерухомого циліндра проводили шляхом загвинчуванням болтів на кришці 5.

Після фіксації початкового положення внутрішнього рухомого циліндра звільняли фіксатор руху приводного шківів 6 та поступово збільшували масу вантажу 8, при цьому кожне чергове збільшення маси вантажу витримувалося протягом 2 секунд. При досягненні певної сумарної маси вантажу 8, або певної потенційної енергії, яка перевищувала крутний момент сил опору обертання внутрішнього рухомого циліндра 3, вантаж 8 починав рухатися у вертикальному напрямку, приводячи в обертовий рух вал внутрішнього рухомого циліндра.

У подальшому порядок визначення коефіцієнта динамічної в'язкості був наступним: визначали частоту обертання вала внутрішнього рухомого циліндра 3 за показами вимірювального приладу 12; зупиняли рух вантажу шляхом фіксації обертання вала внутрішнього рухомого циліндра; повертали внутрішній рухомий циліндр у вихідне початкове положення шляхом обертання приводного шківів 6 та фіксували його початкове положення фіксатором; заповнювали внутрішній простір між рухомим 3 та нерухомим 4 циліндрами новим зразком досліджуваної суміші приготовленої рідкої опари; збільшували масу вантажів на 0,1 кг і звільняли приводний шків 6 від фіксатора та визначали частоту обертання вала $n_{e,u}$ рухомого циліндра 3 за показами вимірювального приладу 12; експерименти повторювали ще тричі, збільшуючи щоразу масу вантажу на 0,1 кг; коефіцієнт динамічної в'язкості η_o приготовленої рідкої опари способом дискретно-імпульсного перемішування компонентів суміші для конкретних умов експерименту визначали за формулою згідно з [176]

$$\eta_o = \frac{\sum m_i g d_u}{2\pi^2 n_{e,u} d_1^3 H \left(1 + \frac{d_1}{3H_e}\right) \left(\frac{1}{d_2 - d_1} + \frac{1}{3y_H} + \frac{1}{3y_d}\right)}, \quad (2.8)$$

де $\sum m_i$ – сумарна маса вантажів, яка відповідає певній частоті обертання вала

$n_{e.u}$ внутрішнього рухомого циліндра, кг;

d_u – діаметр шків приводу внутрішнього рухомого циліндра, м;

d_1, H_e – відповідно, зовнішній діаметр та висота внутрішнього рухомого циліндра, м;

$n_{e.u}$ – частота обертання вала внутрішнього рухомого циліндра, об/с;

$y_H = H_z - H_e$ – відстань за нормаллю між сусідніми елементарними шарами суміші у зазорі між бічними поверхнями рухомого циліндра та зовнішнім нерухомим циліндром, де H_e – висота зовнішнього нерухомого циліндра, м;

$y_d = 0,5(d_2 - d_1)$ – відстань за нормаллю між сусідніми елементарними шарами суміші у зазорі між верхньою і нижньою основами зовнішнього нерухомого циліндра та відповідною основою внутрішнього рухомого циліндра, де d_2 – внутрішній діаметр зовнішнього циліндра, м.

2.5. Висновки до розділу

2.5.1. Розроблено експериментальну лабораторну установку та лабораторні стенди для проведення досліджень процесу приготування рідкої опари способом дискретно-імпульсного змішування компонентів у зваженому стані з використання дискретно-імпульсного змішувача.

2.5.2. Запропоновано часткові методики проведення експериментальних досліджень з визначення параметрів робочих органів дискретно-імпульсного змішувача, показників якості та реологічних характеристик приготовленої рідкої опари та витрат споживаної потужності процесу приготування рідкої опари.

2.5.3. Наведено методики планування, проведення, обробки та аналізу отриманих результатів експериментальних досліджень планованих факторних експериментів.

Основні наукові результати другого розділу опубліковано у наукових працях [41, 48, 154, 155, 158, 164 – 167].

РОЗДІЛ 3

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСКРЕТНО-ІМПУЛЬСНОГО ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ У ЗВАЖЕНОМУ СТАНІ

3.1. Обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів робочої камери дискретно-імпульсного змішувача

Одним з основних напрямків раціонального технічного забезпечення процесу перемішування компонентів в різних галузях промисловості є машини з робочими органами відомих конструкцій. Особлива увага приділяється малогабаритним ефективним машинам з контрольованими процесами, що відбуваються в робочій камері, або робочому об'ємі змішувача.

Машини, які застосовують для перемішування компонентів під час приготування рідкої опари, повинні забезпечити мінімізовані втрати дозуючої сировини та в кінцевому випадку втрати готової продукції за достатньої якості напівфабрикату. Це досягається шляхом обґрунтування необхідної відповідності геометричних форм і конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів, режимів обробки компонентів в робочій камері змішувача та структурно-механічних властивостей середовища.

Для розрахунку конструктивно-кінематичних параметрів дискретно-імпульсного змішувача компонентів розглянемо складену розрахункову схему, яку наведено на рис. 3.1.

Через вхідну горловину 4 відбувається дозована імпульсно-дискретна подача борошна в зваженому стані в робочу циліндричну частину 2 робочої камери 1 змішувача. Одночасно з дозованою подачею борошна, за допомогою відцентрового електронасоса 6 відбувається подача водно-дріжджової суспензії з ємності 5 в водопровідний канал 12, яка в подальшому через розпилювачі 13 контактує з дозованими компонентами. Під дією сили тяжіння суміш компонентів надходить на верхній тарілчастий диск 8, який посаджено на

приводний вал 7, що приводиться в рух з кутовою швидкістю ω_0 (рад/с). В процесі обертання тарілчастих дисків 8-10 відбувається перемішування компонентів у зваженому стані в робочому об'ємі, який утворений циліндричною 2 та конічною 3 частиною корпусу 1 дискретно-імпульсного змішувача. Після необхідного перемішування компонентів утворена рідка опара вивантажується через зливний кран 16 [154, 155, 177].

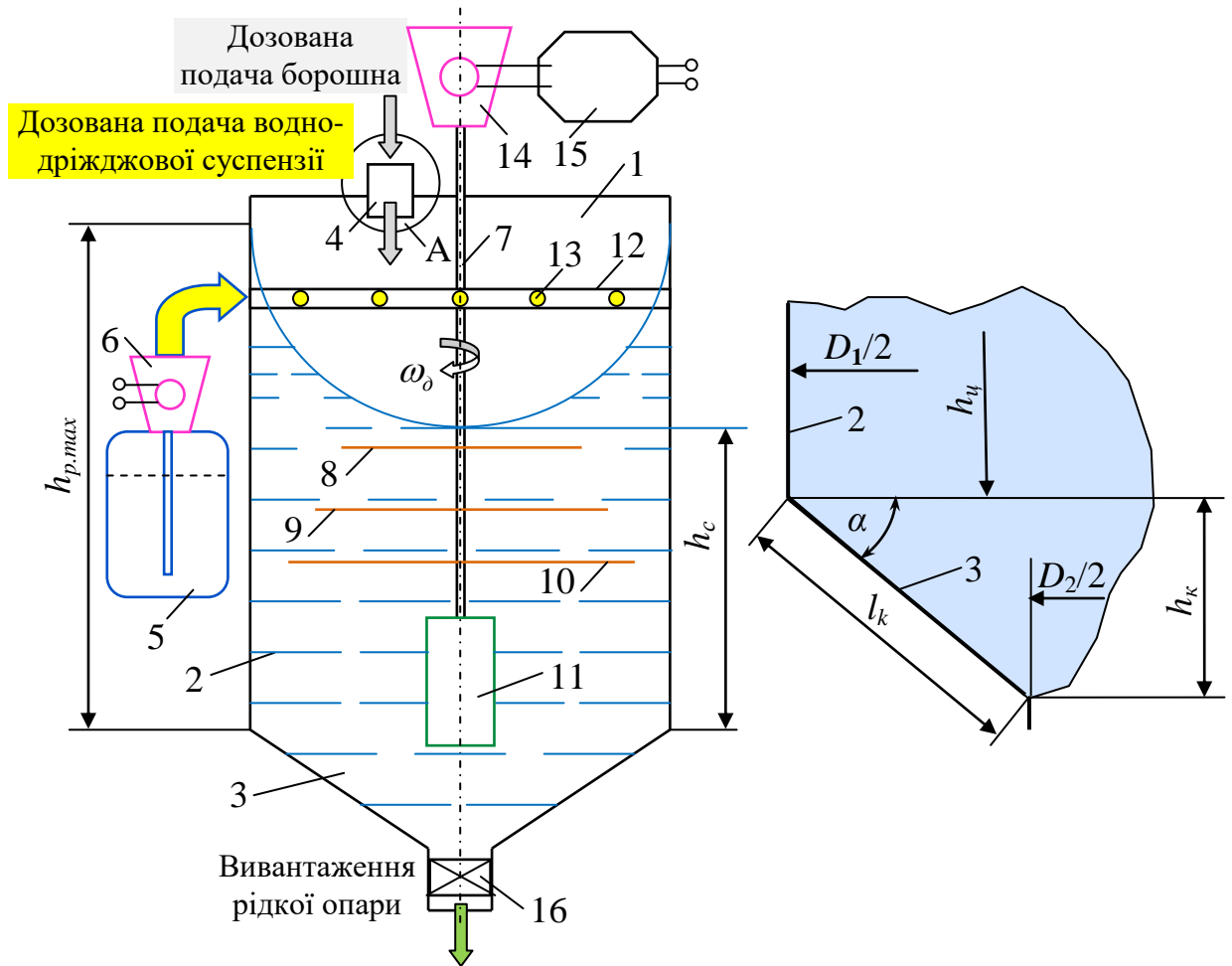


Рисунок 3.1 – Схема до визначення конструктивно-кінематичних параметрів дискретно-імпульсного змішувача компонентів: 1 – робоча камера; 2, 3 – відповідно, циліндрична та усічена конічна частина робочої камери; 4 – завантажувальна горловина; 5 – ємність для води; 6 – відцентровий електронасос подачі води; 7 – приводний вал; 8, 9, 10 – відповідно, верхній, середній та нижній тарілчастий диск; 11 – лопатева мішалка; 12 – водопровідний канал; 13 – струминний розпилювач води; 14 – електродвигун; 15 – блок керування електронасосом і електромотором-редуктором; 16 – зливний кран

Вихідним початковим параметром змішувача є його робочий об'єм, який утворений циліндричною 2 (рис. 3.1) та усіченою конічною 3 частиною робочої камери 1 та якому відповідає номінальний об'єму псевдорозрідженого стану утвореного середовища, або об'єму суми компонентів перемішування, або утвореному об'єму псевдорозрідженого стану приготовленої рідкої опари. Номінальний об'єм, або об'єм робочої камери перемішування компонентів позначимо виразом V_p (м³). При цьому, зважаючи на процес бродіння дріжджів, який відбувається під час перемішування компонентів, об'єм V_p робочої камери перемішування компонентів доповнюється об'ємом V_z (м³), який утворений газовою фазою у надрідинному просторі [178].

Тоді загальний сумарний об'єм V_z камери змішувача є сумою об'ємів V_p і V_z , або

$$V_z = V_p + V_z = \sum_{i=1}^n V_{c.k} + V_z, \quad (3.1)$$

де $\sum_{i=1}^n V_{c.k}$ – сумарний об'єм завантажених компонентів, м³.

Номінальний об'єм, або об'єм V_p робочої камери змішувача складається з суми об'ємів циліндричної $V_{p.ц}$ (м³) та усіченої конічної $V_{p.к}$ (м³) частини

$$V_p = V_{p.ц} + V_{p.к}. \quad (3.2)$$

При цьому відповідні частини об'ємів $V_{p.ц}$ та $V_{p.к}$ визначаються за формулами:

$$V_{p.ц} = \frac{\pi D_1^2}{4} h_u; \quad V_{p.к} = \frac{\pi h_k}{12} (D_1^2 + D_1 D_2 + D_2^2), \quad (3.3)$$

де D_1 , D_2 – відповідно, діаметр циліндричної частини та діаметр нижньої основи усіченого конуса робочої камери дискретно-імпульсного змішувача, м;

h_u , h_k – відповідно, висота циліндричної та усіченої конічної частини робочої камери дискретно-імпульсного змішувача.

Тоді, згідно з (3.2) і (3.3) маємо

$$V_p = \frac{\pi}{4} \left[D_1^2 h_y + \frac{h_k}{3} (D_1^2 + D_1 D_2 + D_2^2) \right]. \quad (3.4)$$

Загальна площа поверхні $S_{заг.}$ утворення та теплообміну середовища є сумою площі циліндричної $S_{п.ц.}$ та усіченої конічної частини $S_{п.к.}$ змішувача, або

$$S_{заг.} = S_{п.ц.} + S_{п.к.}. \quad (3.5)$$

Відповідно, площі робочих поверхонь, з яких складається загальна поверхня утворення та теплообміну середовища визначаються за формулами:

$$S_{п.ц.} = \pi D_1 h_y; \quad S_{п.к.} = 0,5 \pi l_k (D_1 + D_2), \quad (3.6)$$

де l_k – довжина твірної усіченого конуса, м.

Тоді згідно з (3.4) і (3.5) маємо

$$S_{заг.} = S_{п.ц.} + S_{п.к.} = \pi D_1 h_y + 0,5 \pi l_k (D_1 + D_2). \quad (3.7)$$

Довжину твірної та геометричний параметр висоти усіченої конічної частини робочої камери перемішування компонентів визначимо, відповідно, через діаметр D_1 та встановлену величину кута α (рис. 3.1)

$$l_k = h_k / \sin \alpha; \quad h_k = 0,5 D_1 \operatorname{tg} \alpha. \quad (3.8)$$

Підставивши значення довжини твірної l_k усіченого конуса в рівняння (3.7), отримаємо

$$\begin{aligned} S_{заг.} &= S_{п.ц.} + S_{п.к.} = \pi D_1 h_y + 0,5 \pi \frac{h_k}{\sin \alpha} (D_1 + D_2) = \\ &= \pi D_1 h_y + 0,5 \pi \frac{0,5 D_1 \operatorname{tg} \alpha}{\sin \alpha} (D_1 + D_2) \end{aligned} \quad (3.9)$$

Після спрощення виразу (3.9), отримаємо кінцеву залежність для визначення загальної площі поверхні $S_{заг.}$ утворення та теплообміну середовища

$$S_{заг.} = \pi D_1 \left[h_y + \frac{1}{4 \cos \alpha} (D_1 + D_2) \right]. \quad (3.10)$$

Значення кута α між горизонталлю та положенням твірної конуса може бути різним, але таким, за якого відбувається гомогенізації середовища за показником концентрації, температури та якісного вивантаження.

Вибір кута α змінює співвідношення між діаметром D_1 і висотою усіченої конусної частини h_k об'єму робочої камери змішувача. У залежності (3.4) невідомою є висота циліндричної частини h_y об'єму робочої камери змішувача.

Для знаходження висоти циліндричної частини h_y скористаємося умовами та визначимо її з виразу для визначення об'єму V_p робочої камери змішувача.

Тоді, згідно з (3.4) і (3.8) маємо

$$V_p - \frac{\pi}{4} D_1^2 h_y = \frac{\pi}{4} \frac{0,5 D_1 \operatorname{tg} \alpha}{3} (D_1^2 + D_1 D_2 + D_2^2), \quad (3.11)$$

або після спрощення та скорочення виразу (3.11) маємо

$$h_y = \frac{4V_p}{\pi D_1^2} - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{6D_1} (D_1^2 + D_1 D_2 + D_2^2). \quad (3.12)$$

Якщо прийняти, що компоненти, які дозовано завантажені у робочу камеру змішувача, або сумарний об'єм $\sum_{i=1}^n V_k$ завантажених компонентів адекватний об'єму V_p робочої камери перемішування компонентів, а кут скосу α усіченої конусної частини корпусу змішувача вибирається із умови природнього витікання псевдо розрідженого стану рідини готової рідкої опари через циліндричний отвір, або кут α є кутом природнього укосу $\alpha_{n,y}$, тоді залежність (3.12) можна записати у вигляді

$$h_y = \frac{4V_{p.o}}{\pi D_1^2} - \frac{\operatorname{tg} \alpha_{n,y}}{6D_1} (D_1^2 + D_1 D_2 + D_2^2). \quad (3.13)$$

Визначимо діаметр D_2 нижньої основи усіченого конуса, або діаметр вихідного отвору робочої камери дискретно-імпульсного змішувача через діаметр циліндричної частини робочої камери.

При цьому, згідно з (3.8) маємо

$$D_2 = h_k \operatorname{tg} \alpha_{n,y}, \text{ або } D_2 = 0,5 D_1 \operatorname{tg}^2 \alpha_{n,y}. \quad (3.14)$$

Тоді рівняння (3.13) після спрощення матиме вигляд

$$h_y = \frac{4V_{p.o}}{\pi D_1^2} - \frac{D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n,y}). \quad (3.15)$$

Виразимо сумарний об'єм $\sum_{i=1}^n V_{c.k}$ завантажених компонентів через суму об'ємів кожного з завантажених компонентів змішування, або

$$\sum_{i=1}^3 V_{c.k} = V_b + V_d + V_e, \quad (3.16)$$

де V_b , V_d , V_e – відповідно, об'єм завантажених компонентів для перемішування: борошна; дріжджів; води.

При цьому:

$$V_b = m_b / \rho_b; \quad V_d = m_d / \rho_d; \quad V_e = m_e / \rho_e, \quad (3.17)$$

де m_b , m_d , m_e – відповідно, маса завантажених компонентів для перемішування: борошна; дріжджів; води;

ρ_b , ρ_d , ρ_e – відповідно, об'ємна маса завантажених компонентів для перемішування: борошна; дріжджів; води.

Тоді згідно з (3.15) і (3.17), отримаємо залежність для визначення висоти h_y циліндричної частини робочої камери дискретно-імпульсного змішувача компонентів

$$h_y = \frac{4 \left(\frac{m_b}{\rho_b} + \frac{m_d}{\rho_d} + \frac{m_e}{\rho_e} \right)}{\pi D_1^2} - \frac{D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n,y}). \quad (3.18)$$

Після перетворення рівняння (3.18), отримаємо залежність для визначення висоти h_y циліндричної частини робочої камери дискретно-імпульсного змішувача компонентів

$$h_y = \frac{4}{\pi D_1^2} \left(\frac{m_{\bar{o}}}{\rho_{\bar{o}}} + \frac{m_{\bar{d}}}{\rho_{\bar{d}}} + \frac{m_{\bar{e}}}{\rho_{\bar{e}}} \right) - \frac{D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n,y}). \quad (3.19)$$

Але в просторі об'єму робочої камери також розташовані робочі органи дискретно-імпульсного змішувача компонентів. Для врахування об'єму, який займають робочі органи, що розміщені в просторі об'єму робочої камери дискретно-імпульсного змішувача компонентів введемо поправочний коефіцієнт k_V .

Фізичну суть поправочний коефіцієнт k_V сформулюємо, як відношення об'єму V_p робочої камери дискретно-імпульсного змішувача до сумарного об'єму робочих органів $V_{p.o}$, тобто $k_V = V_p / V_{p.o}$, при цьому $k_V > 1$.

Тоді визначення висоти h_y циліндричної частини робочої камери дискретно-імпульсного змішувача визначається за кінцевою формулою [178]

$$h_y = \frac{4}{\pi D_1^2} \left(\frac{m_{\bar{o}}}{\rho_{\bar{o}}} + \frac{m_{\bar{d}}}{\rho_{\bar{d}}} + \frac{m_{\bar{e}}}{\rho_{\bar{e}}} \right) - \frac{D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n,y}) k_V. \quad (3.20)$$

Згідно з рівнянням (3.20) за початкових вихідних умов $D_1 = 0,3$ м, $\alpha_{n,y} = 60$ град. [179], $\rho_{\bar{o}} = 640$ кг/м³ (мука пшенична) [180], $\rho_{\bar{d}} = 750$ кг/м³ (сухі дріжджі), $\rho_{\bar{e}} = 1000$ кг/м³ [181], $k_V = 1,1$ побудовано графічну залежність зміни висоти циліндричної частини робочої камери дискретно-імпульсного змішувача залежно від зміни складових правої частини рівняння (3.20).

Графічну залежність зміни висоти h_y циліндричної частини робочої камери дискретно-імпульсного змішувача компонентів наведено на рис. 3.2а. Для практичного застосування формули (3.20) побудовано номограму для визначення висоти h_y , яку наведено на рис. 3.2б.

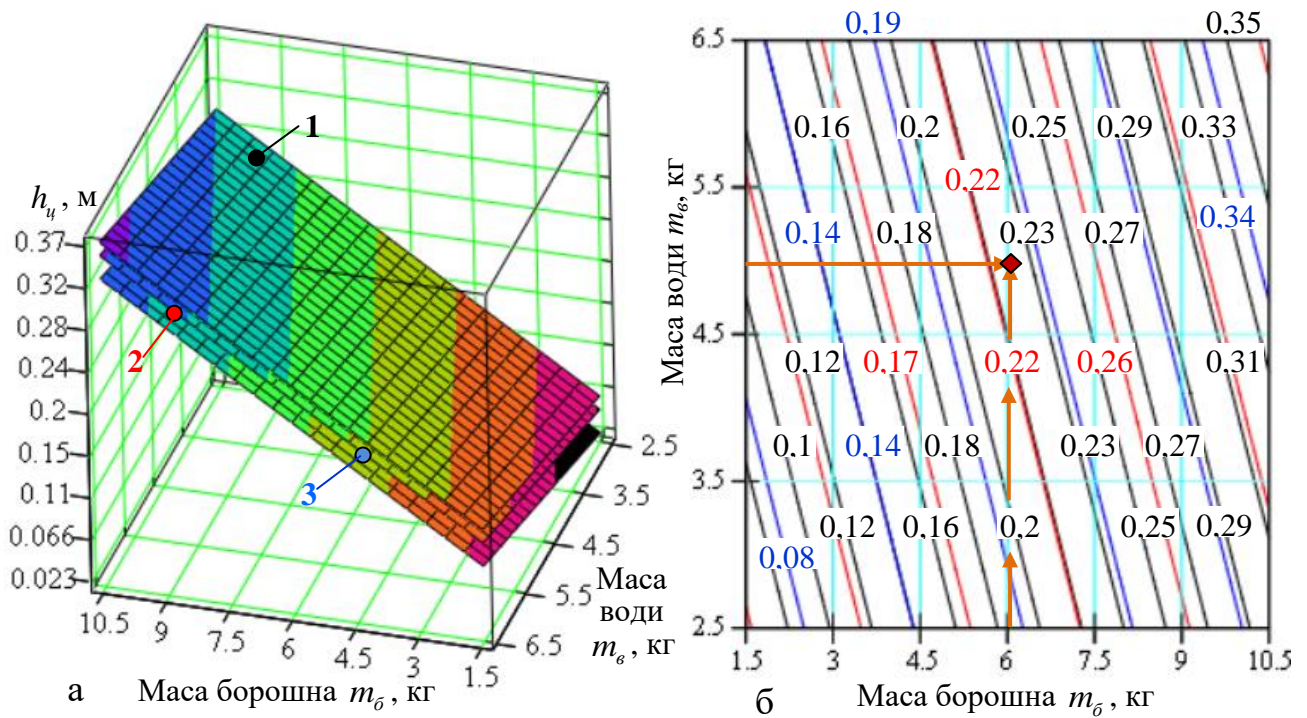


Рисунок 3.2 – Залежність зміни висоти h_y циліндричної частини робочої камери дискретно-імпульсного змішувача компонентів від маси завантаженого борошна m_o та завантаженої води m_e як функція $h_y = f(m_o; m_e)$ (а), 1, 2, 3 – відповідно, $m_o = 0,2; 0,5$ і $0,8$ кг; б – номограма для визначення висоти h_y

Функціональна зміна висоти h_y циліндричної частини робочої камери дискретно-імпульсного змішувача компонентів має лінійний і пропорційний характер – за збільшення маси дозуючих компонентів (маси борошна m_o від 1,5 до 10,5 кг, маси дріжджів m_d від 0,2 до 0,8 кг, маси води m_e від 2,5 до 6,5 кг) h_y зростає в межах від 0,15 до 0,35 м, рис. 3.2а.

Для визначення реального, або дійсного значення висоти h_y циліндричної частини робочої камери дискретно-імпульсного змішувача компонентів застосовують побудовану номограму, рис. 3.2б.

Користуються номограмою таким чином. Наприклад, необхідно визначити дійсну висоту h_y циліндричної частини робочої камери дискретно-імпульсного змішувача компонентів за прийнятої необхідної маси компонентів: завантаженого борошна $m_o = 6$ кг; маси завантажених дріжджів $m_d = 0,5$ кг; маси завантаженої води $m_e = 5$ кг.

Тоді на перетині ліній, які проведено з відповідних показників числових значень маси $m_6 = 6$ кг і маси $m_8 = 5$ кг та графічної червоної лінії номограми, яка функціонально описує зміну висоти h_y циліндричної частини робочої камери дискретно-імпульсного змішувача компонентів, яка відповідає масі завантажених дріжджів $m_d = 0,5$ кг, знаходимо дійсне значення висоти h_y , або в нашому випадку $h_y = 0,23$ см.

Під час дозованого перемішування компонентів у зваженому стані в робочій камері дискретно-імпульсного змішувача та обертання тарілчастого диска 8 (рис. 3.1) з кутовою швидкістю ω_d утворюється суміш перемішуваних дозованих компонентів з робочою висотою суміші, яку позначимо через h_c (м).

При цьому робочі органи дискретно-імпульсного змішувача є комбінацією тарілчастих дисків 8 – 10 (рис. 3.1) і лопаті мішалки 11, які посаджені на приводний вал 7 та які обертається в робочій камері 1. Робочі органи служать для змішування та гомогенізації мало- та в'язких середовищ з рівномірним та інтенсивним масообміном між твердою фазою та рідиною.

Для усунення неякісного змішування, або усунення викидів (виливання) компонентів суміші з верхнього торця робочої камери, визначаємо стаціонарний рівень перемішування компонентів під час приготування рідкої опари, або рівень суміші в стаціонарному (спокійному) стані, який відповідає робочій висоті h_c утвореної суміші в спокійному стані під час приготування рідкої опари, рис. 3.1.

Робоча висота h_c утвореної суміші у спокійному стані під час приготування рідкої опари буде визначається згідно з [178] за формулою

$$h_c = 4 \sum_{i=1}^n V_{ic.k} / \pi D_1^2, \quad (3.21)$$

де $\sum_{i=1}^n V_{ic.k}$ – сумарний об'єм завантажених компонентів, м³;

D_1 – діаметр циліндричної частини робочої камери змішувача, м.

Кутову швидкість тарілчастого диска та відповідно лопаті мішалки, які рівні між собою згідно з прийнятою конструкцією змішувача визначимо з умови збереження енергії, або умови рівності кінетичної та різниці потенціальної енергії частинки суміші масою m_c (кг) яка переміщується з висоти циліндричної частини h_u (м) робочої камери до рівня висоти h_c (м) завантаженої суміші

$$\frac{m_c \mathcal{G}_c^2}{2} = m_c g h_u - m_c g h_c, \quad (3.22)$$

або

$$\frac{0,25 \omega_\delta^2 D_1^2}{2} = g (h_u - h_c), \quad (3.23)$$

де \mathcal{G}_c – швидкість переміщення частинки суміші, м/с;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

При цьому, з умови не виливання компонентів суміші з робочої камери, гранична допустима кутова швидкість ω_δ (рад/с) тарілчастого робочого органу (відповідно, тарілчастого диска) та мішалки ω_m (рад/с) за умови $\omega_\delta = \omega_m$ під час перемішування компонентів, які завантажено до рівня висоти h_c суміші в об'ємі циліндричної частини робочої камери, діаметр якої D_1 (м), а висота h_u (м) згідно з (3.23) буде визначатися з нерівності

$$\omega_\delta \leq \frac{8}{D_1} \sqrt{g (h_u - h_c)}, \quad (3.24)$$

За умови, що кутова швидкість тарілчастого диска $\omega_\delta = \pi n_\delta / 30$, де n_δ – частота обертання тарілчастого диска (об/хв) нерівність (3.24) набуде вигляду

$$n_\delta \leq \frac{240}{\pi D_1} \sqrt{g (h_u - h_c)}. \quad (3.25)$$

З рівняння (3.25) визначаємо необхідний діаметр D_1 циліндричної частини робочої камери дискретно-імпульсного змішувача за якого буде дотримуватися умова не вихлюпування компонентів суміші з неї

$$D_1 \geq \frac{240\sqrt{g(h_u - h_c)}}{\pi n_\delta}. \quad (3.26)$$

Сумарний об'єм $\sum_{i=1}^n V_{ic.k}$ завантажених компонентів в циліндричну частину робочої камери змішувача згідно з прийнятою рецептурою з врахуванням основних трьох інгредієнтів суміші (маси борошна m_δ (кг), маси дріжджів m_δ (кг) та маси води m_e (кг)) дорівнює

$$\sum_{i=1}^3 V_{ic.k} = \frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_e}{\rho_e}. \quad (3.27)$$

Підставивши значення (3.16) в (3.17), а потім значення $\sum_{i=1}^n V_k$ з (3.27) та значення (3.26) в рівняння 3.21, отримаємо залежність для визначення робочої висоти h_c утвореної суміші під час приготування рідкої опари в робочій камері дискретно-імпульсного змішувача, або:

$$h_c \geq \frac{\pi n_\delta^2 \left(\frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_e}{\rho_e} \right)}{30 \cdot 240 g (h_u - h_c)}, \quad (3.28)$$

де порядок перетворення та спрощення нерівності (3.28) наведено у додатку Г.1.1.

Підставивши значення висоти циліндричної частини h_u робочої камери з рівняння (3.20) у нерівність (3.28), отримаємо залежність, яка характеризує зміну робочої висоти h_c утвореної суміші під час приготування рідкої опари в робочій камері дискретно-імпульсного змішувача:

$$\begin{aligned} & h_c^2 - h_c \frac{8}{\pi D_1^2} \left(\frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_e}{\rho_e} \right) + \\ & + h_c \frac{D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n,y}) - \frac{\pi n_\delta^2}{3600 g} \left(\frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_e}{\rho_e} \right) \geq 0 \end{aligned} \quad ; \quad (3.29)$$

$$h_c^2 - h_c \left[\frac{8}{\pi D_1^2} \left(\frac{m_{\bar{o}}}{\rho_{\bar{o}}} + \frac{m_{\bar{d}}}{\rho_{\bar{d}}} + \frac{m_{\bar{e}}}{\rho_{\bar{e}}} \right) + \frac{D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n.y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n.y}) \right] - \frac{\pi n_{\bar{d}}^2}{3600g} \left(\frac{m_{\bar{o}}}{\rho_{\bar{o}}} + \frac{m_{\bar{d}}}{\rho_{\bar{d}}} + \frac{m_{\bar{e}}}{\rho_{\bar{e}}} \right) \geq 0, \quad (3.30)$$

де порядок перетворення та спрощення залежності (3.30) наведено у додатку Г.2.1.

Позначивши у залежності (3.30) відповідні складові через $h_c = x$, $\frac{4}{\pi D_1^2} \left(\frac{m_{\bar{o}}}{\rho_{\bar{o}}} + \frac{m_{\bar{d}}}{\rho_{\bar{d}}} + \frac{m_{\bar{e}}}{\rho_{\bar{e}}} \right) + \frac{D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n.y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n.y}) = p$, $\frac{\pi n_{\bar{d}}^2}{3600g} \left(\frac{m_{\bar{o}}}{\rho_{\bar{o}}} + \frac{m_{\bar{d}}}{\rho_{\bar{d}}} + \frac{m_{\bar{e}}}{\rho_{\bar{e}}} \right) = q$, отримаємо приведену квадратну нерівність вигляду

$$x^2 - px - q \geq 0. \quad (3.31)$$

Рішення нерівності (3.31) відносно x має вигляд:

$$x_{1,2} \geq \frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 + q}; \quad (3.32)$$

$$h_c \geq \frac{4}{\pi D_1^2} \left(\frac{m_{\bar{o}}}{\rho_{\bar{o}}} + \frac{m_{\bar{d}}}{\rho_{\bar{d}}} + \frac{m_{\bar{e}}}{\rho_{\bar{e}}} \right) + \frac{D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n.y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n.y}) \pm \sqrt{\left[\frac{2}{\pi D_1^2} \left(\frac{m_{\bar{o}}}{\rho_{\bar{o}}} + \frac{m_{\bar{d}}}{\rho_{\bar{d}}} + \frac{m_{\bar{e}}}{\rho_{\bar{e}}} \right) + \frac{D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n.y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n.y}) \right]^2 + \frac{\pi n_{\bar{d}}^2}{3600g} \left(\frac{m_{\bar{o}}}{\rho_{\bar{o}}} + \frac{m_{\bar{d}}}{\rho_{\bar{d}}} + \frac{m_{\bar{e}}}{\rho_{\bar{e}}} \right)}, \quad (3.33)$$

або

$$h_c \geq \frac{4 \sum_{i=1}^3 V_{ic.k}}{\pi D_1^2} + \frac{D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n.y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n.y}) \pm \sqrt{\left[\frac{4 \sum_{i=1}^3 V_{ic.k}}{\pi D_1^2} + \frac{D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n.y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n.y}) \right]^2 + \frac{\pi n_{\bar{d}}^2 \sum_{i=1}^3 V_{ic.k}}{3600g}}. \quad (3.34)$$

Отримана нерівність (3.34) є математичною моделлю, яка описує та характеризує функціональну залежність зміни робочої висоти h_c утвореної суміші під час приготування рідкої опари в робочій камері дискретно-імпульсного змішувача.

Максимальну робочу висоту $h_{p,max}$ (м) утвореної суміші визначимо з залежності (3.22), записавши при цьому рівність $h_c = h_{p,max}$.

Тоді максимальна робоча висота $h_{p.max}$ утвореної суміші визначається за формулою

$$h_{p.max} \leq \frac{\omega_{\delta}^2 D_1^2 + 16gh_y}{16g} = h_y + \frac{\omega_{\delta}^2 D_1^2}{16g}, \quad (3.35)$$

або згідно з (3.20) та того, що $\omega_m = \omega_{\delta} = \pi n_{\delta} / 30$ маємо [182]

$$h_{p.max} \leq \frac{1}{\pi D_1^2} \left(\frac{m_{\delta}}{\rho_{\delta}} + \frac{m_{\delta}}{\rho_{\delta}} + \frac{m_{\epsilon}}{\rho_{\epsilon}} \right) - \frac{2D_1 \text{tg} \alpha_{n.y}}{3} (1 + \text{tg}^2 \alpha_{n.y}) k_V + \frac{\pi^2 n_{\delta}^2 D_1^2}{120g}. \quad (3.36)$$

Отримана нерівність (3.36) є аналітичною математичною моделлю, яка описує та характеризує функціональну залежність зміни максимальної робочої висоти $h_{p.max}$ утвореної суміші під час приготування рідкої опари в робочій камері дискретно-імпульсного змішувача.

Згідно з нерівністю (3.36) побудовано 3D графічну залежність зміни максимальної робочої висоти $h_{p.max}$ утвореної суміші під час приготування рідкої опари в робочій камері дискретно-імпульсного змішувача залежно від зміни складових правої частини нерівності (3.36), або діаметра тарілчастого диска D_1 та частоти обертання тарілчастого диска n_{δ} як функція $h_{p.max} = f(D_1; n_{\delta})$ за початкових вихідних умов: $\rho_m = 640 \text{ кг/м}^3$ (борошно пшеничне); $\rho_{\delta} = 750 \text{ кг/м}^3$ (пресовані дріжджі); $\rho_{\epsilon} = 1000 \text{ кг/м}^3$ (вода питна); $\alpha_{n.y} = \pi / 3$ град.

Залежність зміни максимальної робочої висоти $h_{p.max}$ утвореної суміші під час приготування рідкої опари в робочій камері дискретно-імпульсного змішувача залежно від зміни складових правої частини нерівності (3.36) як функція $h_{p.max} = f(D_1; n_{\delta})$ наведена на рис. 3.3.

На основі аналізу наведених 3D графічних залежностей (рис. 3.3) встановлено, що функціональна зміна максимальної робочої висоти $h_{p.max}$ утвореної суміші під час приготування рідкої опари в робочій камері дискретно-імпульсного змішувача залежно від збільшення діаметра тарілчастого диска D_1 від 0,2 до 0,5 м та частоти обертання тарілчастого диска n_{δ} від 140 до 220 об/хв знаходиться в межах від 0,25 до 0,55 м за зміни сумарної маси $\sum_{i=1}^3 m_{c.k}$ дозованих компонентів від 4,5 до 17,8 кг.

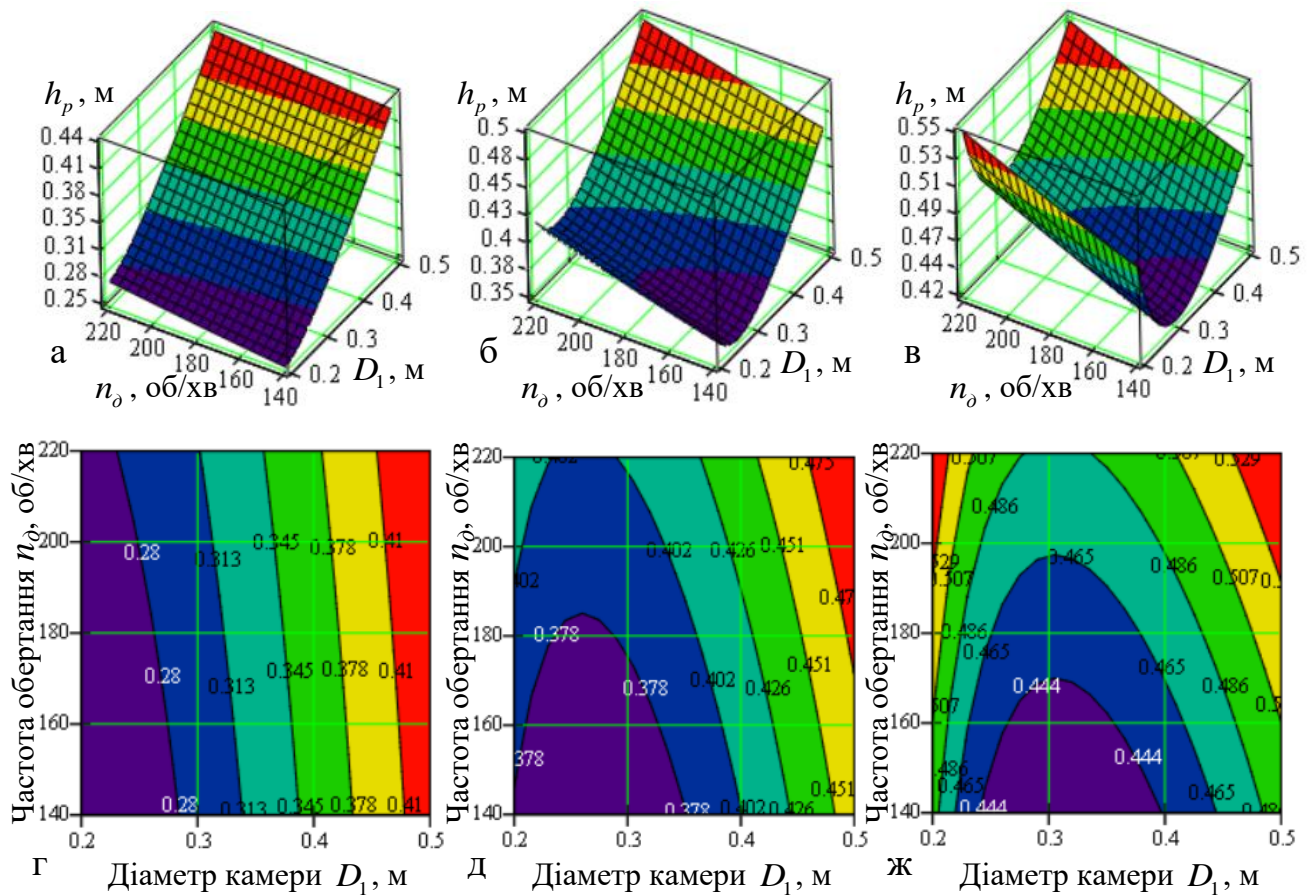


Рисунок 3.3 – Залежність зміни робочої висоти $h_{p,max}$ утвореної суміші як функція $h_{p,max} = f(D_1; n_\delta)$; а, г – $m_\delta = 1,5$ кг, $m_\delta = 0,2$ кг, $m_e = 2,5$ кг; б, д – $m_\delta = 6$ кг, $m_\delta = 0,5$ кг, $m_e = 4,5$ кг; в, ж – $m_\delta = 10,5$ кг, $m_\delta = 0,8$ кг, $m_e = 6,5$ кг

При цьому функціональна зміна максимальної робочої висоти $h_{p,max}$ утвореної суміші під час приготування рідкої опари способом дискретно-імпульсного перемішування компонентів має двоякий характер.

За збільшенням частоти обертання тарілчастого диска n_δ 140 до 220 об/хв максимальна робоча висота $h_{p,max}$ утвореної суміші збільшується пропорційно збільшенню n_δ , яке знаходиться в незначних межах – від 0,1 до 0,12 м, що характерно двомірним перерізам функції $h_{p,max} = f(D_1; n_\delta)$, рис. 3.3г-ж.

Збільшення діаметра D_1 робочої камери імпульсно-дискретного змішувача від 0,2 до 0,5 м (рис. 3.3) призводить до двоякого характеру зміни максимальної робочої висоти $h_{p,max}$ утвореної суміші залежно від сумарної маси

$\sum_{i=1}^3 m_{c,k}$ завантажених компонентів:

- за збільшення діаметра D_1 робочої камери від 0,2 м до 0,25 м та сумарної маси завантажених компонентів від 11 кг до 17,8 кг максимальна робоча висота $h_{p.max}$ утвореної суміші зменшується від 0,55 м до 0,38 м та досягає мінімального значення:

- $h_{p.max} = 0,38$ м за значення $D_1 = 0,25$ м, $140 \text{ об/хв} \leq n_p \leq 180 \text{ об/хв}$ за сумарної маси $\sum_{i=1}^3 m_{c.k}$ завантажених компонентів суміші 11 кг;

- $h_{p.max} = 0,45$ м за значення $D_1 = 0,3$ м, $140 \text{ об/хв} \leq n_p \leq 170 \text{ об/хв}$ за сумарної маси $\sum_{i=1}^3 m_{c.k}$ завантажених компонентів суміші 17,8 кг, що характерно двомірним перерізам функції $h_{p.max} = f(D_1; n_\delta)$, рис. 3.3г-ж;

- за збільшення діаметра D_1 робочої камери від 0,25 м до 0,5 м та частоти обертання тарілчастого диска n_p від 170 об/хв до 220 об/хв за сумарної маси $\sum_{i=1}^3 m_{c.k}$ завантажених компонентів від 11 кг до 17,8 кг максимальна робоча висота $h_{p.max}$ утвореної суміші збільшується від 0,38 м до 0,55 м, що характерно двомірним перерізам функції $h_{p.max} = f(D_1; n_\delta)$, рис. 3.3г-ж.

Адекватність зміни максимальної робочої висоти $h_{p.max}$ утвореної суміші під час обертання тарілчастого диска та лопатевої мішалки також підтверджується характером функціональної зміни $h_{p.max} = f(n_\delta)$, $h_{p.max} = f(D_1)$, графічні залежності яких наведено на рис. 3.4.

Такий характер зміни максимальної робочої висоти $h_{p.max}$ утвореної суміші пояснюється тим, що при збільшенні частоти обертання n_δ та діаметра D_1 тарілчастого диска збільшується колова швидкість вильоту частинок компонентів утвореної суміші та адекватна їй радіальна відцентрова сила тиску частинок компонентів утвореної суміші на бокову поверхню робочої камери, яка при цьому також діє на ці частинки та яка перевищує силу земного тяжіння, що призводить до підймання ввєрх частинок компонентів утвореної суміші по боковій поверхні робочої камери.

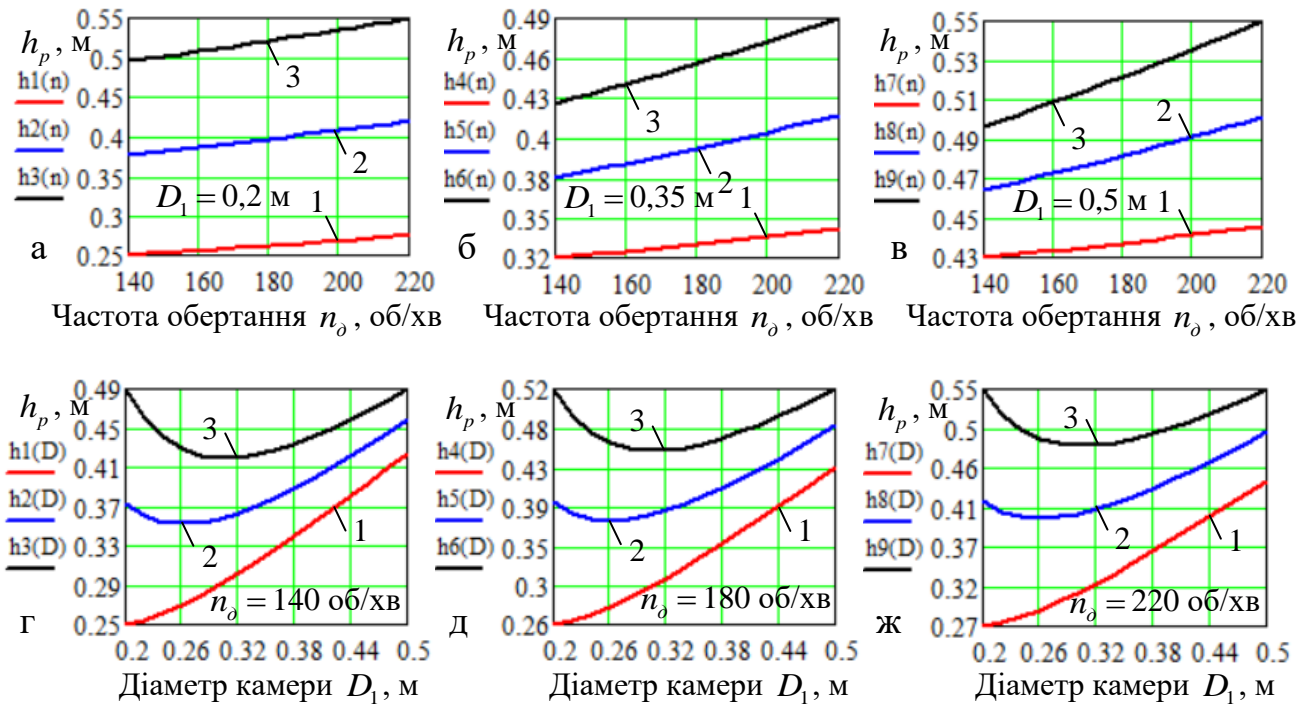


Рисунок 3.4 – Залежність зміни робочої висоти $h_{p,max}$ утвореної суміші як функція: а, б, в – $h_{p,max} = f(n_d)$; г, д, ж – $h_{p,max} = f(D_1)$; 1 – $m_{\sigma} = 1,5$ кг, $m_{\delta} = 0,2$ кг, $m_{\epsilon} = 2,5$ кг; 2 – $m_{\sigma} = 6$ кг, $m_{\delta} = 0,5$ кг, $m_{\epsilon} = 4,5$ кг; 3 – $m_{\sigma} = 10,5$ кг, $m_{\delta} = 0,8$ кг, $m_{\epsilon} = 6,5$ кг

З метою формалізації технологічного процесу дискретно-імпульсного перемішування дозованих компонентів у зваженому стані та для подальшого обґрунтування раціональних параметрів робочих органів змішувача розглянемо технологічний процес роботи дозованого завантаження борошна шнековим дозатором з вібраційним решетом, схему до розрахунку параметрів якого наведено на рис. 3.5.

Основними транспортними вузлами завантажувального каналу є вібродозатор борошна 3 (рис. 3.5), де борошно з завантажувальної ємності 19 (рис. 2.2а) надходить до шнекового живильника 4 (рис. 3.5), а далі вільно падає на вібраційне решето 6, яке має отвори та коливається в поздовжньому напрямку з амплітудою коливання A_p за рахунок приводу кривошипно-шатунного механізму (на рис. 2.2а та рис. 3.5 кривошипно-шатунний механізм приводу вібраційного решета не показано).

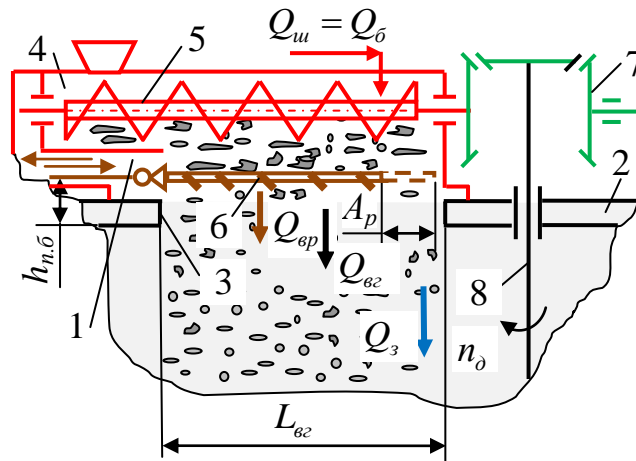


Рисунок 3.5 – Схема до розрахунку параметрів технологічної процесу роботи вібродозатора борошна: 1 – завантажувальний канал; 2 – кришка змішувача; 3 – вхідна горловина; 4 – вібродозатор борошна; 5 – шнековий живильник; 6 – вібраційне решето; 7 – редуктор електромотора; 8 – приводний вал камери змішування

Для формалізації процесу роботи завантажувального каналу вібродозатора борошна дискретно-імпульсного змішувача приймаємо такі припущення:

- поперечний переріз вхідної горловини 3 (рис. 3.5) має форму прямокутника, довжина якого дорівнює $l_{вг.}$ (м), а ширина – $b_{вг.}$ (м), при цьому $l_{вг.} \geq D_{ш}$, де $D_{ш}$ – діаметр шнека, м;

- закономірності руху сипкого борошна в завантажувальному каналі описуються (підкоряються) основним закономірностям вільного витікання сипкого матеріалу із місткості [183];

- кутова швидкість шнека $\omega_{ш}$ (рад/с) вібродозатора дорівнює $\omega_{ш} = \omega_d u_{ш}$, де $u_{ш}$ – передаточне відношення конічної передачі шнека, а поздовжня швидкість руху \mathcal{G}_p (м/с) решета – $\mathcal{G}_p = 0,5 \omega_{кр} R_{кр}$, де $\omega_{кр}$, $R_{кр}$ – відповідно, кутова швидкість (рад/с) і діаметр кривошипа, м.

Взаємозв'язок між розмірними характеристиками вхідної горловини 3 (рис. 3.5) та конструктивно-кінематичними параметрами вібродозатора борошна та робочих органів камери змішувача встановимо на основі

аналітичного аналізу продуктивності шнека $Q_{ш}$ (кг/с) або розрахункової дозованої секундної подачі борошна Q_{δ} , пропускної здатності W_{δ} вібраційного решета (кг/с) або продуктивність Q_{δ} (кг/с) вібраційного решета, пропускної здатності вхідної горловини W_{δ} (кг/с) або секундної подачі Q_{δ} (кг/с) вхідної горловини та необхідної продуктивності Q_3 (кг/с) змішувача.

Тоді раціональне функціонування завантажувального каналу, або забезпечення необхідної продуктивності Q_3 змішувача можливе за умови

$$Q_3 \geq W_{\delta} \geq W_{\delta} \geq Q_{ш}. \quad (3.37)$$

Згідно з [184-187] відповідні складові тотожності (3.37) визначаються за формулами

$$\left. \begin{aligned} Q_{ш} &= 0,125\pi D_{ш} (D_{ш}^2 - d_m^2) \rho_{\delta} k_g \psi_3 \frac{d\varphi_{ш}}{dt} \operatorname{tg} \beta; \\ Q_{\delta} &= 7,5\pi d_o^2 k_d \rho_{\delta} \frac{d\varphi_{кр}}{dt} D_{кр}; \\ Q_{\delta} &= 1,47 \lambda_o \rho_{\delta} l_{\delta} b_{\delta} \sqrt{2gh_{n,\delta}}; \\ Q_3 &= \frac{m_o}{t_3} = \frac{V_o \rho_o k_v}{t_3} = \frac{\pi D_1^2 h_p \rho_o k_v}{4t_3} \end{aligned} \right\}, \quad (3.38)$$

де $D_{ш}$, d_m – відповідно, діаметр шнека та барабана, м;

k_g – коефіцієнт зниження осьової швидкості переміщення борошна;

ψ_3 – коефіцієнт заповнення шнека;

β – кут підйому гвинтової лінії шнека, град.;

φ_{δ} , $\varphi_{кр}$ – відповідно, кут повороту диска та кривошипа, рад.

d_o , k_d – діаметр отвору решета (м) та кількість отворів у решеті;

λ_o – коефіцієнт опору переміщення борошна;

$h_{n,\delta}$ – висота потоку борошна, або висота склепіння, м [186];

m_o , V_o – відповідно, маса (кг) та об'єм приготовленої рідкої опари, м³;

ρ_o – об'ємна маса приготовленої рідкої опари, або густина опари, кг/м³;

t_3 – загальний час приготування рідкої опари в змішувачі, с.

При цьому, з умови оптимального функціонування процесу роботи дискретно-імпульсного змішувача необхідно прийняти умову, за якої продуктивність шнека $Q_{ш}$ та продуктивність $Q_{вп}$ вібраційного решета вібродозатора борошна повинна бути рівною, або більшою за встановлену секундну подачу борошна Q_{δ} , тобто $Q_{вп} \geq Q_{ш} \geq Q_{\delta}$.

Тоді

$$Q_{\delta} \leq Q_{ш} = 0,125\pi D_{ш} (D_{ш}^2 - d_m^2) \rho_{\delta} k_g \psi_3 \frac{d\varphi_{ш}}{dt} \operatorname{tg} \beta, \quad (3.39)$$

Частоту обертання $n_{ш}$ шнека визначимо з умови забезпечення необхідної розрахункової продуктивності Q_3 дискретно-імпульсного змішувача.

Тоді кутову швидкість $\frac{d\varphi_{ш}}{dt}$ шнека визначимо з нерівності (3.39), при цьому

$$\frac{d\varphi_{ш}}{dt} \geq \frac{4Q_{\delta}}{D_{ш} (D_{ш}^2 - d_m^2) \rho_{\delta} k_g \psi_3 \operatorname{tg} \beta}. \quad (3.40)$$

Гранична допустима кутова швидкість тарілчастого диска ω_{δ} та лопаті мішалки ω_m (рад/с), які за конструктивними ознаками повинні бути рівні між собою та за якої верхній край лопаті мішалки не буде вище рівня переміщуваної суміші, або за умови не оголення лопаті мішалки визначається за формулою згідно з [177]

$$\omega_{\delta, \text{дон}} = \omega_m \leq \frac{4}{D_1} \sqrt{gh_c}, \quad (3.41)$$

або згідно з (3.32) маємо

$$\omega_{\delta, \text{дон}} \leq \frac{4}{D_1} \sqrt{g \left[\frac{2}{\pi D_1^2} \left(\frac{m_{\delta}}{\rho_{\delta}} + \frac{m_{\delta}}{\rho_{\delta}} + \frac{m_{\delta}}{\rho_{\delta}} \right) + \frac{D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n,y}) \right] \pm \sqrt{\left(\frac{2}{\pi D_1^2} \left(\frac{m_{\delta}}{\rho_{\delta}} + \frac{m_{\delta}}{\rho_{\delta}} + \frac{m_{\delta}}{\rho_{\delta}} \right) + \frac{D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n,y}) \right)^2 + \frac{\omega_{\delta}^2}{2g} \left(\frac{m_{\delta}}{\rho_{\delta}} + \frac{m_{\delta}}{\rho_{\delta}} + \frac{m_{\delta}}{\rho_{\delta}} \right)}}}. \quad (3.42)$$

Після перетворення та спрощення залежності (3.42), отримано диференціальне рівняння вигляду

$$\left(\frac{d\varphi_\delta}{dt}\right)^4 - \left(\frac{d\varphi_\delta}{dt}\right)^2 \left(2B + \frac{\sum_{i=1}^n V_{ic.k}}{2\pi g}\right) + B^2 \pm B^2 \leq 0, \quad (3.43)$$

де $B = \frac{2g \sum_{i=1}^n V_{ic.k}}{\pi D_1^2} + \frac{g D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n.y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n.y})$, а порядок перетворення та спрощення

залежності (3.43) наведено у додатку Г.3.1.

При цьому, згідно з (3.43) маємо

$$\left. \begin{aligned} &\left(\frac{d\varphi_\delta}{dt}\right)^4 - \left(\frac{d\varphi_\delta}{dt}\right)^2 \left(2B + \frac{\sum_{i=1}^n V_{ic.k}}{2\pi g}\right) + 2B^2 \leq 0; \\ &\left(\frac{d\varphi_\delta}{dt}\right)^4 - \left(\frac{d\varphi_\delta}{dt}\right)^2 \left(2B + \frac{\sum_{i=1}^n V_{ic.k}}{2\pi g}\right) \leq 0 \end{aligned} \right\}; \quad (3.44)$$

Позначимо в рівняння (3.44) $\frac{d\varphi}{dt} = x$, $2B + \frac{\sum_{i=1}^n V_{ic.k}}{2\pi g} = p$, $2B^2 = q$. Тоді отримаємо бікватратні рівняння вигляду

$$\left. \begin{aligned} &x^4 - px^2 + q \leq 0; \\ &x^4 - px^2 \leq 0 \end{aligned} \right\}, \text{ або } \left. \begin{aligned} &x^4 - px^2 + q \leq 0; \\ &x^2 \leq p \end{aligned} \right\}. \quad (3.45)$$

Тоді розв'язок другої нерівності (3.45) за умови, що кутова швидкість тарілчастого диска не може мати від'ємне значення матиме вигляд

$$x = \frac{d\varphi}{dt} = \omega_\delta \leq \sqrt{\frac{2g \sum_{i=1}^n V_{ic.k}}{\pi D_1^2} + \frac{D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n.y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n.y})}. \quad (3.46)$$

Тому, що друга нерівність (3.45) і (3.46) не враховує об'єму інгредієнтів суміші, які завантажені в робочу камеру змішувача, проводити подальший аналіз цих нерівностей не доцільно.

Тоді для розв'язку першої нерівності (3.45) позначимо в ній вираз x^2 через нову перемінну y , або $x^2 = y$.

Таким чином, першу нерівність (4.45) можна записати у вигляді приведенного квадратного рівняння $y^2 - py + q \leq 0$, рішення якого за умови, що кутова швидкість тарілчастого диска не може мати від'ємне значення, має

$$\text{вигляд } y_{1,2} \leq \frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}. \text{ При цьому } \frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q} \geq 0.$$

Звідки

$$x = \frac{d\varphi_\partial}{dt} = \omega_\partial \leq \sqrt{\frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}}, \quad (3.47)$$

або

$$\omega_{\partial, \text{дон}} \leq \sqrt{\left(B + \frac{\sum_{i=1}^n V_{ic.k}}{4\pi g} \right) \pm \sqrt{\left(B + \frac{\sum_{i=1}^n V_{ic.k}}{4\pi g} \right)^2 - 2B^2}}. \quad (3.48)$$

Після підстановки $B = \frac{2g \sum_{i=1}^n V_{ic.k}}{\pi D_1^2} + \frac{g D_1 \text{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \text{tg}^2 \alpha_{n,y})$ в нерівність

(3.48) маємо

$$\omega_{\partial, \text{дон}} \leq \sqrt{\left(\frac{2g \sum_{i=1}^n V_{ic.k}}{\pi D_1^2} + \frac{g D_1 \text{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \text{tg}^2 \alpha_{n,y}) + \frac{\sum_{i=1}^n V_{ic.k}}{4\pi g} \right) \pm \sqrt{\left(\frac{2g \sum_{i=1}^n V_{ic.k}}{\pi D_1^2} + \frac{g D_1 \text{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \text{tg}^2 \alpha_{n,y}) + \frac{V_o}{4\pi g} \right)^2 - 2 \left(\frac{2g \sum_{i=1}^n V_{ic.k}}{\pi D_1^2} + \frac{g D_1 \text{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \text{tg}^2 \alpha_{n,y}) \right)^2}}$$

- порядковий номер формули (3.49),

або за умови, що $\omega_\partial = \pi n_\partial / 30$ маємо

$$n_{\partial, \text{дон}} \leq \frac{30}{\pi} \left[\left(\frac{2g \sum_{i=1}^n V_{ic.k}}{\pi D_1^2} + \frac{g D_1 \text{tg} \alpha_{n.y}}{6} (1 + \text{tg}^2 \alpha_{n.y}) + \frac{\sum_{i=1}^n V_{ic.k}}{4\pi g} \right) \pm \sqrt{\left(\frac{2g \sum_{i=1}^n V_{ic.k}}{\pi D_1^2} + \frac{g D_1 \text{tg} \alpha_{n.y}}{6} (1 + \text{tg}^2 \alpha_{n.y}) + \frac{\sum_{i=1}^n V_{ic.k}}{4\pi g} \right)^2 - 2 \left(\frac{2g \sum_{i=1}^n V_{ic.k}}{\pi D_1^2} + \frac{g D_1 \text{tg} \alpha_{n.y}}{6} (1 + \text{tg}^2 \alpha_{n.y}) \right)} \right]$$

- порядковий номер формули (3.50).

Згідно з нерівністю (3.50) побудовано залежності зміни допустимої частоти обертання n_{∂} тарілчастого диска від діаметра робочої камери D_1 та

сумарного об'єму $\sum_{i=1}^3 V_{ic/k}$ завантажених компонентів як функція

$n_{\partial, \text{дон}} = f\left(D_1; \sum_{i=1}^3 V_{ic/k}\right)$ та від діаметра робочої камери D_1 як функція

$n_{\partial, \text{дон}} = f(D_1)$, які наведено на рис. 3.6.

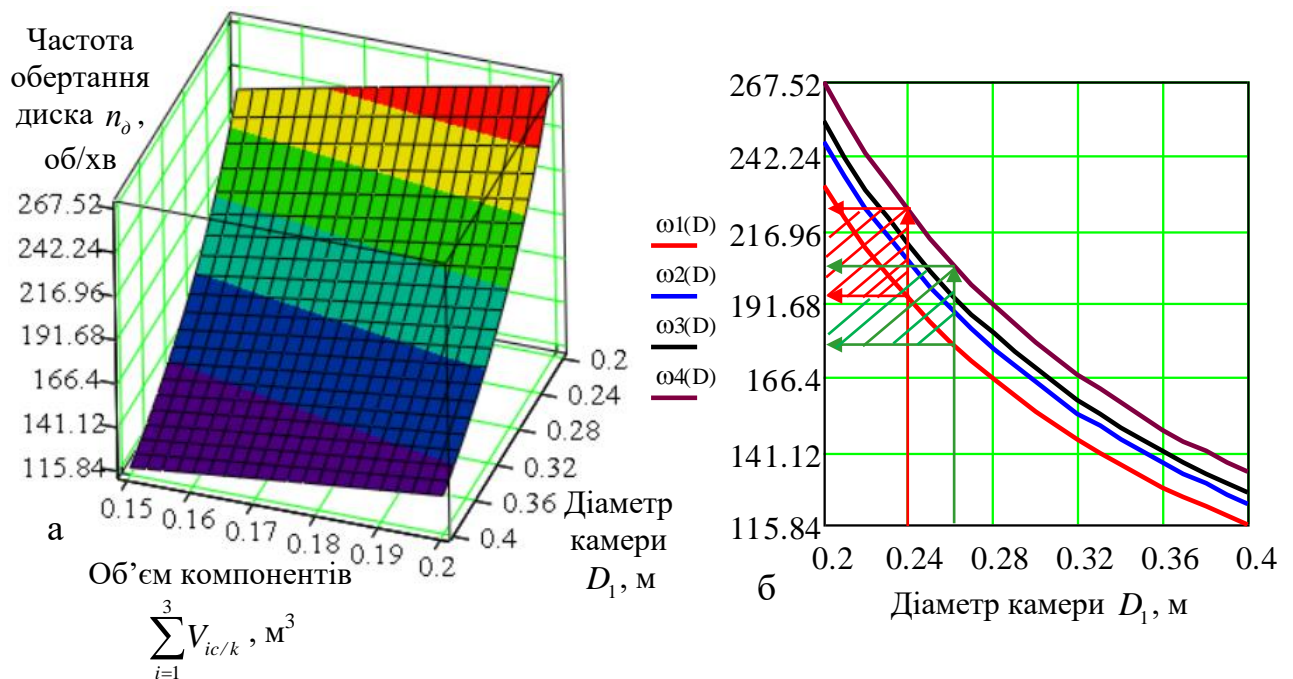


Рисунок 3.6 – Залежність частоти обертання тарілчастого диска як функція: а – $n_{\partial, \text{дон}} = f\left(D_1; \sum_{i=1}^3 V_{ic/k}\right)$; б – $n_{\partial, \text{дон}} = f(D_1)$, 1, 2, 3, 4 – відповідно

$$\sum_{i=1}^3 V_{ic/k} = 0,1; 0,17; 0,18; 0,2 \text{ (м}^3\text{)}$$

На основі аналізу побудованих залежностей встановлено, що за умови не вихлюпування рідкої опари у процесі змішування компонентів допустима частота обертання $n_{o, \text{дон}}$ тарілчастого диска залежно від зміни діаметра робочої камери D_1 та сумарного об'єму $\sum_{i=1}^3 V_{ic/k}$ завантажених компонентів знаходиться в межах від 115 до 267 об/хв, рис. 3.5а.

Домінуючий вплив, який регулює межі зміни допустимої частоти обертання $n_{o, \text{дон}}$ тарілчастого диска є діаметр D_1 робочої камери змішування – за збільшення діаметра D_1 робочої камери змішування від 0,2 до 0,4 м допустима частота обертання $n_{o, \text{дон}}$ тарілчастого диска збільшується в середньому на 115...120 рад/с.

Згідно з (3.37) та (3.38) можна записати

$$Q_3 = \frac{\pi D_1^2 h_p k_v}{4 \rho_o t_3} \geq Q_{ep} = 7,5 \pi d_o^2 k_d \rho_o \frac{d\varphi_{kp}}{dt} D_{kp}, \quad (3.51)$$

або

$$D_1 \geq \sqrt{\frac{10 t_3 d_o^2 k_d \rho_o \frac{d\varphi_{kp}}{dt} D_{kp}}{h_p \rho_o k_v}}. \quad (3.52)$$

Загальну кількість отворів k_d у вібраційному решеті 6 (рис. 3.5), за яких буде забезпечуватися умова (3.51) $Q_3 \geq Q_{ep}$, визначимо таким чином:

- кількість отворів k_{1d} у одному поздовжньому ряду вібраційного решета, довжина l_{ep} якого з конструктивних міркувань завжди буде $l_{ep} < l_{\text{вз}} - 2A_{ep}$, або $l_{ep} < l_{\text{вз}} - 2A_{ep}$, або $l_{ep} < l_{\text{вз}} - 2A_o$, де l_{ep} – довжина решета, м; A_{ep} – амплітуда поздовжніх коливань вібраційного решета, м; A_o – амплітуда завантажувального борошна, м: $k_{1d} = (l_{\text{вз}} - 2A_{ep}) / (d_o + 2A_{ep})$;

- кількість рядів z_p отворів у поперечному напрямку вібраційного решета, ширина b_{ep} (м) якого з конструктивних міркувань завжди буде $b_{ep} > D_{in}$:

$$z_p = (D_{in} + 2A_p) / (d_o + 2A_{ep}) = \left(\frac{D_{in}}{2A_{ep}} + 1 \right) / \left(\frac{d_o}{2A_{ep}} + 1 \right).$$

Тоді загальна кількість отворів визначається за формулою

$$k_{1d} = \frac{\left(\frac{l_{\text{вз}}}{2A_{\text{вп}}} - 1\right) \left(\frac{D_{\text{ш}}}{2A_{\text{вп}}} + 1\right)}{\left(\frac{d_o}{2A_{\text{вп}}} + 1\right)^2}. \quad (3.53)$$

Тоді діаметр D_1 робочої камери за якого буде забезпечуватися розрахункова продуктивність дискретно-імпульсного змішувача компонентів визначається за залежністю

$$D_1 \geq \frac{d_o}{(d_o + 2A_{\text{вп}})} \sqrt{\frac{t_3 (l_{\text{вз}} - 2A_{\text{вп}}) (D_{\text{ш}} + 2A_{\text{вп}}) \rho_{\text{б}} \frac{d\varphi_{\text{кр}}}{dt} D_{\text{кр}}}{2,5 \rho_o h_p k_V}}. \quad (3.52)$$

За початкових вихідних умов $t_3 = 210$ с, $D_{\text{кр}} = 0,08$ м; $d\varphi_{\text{кр}} / dt = 15$ рад/с, $\rho_o = 950$ кг/м³, $h_p = 0,3$ м побудовано залежність зміни діаметр D_1 робочої камери дискретно-імпульсного змішувача компонентів як функція $D_1 = f_D(d_o; A_{\text{вп}})$, рис. 3.7.

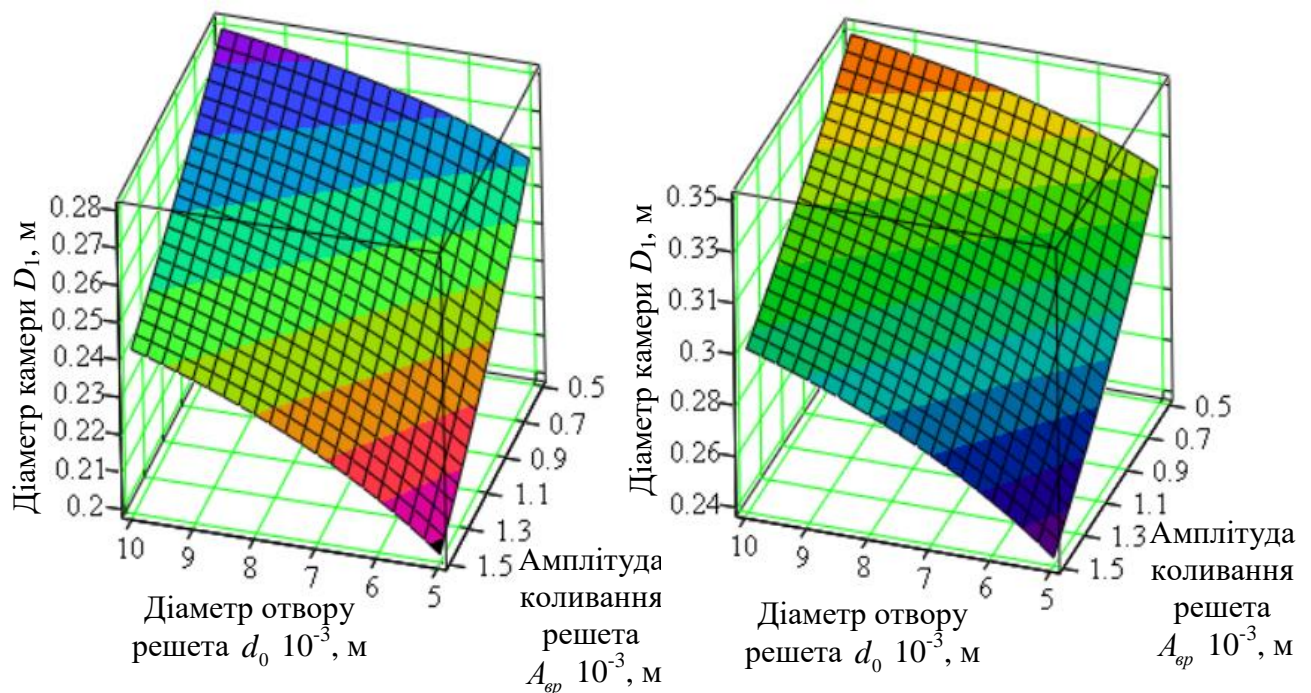


Рисунок 3.7 – Залежність зміни діаметра робочої камери змішувача як функція $D_1 = f_D(d_o; A_{\text{вп}})$

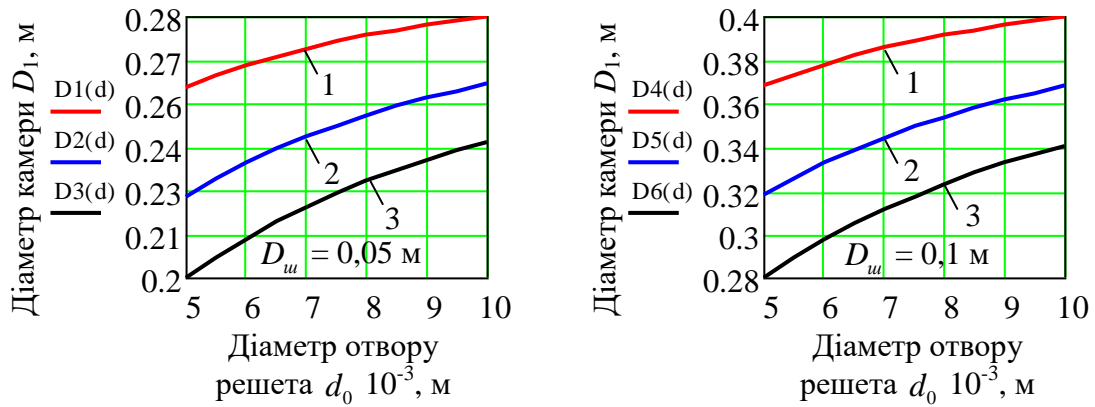


Рисунок 3.8 – Залежність зміни діаметра робочої камери змішувача як функція $D_1 = f_D(d_o)$: 1, 2, 3 – відповідно, $A_{ep} = 0,5 \cdot 10^{-3}$, $1 \cdot 10^{-3}$, $1,5 \cdot 10^{-3}$ м

Для забезпечення оптимальної роботи процесу приготування рідкої опари та розрахункової продуктивності Q_z дискретно-імпульсного змішувача згідно з умовою (3.37) $Q_z \geq W_{ep} \geq W_{вг} \geq Q_{ш}$ встановлено, що діаметр робочої камери D_1 змішувача повинен знаходитися у межах від 0,2 до 0,4 м залежно від зміни діаметра отвору d_o вібраційного решета в межах 5...10 мм та амплітуди поздовжніх коливань A_{ep} вібраційного решета в межах від 0,5...1,5 мм за зміни діаметра шнека D_1 дозатора борошна від 0,05 до 0,1 м та максимальної робочої висоти $h_{p,max}$ утвореної суміші рівній, або менше $h_{p,max} \leq 0,3$ м, рис. 3.7, рис. 3.8

При цьому, за зміни діаметра робочої камери D_1 від 0,24 до 0,26 м допустима частота обертання $n_{o,дон}$ тарілчастого диска повинна бути в межах $175 \geq n_{o,дон} \leq 230$ об/хв за зміни сумарного об'єму $\sum_{i=1}^3 V_{ic/k}$ завантажених компонентів від 0,1 до 0,2 м³, рис. 3.6б.

Розмірні параметри вхідної горловини 3 (рис. 3.5) завантажувального каналу вібродозатора борошна 4, будуть залежати від прийнятих параметрів: діаметра шнека $D_{ш}$, довжини l_{ep} та ширини b_{ep} вібраційного решета. При цьому:

- діаметр шнека $D_{ш}$ встановлюють з конструктивних міркувань залежно від заданої розрахункової продуктивності Q_z дискретно-імпульсного змішувача компонентів;

- ширину b_{ez} вхідної горловини приймають з умови $b_{ez} > b_{ep} > D_{ш}$;
- довжину l_{ez} вхідної горловини визначають залежно від довжини l_{ep} вібраційного решета, при цьому $l_{ez} > l_{ep} - 2A_{\sigma}$; у свою чергу l_{ep} розраховують залежно від прийнятого діаметра d_o отворів вібраційного решета та їх кількості k_{1d} в одному поздовжньому ряді.

3.2. Математична модель технологічного процесу приготування рідкої опари

Перехідний процес створення рідинної суміші починається від моменту початку утворення струменя, його взаємодія з борошном і до моменту входу суміші на поверхню робочих органів і робочої камери. Оскільки динаміка прирощення об'єму рідинної суміші визначається співвідношенням рушійних сил [187], сил опору та сил інерції системи, то це означає, що саме в режимі перехідного процесу можливе досягнення максимальної здатності змішування.

В роботі [188] відзначено, що створення гідродинамічних потоків, швидкостей у рідинних середовищах є наслідком змін масообміну на межі поділу фаз за його напрямком. Автор [189] відзначає, що кінцевим результатом розв'язання рівнянь перебігу процесів є визначення їх швидкості та оцінка їх енергетичного потенціалу.

Наявність стабілізованих гідродинамічних параметрів рідинної системи дає підстави з врахуванням таких характеристик, як приведена маса і жорсткість, здійснювати перехід до одномасової еквівалентної коливальної системи – моделі реального об'єкта [158, 190].

Відомо, що розчинення твердих частинок (борошна) в рідинному середовищі може бути реалізовано двома шляхами: експериментальними дослідженнями в умовах просторового та механічного впливу в місильній камері з подальшим узагальненням результатів у вигляді критеріальних рівнянь; шляхом дослідження дифузії компонентів за допомогою розробки та рішення рівнянь дифузії та гідродинаміки [100].

Для розроблення математичного опису (моделі) процесу приготування рідкої опари способом дискретно-імпульсного введення компонентів в робочу камеру змішувача розглянемо складені розрахункові схеми, які наведено на рис. 3.9, рис. 3.10, рис. 3.11.

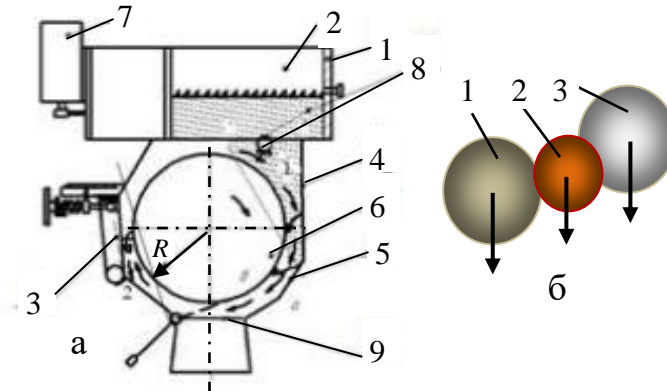


Рисунок 3.9 – Узагальнена схема процесу роботи (а) та схема взаємодії компонентів в робочій камері дискретно-імпульсного змішувача: а: 1 – вібродозатор борошна; 2 – живильник дозатора; 3 – пристрій дозування рідких компонентів; 4 – процес змішування компонентів у зваженому стані; 5 – робоча камера; 6 – робочий орган; 7 – привод дозатора; 8 – струминний розпилювач; 9 – вивантажувальний шибер; б: 1 – рідкі компоненти; 2 – борошно; 3 – повітря

Процес змішування компонентів, або приготування рідкої опари у робочій камері передбачає три основні стадії: перша стадія – приготування водно-дріжджової суспензії шляхом змішування пресованих дріжджів з водою; друга стадія – змішування борошна 2 (рис. 3.9) з рідкими компонентами 1 водно-дріжджової суспензії шляхом взаємодії частинок борошна та водно-дріжджової суспензії у фазі їх вільного польоту в робочій камері 5 до контакту з робочим органом 6 змішувача, або утворення суміші компонентів; друга стадія – домішування утвореної суміші робочими органами 6 змішувача до необхідної конститенції, або необхідних кондицій приготовленої рідкої опари.

На першій стадії робочий потік води 1 (рис. 3.10а) із початковою вхідною швидкістю руху \mathcal{Q}_e захоплює середовище розведених рідких дріжджів 2, які надходять в проточну камеру змішування струминного розпилювача 3 зі вхідною швидкістю руху \mathcal{Q}_o , причому тиск входження рідких дріжджів значно

менше за тиск входження води. При цьому кінетична енергія робочого потоку води в проточній частині частково передається пасивному інжектваному потоку рідких дріжджів, де відбувається вирівнювання швидкостей змішаних потоків. В проточній частині відбувається перемішування частинок води та рідких дріжджів і утворення водно-дріжджової суспензії, яка через форсунку струминного розпилювача надходить в робочу камеру змішувача.

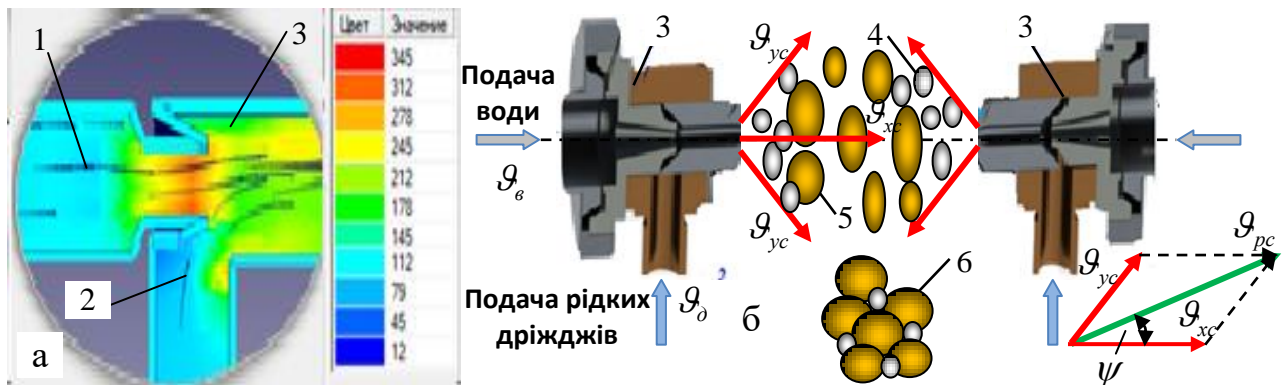


Рисунок 3.10 – Схема та імітація процесу формування: а – потоків рідких компонентів з розпилюючого пристрою; б – потоків псевдозмішування компонентів суміші; 1 – подача води; 2 – подача рідких дріжджів; 3 – струминний розпилювач; 4 – частинки водно-дріжджової суспензії; 5 – частинки борошна; 6 – утворена суміш борошна та водно-дріжджової суспензії

Друга стадія починається з моменту надходження дозованої водно-дріжджової суспензії та дозованого борошна в робочу камеру змішувача.

Робочий потік частинок (у подальшому – крапля масою m_e) водно-дріжджової суспензії 4 (рис. 3.10б) вилітає з форсунки струминного розпилювача з результируючою швидкістю Q_{pc} та взаємодіє з частинками борошна 2, які знаходяться в стані вільного польоту вниз під дією сили тяжіння $m_e g$ з швидкістю руху $Q_d = g t_k$, де Q_d – швидкість руху (м/с) частинки борошна масою m_e (кг); t_k – час польоту частинки борошна вниз до моменту контакту з частинкою водно-дріжджової суспензії, с.

Схема взаємодії компонентів суміші та процес фіксування краплі на частинках борошна та утворення суміші компонентів наведено на рис. 3.11.

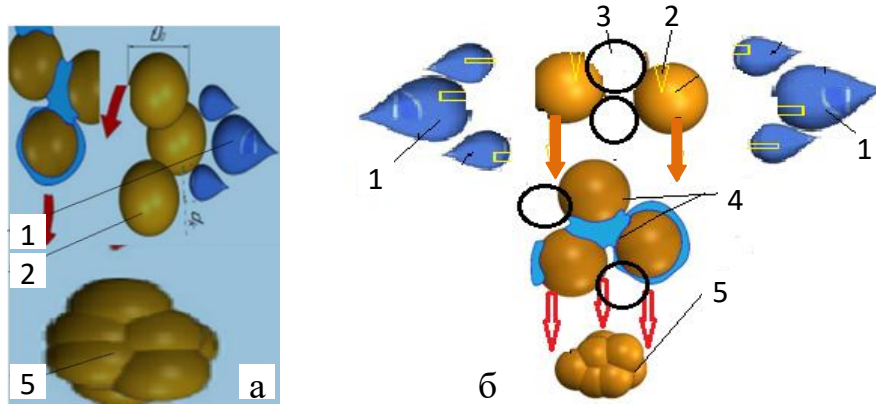


Рисунок 3.11 – Фіксування краплі на частинках борошна (а) та схема взаємодії компонентів при утворенні суміші: 1 – крапля; 2 – частинка борошна; 3 – бульбашка; 4 – змішування компонентів; 5 – утворена суміш

Для аналізу руху компонентів змішування по вертикальній ділянці робочої камери на другій стадії, або до моменту контакту утвореної суміші з робочою поверхнею тарілчастого диска розглянемо випадок вертикального руху частки борошна елементарною масою dm_{δ} , частки краплі елементарною масою dm_{ϵ} та суміші елементарною масою dm_c , які знаходяться в просторі робочої камери.

При цьому розглянемо випадок руху тіла перемінної маси вертикально вниз, при цьому моделюємо такі прийняті послідовні стадії руху тіла перемінної маси: приєднання до частки борошна елементарної маси dm_{δ} водно-дріжджової суміші елементарною масою $\Delta dm_{1\delta\delta}$; одночасного приєднання до частки суміші елементарної маси dm_{1c} водно-дріжджової суспензії елементарною масою $\Delta dm_{2\delta\delta}$ та борошна елементарною масою $\Delta dm_{2\delta}$; відокремлення від частки суміші елементарної маси dm_{2c} частки суміші елементарною масою Δdm_{3c} .

Тоді кількість руху елементарної маси утвореної суміші $dm_{ic}(t_{ic})$ для прийнятих стадій в момент часу $t_{ik} + \Delta t_i = t_i$ буде дорівнювати

$$dm_{1c}(t_{1k} + \Delta t_1) = dm_{1\delta}(t_{1k}) + \Delta dm_{1\delta}(\Delta t_1); \quad (3.53)$$

$$dm_{2c}(t_{1k} + \Delta t_1 + \Delta t_2) = dm_{1c}(t_{1k} + \Delta t_1) + \Delta dm_{2\delta}(\Delta t_2) + \Delta dm_{2\delta}(\Delta t_2); \quad (3.54)$$

$$dm_{3c}(t_{1k} + \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3) = dm_{2c}(t_{1k} + \Delta t_1 + \Delta t_2) - \Delta dm_{3c}(\Delta t_3), \quad (3.55)$$

де Δdm_{1e} , Δdm_{2e} , $\Delta dm_{1\bar{e}}$, $\Delta dm_{2\bar{e}}$, Δdm_{3c} – відповідно, відокремлена або приєднана частка елементарної маси dm_{ic} , dm_{ie} , $dm_{i\bar{e}}$ кг;

Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 – проміжок часу за який відбулося відокремлення-приєднання частки елементарною масою Δdm_{ic} , Δdm_{ie} , $\Delta dm_{i\bar{e}}$ в першому, другому та третьому випадках, с.

При цьому значення зміни $\Delta dm_{ic}(t_{ic})$ (збільшення-зменшення) кількості руху елементарної маси суміші $dm_{ic}(t_{ic})$ на послідовних стадіях за проміжок часу Δt_i згідно з (3.53)-(3.55) визначається рівністю

$$\left. \begin{aligned} \Delta dm_{1c}(\Delta t_1) &= \Delta dm_{1e}(\Delta t_1) = dm_{1c}(t_{1k} + \Delta t_1) - dm_{1\bar{e}}(t_{1k}); \\ \Delta dm_{2c}(\Delta t_2) &= \Delta dm_{2e}(\Delta t_2) + \Delta dm_{2\bar{e}}(\Delta t_2) = dm_{2c}(t_{1k} + \Delta t_1 + \Delta t_2) - dm_{1c}(t_{1k} + \Delta t_1); \\ \Delta dm_{3c}(\Delta t_3) &= dm_{2c}(t_{1k} + \Delta t_1 + \Delta t_2) - dm_{3c}(t_{1k} + \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3) \end{aligned} \right\}, \quad (3.56)$$

або сумарне значення зміни $\Delta dm_c(t_c)$ (збільшення-зменшення) кількості руху елементарної маси суміші $dm_c(t_c)$ на послідовних стадіях за проміжок часу $t_k + \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 = t_c$ буде

$$\begin{aligned} \Delta dm_c(t_c) &= \Delta dm_{1e}(\Delta t_1) + \Delta dm_{2e}(\Delta t_2) + \Delta dm_{1\bar{e}}(\Delta t_1) - \Delta dm_{3c}(\Delta t_3) = \\ &= dm_{1c}(t_{1k} + \Delta t_1) - dm_{1\bar{e}}(t_{1k}) + dm_{2c}(t_{1k} + \Delta t_1 + \Delta t_2) - dm_{1c}(t_{1k} + \Delta t_1) + \\ &+ dm_{2c}(t_{1k} + \Delta t_1 + \Delta t_2) - dm_{3c}(t_{1k} + \Delta t_1 + \Delta t_3 + \Delta t_3) = \\ &= 2dm_{2c}(t_{1k} + \Delta t_1 + \Delta t_2) - dm_{1\bar{e}}(\Delta t_2) - dm_{2\bar{e}}(\Delta t_2) - dm_{3c}(t_{1k} + \Delta t_1 + \Delta t_3 + \Delta t_3) \end{aligned} \quad (3.57)$$

Тоді в момент часу $t_k + \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 = t_c$ елементарна маса $dm_c(t_c)$ утвореної суміші компонентів буде дорівнювати

$$dm_c(t_c) = dm_{3c}(t_c) - \Delta dm_c(t_c). \quad (3.58)$$

Згідно з законом про зміну кількості руху Q_i (кг м/с) для системи матеріальних точок [191] маємо

$$Q_{ic} = dm_{ic} \mathcal{Q}_{ic}; \quad \frac{dQ_{ic}}{d\Delta t_{ic}} = F_{ic}^e, \quad \text{або} \quad Q_{ic} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \int_{t_{ic}}^{t_{ic} + \Delta t_{ic}} F_{ic}^e d\Delta t_{ic}, \quad (3.59)$$

або

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} = \frac{Q_{ic}(t_{ic}) \pm \Delta Q_{ic}(t_{ic})}{t_{ic}} = F_i^e, \quad (3.60)$$

де F_i^e – рівнодійна всіх сил, які прикладені до частки компонентів, Н.

Тоді згідно з законом збереження кількості руху [191] та враховуючи (3.59), (3.60), кількість руху на стадіях визначається

- кількість руху Q_{1c} постійної маси $dm_{1c}(t_{1k} + \Delta t_1)$ в момент часу $t_{1k} + \Delta t_1$ згідно з (2.33)

$$\frac{Q_{1c}(t_{1k} + \Delta t_1)}{t_{1k} + \Delta t_1} = \frac{Q_{1\delta}(t_{1k} + \Delta t_1)}{t_{1k} + \Delta t_1} + \frac{\Delta Q_{1\delta}(\Delta t_1)}{\Delta t_1} = \int_{t_{1k}}^{t_{1k} + \Delta t_1} F_{1c}^e dt_{1c}, \quad (3.61)$$

де $Q_{1\delta}$ – кількість руху змінної елементарної маси $dm_{1\delta}$ в момент часу $t_1 + \Delta t_1$, кг м/с;

$\Delta Q_{1\delta}$ – кількість руху приєднаної частки $\Delta dm_{1\delta}$ до елементарної маси $dm_{1\delta}$ за час Δt_1 , кг м/с;

F_{1c}^e – рівнодійна всіх сил, які прикладені до системи тіл, Н.

За аналогією для другої та третьої стадії було отримано:

$$\frac{Q_{2c}(t_1 + \Delta t_1 + \Delta t_2)}{t_1 + \Delta t_1 + \Delta t_2} = \frac{Q_{1c}(t_{1k} + \Delta t_1)}{t_{1k} + \Delta t_1} + \frac{[(\Delta Q_{2\delta} + \Delta Q_{2\delta})(t_1 + \Delta t_1 + \Delta t_2)]}{t_1 + \Delta t_1 + \Delta t_2} = \int_{t_{1k} + \Delta t_1}^{t_{1k} + \Delta t_1 + \Delta t_2} F_{2c}^e dt_{2c}; \quad (3.62)$$

$$\frac{Q_{3c}(t_{1k} + \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3)}{t_{1k} + \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3} = \frac{Q_{2c}(t_{1k} + \Delta t_1 + \Delta t_2)}{t_{1k} + \Delta t_1 + \Delta t_2} - \frac{\Delta Q_{3c}(\Delta t_3)}{\Delta t_3} = \int_{t_{1k} + \Delta t_1 + \Delta t_2}^{t_{1k} + \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3} F_{3c}^e dt_{3c}. \quad (3.63)$$

Для першої стадії припустимо, що за проміжок часу $t_{1k} + \Delta t_1 = t_1$ приєднана до елементарної маси борошна $dm_{1\delta}$ частка води елементарною масою $\Delta dm_{1\delta}$ набула швидкості центра мас $\mathcal{G}_{1\delta}$, а швидкість $\mathcal{G}_{1\delta}$ змінної елементарної маси борошна $dm_{1\delta}$ за момент часу $t_{1k} + \Delta t_1 = t_1$ становить $\mathcal{G}_{1\delta} = \mathcal{G}_0 + \Delta \mathcal{G}_{1\delta}$, де \mathcal{G}_0 – початкова швидкість руху частки борошна елементарної маси $dm_{1\delta}$, м/с; $\Delta \mathcal{G}_{1\delta}$ – приріст швидкості руху частки борошна елементарної маси $dm_{1\delta}$ за момент часу $t_{1k} + \Delta t_1 = t_{1c}$, м/с.

Згідно з законом збереження кількості руху [191] та враховуючи (3.59), (3.60), (3.61) кількість руху Q_{1c} тіла елементарної маси $dm_{1\sigma}$ та приєднаної частки елементарною масою $\Delta dm_{1\sigma}$ у момент часу t_1 дорівнює

$$\frac{Q_{1c}(t_{1c})}{t_{1c}} = dm_{1\sigma}(\mathcal{G}_o + \Delta\mathcal{G}_{1\sigma}) + \Delta dm_{1\sigma}\mathcal{G}_{1\sigma}. \quad (3.64)$$

За аналогією та враховуючи (3.62) та (3.63) для другої та третьої стадії було отримано:

$$\frac{Q_{2c}(t_{2c})}{t_{2c}} = dm_{1c}\mathcal{G}_{1c} + d\Delta m_{2\sigma}\mathcal{G}_{2\sigma} + d\Delta m_{2\sigma}(\mathcal{G}_o + \Delta\mathcal{G}_{2\sigma}); \quad (3.65)$$

$$\frac{Q_{3c}(t_{3c})}{t_{3c}} = dm_{2c}\mathcal{G}_{2c} - \Delta dm_{3c}\mathcal{G}_{3c}. \quad (3.66)$$

Застосовуючи рівняння Мещерського [192] для стадії приєднана до елементарної маси борошна $dm_{1\sigma}$ частка води елементарною масою $\Delta dm_{1\sigma}$ у момент часу t_{1c} та враховуючи (3.64), отримаємо

$$dm_{1\sigma} \frac{d(\mathcal{G}_o + \Delta\mathcal{G}_{1\sigma})}{dt_1} + \Delta dm_{1\sigma} \frac{d(\mathcal{G}_{1\sigma})}{dt_1} = F_{1c}^e. \quad (3.67)$$

За аналогією та враховуючи (3.65) та (3.66) для другої та третьої стадії було отримано:

$$dm_{1c} \frac{d\mathcal{G}_{1c}}{dt_2} + \Delta dm_{2\sigma} \frac{d(\mathcal{G}_{2\sigma})}{dt_2} + \Delta dm_{2\sigma} \frac{d(\mathcal{G}_{2\sigma})}{dt_2} = F_{2c}^e. \quad (3.68)$$

$$dm_{2c} \frac{\mathcal{G}_{2c}}{dt_3} - \Delta dm_{3c} \frac{\mathcal{G}_{3c}}{dt_3} = F_{3c}^e. \quad (3.69)$$

Вектор рівнодійної сили F_{ic}^e дорівнює алгебраїчній сумі всіх векторів сил, які прикладені до елементарної маси dm_{ic} , або дорівнює алгебраїчній сумі сили ваги P_{ic} (Н), сили тиску краплі водно-дріжджової суміші P_{ik} (Н) та сили аеродинамічного опору газової фази $P_{z,\phi}$ (Н) з урахуванням напрямків векторів прикладення сил.

Для визначення рівнодійної сили F_{ic}^e розглянемо складену схему сил, яку наведено на рис. 3.12. при цьому для спрощення умов задачі приймаємо припущення, що рівнодійна сила тиску краплі P_{ik} , яка вилітає з форсунки струминного розпилювача діє тільки в горизонтальній площині.

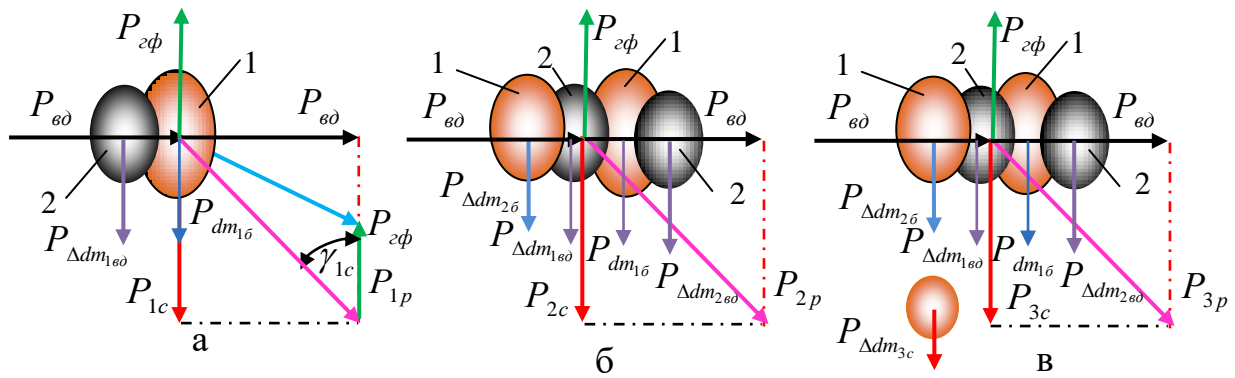


Рисунок 3.12 – Схема сил, які діють на елементарні частинки маси компонентів суміші: 1 – елементарні частинки маси борошна; 2 – елементарні частинки маси водно-дріжджової суспензії (краплі)

Тоді згідно з рис. 3.12 рівнодійної сили F_{1c}^e для трьох стадій утворення компонентів суміші буде визначатися за формулою

$$\left. \begin{aligned} \vec{F}_{1c}^e &= \vec{P}_{1c} - \vec{P}_{z\phi} = \left(\vec{P}_{1p} / \cos \gamma_{1c} \right) - \vec{P}_{z\phi}; \\ \vec{F}_{2c}^e &= \vec{P}_{2c} - \vec{P}_{z\phi} = \left(\vec{P}_{2p} / \cos \gamma_{2c} \right) - \vec{P}_{z\phi}; \\ \vec{F}_{3c}^e &= \vec{P}_{3c} - \vec{P}_{z\phi} = \left(\vec{P}_{3p} / \cos \gamma_{3c} \right) - \vec{P}_{z\phi}; \end{aligned} \right\}, \quad (3.70)$$

або

$$F_{1c}^e = \frac{\sqrt{\left(\frac{g_{\epsilon\delta}^2 \rho_{\epsilon\delta}}{2\mu_{g_{\epsilon\delta}} g} \right)^2 + \left(dm_{1\epsilon} \frac{d\vartheta_{1\epsilon}}{dt_1} + \Delta dm_{1\epsilon\delta} \frac{d\vartheta_{1\epsilon\delta}}{dt_1} \right)^2}}{dm_{1\epsilon} \frac{d\vartheta_{1\epsilon}}{dt_1} + \Delta dm_{1\epsilon\delta} \frac{d\vartheta_{1\epsilon\delta}}{dt_1}} - \rho_c V_{dm_{1c}} \kappa_o g_{1c}^2, \quad (3.71)$$

$$\cos \frac{\sqrt{\left(\frac{g_{\epsilon\delta}^2 \rho_{\epsilon\delta}}{2\mu_{g_{\epsilon\delta}} g} \right)^2 + \left(dm_{1\epsilon} \frac{d\vartheta_{1\epsilon}}{dt_1} + \Delta dm_{1\epsilon\delta} \frac{d\vartheta_{1\epsilon\delta}}{dt_1} \right)^2}}$$

де порядок виведення формули (3.71) наведено у додатку Г.4.2

За аналогією для другої та третьої стадії маємо:

$$F_{2c}^e = \frac{\sqrt{\left(\frac{g_{\epsilon\delta}^2 \rho_{\epsilon\delta}}{2\mu_{g_{\epsilon\delta}} g} \right)^2 + \left(dm_{1\epsilon} \frac{d\vartheta_{1\epsilon}}{dt_2} + \Delta dm_{1\epsilon\delta} \frac{d\vartheta_{1\epsilon\delta}}{dt_2} + dm_{2\epsilon} \frac{d\vartheta_{2\epsilon}}{dt_2} + \Delta dm_{2\epsilon\delta} \frac{d\vartheta_{2\epsilon\delta}}{dt_2} \right)^2}}{dm_{1\epsilon} \frac{d\vartheta_{1\epsilon}}{dt_2} + \Delta dm_{1\epsilon\delta} \frac{d\vartheta_{1\epsilon\delta}}{dt_2} + dm_{2\epsilon} \frac{d\vartheta_{2\epsilon}}{dt_2} + \Delta dm_{2\epsilon\delta} \frac{d\vartheta_{2\epsilon\delta}}{dt_2}} - \rho_c V_{dm_{1c}} \kappa_o g_{1c}^2; \quad (3.72)$$

$$\cos \frac{\sqrt{\left(\frac{g_{\epsilon\delta}^2 \rho_{\epsilon\delta}}{2\mu_{g_{\epsilon\delta}} g} \right)^2 + \left(dm_{1\epsilon} \frac{d\vartheta_{1\epsilon}}{dt_2} + \Delta dm_{1\epsilon\delta} \frac{d\vartheta_{1\epsilon\delta}}{dt_2} + dm_{2\epsilon} \frac{d\vartheta_{2\epsilon}}{dt_2} + \Delta dm_{2\epsilon\delta} \frac{d\vartheta_{2\epsilon\delta}}{dt_2} \right)^2}}$$

$$F_{3c}^e = \frac{\sqrt{\left(\frac{g_{\text{вд}}^2 \rho_{\text{вд}}}{2\mu_{g_{\text{вд}}} g}\right)^2 + \left(dm_{1\text{в}} \frac{d\mathcal{G}_{1\text{в}}}{dt_3} + \Delta dm_{1\text{вд}} \frac{d\mathcal{G}_{1\text{вд}}}{dt_2} + dm_{2\text{в}} \frac{d\mathcal{G}_{2\text{в}}}{dt_3} + \Delta dm_{2\text{вд}} \frac{d\mathcal{G}_{2\text{вд}}}{dt_3} - \Delta dm_{3\text{с}} \frac{d\mathcal{G}_{3\text{с}}}{dt_3}\right)^2}}{dm_{1\text{в}} \frac{d\mathcal{G}_{1\text{в}}}{dt_3} + \Delta dm_{1\text{вд}} \frac{d\mathcal{G}_{1\text{вд}}}{dt_3} + dm_{2\text{в}} \frac{d\mathcal{G}_{2\text{в}}}{dt_3} + \Delta dm_{2\text{вд}} \frac{d\mathcal{G}_{2\text{вд}}}{dt_3} - \Delta dm_{3\text{с}} \frac{d\mathcal{G}_{3\text{с}}}{dt_3}}{\cos} \sqrt{\left(\frac{g_{\text{вд}}^2 \rho_{\text{вд}}}{2\mu_{g_{\text{вд}}} g}\right)^2 + \left(dm_{1\text{в}} \frac{d\mathcal{G}_{1\text{в}}}{dt_2} + \Delta dm_{1\text{вд}} \frac{d\mathcal{G}_{1\text{вд}}}{dt_3} + dm_{2\text{в}} \frac{d\mathcal{G}_{2\text{в}}}{dt_3} + \Delta dm_{2\text{вд}} \frac{d\mathcal{G}_{2\text{вд}}}{dt_3} - \Delta dm_{3\text{с}} \frac{d\mathcal{G}_{3\text{с}}}{dt_3}\right)^2}} - \rho_c V_{dm_{1c}} \kappa_o \mathcal{G}_{1c}^2,$$

де порядковий номер формули – (3.73).

Якщо в (3.71) позначити $dm_{1\text{в}} \frac{d\mathcal{G}_{1\text{в}}}{dt_1} + \Delta dm_{1\text{вд}} \frac{d\mathcal{G}_{1\text{вд}}}{dt_1} = dM_{1c}$, тоді рівняння (3.71) можна записати в спрощеному вигляді

$$F_{1c}^e = \frac{\sqrt{\left(\frac{g_{\text{вд}}^2 \rho_{\text{вд}}}{2\mu_{g_{\text{вд}}} g}\right)^2 + \left(dm_{1c} \frac{d\mathcal{G}_{1c}}{dt_1}\right)^2}}{dm_{1c} \frac{d\mathcal{G}_{1c}}{dt_1}} - \rho_c V_{dm_{1c}} \kappa_o \mathcal{G}_{1c}^2, \quad (3.74)$$

$$\cos \frac{\sqrt{\left(\frac{g_{\text{вд}}^2 \rho_{\text{вд}}}{2\mu_{g_{\text{вд}}} g}\right)^2 + \left(dm_{1c} \frac{d\mathcal{G}_{1c}}{dt_1}\right)^2}}$$

За аналогією для другої та третьої стадії маємо:

$$F_{2c}^e = \frac{\sqrt{\left(\frac{g_{\text{вд}}^2 \rho_{\text{вд}}}{2\mu_{g_{\text{вд}}} g}\right)^2 + \left(dm_{2c} \frac{d\mathcal{G}_{2c}}{dt_2}\right)^2}}{dm_{2c} \frac{d\mathcal{G}_{2c}}{dt_2}} - \rho_c V_{dm_{2c}} \kappa_o \mathcal{G}_{2c}^2; \quad (3.75)$$

$$\cos \frac{\sqrt{\left(\frac{g_{\text{вд}}^2 \rho_{\text{вд}}}{2\mu_{g_{\text{вд}}} g}\right)^2 + \left(dm_{2c} \frac{d\mathcal{G}_{2c}}{dt_2}\right)^2}}$$

$$F_{3c}^e = \frac{\sqrt{\left(\frac{g_{\text{вд}}^2 \rho_{\text{вд}}}{2\mu_{g_{\text{вд}}} g}\right)^2 + \left(dm_{3c} \frac{d\mathcal{G}_{3c}}{dt_3}\right)^2}}{dm_{3c} \frac{d\mathcal{G}_{3c}}{dt_3}} - \rho_c V_{dm_{3c}} \kappa_o \mathcal{G}_{3c}^2. \quad (3.76)$$

$$\cos \frac{\sqrt{\left(\frac{g_{\text{вд}}^2 \rho_{\text{вд}}}{2\mu_{g_{\text{вд}}} g}\right)^2 + \left(dm_{3c} \frac{d\mathcal{G}_{3c}}{dt_3}\right)^2}}$$

Тоді підставивши значення рівнодійної сили F_{ic}^e для трьох стадій утворення компонентів суміші з (3.74)-(3.76) у диференціальні рівняння (3.67)-(3.69), отримаємо:

$$dm_{1o} \frac{d(\mathcal{G}_o + \Delta\mathcal{G}_{1o})}{dt_1} + \Delta dm_{1o} \frac{d(\mathcal{G}_{1o})}{dt_1} = \frac{\sqrt{\left(\frac{\mathcal{G}_{o\delta}^2 \rho_{o\delta}}{2\mu_{g_{o\delta}} g}\right)^2 + \left(dm_{1c} \frac{d\mathcal{G}_{1c}}{dt_1}\right)^2}}{dm_{1c} \frac{d\mathcal{G}_{1c}}{dt_1}} - \rho_c V_{dm_{1c}} \kappa_o \mathcal{G}_{1c}^2; \quad (3.77)$$

$$\cos \frac{\sqrt{\left(\frac{\mathcal{G}_{o\delta}^2 \rho_{o\delta}}{2\mu_{g_{o\delta}} g}\right)^2 + \left(dm_{1c} \frac{d\mathcal{G}_{1c}}{dt_1}\right)^2}}$$

$$dm_{1c} \frac{d\mathcal{G}_{1c}}{dt_2} + \Delta dm_{2o} \frac{d(\mathcal{G}_{2o})}{dt_2} + \Delta dm_{2o} \frac{d(\mathcal{G}_{2o})}{dt_2} = \frac{\sqrt{\left(\frac{\mathcal{G}_{o\delta}^2 \rho_{o\delta}}{2\mu_{g_{o\delta}} g}\right)^2 + \left(dm_{2c} \frac{d\mathcal{G}_{2c}}{dt_2}\right)^2}}{dm_{2c} \frac{d\mathcal{G}_{2c}}{dt_2}} - \rho_c V_{dm_{2c}} \kappa_o \mathcal{G}_{2c}^2,$$

$$\cos \frac{\sqrt{\left(\frac{\mathcal{G}_{o\delta}^2 \rho_{o\delta}}{2\mu_{g_{o\delta}} g}\right)^2 + \left(dm_{2c} \frac{d\mathcal{G}_{2c}}{dt_2}\right)^2}}$$

де порядковий номер формули (3.78);

$$dm_{2c} \frac{\mathcal{G}_{2c}}{dt_3} - \Delta dm_{3c} \frac{\mathcal{G}_{3c}}{dt_3} = \frac{\sqrt{\left(\frac{\mathcal{G}_{o\delta}^2 \rho_{o\delta}}{2\mu_{g_{o\delta}} g}\right)^2 + \left(dm_{3c} \frac{d\mathcal{G}_{3c}}{dt_3}\right)^2}}{dm_{3c} \frac{d\mathcal{G}_{3c}}{dt_3}} - \rho_c V_{dm_{3c}} \kappa_o \mathcal{G}_{3c}^2, \quad (3.79)$$

$$\cos \frac{\sqrt{\left(\frac{\mathcal{G}_{o\delta}^2 \rho_{o\delta}}{2\mu_{g_{o\delta}} g}\right)^2 + \left(dm_{3c} \frac{d\mathcal{G}_{3c}}{dt_3}\right)^2}}$$

де розшифрування буквених позначень складових диференціальних рівнянь наведено у додатку Г.4.2.

Отримані залежності (3.77)-(3.79) є диференціальними рівняннями руху складових компонентів по вертикальній ділянці робочої камери змішувача та формування суміші рідкої опари для випадку приєднання до неї та відєднання з неї частки елементарних мас компонентів за умови взаємодії на борошно водно-дріжджової суспензії та врахуванням аеродинамічної сили опору газової фази.

3.3. Висновки до розділу

3.3.1. Функціональна зміна висоти циліндричної частини робочої камери дискретно-імпульсного змішувача компонентів має лінійний і пропорційний характер – за збільшення маси дозуючих компонентів (маси борошна від 1,5 до 10,5 кг, маси дріжджів від 0,2 до 0,8 кг, маси води від 2,5 до 6,5 кг) висота циліндричної частини зростає в межах від 0,15 до 0,35 м.

3.3.2. Максимальна робоча висота утвореної суміші під час приготування рідкої опари в робочій камері дискретно-імпульсного змішувача знаходиться в межах від 0,25 до 0,55 м залежно від збільшення діаметра тарілчастого диска від 0,2 до 0,5 м та його частоти обертання від 140 до 220 об/хв.

3.3.3. Допустима частота обертання тарілчастого диска знаходиться в межах від 115 до 267 об/хв залежно від зміни діаметра робочої камери та зміни сумарної маси дозованих компонентів від 4,5 до 17,8 кг.

3.3.4. Для забезпечення розрахункової продуктивності дискретно-імпульсного змішувача встановлено, що діаметр робочої камери змішувача повинен знаходитися у межах від 0,2 до 0,4 м залежно від зміни діаметра отвору вібраційного решета від 5 до 10 мм і амплітуди поздовжніх коливань від 0,5 до 1,5 мм за зміни діаметра шнека дозатора борошна від 0,05 до 0,1 м та максимальної робочої висоти утвореної суміші рівній, або менше 0,3 м.

3.3.5. При цьому, за зміни діаметра робочої камери від 0,24 до 0,26 м допустима частота обертання тарілчастого диска повинна бути в межах від 175 до 230 об/хв за зміни сумарного об'єму завантажених компонентів від 0,1 до 0,2 м³.

Основні положення розділу опубліковано у наукових працях [154, 155, 158, 177, 178, 181].

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДИСКРЕТНО-ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ

4.1. Результати експериментальних досліджень робочої висоти утвореної суміші та коефіцієнта однорідності рідкої опари

Для обґрунтування та встановлення раціональних режимів і параметрів процесу приготування рідкої опари способом дискретно-імпульсного перемішування компонентів у зваженому стані та конструктивно-кінематичних параметрів дискретно-імпульсного змішувача реалізовано планований трифакторний експеримент типу ПФЕ 3^3 на трьох рівнях варіювання факторами.

Методику проведення експериментальних досліджень наведено в п. 2.2 та п. 2.3 другого розділу дисертаційної роботи. Конструктивну схему дискретно-імпульсного змішувача компонентів наведено на рис. 2.2а, а загальний вигляд дискретно-імпульсного змішувача компонентів, або лабораторної установки для приготування рідкої опари способом дискретно-імпульсного перемішування компонентів у зваженому стані – на рис. 2.2в,г та додатку В.1.1.

Загальний вигляд дискретно-імпульсного змішувача компонентів, або лабораторної установки в роботі наведено на рис. 4.1 та додатку Д.1.1.

Основними базовими вузлами лабораторної установки є робоча камера 1 (рис. 4.1), ємність для води 2, електронасос 3 подачі водно-дріжджевої суспензії, дозатор 4 борошна, електромотор-редуктор 5, блок керування 6 електродвигунами, зливна горловина 7, зливний кран 8.

В робочу камеру 1 дозовано завантажуються компоненти суміші в зваженому стані (попередньо розведені пресовані дріжджі, пшеничне борошно, вода) у якій в подальшому відбувається процес перемішування компонентів суміші, який реалізується шляхом вільного падіння борошна з дозатора 4 на тарілчастий диск 9, 10 (рис. 2.2), який змонтовано на приводному валу 8, що посажений на вихідний вал двигуна 18, що обертається з частотою обертання

n_d . При цьому одночасно з дозованою подачею борошна відбувається подача водно-дріжджевої суспензії електронасосом 17 з ємності 14 в водопровідний канал 15 та 12, а далі через струминні розпилювачі 13 в робочу камеру. Приготовлена суміш рідкої опари через зливну горловину 7 (рис. 4.1) та зливний кран 8 зливається з робочої камери в ємність 9.

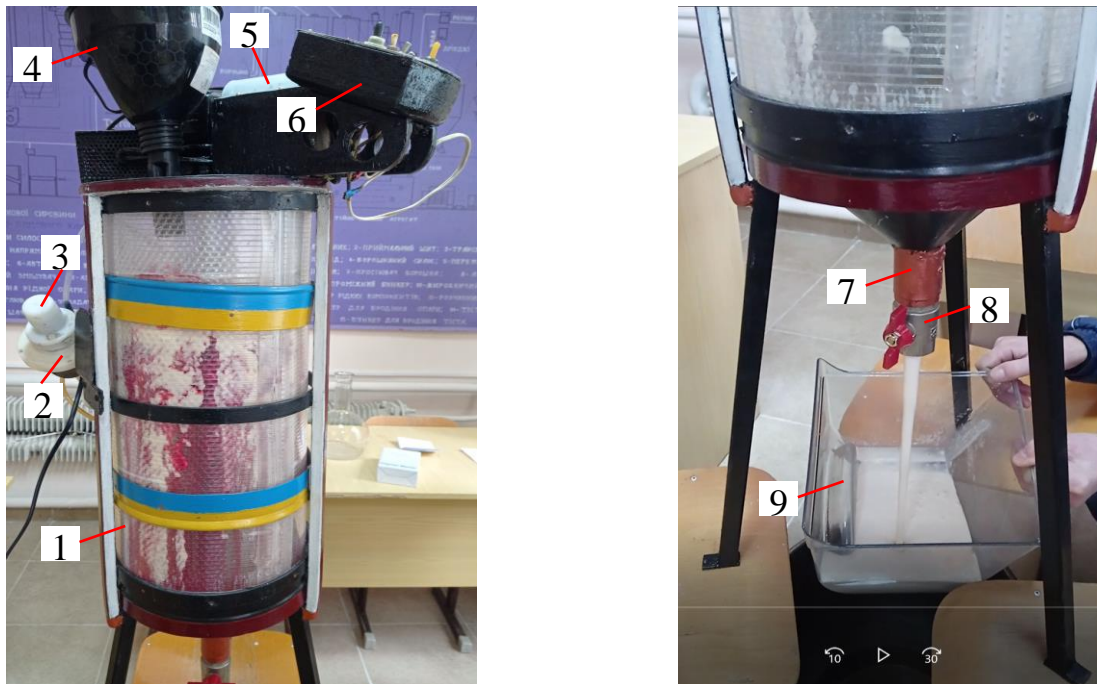


Рисунок 4.1 – Загальний вигляд лабораторної установки в роботі: 1 – робоча камера; 2 – ємність для води; 3 – електронасос; 4 – дозатор борошна; 5 – електромотор-редуктор; 6 – блок керування; 7 – зливна горловина; 8 – зливний кран; 9 – ємність

Технічну характеристику лабораторної установки наведено у додатку В.2.1.

Для перевірки адекватності теоретичних досліджень, або адекватності розробленої аналітичної математичної моделі (3.35), яка описує функціональну залежність зміни максимальної робочої висоти h_p утвореної суміші під час приготування рідкої опари в робочій камері дискретно-імпульсного змішувача параметром оптимізації (функцією відгуку), або цільовою функцією приймали зміну максимальної робочої висоти h_{pe} (м) утвореної суміші під час приготування рідкої опари.

Також одночасно визначали технологічний параметр – коефіцієнт однорідності k_{oe} утвореної суміші під час приготування рідкої опари.

Вхідними змінними факторами приймали: масову секундну подачу борошна Q_0 , яку кодували індексом $Q_0 \rightarrow x_1$; амплітуду коливання дозуючого борошна A_0 , яку кодували індексом $A_0 \rightarrow x_2$; частоту обертання тарілчастого диска n_0 , яку кодували індексом $n_0 \rightarrow x_3$.

Кодування змінних факторів і рівні варіювання факторами наведено у табл. 2.4.

Для зменшення загального числа експериментів $N = p^k = 3^3 = 27$ з визначення характеру зміни максимальної робочої висоти h_{pe} утвореної суміші та коефіцієнта однорідності k_{oe} утвореної суміші під час приготування рідкої опари застосували несиметричну план-матрицю Бокса-Бенкіна для трьох факторів і трьох рівнів варіювання факторами. Згідно з даними [125] загальна кількість дослідів однієї дорівнює 15. Для усунення впливу неконтрольованих (НКФ) і нерегульованих (НРФ) факторів (рис. 2.4) проведено рандомізацію несиметричної план-матриці планованого факторного експерименту типу ПФЕ 3^3 згідно з положеннями [126].

Рандомізовану несиметричну план-матрицю планованого факторного експерименту типу ПФЕ 3^3 наведено в додатку В.3.3.

Після проведення кожного експерименту згідно з порядковим номером рандомізованої план-матриці (додаток В.3.3) заносили у відповідні стовбці отримане середнє значення параметра оптимізації трьох повторностей.

Заповнена рандомізована несиметрична план-матриця експерименту наведена в табл. 4.1. Експериментальний масив даних зміни максимальної робочої висоти h_{pe} утвореної суміші та коефіцієнта однорідності k_{oe} утвореної суміші під час приготування рідкої опари наведено в додатку Д.2.1.

Для отримання рівняння регресії параметра оптимізації проведено обробку експериментального масиву даних згідно з порядком, який викладено у підрозділі 2.3 другого розділу дисертаційної роботи.

Таблиця 4.1 – Експериментальні дані заповненої несиметричної план-матриці Бокса-Бенкіна планованого факторного експерименту типу ПФЕ 3³

№ ксп.	Вхідні фактори			Середнє значення	
	Q_{σ} , кг/с	A_k , мм	n_d , об/хв	h_{pe} , м	k_{oe}
1	(+) 0,07	(+) 1,1	(0) 180	0,3	1,05
2	(-) 0,03	1,1	180	0,23	0,65
3	0,07	(-) 0,5	180	0,25	0,9
4	0,03	0,5	180	0,19	0,8
5	0,07	(0) 0,8	(+) 200	0,32	1,0
6	0,03	0,8	200	0,26	0,6
7	0,07	0,8	(-) 160	0,21	0,65
8	0,03	0,8	160	0,18	0,35
9	(0) 0,05	1,1	200	0,28	0,85
10	0,05	0,5	200	0,24	0,65
11	0,05	1,1	160	0,22	0,55
12	0,05	0,5	160	0,2	0,45
13	0,05	0,8	180	0,22	0,75
14	0,05	1,1	180	0,26	1,15
15	0,03	0,8	180	0,19	0,95

Після обробки експериментального масиву даних (додаток Д.2.1) було встановлено вигляд апроксимуючої залежності, яка функціонально опису зміну максимальної робочої висоти h_{pe} утвореної суміші під час приготування рідкої опари в дискретно-імпульсному змішувачі способом дискретно-імпульсного змішування компонентів у зваженому стані залежно від зміни вхідних незалежних факторів (табл. 2.1) та яку записано у вигляді апроксимуючої функції $h_{pe} = f_h(Q_{\sigma}; A_k; n_d)$ [120].

При цьому апроксимуючу функцію, яка характеризує зміну максимальної робочої висоти h_{pe} утвореної суміші під час приготування рідкої опари в дискретно-імпульсному змішувачі способом дискретно-імпульсного змішування компонентів у зваженому стані було прийнято у вигляді математичної моделі

повного полінома другої степені за найбільшим значенням коефіцієнта множинної детермінації рівного $D = 0,797$: за рівня достовірності рівного $P = 0,95$; теоретичного значення t -альфа критерію рівного 2,142; значення коефіцієнта множинної кореляції рівного $R = 0,893$; значення стандартного відхилення оцінки рівного $s = 0,177$; теоретичного значення F -критерію Фішера рівного 2,177. При цьому коефіцієнт множинної детермінації D значимий з рівнем вірогідності рівним $P = 0,76558$ (додаток Д.3.1)

$$h_p = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 ; \quad (4.1)$$

Числові значення коефіцієнтів рівняння апроксимуючої функції, які визначали з використанням програми «Статистика 10», наведено у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Числові значення коефіцієнтів рівняння регресії

Показник	Значення коефіцієнтів рівняння регресії						
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}
$h_{pe} = f_h(Q_\delta; A_\delta; n_\delta)$	0,13	-2,4	-0,08	$-3,6 \cdot 10^{-4}$	0,64	0,01	$-6,1 \cdot 10^{-4}$
	b_{11}		b_{22}		b_{33}		
	17,5		0,11		$-6,35 \cdot 10^{-6}$		

Після перевірки відтворюваності дослідів за критерієм Корхена, адекватності моделі експериментальним даним за F -критерієм Фішера та значимості коефіцієнтів рівняння регресії за t -критерієм Стюдента [126], отримано математичну емпіричну модель у вигляді повного полінома другої степені, яка характеризує функціональну залежність зміни максимальної робочої висоти h_{pe} утвореної суміші під час приготування рідкої опари в дискретно-імпульсному змішувачі способом дискретно-імпульсного змішування компонентів у зваженому стані у натуральних факторах

$$h_{pe} = 0,13 - 2,4Q_\delta - 3,6 \cdot 10^{-4}n_\delta + 0,01Q_\delta n_\delta + 17,5Q_\delta^2 + 0,11A_\delta^2 + 6,35 \cdot 10^{-6}n_\delta^2, \quad (4.2)$$

де коефіцієнти $b_2 = -0,08$, $b_{12} = 0,64$ і $b_{23} = -6,1 \cdot 10^{-4}$ емпіричної моделі (4.1) є незначущими.

Отримана емпірична модель (4.2) у натуральних факторах може бути застосована для визначення максимальної робочої висоти h_{pe} утвореної суміші під час приготування рідкої опари в дискретно-імпульсному змішувачі способом дискретно-імпульсного змішування компонентів у зваженому стані у таких межах зміни вхідних факторів: масової секундної подачі борошна $0,03 \leq Q_{\sigma} \leq 0,07$ кг; амплітуди коливання дозуючого борошна $0,05 \leq A_{\sigma} \leq 0,08$ мм; частоти обертання тарілчастого диска $160 \leq n_{\sigma} \leq 200$ об/хв.

Згідно з емпіричною моделлю (рівнянням регресії) (4.2) в середовищі прикладної програми для комп'ютера «Статистика 10» побудовано поверхню відгуку та двомірний переріз поверхні відгуку як функція $h_{pe} = f_h(Q_{\sigma}; A_{\sigma}; n_{\sigma})$, яка характеризує функціональну зміну максимальної робочої висоти h_{pe} утвореної суміші під час приготування рідкої опари в дискретно-імпульсному змішувачі способом дискретно-імпульсного змішування компонентів у зваженому стані залежно від вхідних факторів:

- від зміни масової секундної подачі борошна Q_{σ} та амплітуди коливання A_{σ} дозуючого борошна як функція $h_{pe} = f_h(Q_{\sigma}; A_{\sigma})$, рис. 4.2а;
- від зміни масової секундної подачі борошна Q_{σ} та частоти обертання n_{σ} тарілчастого диска як функція $h_{pe} = f_h(Q_{\sigma}; n_{\sigma})$, рис. 4.2б;
- від зміни амплітуди коливання A_{σ} дозуючого борошна та частоти обертання n_{σ} тарілчастого диска як функція $h_{pe} = f_h(A_{\sigma}; n_{\sigma})$, рис. 4.2в.

На основі аналізу графічних залежностей функціональної зміни $h_{pe} = f_h(Q_{\sigma}; A_{\sigma})$, $h_{pe} = f_h(Q_{\sigma}; n_{\sigma})$ та $h_{pe} = f_h(A_{\sigma}; n_{\sigma})$ (рис. 4.2) встановлено, що апроксимоване значення максимальної робочої висоти h_{pe} утвореної суміші знаходиться в межах від 0,17 до 0,34 м залежно від зміни вхідних факторів, а зміна h_{pe} має пропорційний характер – зі збільшенням масової секундної подачі Q_{σ} борошна, амплітуди коливання A_{σ} дозуючого борошна та частоти обертання n_{σ} диска максимальна робоча висота h_{pe} утвореної суміші збільшується.

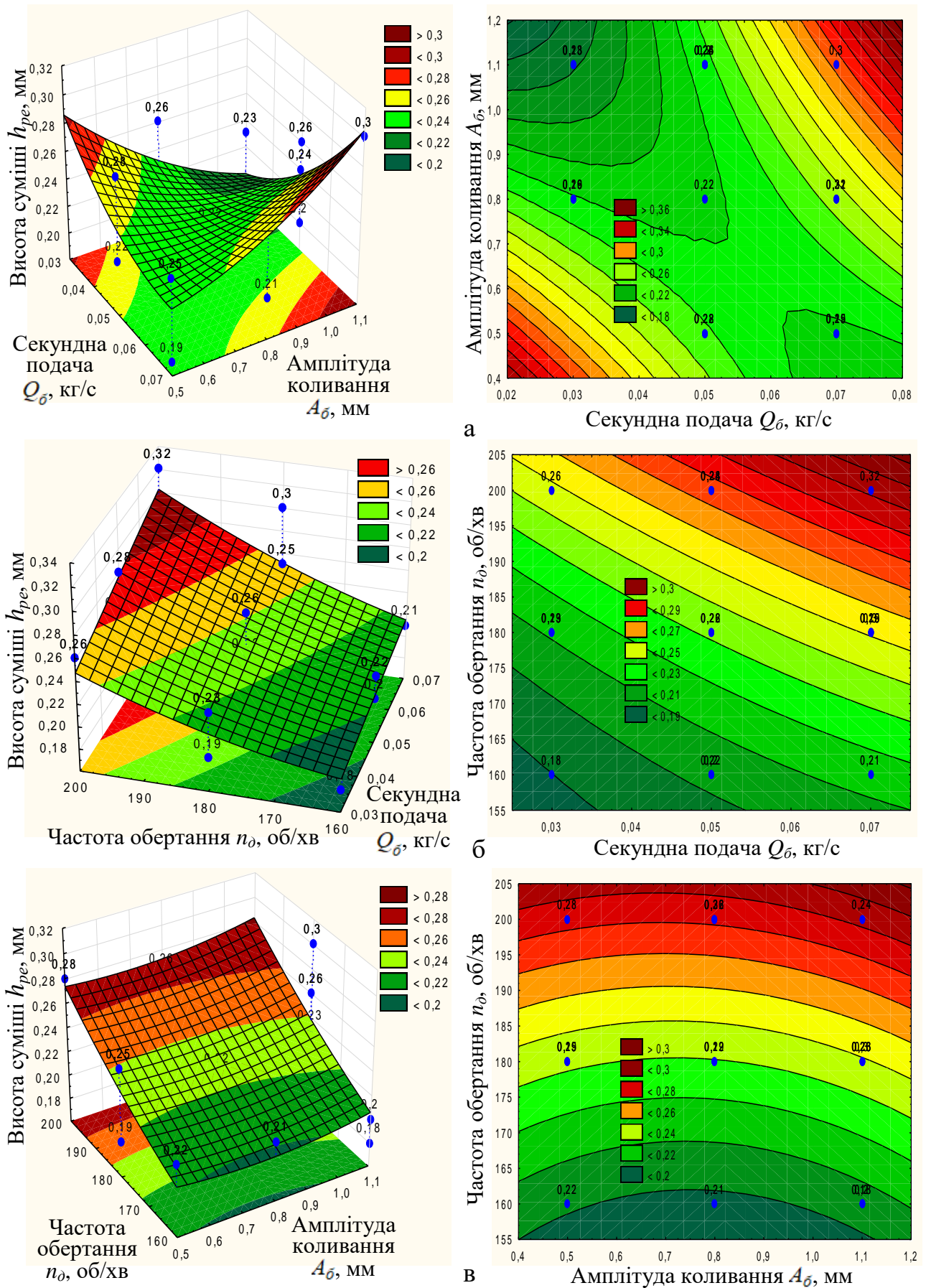


Рисунок 4.2 – Поверхня відгуку та двомірний перерізи поверхні відгуку як функція: а – $h_{pe} = f_h(Q_{\delta}; A_{\delta})$; б – $h_{pe} = f_h(Q_{\delta}; n_{\delta})$; в – $h_{pe} = f_h(A_{\delta}; n_{\delta})$

Домінуючими факторами, зміна яких призводить до значного зростання максимальної робочої висоти h_{pe} утвореної суміші є масова секундна подача Q_{σ} борошна та частоти обертання n_{σ} тарілкового диска:

- у межах зміни $0,03 \leq Q_{\sigma} \leq 0,07$ кг максимальна робоча висота h_{pe} утвореної суміші зростає в середньому на 0,05 – 0,08 м, або на 22 – 25 %, що характерно також залежностям, які наведено на рис. 4.3а;

- у межах зміни $160 \leq n_{\sigma} \leq 200$ об/хв максимальна робоча висота h_{pe} утвореної суміші зростає в середньому на 0,04, або на 18 %, що характерно також залежностям, які наведено на рис. 4.3в.

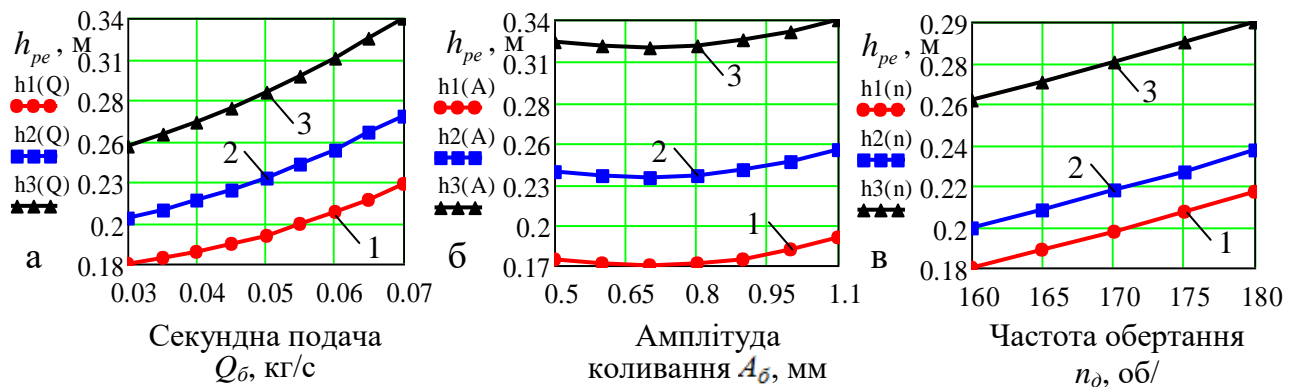


Рисунок 4.3 – Залежність функціональної зміни максимальної робочої висоти утвореної суміші як функція: а – $h_{pe} = f_h(Q_{\sigma})$, 1 – $A_{\sigma} = 0,5$ мм, $n_{\sigma} = 160$ об/хв, 2 – $A_{\sigma} = 0,8$ мм, $n_{\sigma} = 180$ об/хв, 3 – $A_{\sigma} = 1,1$ мм, $n_{\sigma} = 200$ об/хв; б – $h_{pe} = f_h(A_{\sigma})$, 1 – $Q_{\sigma} = 0,03$ кг/с, $n_{\sigma} = 160$ об/хв, 2 – $Q_{\sigma} = 0,05$ кг/с, $n_{\sigma} = 180$ об/хв, 3 – $Q_{\sigma} = 0,07$ кг/с, $n_{\sigma} = 200$ об/хв; в – $h_{pe} = f_h(n_{\sigma})$, 1 – $Q_{\sigma} = 0,03$ кг/с, $A_{\sigma} = 0,5$ мм, 2 – $Q_{\sigma} = 0,05$ кг/с, $A_{\sigma} = 0,8$ мм, 3 – $Q_{\sigma} = 0,07$ кг/с, $A_{\sigma} = 1,1$ мм

Розбіжність між теоретичними h_p та апроксимованими експериментальними h_{pe} значення максимальної робочої висоти утвореної суміші під час приготування рідкої опари в дискретно-імпульсному змішувачі способом дискретно-імпульсного змішування компонентів у зваженому стані становить у середньому від 5 до 8 %, рис. 4.4.

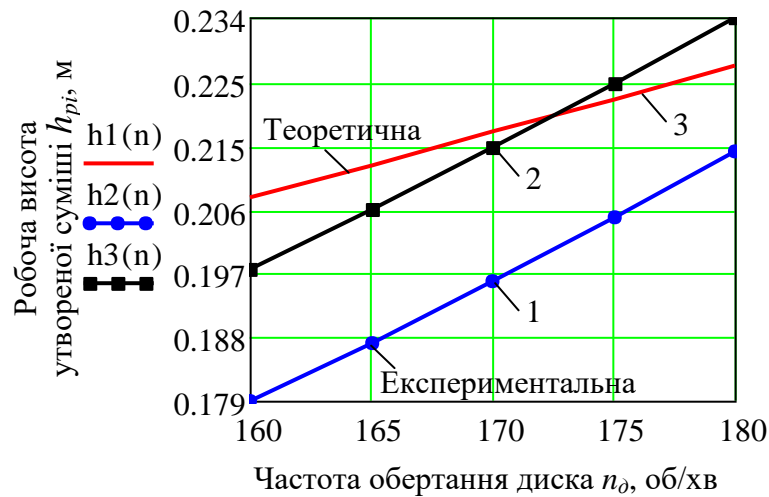


Рисунок 4.4 – Залежність функціональної зміни максимальної робочої висоти утвореної суміші як функція $h_{pe} = f_h(n_o)$: 1 – $Q_o = 0,03$ кг/с, $A_o = 0,5$ м; 2 – $Q_o = 0,05$ кг/с, $A_o = 0,8$ м; 1, 2, 3 – $m_o = 2,4$ кг, $m_o = 0,5$ кг, $m_g = 3,6$ кг

Таким чином, можна стверджувати, що розроблена аналітична модель (3.35) є адекватною отриманому рівнянню регресії (4.2), тобто теоретичні значення максимальної робочої висоти h_p утвореної суміші під час приготування рідкої опари в дискретно-імпульсному змішувачі способом дискретно-імпульсного змішування компонентів у зваженому стані є адекватні отриманим експериментальним даним значень h_{pe} . Тому розроблена аналітична модель (3.35) може бути застосована для розрахунку параметрів і режимів роботи дискретно-імпульсного змішувача компонентів.

Після обробки експериментального масиву даних (додаток Д.2.1) було встановлено вигляд апроксимуючої залежності, яка функціонально описує зміну коефіцієнта однорідності k_{oe} утвореної суміші під час приготування рідкої опари в дискретно-імпульсному змішувачі способом дискретно-імпульсного змішування компонентів у зваженому стані залежно від зміни вхідних незалежних факторів (табл. 2.4) та яку записано у вигляді апроксимуючої функції $k_{oe} = f_k(Q_o; A_o; n_o)$ [120].

При цьому апроксимуючу функцію, яка характеризує зміну коефіцієнта однорідності k_{oe} утвореної суміші під час приготування рідкої опари в

дискретно-імпульсному змішувачі способом дискретно-імпульсного змішування компонентів у зваженому стані було прийнято у вигляді математичної моделі повного полінома другої степені (4.1) за найбільшим значенням коефіцієнта множинної детермінації рівного $D = 0,793$: за рівня достовірності рівного $P = 0,95$; теоретичного значення t -альфа критерію рівного 2,142; значення коефіцієнта множинної кореляції рівного $R = 0,891$; значення стандартного відхилення оцінки рівного $s = 0,174$; теоретичного значення F -критерію Фішера рівного 2,134. При цьому коефіцієнт множинної детермінації D значимий з рівнем вірогідності рівним $P = 0,75946$ (додаток Д.4.1)

Числові значення коефіцієнтів рівняння апроксимуючої функції або рівняння регресії, які визначали з використанням програми «Статистика 10», наведено у табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Числові значення коефіцієнтів рівняння регресії

Показник	Значення коефіцієнтів рівняння регресії						
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}
$k_{oe} = f_k(Q_{\sigma}; A_{\sigma}; n_{\sigma})$	-21,72	-24,05	0,67	0,25	13,1	0,13	$-3,6 \cdot 10^{-3}$
	b_{11}		b_{22}			b_{33}	
	-33,91		-0,44			$-6,8 \cdot 10^{-4}$	

Після перевірки відтворюваності дослідів за критерієм Корхена, адекватності моделі експериментальним даним за F -критерієм Фішера та значимості коефіцієнтів рівняння регресії за t -критерієм Стюдента [126], отримано математичну емпіричну модель у вигляді повного полінома другої степені, яка характеризує функціональну залежність зміни коефіцієнта однорідності k_{oe} утвореної суміші під час приготування рідкої опари в дискретно-імпульсному змішувачі способом дискретно-імпульсного змішування компонентів у зваженому стані у натуральних факторах

$$k_{oe} = -21,72 - 24,05Q_{\sigma} + 0,67A_{\sigma} + 0,25n_{\sigma} + 13,1Q_{\sigma}A_{\sigma} + 0,13Q_{\sigma}n_{\sigma} - 3,6 \cdot 10^{-3}Q_{\sigma}n_{\sigma} - 33,91Q_{\sigma}^2 - 0,44A_{\sigma}^2 - 6,8 \cdot 10^{-4}n_{\sigma}^2, \quad (4.3)$$

де всі коефіцієнти емпіричної моделі (4.3) є значущими.

Отримана емпірична модель (4.3) у натуральних факторах може бути застосована для визначення коефіцієнта однорідності k_{oe} утвореної суміші під час приготування рідкої опари в дискретно-імпульсному змішувачі способом дискретно-імпульсного змішування компонентів у зваженому стані у таких межах зміни вхідних факторів: масової секундної подачі борошна $0,03 \leq Q_{\bar{o}} \leq 0,07$ кг; амплітуди коливання дозуючого борошна $0,05 \leq A_{\bar{o}} \leq 0,08$ мм; частоти обертання тарілчастого диска $160 \leq n_{\bar{o}} \leq 200$ об/хв.

Згідно з емпіричною моделлю (рівнянням регресії) (4.3) в середовищі прикладної програми для комп'ютера «Статистика 10» побудовано поверхню відгуку та двомірний переріз поверхні відгуку як функція $k_{oe} = f_k(Q_{\bar{o}}; A_{\bar{o}}; n_{\bar{o}})$, яка характеризує функціональну зміну коефіцієнта однорідності k_{oe} утвореної суміші під час приготування рідкої опари в дискретно-імпульсному змішувачі способом дискретно-імпульсного змішування компонентів у зваженому стані залежно від вхідних факторів:

- від зміни масової секундної подачі борошна $Q_{\bar{o}}$ та амплітуди коливання $A_{\bar{o}}$ дозуючого борошна як функція $k_{oe} = f_k(Q_{\bar{o}}; A_{\bar{o}})$, рис. 4.5а;
- від зміни масової секундної подачі борошна $Q_{\bar{o}}$ та частоти обертання $n_{\bar{o}}$ тарілчастого диска як функція $k_{oe} = f_k(Q_{\bar{o}}; n_{\bar{o}})$, рис. 4.5б;
- від зміни амплітуди коливання $A_{\bar{o}}$ дозуючого борошна та частоти обертання $n_{\bar{o}}$ тарілчастого диска як функція $k_{oe} = f_k(A_{\bar{o}}; n_{\bar{o}})$, рис. 4.5в.

На основі аналізу графічних залежностей функціональної зміни $k_{oe} = f_k(Q_{\bar{o}}; A_{\bar{o}})$, $k_{oe} = f_k(Q_{\bar{o}}; n_{\bar{o}})$, $k_{oe} = f_k(A_{\bar{o}}; n_{\bar{o}})$ (рис. 4.5) та $k_{oe} = f_k(Q_{\bar{o}})$, $k_{oe} = f_k(A_{\bar{o}})$, $k_{oe} = f_k(n_{\bar{o}})$ (рис. 4.6) встановлено, що апроксимоване значення коефіцієнта однорідності k_{oe} утвореної суміші знаходиться в межах від 0,43 до 1,2 м залежно від зміни вхідних факторів, а зміна k_{oe} має двоякий характер:

- зі збільшенням масової секундної подачі $Q_{\bar{o}}$ борошна та амплітуди коливання $A_{\bar{o}}$ дозуючого борошна коефіцієнт однорідності k_{oe} утвореної суміші збільшується, рис. 4.5а, б, рис. 4.6а, б;

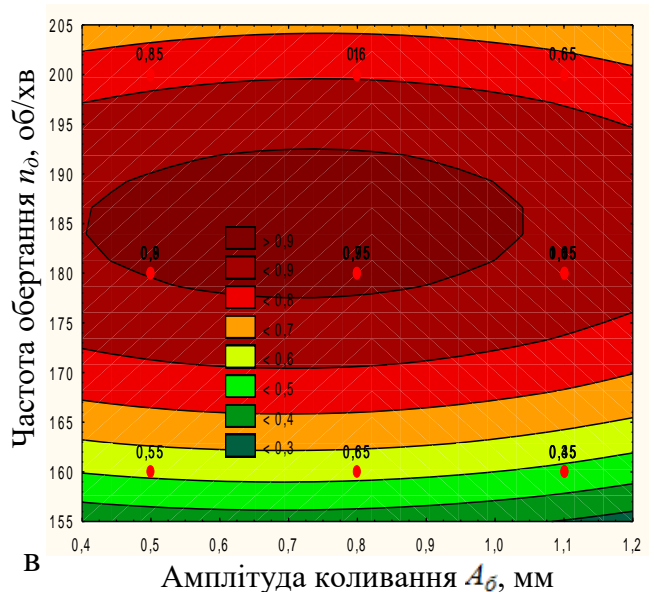
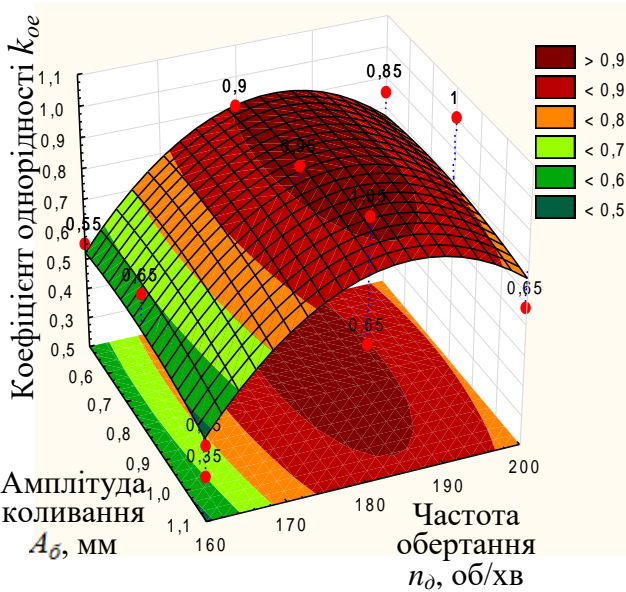
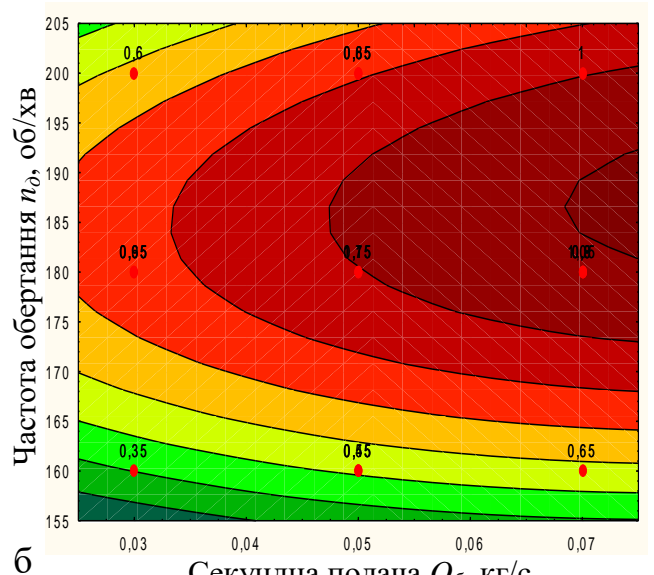
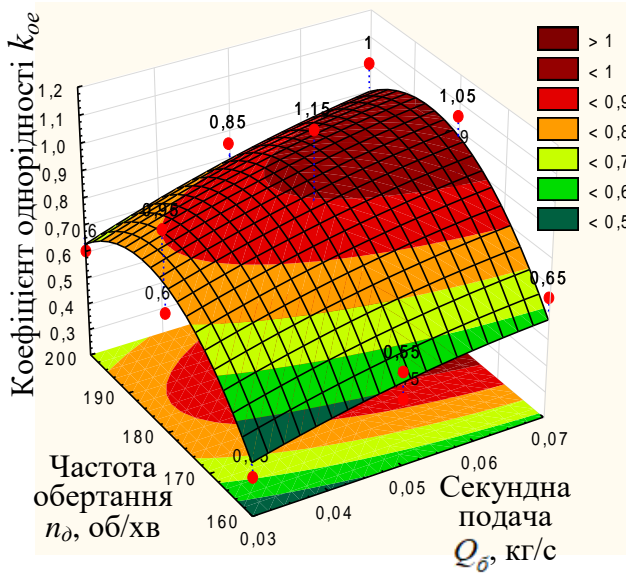
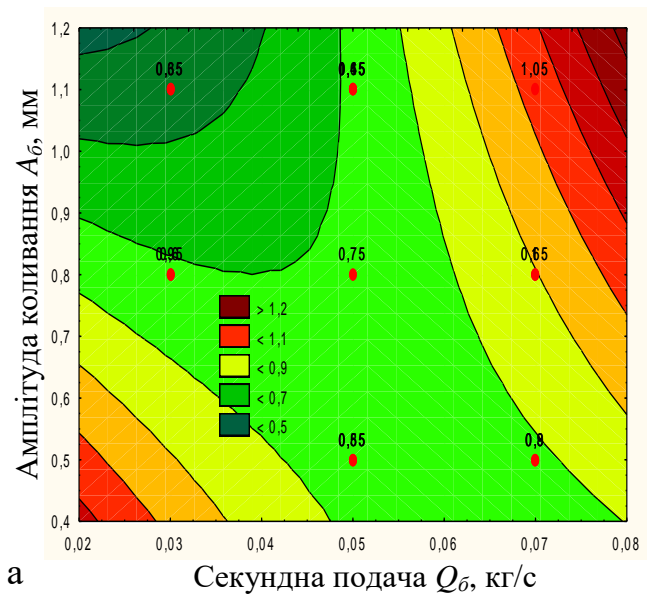
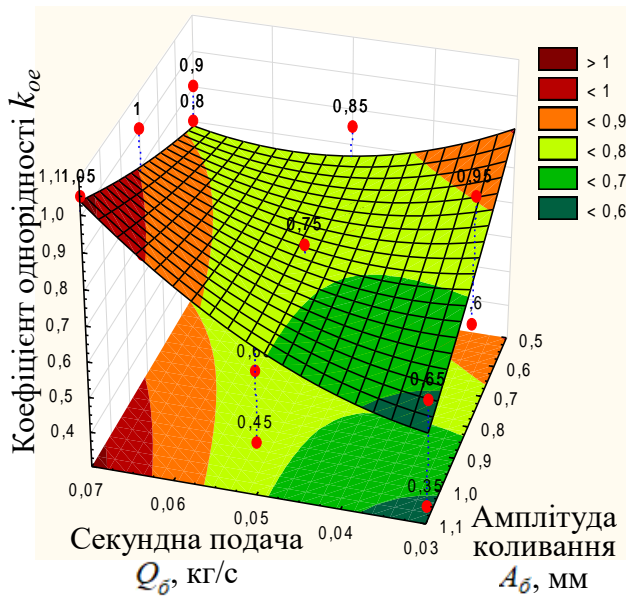


Рисунок 4.5 – Поверхня відгуку та двомірний перерізи поверхні відгуку як функція: а – $k_{oe} = f_k(Q_\delta; A_\delta)$; б – $k_o = f_h(Q_\delta; n_\delta)$; в – $k_{oe} = f_k(A_\delta; n_\delta)$

- зі збільшенням частоти обертання тарілчастого диска n_d від 160 до 185 об/хв (рис. 4.5а,б, рис. 4.6в) коефіцієнт однорідності k_{oe} утвореної суміші зростає від 0,56 до 0,93 (крива 1), від 0,63 до 1,04 (крива 2) та від 0,76 до 1,2 (крива 3), а подальше збільшення n_d від 185 до 200 об/хв призводить до зменшення коефіцієнта однорідності k_{oe} утвореної суміші до значення 0,77 (крива 1), 0,88 (крива 2), та 1,07 (крива 3).

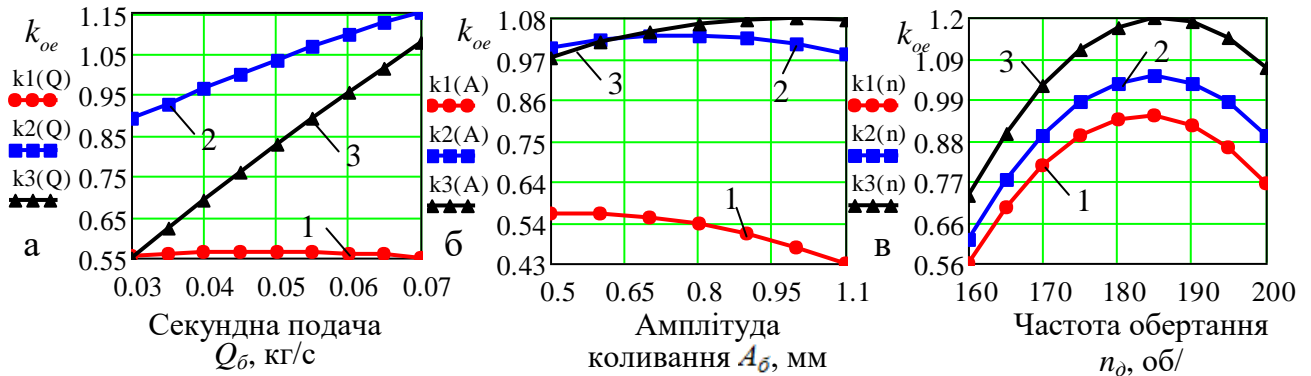


Рисунок 4.6 – Залежність функціональної зміни коефіцієнта однорідності k_o утвореної суміші як функція: а – $k_{oe} = f_k(Q_0)$, 1 – $A_0 = 0,5$ мм, $n_d = 160$ об/хв, 2 – $A_0 = 0,8$ мм, $n_d = 180$ об/хв, 3 – $A_0 = 1,1$ мм, $n_d = 200$ об/хв; б – $k_{oe} = f_k(A_0)$, 1 – $Q_0 = 0,03$ кг/с, $n_d = 160$ об/хв, 2 – $Q_0 = 0,05$ кг/с, $n_d = 180$ об/хв, 3 – $Q_0 = 0,07$ кг/с, $n_d = 200$ об/хв; в – $k_{oe} = f_k(n_d)$, 1 – $Q_0 = 0,03$ кг/с, $A_0 = 0,5$ мм, 2 – $Q_0 = 0,05$ кг/с, $A_0 = 0,8$ мм, 3 – $Q_0 = 0,07$ кг/с, $A_0 = 1,1$ мм

При цьому коефіцієнт однорідності k_{oe} утвореної суміші досягає оптимуму, або своїх максимальних значень $k_{oe.max}$ в точках за наступних значень вхідних факторів: $k_{oe.max} = 0,93$ за значення масової секундної подачі борошна $0,065 \leq Q_0 \leq 0,07$ кг/с, амплітуди дозуючого борошна $0,5 \leq A_0 \leq 1,0$ мм, частоти обертання тарілчастого диска $180 \leq n_d \leq 190$ об/хв.

Мінімальне значення коефіцієнта однорідності $k_{oe.min}$ утвореної суміші, яке знаходиться в межах $0,35 \leq k_{oe.min} \leq 0,65$ отримано за таких значень вхідних факторів: масової секундної подачі борошна $0,03 \leq Q_0 \leq 0,0$ кг/с, амплітуди дозуючого борошна $0,8 \leq A_0 \leq 1,1$ мм, частоти обертання тарілчастого диска $160 \leq n_d \leq 165$ об/хв.

Таким чином, на основі проведеного теоретично-експериментального аналізу функціональної зміни максимальної робочої висоти h_{pi} та коефіцієнта однорідності k_{oe} утвореної суміші та під час приготування рідкої опари в дискретно-імпульсному змішувачі способом дискретно-імпульсного змішування компонентів у зваженому стані можна констатувати, що раціональними конструктивно-кінематичними параметрами дискретно-імпульсного змішувача компонентів та оптимальними технологічними параметрами процесу приготування рідкої опари є діаметр та висота робочої камери, відповідно, $h_k = 0,35$ м, $D_k = 0,25$ м; частота обертання тарілчастого диска $n_d = 180$ об/хв, масова секундна подача борошна $Q_b = 0,7$ кг/с, амплітуда дозуючого борошна $A_b = 0,5...1,0$ мм за таких значень дозуючих складових компонентів: маси борошна $m_b = 2,4$ кг, маси дріжджів $m_d = 0,5$ кг, маси води $m_g = 3,6$ кг.

4.2. Результати експериментальних досліджень висоти бродіння та показників якості рідкої опари

Розробку емпіричної моделі, яка функціонально описує характер зміни висоти h_{oe} бродіння приготовленої рідкої опари залежно від вхідних факторів провели згідно з методикою, яку наведено у п.2.3 другого розділу дисертаційної роботи.

Експериментальний масив даних висоти h_{oe} бродіння опари, які отримано під час реалізації планованого двофакторного експерименту типу ПФЕ 3^2 наведено у додатку Д.5.2.

Після обробки експериментального масиву даних (додаток Д.5.1) і визначення вигляду апроксимуючої функції за найбільшим значенням коефіцієнта детермінації D_{oe} та проведення статистичних розрахунків (додаток Д.6.2), або перевірки адекватності емпіричної моделі та значимості коефіцієнтів апроксимуючої функції згідно з (2.15)-(2.24), отримали рівняння функціональної зміни висоти $h_{o.e}$ бродіння опари у вигляді функції

$h_{\bar{o},e} = f_h(Q_c; t_{\bar{o}})$ в натуральних факторах залежно від їх зміни: сумарної секундної подачі Q_c завантажених дозованих компонентів в робочу камеру змішувача та часу бродіння $t_{\bar{o},o}$ приготовленої рідкої опари

$$h_{\bar{o},e} = -0,008 + 2,33Q_c + 0,005t_{\bar{o}} - 0,004Q_c t_{\bar{o}} - 12,05Q_c^2 - 1,48 \cdot 10^{-5} t_{\bar{o}}^2. \quad (4.4)$$

Згідно з рівнянням регресії побудовано поверхню відгуку та двомірний переріз поверхні відгуку функціональної зміни висоти $h_{\bar{o},e}$ бродіння опари від зміни: сумарної секундної подачі Q_c завантажених дозованих компонентів в робочу камеру змішувача та часу бродіння $t_{\bar{o},o}$ приготовленої рідкої опари, які наведено на рис. 4.7.

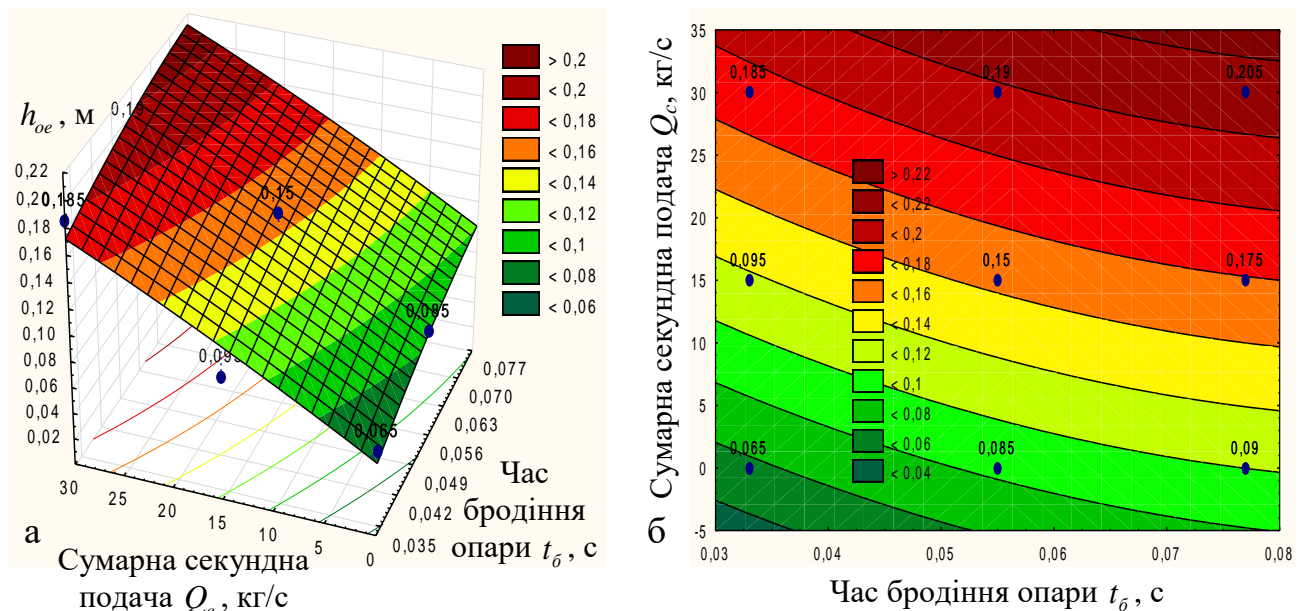


Рисунок 4.7 – Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз (б) поверхні відгуку як функція $h_{\bar{o},e} = f_h(Q_c; t_{\bar{o}})$

На рис. 4.8 наведено залежність зміни висоти h_{oe} бродіння опари залежно від часу $t_{\bar{o},o}$ бродіння приготовленої рідкої опари

На основі аналізу графічних побудов (рис. 4.7 і рис. 4.8) встановлено, що функціональна зміна висоти $h_{\bar{o},e}$ бродіння опари від зміни сумарної секундної подачі Q_c завантажених дозованих компонентів в робочу камеру змішувача та часу бродіння $t_{\bar{o},o}$ приготовленої рідкої опари має пропорційний характер.

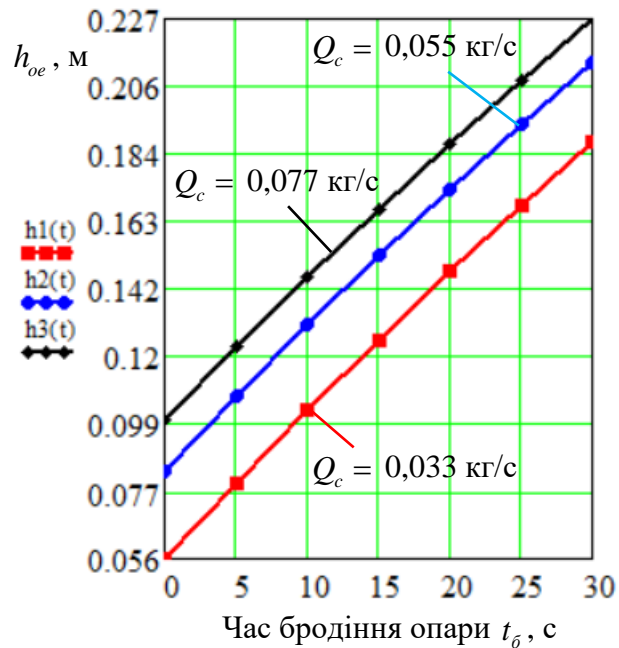


Рисунок 4.8 – Залежність зміни висоти $h_{\sigma, e}$ бродіння опари залежно від часу $t_{\sigma, o}$ бродіння приготовленої рідкої опари

При цьому, зі збільшенням вхідних факторів у межах $0,033 \leq Q_c \leq 0,077$ (кг/с) та $0 \leq t_{\sigma, o} \leq 30$ (хв) висота $h_{\sigma, e}$ бродіння опари збільшується від 0,056 м до 0,227 м. При цьому домінуючий вплив на приріст висоти $h_{\sigma, e}$ бродіння опари має час бродіння $t_{\sigma, o}$ приготовленої рідкої опари – в межах зміни фактора приріст висоти $h_{\sigma, e}$ бродіння опари становить у середньому 0,13...0,21 м, тобто за 5 хв бродіння висота опари збільшується в середньому 1,4...1,5 раза.

Таким чином, можна констатувати, що приготування рідкої опари запропонованим способом дискретно-імпульсного способу приготування рідкої опари шляхом дозованого перемішування компонентів у зваженому стані з застосуванням дискретно-імпульсного змішувача значно збільшує інтенсифікацію процесу та скорочує час дозрівання опари, що призводить до зменшення витрат споживчої потужності приготування рідкої опари.

Для проведення порівняльної характеристики технологічних показників приготування рідкої опари запропонованим способом з показниками традиційної (існуючої) технології, або визначення технологічної ефективності дискретно-імпульсного способу приготування рідкої опари шляхом дозованого

перемішування компонентів у зваженому стані в робочій камері дискретно-імпульсного змішувача реалізували експериментальні дослідження трьох варіантів приготування рідкої опари.

Визначення показників якості приготовленої рідкої опари проводили згідно з порядком і методикою, яку наведено у п. 2.4 другого розділу дисертаційної роботи.

Порівнювали показники якості приготовленої рідкої опари, або ступінь впливу різнопланової механічної дії на суміш приготовленої рідкої опари. При цьому визначали газоутворюючу здатність, підймальну силу, титруючу кислотність, окислювально-встановлюючий потенціал і активну кислотність.

Результати визначених показників якості приготовленої рідкої опари трьома способами та «контролем» подано в табл. 4.4.

Згідно з табл. 4.4 побудовано діаграми, які характеризують залежність зміни показників якості приготованої рідкої опари трьома способами та «контролем» від часу бродіння приготовленої рідкої опари, або залежності зміни газоутворюючої здатності, підймальної сили, титруючої кислотності, окислювально-встановлюючого потенціалу та активної кислотності від часу бродіння приготовленої рідкої опари.

При цьому, на рис. 4.9 наведено діаграму залежності газоутворюючої здатності, на рис. 4.10 наведено діаграму залежності підймальної сили, на рис. 4.11 наведено діаграму залежності титруючої кислотності, на рис. 4.12 наведено діаграму залежності окислювально-встановлюючого потенціалу, на рис. 4.13 наведено діаграму залежності активної кислотності від часу бродіння приготовленої рідкої опари.

Аналіз наведених значень показників якості приготовленої рідкої опари різними варіантами (табл. 4.4 та рис. 4.9) показує, що газоутворююча здатність рідкої опари, яку приготовлено за другим варіантом (попереднє інтенсивне перемішування дозованого борошна та води, а приготовлену дріжджову суспензію подавали в кінці процесу перемішування суміші) мала найвищі показники газоутворюючої здатності порівнянно з іншими рідкими опара, які приготовлено першим, третім варіантом і «контролем».

Таблиця 4.4 – Зведені дані показників якості варіантів приготування рідкої опари

Варіант приготування рідкої опари	Час бродіння опари, хв					
	0	10	15	20	25	30
	Газоутворююча здатність, мл CO ₂ на 100 г					
перший	0	40	115	255	358	432
другий	0	44	122	268	372	448
третій	0	16	74	191	286	372
контроль	0	18	80	201	316	391
	Підймальна сила, Н					
перший	17	18	22	30	41	56
другий	21	24	32	38	48	64
третій	13	15	19	28	39	54
контроль	19	21	24	34	45	60
	Титруюча кислотність, град					
перший	2.1	2.6	3.4	4.0	4.6	4.0
другий	2.2	2.7	3.5	4.2	4.8	5.2
третій	2.0	2.4	2.9	3.5	4.1	4.4
контроль	2.0	2.5	3.0	3.5	4.2	4.5
	Окислювально-встановлюючий потенціал					
перший	18.61	17.74	17.54	17.46	17.32	17.26
другий	18.62	17.74	17.52	17.44	17.30	17.20
третій	18.56	17.83	17.65	17.59	17.48	17.36
контроль	18.59	17.81	17.62	17.50	17.44	17.32
	Активна кислотність, (pH)					
перший	5.18	5.25	5.32	5.36	5.45	5.89
другий	5.31	5.36	5.43	5.49	5.52	5.96
третій	5.14	5.21	5.28	5.33	5.43	5.80
контроль	5.28	5.32	5.39	5.44	5.49	5.92

Так, вже на 15 хвилині бродіння приготовленої рідкої опари ця різниця складала 48 мл CO₂ на 100 г опари, а на 25 хвилині бродіння ця різниця вже становила 86 мл CO₂ на 100 г опари.

Крім того, якщо після 20 хвилин бродіння приготовленої рідкої опари за другим варіантом виділялось 268 мл CO₂ на 100 г опари, то така ж кількість CO₂ в приготовленій рідкій опарі за першим, третім варіантом і «контролем» виділяється в середньому через 25 хвилин бродіння.

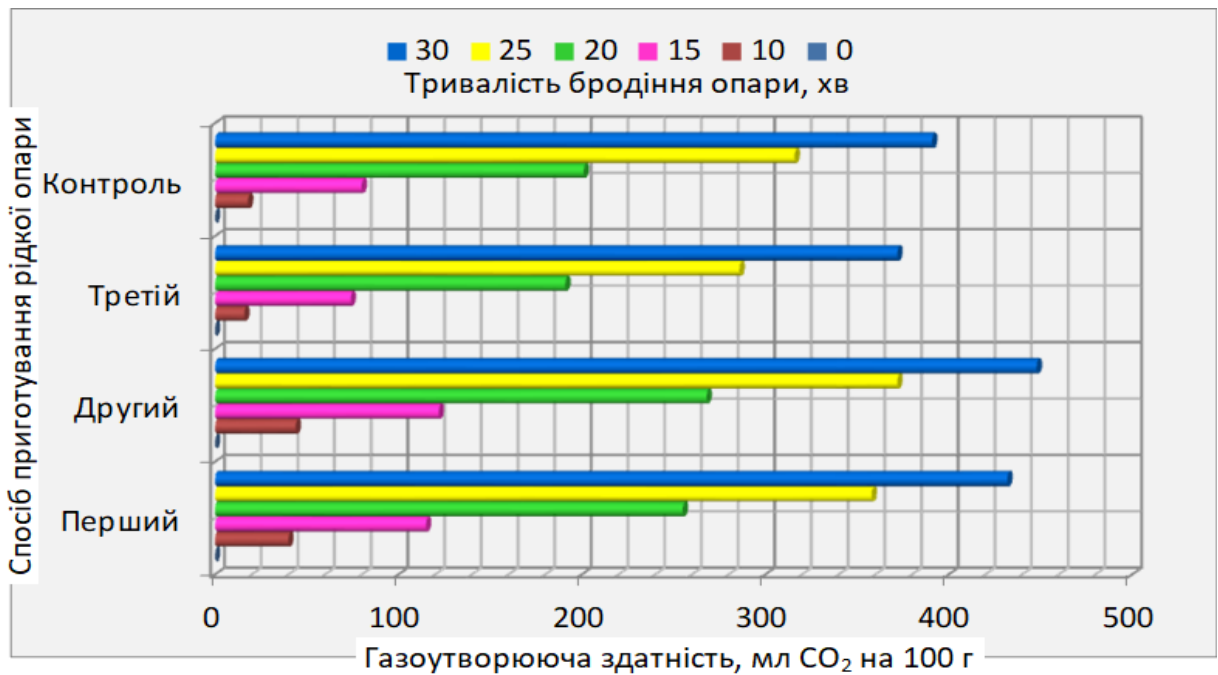


Рисунок 4.9 – Діаграма залежності газоутворюючої здатності від часу бродіння рідкої опари при різних варіантах її приготування

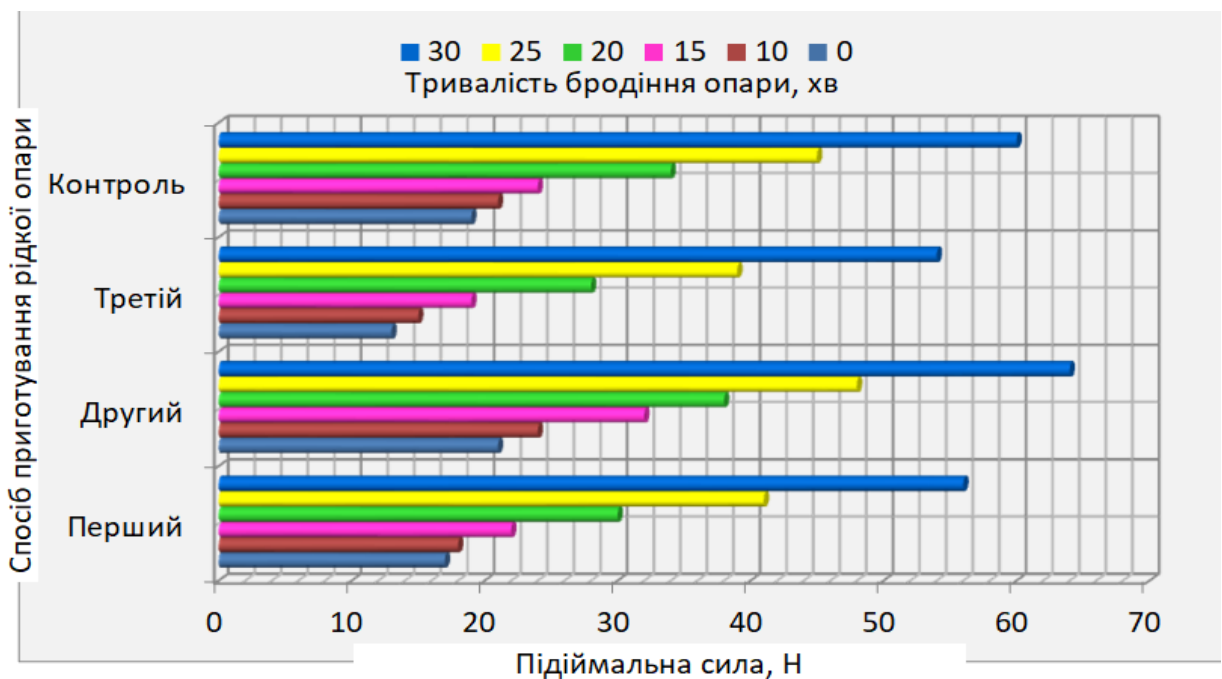


Рисунок 4.10 – Діаграма залежності підйимальної сили від часу бродіння рідкої опари при різних варіантах її приготування

Особливо значна різниця газоутворюючої здатності від часу бродіння у другому варіанті приготування рідкої опари спостерігалася на проміжку часу бродіння приготовленої опари між 15 хвилиною та 25 хвилиною бродіння опари.

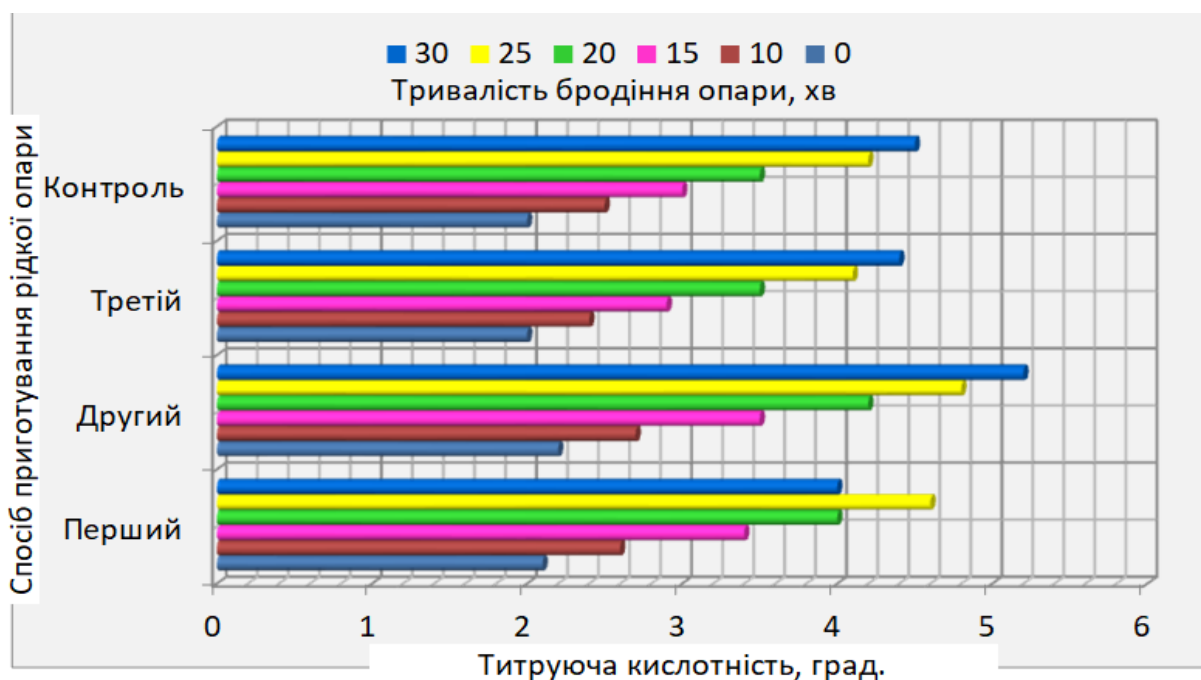


Рисунок 4.11 – Діаграма залежності титруючої кислотності від часу бродіння рідкої опари при різних варіантах її приготування

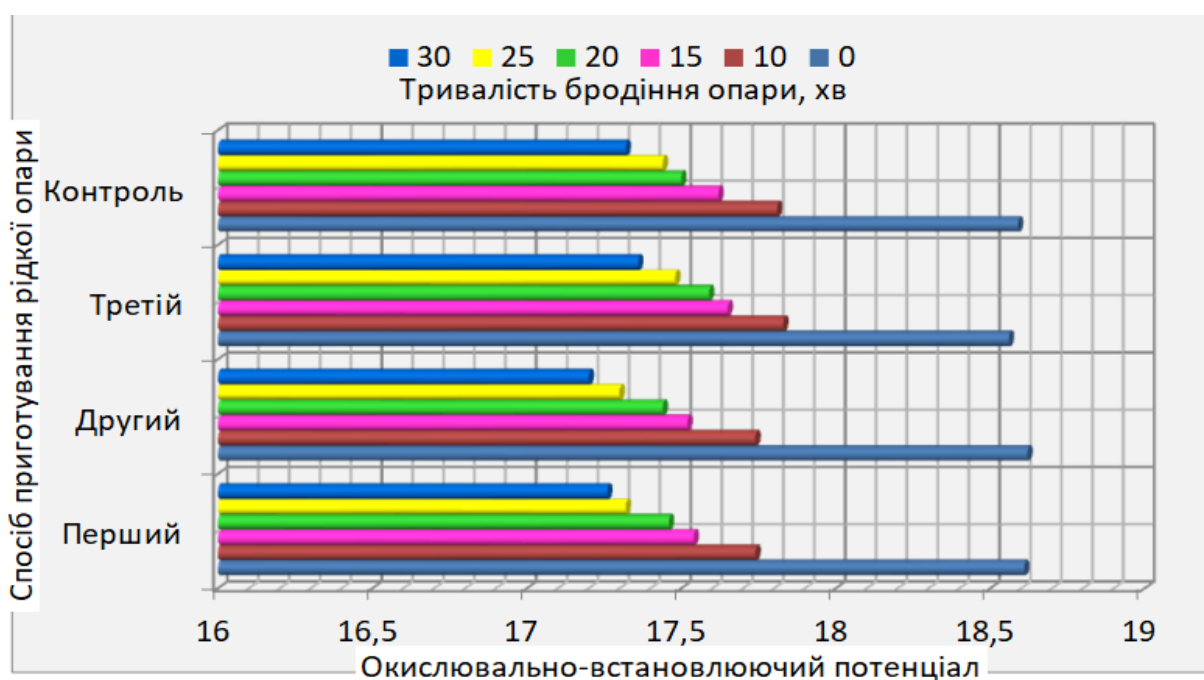


Рисунок 4.12 – Діаграма залежності окислювально-встановлюючого потенціалу від часу бродіння рідкої опари при різних варіантах її приготування

Аналіз рис. 4.9 та табл. 4.4 також показує, що підймальна сила залежно від часу бродіння приготовленої рідкої опари у другому варіанті є найбільшою порівнянно з першим, третім варіантом і «контролем» приготування рідкої опари.

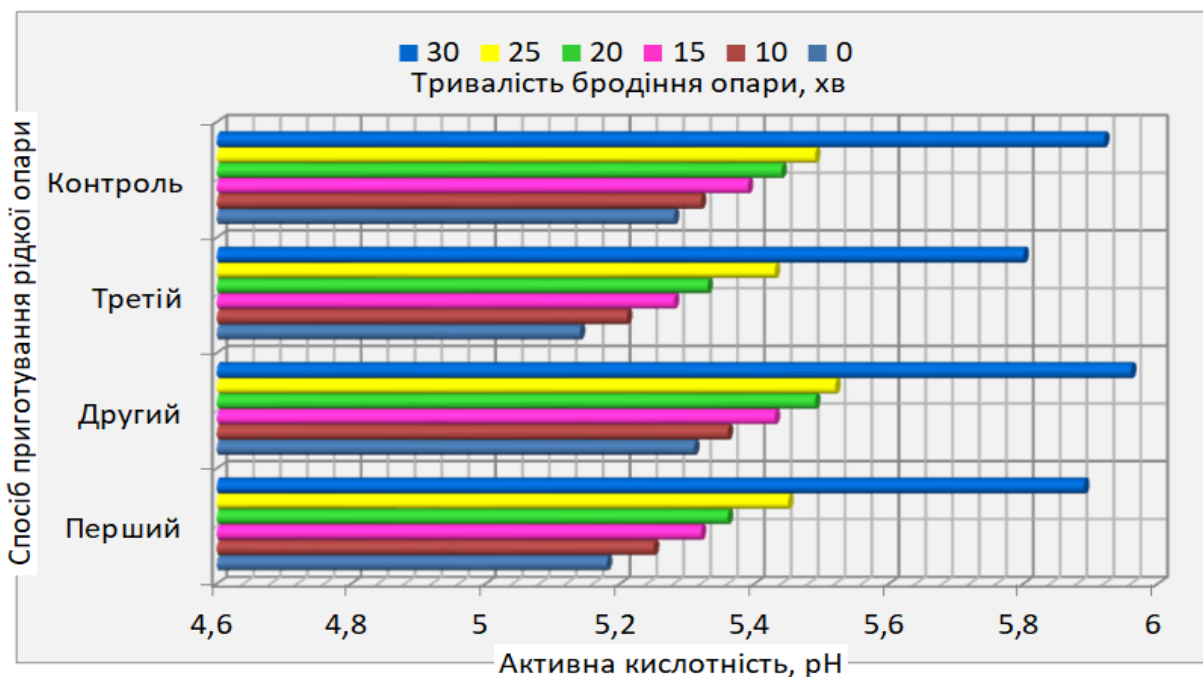


Рисунок 4.13 – Діаграма залежності активної кислотності від часу бродіння рідкої опари при різних варіантах її приготування

Третій варіант приготування рідкої опари мав найменші показники підйимальної сили. Так, підйимальна сила рідкої опари приготовлена другим способом після 15 хвилини бродіння становила 32 Н, а у рідкої опари приготовленої за першим, третім варіантом і «контролем» таке значення підйимальної сили досяглося у середньому за 20 хвилин бродіння приготовленої рідкої опари.

Найбільше значення підйимальної сили 63 Н відповідало другому варіанту приготування рідкої опари за час її бродіння рівного 30 хвилинам.

Значення титруючої кислотності збільшується пропорційно часу бродіння рідкої опари, яку приготовлено за всіма варіантами.

Найбільші значення титруючої кислотності отримано у другому варіанті приготування рідкої опари – за час бродіння приготовленої рідкої опари рівного 30 хвилинам титруюча кислотність становила 5,2 град., відповідно, у першого, третього варіантів і «контролю» титруюча кислотність становила 4 град., 4,4 град, 4,5 град., рис. 4.11.

Найменші показники титруючої кислотності отримано у третьому варіанті приготування рідкої опари.

Характер зміни окислювально-встановлюючого потенціалу (рис. 4.12) та активної кислотності (рис. 4.13) залежно від часу бродіння приготовленої рідкої опари за всіма варіантами майже однаковий, а показники окислювально-встановлюючого потенціалу практично рівні між собою.

За час бродіння приготовленої рідкої опари рівного 30 хвилинам показники окислювально-встановлюючого потенціалу для всіх варіантів приготування рідкої опари дорівнюють у середньому 18,4.

Активна кислотність приготовленої рідкої опари в процесі бродіння збільшується для всіх варіантів приготування рідкої опари.

Але найшвидше збільшення активної кислотності від часу бродіння приготовленої рідкої опари спостерігається у другому варіанті приготування рідкої опари. За часу бродіння рівного 30 хвилинам активна кислотність приготовленої рідкої опари дорівнює майже 6 рН, а в інших варіантів цей показник становить у середньому 5,84 рН. Тобто в цій приготовленій рідкій опарі інтенсивно проходить процес кислотонакопичення, тобто опара скоріше дозріває.

На основі аналізу наведених значень табл. 4.4 та побудованих діаграми зміни показників якості приготовленої рідкої опари встановлено, що:

- найбільше значення газоутворюючої здатності 448 мл CO_2 на 100 г, підіймальної сили 64 Н, титруючої кислотності 5,2 град. та активної кислотності 5,96 отримано у другому варіанті приготування опари за часу бродіння приготовленої рідкої опари рівному 30 хвилинам;

- окислювально-встановлюючий потенціал практично однаковий для всіх варіантів приготування рідкої опари та близький до контрольного варіанту.

Таким чином, найбільші показники якості приготовленої рідкої опари отримано у другому варіанті приготування рідкої опари способом дискретно-імпульсного перемішування компонентів суміші у зваженому стані з застосуванням дискретно-імпульсного змішувача компонентів.

Дані напрямки дослідження дозволяють встановити технологічний процес утворення якісної рідкої опари з використанням робочих органів дискретно-імпульсного змішувача та порівняти його показники якості з

процесом приготування рідкої опари без використання робочих органів, або «контролем». Це однозначно впливає на споживання енергоресурсів і подальшого використання даної методики приготування рідкої опари способом дискретно-імпульсного перемішування компонентів у зваженому стані з застосуванням дискретно-імпульсного змішувача компонентів.

4.3. Експериментальні дослідження споживчих витрат потужності та кислотності рідкої опари

Для встановлення витрат споживаної потужності, яка затрачується для виконання процесу дискретно-імпульсного приготування рідкої опари у зваженому стані перемішування компонентів у робочій камері дискретно-імпульсного змішувача провели експериментальні дослідження процесу роботи змішувача залежно від прийнятого способу роботи електродвигуна, який приводив в обертовий рух тарілчасті диски та мішалку змішувача.

Методика проведення дослідження споживаної потужності P_i , наведена в п. 2.4 другого розділу дисертаційної роботи.

Отримані показники витрат споживаної потужності P_i , температури T_i та кислотності k_{io} приготування рідкої опари для трьох досліджувальних циклів роботи електромотора-редуктора наведено в табл. 4.5.

Результати вимірювань отримано за однакової масової секундної подачі дозованого борошна.

При цьому критерієм оптимізації процесу приготування рідкої опари є мінімальне значення споживаних витрат потужності, яка затрачується на приготування високоякісної рідкої опари.

Встановлення характеру закономірностей приготування рідкої опари за умов, які наведено в табл. 4.5 дозволяє в даній дисперсній системі визначити та встановити взаємозв'язок між показниками та інтенсивністю механічного впливу робочого органу (тарілчастих дисків і мішалки) на запропонований спосіб дискретно-імпульсного перемішування компонентів у зваженому стані під час приготування рідкої опари в дискретно-імпульсному змішувачі.

Для цього в основу їх порівняльної оцінки покладено функціональну зміну витрат споживаної потужності P_i (Вт), температури T ($^{\circ}\text{C}$) та кислотності k_{io} приготування рідкої опари залежно від часу t (хв), або інтенсивності процесу дискретно-імпульсного способу перемішування компонентів.

Таблиця 4.5 – Показники процесу приготування рідкої опари

Цикли роботи електромотора	№ дос.	Потужність P_i , Вт	Час процесу t , хв	Температура T_i , $^{\circ}\text{C}$	Кислотність k_{io} , рН
Цикл 1. Вмикали з початком процесу перемішування компонентів (P_1, k_{1o})	1	0,38	2,8	27	5,81
	2	0,42	2,85	28	5,72
	3	0,47	2,9	29	5,61
	4	0,52	2,95	30	5,53
	5	0,58	3,0	31	5,34
	6	0,63	3,05	32	5,14
Цикл 2. Вмикали через 1,2 хв після дозування компонентів у робочій камері (P_2, k_{2o})	1	0,25	2,8	21	5,89
	2	0,26	2,9	23	5,75
	3	0,28	3,0	25	5,53
	4	0,31	3,1	27	5,32
	5	0,34	3,2	29	5,27
	6	0,38	3,3	31	5,18
Цикл 3. Вмикали при вивантаженні приготовленої рідкої опари на 2,2 хв (P_3, k_{3o})	1	0,42	2,9	27	5,91
	2	0,45	3,0	27,5	5,82
	3	0,49	3,1	28	5,74
	4	0,54	3,2	28,5	5,65
	5	0,59	3,3	29	5,42
	6	0,63	3,4	30	5,28

На основі порівняльної оцінки визначено характер споживаних витрат споживчої потужності P_i , температури T_i та кислотності k_{io} приготування рідкої опари залежно від часу t , або тривалості процесу дискретно-імпульсного способу змішування компонентів.

Згідно з табл. 4.5 побудовано графічні залежності у вигляді діаграми функціональної зміни споживаних витрат потужності P_i , температури T_i та кислотності k_{io} приготування рідкої опари залежно від часу t , або тривалості дискретно-імпульсного способу змішування компонентів.

Для зручності аналізу на діаграмі функціональної зміни споживаних витрат потужності P_i не вказані початкові точки зміни витрат споживаної потужності в момент пуску електромотора-редуктора.

На рис. 4.14, рис. 4.15 і рис. 4.16 наведено, відповідно, діаграму зміни витрат споживаної потужності P_i , температури T_i і кислотності k_{io} приготування рідкої опари залежно від часу t приготування рідкої опари для трьох циклів роботи електромотора-редуктора дискретно-імпульсного змішувача. «Цикл 2» передбачав вмикання електромотора-редуктора через 2,2 хв після дозування компонентів у ваговому стані в робочу камеру дискретно-імпульсного змішувача. При цьому необхідно зазначити, що загальний час роботи електромотора-редуктора дорівнював $t_3 = 2,08 \dots 3,05$ хв.

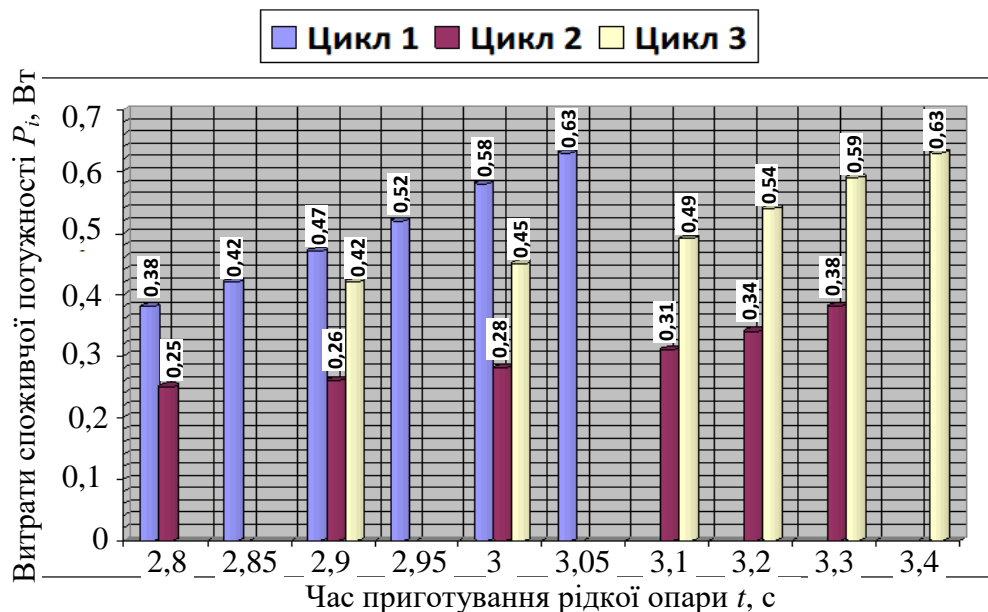


Рисунок 4.14 – Діагарма зміни витрат споживчої потужності P_i для трьох циклів роботи електромотора-редуктора дискретно-імпульсного змішувача

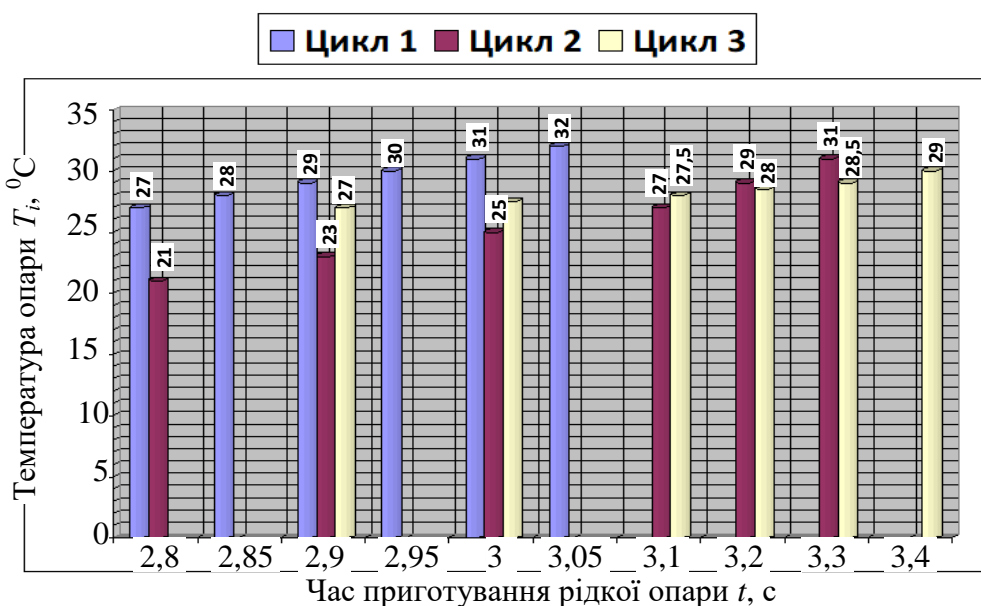


Рисунок 4.15 – Діагарма зміни температури T_i опари для трьох циклів роботи електродвигуна дискретно-імпульсного змішувача компонентів

Аналіз рис. 4.14 показує, що мінімальні, або найменші витрати споживаної потужності P_i під час приготування рідкої опари отримано при застосуванні варіанту роботи електромотора-редуктора «цикл 2».

Витрати споживаної потужності P_2 при варіанті роботи електромотора-редуктора «цикл 2» знаходяться в діапазоні від 0,25 до 0,38 Вт, що менші приблизно в 1,5...2,0 рази від показників витрат споживаної потужності, які отримано при варіанті роботи електромотора-редуктора «цикл 1» та «цикл 3».

Зміна температури T_i (рис. 4.15) та кислотності (рис. 4.16) залежно від часу приготування рідкої опари для всіх трьох варіантів роботи електромотора-редуктора дискретно-імпульсного змішувача компонентів, або варіантів роботи «цикл 1», «цикл 2» і «цикл 3» була майже однаковою та змінювалися в діапазоні, відповідно, від 27 °С до 32 °С та від 5,14 до 5,91.

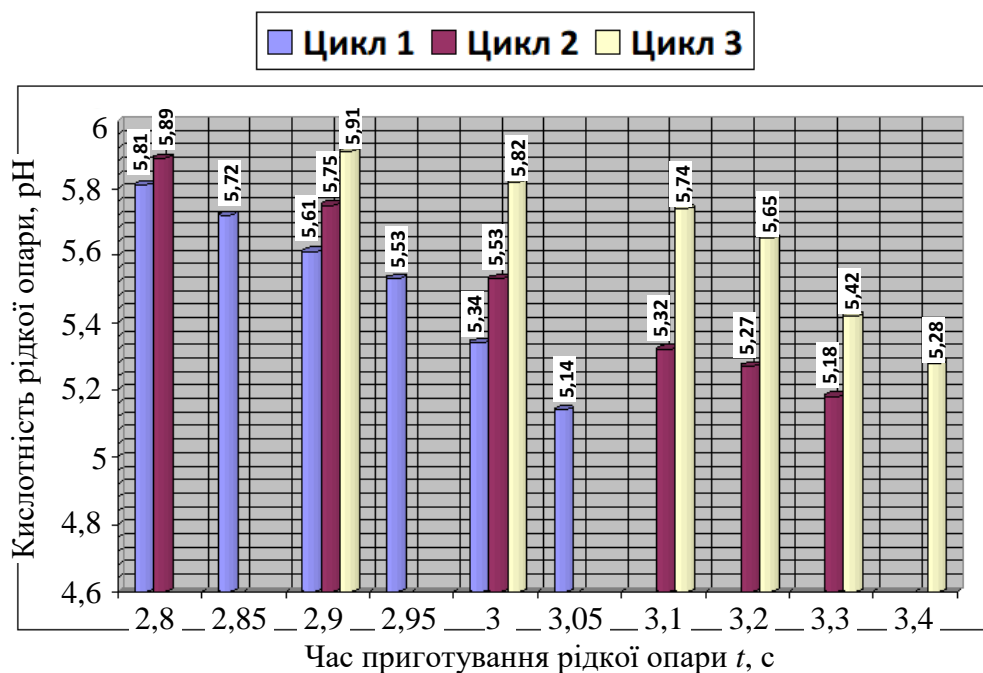


Рисунок 4.16 – Діаграма зміни кислотності T_i опари для трьох випадків (циклів) роботи електромотора-редуктора дискретно-імпульсного змішувача компонентів

Для встановлення характеру взаємовпливу часу t та отриманої температури T_i приготування рідкої опари за варіантів роботи електромотора-редуктора дискретно-імпульсного змішувача, або «цикл 1», «цикл 2» і «цикл 3» провели обробку експериментальних даних, які наведено у табл. 4.5.

У результаті статистичної обробки експериментального масиву даних (додаток Д.7.2) було отримано рівняння регресії у вигляді лінійної моделі, яку записано у вигляді функції $P_i = a_0 + b_1t + b_2T$ та функції $k_{io} = a_0 + b_1t + b_2T$, які характеризують функціональну зміну параметра оптимізації для трьох циклів роботи електромотора-редуктора дискретно-імпульсного змішувача:

- споживаних витрат енергії P_1 («цикл 1»), P_2 («цикл 2»), P_3 («цикл 3») [42]:

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= -2,86 + 1,31t - 0,014T; \\ P_2 &= 0,45 - 0,24t + 0,022T; \\ P_3 &= -0,91 + 0,4t + 0,006T \end{aligned} \right\}; \quad (4.5)$$

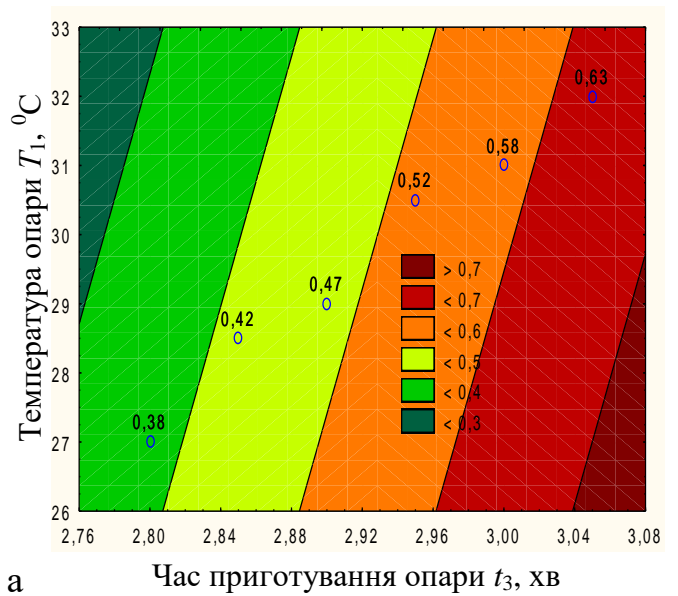
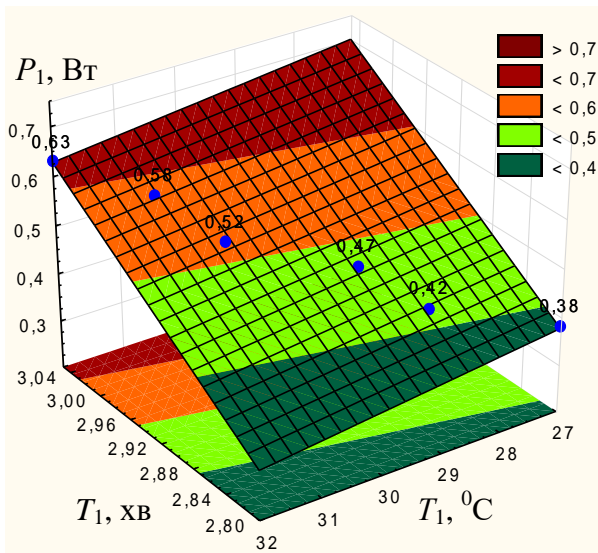
- кислотності приготовленої рідкої опари k_{1o} («цикл 1»), k_{2o} («цикл 2»), k_{3o} («цикл 3»):

$$\left. \begin{aligned} k_{1o} &= 16,12 - 4,73t + 0,11T; \\ k_{2o} &= 12,72 - 2,66t + 0,028T; \\ k_{3o} &= 11,35 - 0,32t - 0,17T \end{aligned} \right\}; \quad (4.6)$$

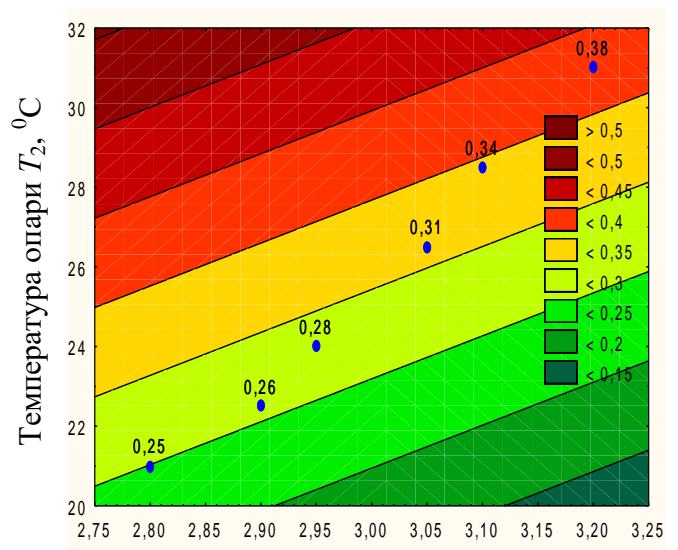
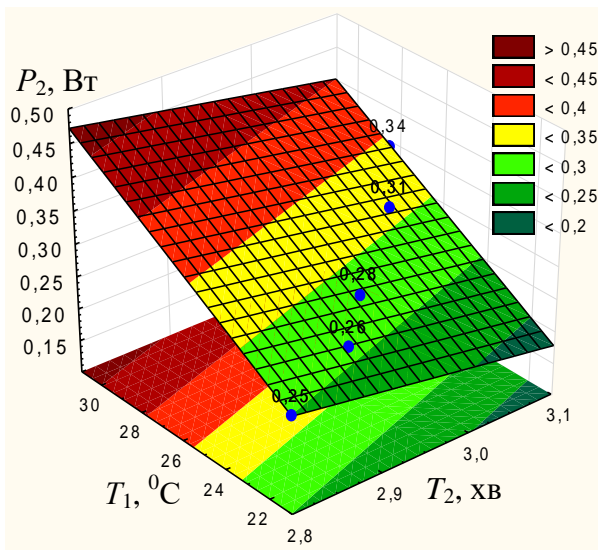
При цьому результати статистичної обробки експериментальних даних наведено в додатку Д.8.2.

На рис. 4.17 наведено залежності функціональної зміни витрат споживаної потужності P_i як функція $P_i = f_p(t; T)$: $P_1 = f_p(t_1; T_1)$ – електромотор-редуктор вмикали з початком завантаження дозованих компонентів суміші у робочу камеру змішувача, час роботи $t = 2,8 \dots 3,05$ хв; $P_2 = f_p(t_2; T_2)$ – електромотор-редуктор вмикали через 1,2 хв після дозування компонентів у робочу камеру, час роботи $t = 2,8 \dots 3,05$ хв; $P_3 = f_p(t_3; T_3)$ – електромотор-редуктор вмикали через 2,2 хв після дозування компонентів у робочу камеру, час роботи $t = 2,9 \dots 3,4$ хв; на рис. 4.18 – залежності функціональної зміни витрат споживаної потужності P_i як функція $P_i = f_p(t)$ для трьох циклів роботи електромотора-редуктора дискретно-імпульсного змішувача.

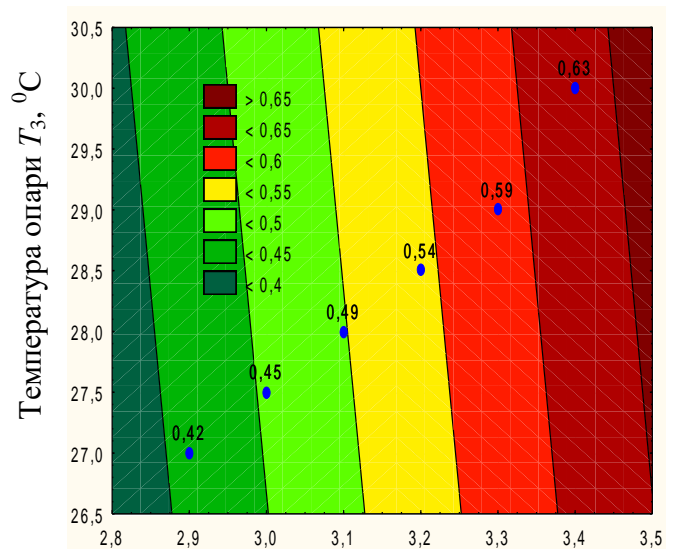
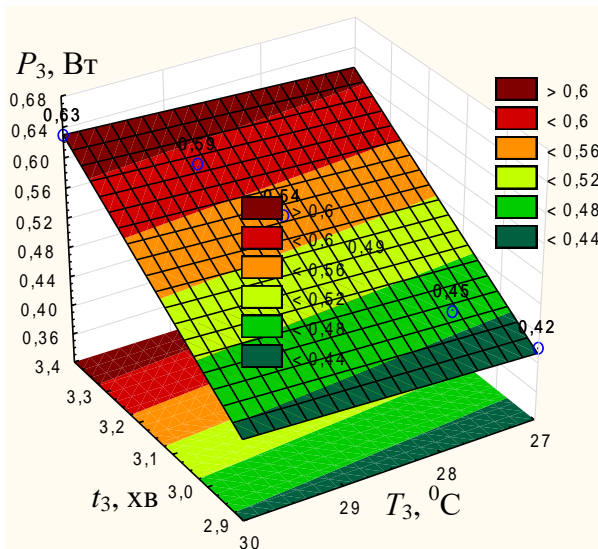
На основі аналізу рис. 4.17 і рис. 4.18 було встановлено, що найменші значення витрати споживаної потужності P_i отримано при варіанті роботи електромотора-редуктора за «цикл 2», а показники апроксимованих значень споживаних витрат потужності P_2 знаходяться в діапазоні від 0,23 до 0,39 Вт.



а



б



в

Рисунок 4.17 – Поверхня відгуку та її двомірний переріз як функція: а – $P_1 = f_P(t_1; T_1)$; б – $P_2 = f_P(t_2; T_2)$; в – $P_3 = f_P(t_3; T_3)$

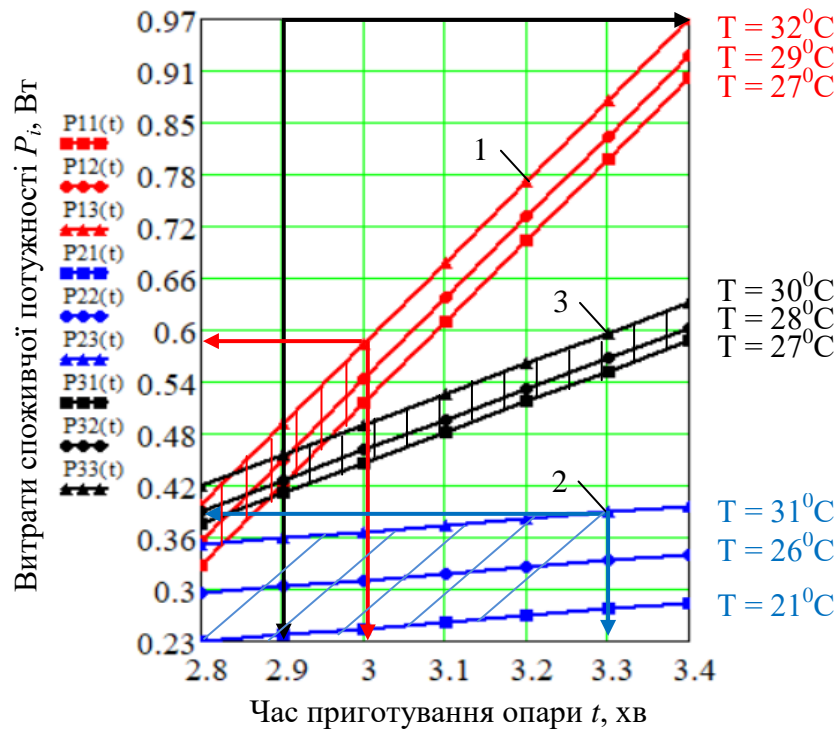


Рисунок 4. 18 – Залежність витрат споживаної потужності P_i як функція $P_i = f_p(t)$: 1 – «цикл 1»: електромотор-редуктор вмикали з початком процесу перемішування компонентів; 2 – «цикл 2»: електромотор-редуктор вмикали через 1,2 хвилини після дозування компонентів у робочій камері; 3 – «цикл 3»: електромотор-редуктор вмикали через 1,2 хвилини після дозування компонентів у робочій камері

Це вказує на те, що змішування компонентів у зваженому стані позитивно впливає на тривалість процесу, або час приготування рідкої опари та її температуру опари, які є досить сприятливі та якісними для задовільних показників приготовленої рідкої опари.

Вмикання електромотора-редуктора дискретно-імпульсного змішувача під час вивантаження опари та частковому домішуванні дозованих компонентів («цикл 1» і «цикл 2») приводить до скорочення часу процесу, але збільшує витрати споживаної потужності.

Тому запропонований спосіб приготування опари дозволяє оптимізувати процес і є перспективним для його впровадження у виробництво для приготування хлібобулочних кондитерських виробів.

4.4. Висновки до розділу

4.4.1. Встановлено, що апроксимоване значення максимальної робочої висоти h_{pe} утвореної суміші знаходиться в межах від 0,17 до 0,34 м залежно від зміни вхідних факторів, а зміна h_{pe} має пропорційний характер – зі збільшенням масової секундної подачі $Q_{\bar{o}}$ борошна, амплітуди коливання $A_{\bar{o}}$ дозуючого борошна та частоти обертання $n_{\bar{o}}$ диска максимальна робоча висота h_{pe} утвореної суміші збільшується.

4.4.2. Домінуючими факторами, зміна яких призводить до значного зростання максимальної робочої висоти h_{pe} утвореної суміші є масова секундна подача $Q_{\bar{o}}$ борошна та частоти обертання $n_{\bar{o}}$ тарілчастого диска: у межах зміни $0,03 \leq Q_{\bar{o}} \leq 0,07$ кг максимальна робоча висота h_{pe} утвореної суміші зростає в середньому на 0,05 – 0,08 м, або на 22 – 25 %; - у межах зміни $160 \leq n_{\bar{o}} \leq 200$ об/хв максимальна робоча висота h_{pe} утвореної суміші зростає в середньому на 0,04, або на 18 %.

4.4.3. Розбіжність між теоретичними h_p та апроксимованими експериментальними h_{pe} значення максимальної робочої висоти утвореної суміші під час приготування рідкої опари в дискретно-імпульсному змішувачі способом дискретно-імпульсного змішування компонентів у зваженому стані становить у середньому від 5 до 8 %, рис. 4.4.

4.4.4. Встановлено, що апроксимоване значення коефіцієнта однорідності k_{oe} утвореної суміші знаходиться в межах від 0,43 до 1,2 м залежно від зміни вхідних факторів, при цьому коефіцієнт однорідності k_{oe} утвореної суміші досягає оптимуму, або своїх максимальних значень $k_{oe.max}$ в точках за наступних значень вхідних факторів: $k_{oe.max} = 0,93$ за значення масової секундної подачі борошна $0,065 \leq Q_{\bar{o}} \leq 0,07$ кг/с, амплітуди дозуючого борошна $0,5 \leq A_{\bar{o}} \leq 1,0$ мм, частоти обертання тарілчастого диска $180 \leq n_{\bar{o}} \leq 190$ об/хв.;

мінімальне значення коефіцієнта однорідності $k_{oe.min}$ утвореної суміші, яке знаходиться в межах $0,35 \leq k_{oe.min} \leq 0,65$ отримано за таких значень вхідних факторів: масової секундної подачі борошна $0,03 \leq Q_{\bar{o}} \leq 0,0$ кг/с, амплітуди дозуючого борошна $0,8 \leq A_{\bar{o}} \leq 1,1$ мм, частоти обертання тарілчастого диска $160 \leq n_{\bar{o}} \leq 165$ об/хв.

4.4.5. Зі збільшенням вхідних факторів у межах $0,033 \leq Q_c \leq 0,077$ (кг/с) та $0 \leq t_{\bar{o}.o} \leq 30$ (хв) висота $h_{\bar{o}.e}$ бродіння опари збільшується від 0,056 м до 0,227 м. При цьому домінуючий вплив на приріст висоти $h_{\bar{o}.e}$ бродіння опари має час бродіння $t_{\bar{o}.o}$ приготовленої рідкої опари – в межах зміни фактора приріст висоти $h_{\bar{o}.e}$ бродіння опари становить у середньому 0,13...0,21 м, тобто за 5 хв бродіння висота опари збільшується в середньому 1,4...1.5 раза.

4.4.6. Найбільше значення газоутворюючої здатності 448 мл CO_2 на 100 г, підіймальної сили 64 Н, титруючої кислотності 5,2 град. та активної кислотності 5,96 отримано у другому варіанті приготування опари за часу бродіння приготовленої рідкої опари рівному 30 хвилинам, а окислювально-встановлюючий потенціал практично однаковий для всіх варіантів приготування рідкої опари та близький до контрольного варіанту.

4.4.7. На основі аналізу було встановлено, що найменші значення витрати споживаної потужності P_i отримано при варіанті роботи електромотора-редуктора за «цикл 2», а показники апроксимованих значень споживаних витрат потужності P_2 знаходяться в діапазоні від 0,23 до 0,39 Вт.

Основні наукові результати розділу опубліковані у працях [41, 42].

РОЗДІЛ 5

ВПРОВАДЖЕННЯ СПОСОБУ ПРИГОТУВАННЯ РІДКОЇ ОПАРИ ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ

5.1. Обґрунтування способу приготування рідкої опари

На основі аналізу відомих способів приготування опари було встановлено основні недоліки їх застосування у виробничих умовах:

- незначні об'єми приготування рідкої опари внаслідок значного часу, або значної тривалості процесу приготування рідкої опари за причиною недосконалості технологічних процесів;

- недосконалості виконання послідовності способів приготування рідкої опари, або стадійності їх виконання;

- недостатня продуктивність роботи механізмів для приготування опари, їх зависока вартість і складність, що призводить до значної вартості їх обслуговування.

У загальному ці недоліки призводять до значної собівартості продукції та незначної рентабельності виробництва хлібобулочних виробів.

Запропонований нами удосконалений спосіб приготування рідкої опари [153, 156] та пристрій для його реалізації [154, 155] дозволяє інтенсифікувати змішування рідких напівфабрикатів, а саме рідких опар та заквасок вологістю від 65 до 75 %.

В основу способу поставлена мета підвищення ефективності змішування, скорочення тривалості процесу приготування рідкої опари шляхом інтенсифікації основних стадій і обґрунтування раціональних технологічних параметрів і конструктивно-кінематичних параметрів змішувача.

Удосконалений спосіб приготування рідкої опари передбачає змішування борошна, води та дріжджової суспензії за зміщеним режимом дозування, де на першому етапі проводять дозування борошна з частотою обертання робочого органу (0,5...0,7) від максимальної частоти $n_{д.макс.}$ обертання робочого органу, на другому етапі через 5 секунд починається дозування дріжджової суспензії, з

реалізацією процесу змішування компонентів у зваженому стані з відповідною швидкістю та частотою обертання робочого органу $(0,5 \dots 0,7)$ від максимальної частоти $n_{д.макс.}$, на третьому етапі через 35 секунд робочий орган сповільнюється до частоти $(0,4 \dots 0,2)n_{д.макс.}$ і на 65 секунді завершується дозування, інтенсифікуючи процес взаємодії компонентів, які співударяються в циліндричну робочу камеру та між собою та при дії гравітаційних сил стікають по поверхні робочої камери, отримуючи структуру суміші. При цьому тривалість кожного з етапів складає відповідно $(0,5 \dots 0,7)t$, $(0,3 \dots 0,2)t$ та $(0,2 \dots 0,1)t$ від загального часу t приготування рідкої опари.

Сутність способу приготування рідкої опари та процес інтенсифікації етапів пояснюється графічними залежностями, які наведено на рис. 5.1, рис. 5.2 та рис. 5.3.

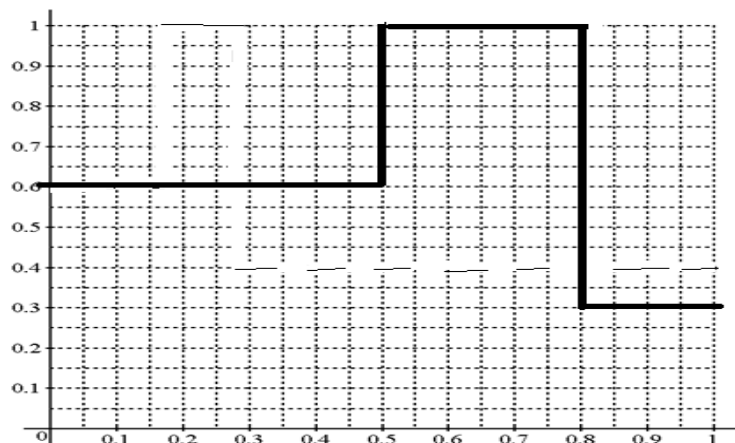


Рисунок 5.1 – Залежність частоти обертання робочого органу часу приготування рідкої опари

Зміна частоти обертання робочого органу та різна тривалість етапів за зміщеним режимом дозування при приготуванні опари за способом, що пропонується, призводить до наступного.

Початок дозування борошна і частота обертання ротора, яка складає $(0,5 \dots 0,7) n_{д.макс.}$ на першому етапі приготування опари (рис. 4.15) та із запізненням на 5с дозування рідких компонентів (другий етап) сприяє гідратації взаємодії компонентів, які вдаряються в циліндричну робочу камеру й при дії гравітаційних сил, частинки борошна інтенсивніше поглинають воду, стікають отримуючи структуру суміші.

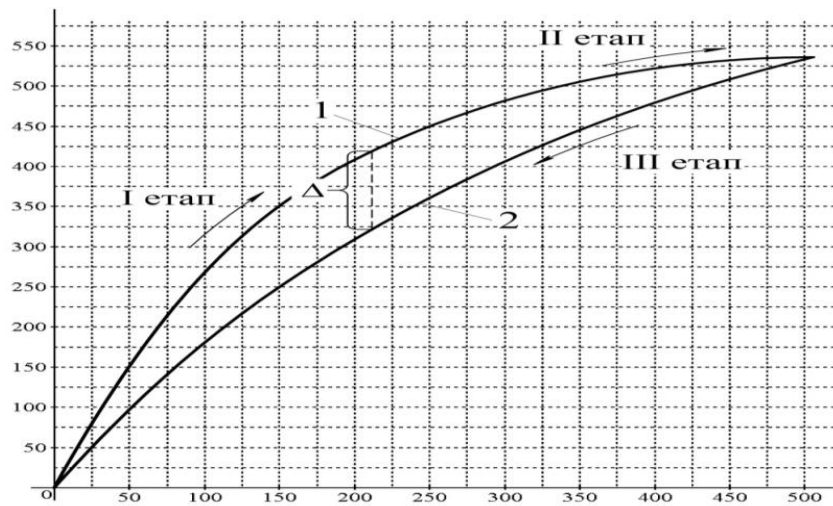


Рисунок 5.2 – Залежність напруження τ від швидкості зсуву $\dot{\gamma}$

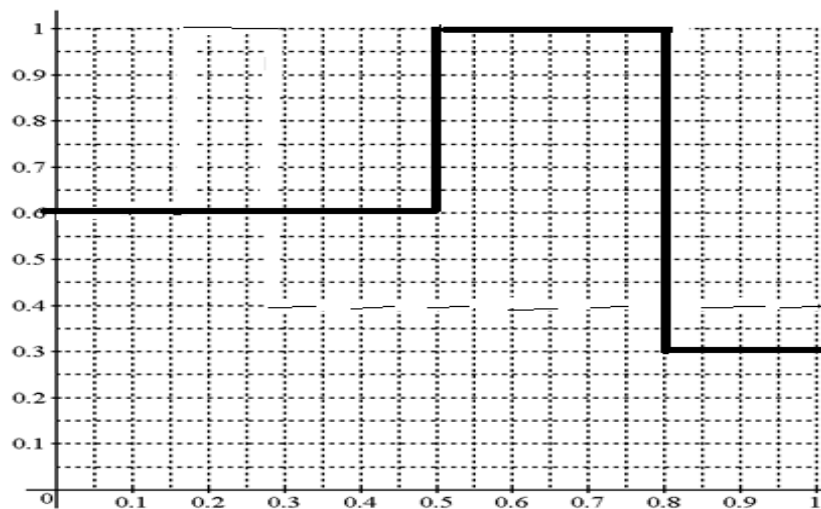


Рисунок 5.3 – Залежність споживаної потужності N від часу t

Частки борошна набухають, збільшуються в розмірі до певного максимального розміру, при цьому в'язкість утворюючої суспензії стає максимальною. Цей етап має тривалість, що складає $(0,5...0,7)t$, $(0,3...0,2)t$ від загального часу. Зміщений режимом дозування передбачає створити просторові зв'язки в суміші, що призводить до появи в'язко-пластичної структури.

Таке дозування компонентів через певний час у напруженні зсуву суміші τ , що пропорційно потужності N на перемішування, досягає максимуму. Тому перемішування може відбуватись при меншій потужності та тривалості (ефект гістерезису (рис. 5.2) властивий тиксотропним структурам) на величину Δ .

На третьому етапі частота обертання робочого органу сповільнюється до $(0,4...0,2)n_{д.макс.}$, що сприяє достатній проробці суміші за зменшених витрат

енергії (рис. 5.3) за найменшого проміжку часу $(0,2...0,1)t$. На цьому етапі відбувається механічний вплив на дріжджові клітини від зусиль, які виникають в опарі на перших двох етапах. Збільшення тривалості може призвести до руйнування або ушкодження їх клітин (конгломератів та колоній).

Спосіб здійснюється таким чином.

На першому етапі приготування рідкої опари, в ємність спочатку дозують борошно та із запізненням у 5с. (другий етап) дозують рідкі компоненти згідно рецептури, що йдуть на приготування суміші. Швидкість обертання робочого органу та проміжок часу на цьому етапі дорівнюють відповідно $(0,5...0,7)n_{д.макс.}$ та $(0,5...0,7)t$, $(0,3...0,2)t$. Об'єднання зміщеного дозування та двох етапі із обертанням робочого органу з максимальною швидкістю n та тривалістю, дозволяє впорядкувати просторову молекулярну структуру. Під час завершального дозування компонентів, третього етапу тривалістю $(0,2...0,1)t$, швидкість обертання робочого органу сповільнюється до $(0,4...0,2)n_{д.макс.}$. Після закінчення змішування робочий орган зупиняється і може бути проведено вивантаження готової опари. Далі цикл приготування може бути повторений.

Приклади здійснення способу.

Приклад 1.

На першому і другому етапі приготування рідкої опари, в ємність дозують борошно та воду. Швидкість обертання робочого органу та проміжок часу на цьому етапі дорівнюють відповідно $0,5n_{д.макс.}$ та $0,7t$, під час чого відбувається впорядкування просторової молекулярної структури. Під час завершального другого етапу тривалістю $0,3t$, швидкість обертання робочого органу сповільнюється до $0,4n_{д.макс.}$.

Після закінчення змішування робочий орган зупиняється і може бути проведено вивантаження готової опари. Реологічні параметри готової опари наведені в табл. 5.1.

Приклад 2

На першому і другому етапі приготування рідкої опари, в ємність дозують борошно та воду. Швидкість обертання робочого органу та проміжок часу на цьому етапі дорівнюють відповідно $0,65n$ та $0,6t$, під час чого

відбувається впорядкування просторової молекулярної структури. Під час завершального другого етапу тривалістю $0,3t$, швидкість обертання робочого органу сповільнюється до $0,35 n_{д.макс.}$.

Після закінчення змішування робочий орган зупиняється і може бути проведено вивантаження готової опари. Реологічні параметри готової опари наведені в табл. 5.1.

Приклад 3

На першому і другому етапі приготування рідкої опари, в ємність дозують борошно та воду. Швидкість обертання робочого органу та проміжок часу на цьому етапі дорівнюють відповідно $0,7n$ та $0,5t$, під час чого відбувається впорядкування просторової молекулярної структури. Під час завершального другого етапу тривалістю $0,5t$, швидкість обертання робочого органу сповільнюється до $0,2n$.

Після закінчення змішування робочий орган зупиняється і може бути проведено вивантаження готової опари.

Реологічні параметри готової опари наведені в табл.5.1.

Таблиця 5.1 – Реологічні параметри приготовленої рідкої опари

№ прикладу	Параметри						Напруження зсуву τ , Па	Висновки про якість перемішування
	I етап		II етап		III етап			
	Швидкість	Тривалість	Швидкість	Тривалість	Швидкість	Тривалість		
1	$0,5 n_{д.макс.}$	$0,7t$	$0,6n$	$0,3t$	$0,4n$	$0,2t$	478	Задовільно
2	$0,65 n_{д.макс.}$	$0,6t$	N	$0,3t$	$0,35n$	$0,2t$	462	Добре
3	$0,7 n_{д.макс.}$	$0,5t$	N	$0,5t$	$0,2n$	$0,2t$	485	Задовільно

Технічний результат полягає в підвищенні ефективності змішування, скорочення тривалості із вибором оптимальних параметрів, досягнення максимальної гідратації компонентів, контролі технологічних режимів при утворенні структури та зменшення витрат енергії.

5.2. Впровадження результатів дослідження та економічний ефект

Дисертаційна робота на тему «Підвищення інтенсивності процесу та розроблення обладнання для перемішування компонентів» виконувалася протягом вересня 2018 р. по вересень 2021 р. згідно з затвердженим планом підготовки освітньо-наукової програми аспіранта з галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» та є частиною виконання НДР кафедри обладнання харчових технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя на тему «Удосконалення раціональних параметрів дозування компонентів у робочу камеру тістомісильної машини періодичної дії при змішуванні бубликового тіста».

Результати теоретичних і експериментальних досліджень, які отримано за період виконання дисертаційної роботи на тему «Підвищення інтенсивності процесу та розроблення обладнання для перемішування компонентів» та обґрунтовані раціональні технологічні параметри приготування рідкої опари та конструктивно-кінематичні параметри дискретно-імпульсного змішувача компонентів передано спеціалістам ПрАТ «Тера» (м. Тернопіль) для розробки нових, або удосконалення існуючих способів і обладнання для приготування рідкої опари.

Було рекомендовано такі раціональні технологічні та конструктивно-кінематичні параметри процесу приготування рідкої опари способом дискретно-імпульсного введення дозованих компонентів з застосуванням удосконаленої конструкції змішувача компонентів:

- діаметр робочої камери змішувача 0,28...0,3 м за висоти утвореної опари не більше 0,25 м;
- діаметр тарілчастого диска 0,24...0,26 м;
- кутова швидкість обертання тарілчастого диска від 175 до 230 об/хв за зміни сумарного об'єму завантажених компонентів від 0,1 до 0,2 м³.
- амплітуда поздовжніх коливань вібраційного решета від 0,5 до 1,0 мм;
- час приготування рідкої опари – до 30 хв.

Результати досліджень з дозування компонентів у робочу камеру змішувача було впроваджено у виробничу технологічну лінію з приготування бубликового тіста, що підтверджується відповідним актом (додаток Ж).

За результатами впровадження удосконаленого способу дозування компонентів у робочу камеру, який є частиною запропонованого удосконаленого способу приготування рідкої опари було отримано такі результати:

- підвищення продуктивності роботи обладнання на 6,2 %;
- скорочення часу процесу на 10 хв.;
- підвищення механіко-структурної характеристики напівфабрикату;
- зменшення споживання енергоресурсів на 3,6 %.

Розрахований економічний ефект від впровадження запропонованої методики дозування компонентів суміші у робочу камеру змішувача на хлібозаводі становить 13,6 тис. грн.

Крім того, результати дисертаційної роботи було впроваджено в навчальну програму під час викладання дисципліни «Технологічне обладнання хлібопекарських, кондитерських, макаронних та харчоконцентратних виробництв»: будова, принцип роботи та теоретичні розрахунки робочих органів дискретно-імпульсного змішувача компонентів застосовано в процесі виконання практично-лабораторних робіт на кафедрі технологічне обладнання харчових виробництв Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (додаток Ж).

Основні результати наукових досліджень пройшли апробацію на VII Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (м, Тернопіль, 2018), на Simpozionului Științific Internațional „Realizări și perspective în inginerie agrară și transport auto” dedicat aniversării a 85 ani de la fondarea Universității Agrare de Stat din Moldova. (Chișinău, 2018), на VII Міжн. наук.-техн. конф. «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції» (м. Київ, 2018), на VIII Міжн. наук.-практ. конф. вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини,

стандартизації і безпеки продовольства» (м. Київ, 2019), II Міжн. студентської наук.-техн. конф. «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (м. Тернопіль, 2019), XII Міжн. наук.-практ. конф. «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» (м. Кропивницький, 2019), Міжн. наук. конф. «Іван Пулюй: життя в ім'я науки та України» (до 175-ліття від дня народження) (м. Тернопіль, 2020), Міжн. наук.-техн. конф. до 60 річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175 річчя з дня народження Івана Пулюя, (м. Тернопіль, 2020), IV Міжн. студентської наук.-техн. конф. «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (м. Тернопіль, 202), на розширеному фаховому науковому семінарі кафедри обладнання харчових технологій ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021 р.

5.3. Висновки до розділу

5.3.1. Удосконалений спосіб приготування рідкої опари передбачає дискретно-імпульсне введення дозованих компонентів у робочу камеру через певні встановлені проміжки часу та з різними режимами роботи частоти обертання тарілчастих дисків.

5.3.2. За результатами впровадження удосконаленого способу дозування компонентів у робочу камеру було отримано такі результати: підвищення продуктивності роботи обладнання на 6,2 %; скорочення часу процесу на 10 хв.; підвищення механіко-структурної характеристики напівфабрикату; зменшення споживання енергоресурсів на 3,6 %.

5.3.3. Розрахований економічний ефект від впровадження запропонованої методики дозування компоненті суміші у робочу камеру змішувача на хлібозаводі становить 13,6 тис. гр.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено нове наукове завдання зниження енерговитрат процесу приготування рідкої опари шляхом дискретно-імпульсного дозованого введення компонентів у зваженому стані та обґрунтування раціональних параметрів робочих органів змішувача.

Зниження енергоємності процесу приготування рідкої опари досягається за рахунок інтенсифікації основних етапів і, як наслідок, скорочення часу її приготування.

1. Функціональна зміна висоти циліндричної частини робочої камери дискретно-імпульсного змішувача компонентів має лінійний і пропорційний характер – за збільшення маси дозуючих компонентів (маси борошна від 1,5 до 10,5 кг, маси дріжджів від 0,2 до 0,8 кг, маси води від 2,5 до 6,5 кг) висота циліндричної частини зростає в межах від 0,15 до 0,35 м.

2. Максимальна робоча висота утвореної суміші під час приготування рідкої опари в робочій камері дискретно-імпульсного змішувача знаходиться в межах від 0,25 до 0,55 м залежно від збільшення діаметра тарілчастого диска від 0,2 до 0,5 м та його частоти обертання від 140 до 220 об/хв, а допустима частота обертання тарілчастого диска знаходиться в межах від 115 до 267 об/хв залежно від зміни діаметра робочої камери та зміни сумарної маси дозованих компонентів від 4,5 до 17,8 кг.

3. Для забезпечення розрахункової продуктивності дискретно-імпульсного змішувача встановлено, що діаметр робочої камери змішувача повинен знаходитися у межах від 0,2 до 0,4 м залежно від зміни діаметра отвору вібраційного решета від 5 до 10 мм і амплітуди поздовжніх коливань від 0,5 до 1,5 мм за зміни діаметра шнека дозатора борошна від 0,05 до 0,1 м та максимальної робочої висоти утвореної суміші рівній, або менше 0,3 м. При цьому, за зміни діаметра робочої камери від 0,24 до 0,26 м допустима частота обертання тарілчастого диска повинна бути в межах від 175 до 230 об/хв за зміни сумарного об'єму завантажених компонентів від 0,1 до 0,2 м³.

4. Встановлено, що апроксимовані значення максимальної робочої висоти утвореної суміші знаходиться в межах від 0,17 до 0,34 м, при цьому за зміни секундної подачі борошна від 0,03 до 0,07 кг/с максимальна робоча висота утвореної суміші зростає в середньому на 0,05...0,08 м, або на 22...25 %; а за зміни частоти обертання тарілчастого диска від 160 до 200 об/хв – зростає в середньому на 0,04, або на 18 %. Розбіжність між теоретичними та експериментальними значення максимальної робочої висоти становить у середньому від 5 до 8 %.

5. Апроксимовані значення коефіцієнта однорідності утвореної суміші знаходиться в межах від 0,43 до 1,2 м, при цьому коефіцієнт однорідності має максимальне значення 0,93 за наступних значень вхідних факторів: за значення масової секундної подачі борошна від 0,065 до 0,07 кг/с, амплітуди дозуючого борошна від 0,5 до 1,0 мм, частоти обертання тарілчастого диска від 180 до 190 об/хв.

6. Найбільше значення газоутворюючої здатності 448 мл CO_2 на 100 г, підіймальної сили 64 Н, титруючої кислотності 5,2 град. та активної кислотності 5,96 отримано у другому варіанті приготування опари за часу бродіння приготовленої рідкої опари рівному 30 хв., а окислювально-встановлюючий потенціал практично однаковий для всіх варіантів приготування рідкої опари та близький до контрольного варіанту.

7. Зі збільшенням секундної подачі борошна від 0,033 до 0,077 кг/с та часу бродіння опари до 30 хв висота бродіння опари збільшується від 0,056 м до 0,227 м. При цьому домінуючий вплив на приріст висоти бродіння опари має час бродіння приготовленої рідкої опари – в межах зміни фактора приріст висоти бродіння становить у середньому від 0,13 до 0,21 м, тобто за 5 хв бродіння висота опари збільшується в середньому 1,4...1.5 раза.

8. Встановлено, що найменші значення витрати споживаної потужності отримано при варіанті роботи електромотора-редуктора за «цикл 2», а показники апроксимованих значень споживаних витрат потужності знаходяться в діапазоні від 0,23 до 0,39 Вт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковбаса В.Н., Лисовенко А.Т., Березина Н.И. Влияние интенсивного замеса на степень созревания жидких опар. Хлебопекарная и кондитерская промышленность. 1981. № 3. С. 37 – 38.
2. Ковбаса В.Н., Лисовенко А.Т., Ташмухамедова Г.К. Влияние различных факторов на удельный объем пшеничного хлеба : в кн. «Хлебопекарная, макаронная, дрожжевая промышленность». М.: ЦНИИЕЭИпищепром, 1981. Вып. 6. С. 9 – 10.
3. Ковбаса В.Н., Лисовенко А.Т., Престула Н.В. Исследования воздуха жидкой опары во время интенсивного замеса. М.: ЦНИИЕЭИпищепром, 1980. Вып. 9. С. 30 – 31.
4. Добровтор І.Г., Стадник І.Я. Дослідження розподілу концентрацій розчинних шарів при змішуванні. Хранение и переработка зерна. 2011. № 9. С. 57 – 58.
5. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мішалками. Л.: Химия, 1957. 383 С.
6. Стадник І.Я., Лісовенко О.Т. Новий спосіб замішування тіста : мат. Міжнародна науково-практична конференція «Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодення та перспективи». НУХТ 27-28 вересня 2010. С. 28.
7. Гуць В.С. Прикладна реологія та інтенсифікація процесів харчових виробництв: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.18.12 УДУХТ/-Гуць В. С. К., 1999. 36 с.
8. Пшенишнюк Г.Ф., Козлов Г.Ф. Теоретический анализ изменения плотности тестообразных масс при брожении. Известия вузов. Пищевая технология. 1991. № 1–3. С. 119 – 122.
9. Пучкова Л.Н., Щеголева И.Д. Определение готовности пшеничного теста к расстойке. Хлебопекарная и кондитерская промышленность. 1985. № 2. С. 29 – 31.

10. Бутузов А.И., Минаковский В.М. Обобщенные переменные теории переноса. К.: Вища школа, 1970. 100 с.

11. Стадник І.Я Прогнозування якості процесу замішування на новій тістомісильній машині. Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей. 2009. № 18. С. 451 – 460.

12. Барабаш, В.М., Бегичев В.И., Белевицкая М.А., Смирнов Н.Н. Проблемы и тенденции развития теории и практики перемешивания жидких сред. ТОХТ. 2007. Т. 41. № 2. С. 34 – 41.

13. Веригин А.Н., Игнатьев М.А. Перемешивание жидких сред при больших диссипациях мощности. Экология энергетика экономика (выпуск VII), радиационная, химическая и экономическая безопасность. Межвуз. сб. науч. тр. С-Пб.: Издательство Менделеев. 2003.

14. Брагинский Л.Н., Бегачев В.И., Барабаш В.М. Перемешивание в жидких средах: Физические основы и инженерные методы расчета. Л.: Химия, 1984. 336 с

15. Василюнец И.М. Роторные пленочные аппараты в пищевой промышленности. Москва, 1989. 215с.

16. Пучкова Л.Н Лабораторный практикум по технологии хлебопекарного производства. М.: Пищевая промышленность, 1971. С. 191.

17. Стадник І.Я. Деякі теорії процесу першої стадії замішування на новій тістомісильній машині. ОНАХТ. 2009. Вип 35. Том 2. С. 149 – 152.

18. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалкой. Л.: Химия, 1975. 384 с.

19. Стадник І.Я., Лісовенко О.Т. Застосування способів вібраційного та пульсаційного замішування при розробці нової тістомісильної машини. Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. 2009. № 4. С. 37 – 40.

20. Барабаш В.М., Брагинский Л.Н. Об оценке интенсивности тепло- и массообмена в потоках с искусственной турбулизацией. Инженерно-физический журнал. 1981. № 1. С. 45 – 52.

21. Стадник І.Я., Лісовенко О.Т. Основи теорії пластифікації тіста. Хлібопекарська і кондитерська промисловість України, 2009. № 5. С. 22 – 23.

22. Васильцов З.А. Ушаков В.Г. Аппараты для перемешивания жидких сред : справ, пособие. Л.: Машиностроение, 1989. 271 с.

23. Стадник І.Я. Розподілення концентрацій розчинних шарів при замішуванні : мат. XII наук. конференція ТДТУ імені Івана Пулюя. 2008. с. 20.

24. А.с. № 522850, В01F7/10. Быстроходная мешалка для приготовления суспензий / Колотий П.В., Коломская М.С., Долин А.И., Гуз Д.Б.; Заявлено 20.01.1975; Оpubл. 30.07.1976.

25. Стадник І.Я. Безлопатева тістомісильна машина : мат. X міжнародна конференція «Хлібопродукти» 29-30 вересня 2010 р. Одеса.

26. Айнштейн В.Г. Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс: в 2 кн. / В.Г. Айнштейн, М.К. Захаров, Г.А. Носов [и др.]; Под ред. В.Г. Айнштейна. 5-е изд. (эл.). М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. 175 с.

27. Стадник І.Я. Розподілення концентрацій розчинних шарів при замішуванні : Матеріали XII наукової конференції ТДТУ імені І. Пулюя. Тернопіль: ТДТУ, 2008. С. 23.

28. Гиргидов А.Д. Механика жидкости и газа (гидравлика) : учебник. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. 704 с.

29. Будрик В.Г. Будрик Г.В., Бродский Ю.А. Новое поколение диспергирующих устройств. Пищевая промышленность. 2003. № 1.

30. Будрик В.Г. Технология и аппаратурное оформление производства взбитых молочных продуктов / В.Г. Будрик, Ю.А. Бродский, Т.Л. Остроумова, Е.Ю. Агаркова, Е.Л. Иванцова // Переработка молока. 2004. № 10.

31. Стадник І.Я., Лісовенко О.Т. Вплив адгезії тіста на процес замішування. Науковий журнал. Вісник східноукраїнського університету імені Володимира Даля. 2010. С. 52 – 58.

32. Стадник І.Я., Ковальов О.В., Шутюк В.В., Удворгелі Л.І. Дозатор рідких компонентів. Київ : НУХТ, 2010. №33. С. 78 – 80.

33. А.с. № 484887, В01F7/26, В01F13/00. Диспергатор / Бортник Ю.Ф., Сидоров Н.А.; Заявлено 24.04.1973; Оpubл. 25.09.1975.

34. А.с. № 1562018, В01F5/22.Смесительное устройство / Бялко М.В., Пасечный О.Г., Симоновский Д.К.; Заявлено 22.07.1988; Оpubл.07.05.1990.

35. Стадник І.Я. Вплив конструкції місильного органу на інтенсифікацію змішування. Хлібопекарна і кондитерська промисловість України. 2006. № 9.

36. Пат. № 2038112 Российская Федерация, В01D11/04. Роторно-дисковый экстрактор / Абрамович И.Л., Гершберг И.А., Сидоров В.М. и др.; Заявлено 17.02.1993; Опубл. 27.06.1995.

37. Стадник І.Я. Автоматизація нової тістомісильної машини : мат. Міжнародна науково-технічна конференція "Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій". ТНТУ імені І.Пулюя, 2010. С. 103.

38. Костюченко М.Н., Шапошников И.И., Косован А.П. Перспективы развития органического производства хлебобулочных изделий в России. Хлебопечение России. 2021. № 4. С. 14 – 17.

39. Боев Е.В., Шулаев Н.С., Николаев Е.А., Иванов С.П. Разработка конструкции малообъемного роторно-дискового дезинтегратора-смесителя для получения гетерогенных смесей. Химическая промышленность сегодня. 2008. № 3. С. 42 – 44.

40. Иванов С.П. Роторный дезинтегратор-смеситель для проведения массообменных процессов / С.П. Иванов, Е.А. Николаев, Н.С. Шулаев, В.Г. Афанасенко, И.В. Боев // Четвертая Международная научно-практическая конференция "Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности". Т.11 Спб.: Издательство Политехн. ун-та, 2007. С. 444 – 445.

41. Igor Yaroslavovych Stadnyk, Juilia Pankiv, Petro Havrylko, Halina Karpyk. Researching of the concentration distribution of soluble layers when mixed in the weight condition. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. Slovak. 2019. Vol. 13. No. 1. P. 581 – 592. <https://doi.org/10.5119/1129>. ISSN 1337-0960.

42. Стадник І.Я., Паньків Ю.Ю., Піддубний В.А. Визначення питомої потужності при змішуванні компонентів. Наукові праці Національного університету харчових технологій (категорія Б). Т. 26. №. 6. С. 143 – 153. DOI: 10.24263/2225-2924-2020-26-6-16.

43. Лапонов С.В. Особенности эмульгирования в роторно-дисковых смесителях / Лапонов С.В., Шулаев Н.С., Ибрагимов И.Г., Иванов С.П. //

Нефтегазовое дело. 2016. Т.14. № 4. С. 126 – 129.

44. Патент №178251 (РФ), МПК В02С 7/08. Дискосый смеситель / Лапонов С.В., Шулаев Н.С., Ибрагимов И.Г., Иванов С.П. // № 2017124556. Заявл. 10.07.2017; опубл. 28.03.2018, бюл. № 10.

45. Патент №180435 (РФ), МПК В02С 7/08. Дискосый роторный смеситель / Лапонов С.В., Шулаев Н.С., Ибрагимов И.Г., Иванов С.П., Сулейманов Д.Ф. // № 2018106626. Заявл. 21.02.2018; опубл. 14.06.2018, бюл. № 17.

46. Стадник І.Я., Федів В.Я. Розрахунок колової швидкості в тістомісильній машині періодичної дії. Вісник ТДТУ імені Івана Пулюя, 2008. № 4. С. 56 – 61.

47. Балабудкин М.А., Голобородкин С.И., Шулаев Н.С. Об эффективности роторно-пульсационный аппарат при обработке эмульсионных систем. ТОХТ. 1990. Т. 24. № 4. С. 502 – 508.

48. Юдаев В.Ф., Кокорев Д.Т., Сопин А.И. К вопросу о расчете геометрических параметров аппаратов типа гидромеханической сирены. Изв. вузов. Машиностроение. 1974. № 18.

49. Стадник І.Я. Енергозбереження при замішуванні тіста. Харчова і переробна промисловість. 2007. № 11. С. 41 – 48.

50. Стадник І.Я. Властивості хліба, випеченого з борошна грубого помелу. Науково-технічний журнал ССЯ. 2006. № 3.

51. Шулаев Н.С., Николаев Е.А. Перемешивание в системах жидкость-газ : XI региональный конкурс научных работ молодых ученых, аспирантов и студентов вузов Приволжского федерального округа. Уфа: Издательство УГАТУ, 2007. С 140 – 141.

52. Стадник І.Я., Лісовенко О.Т., Федів В.Я. Пристрій для визначення реологічних властивостей тіста. Хранение и переработка зерна. 2008. № 11. С. 57 – 58.

53. Сиденко, П.М. Измельчение в химической промышленности./П.М. Сиденко. - 2-е изд., перераб. М.: Химия, 1977. 368 с

54. Николаешвили Е.К. Скорость растворения твердых частиц в аппаратах с мешалками / Е.К. Николаешвили, В.Н. Барабан, Л.Н. Брагинский, Н.Н. Кулов, В.А. Малосов // ТОХТ. 1980. Т. 14. № 3. С. 349 – 354.

55. Николаев Б.А. Структурно-механические свойства мучного теста. М.: Пищевая промышленность, 1976. 247 с.

56. Ребиндер П.А., Урьев Н.В., Шукин Е.Д. Физико-химическая механика дисперсных структур в химической технологи. М.: АН СССР, 1960. 256 с.

57. Рейнер М. Реология: Пер. с англ М. Рейнер. М.: Наука, 1965. 224 с.

58. Ройтер И.М., Неделина Л.Н., Бурковская Н.А. Изменение реологических свойств полуфабрикатов в процессе выработки хлебных палочек. Хлебопекарная и кондитерская промышленность. 1981. № 10. С. 31 – 33.

59. N. Filipovic. Breadmaking characteristics of dough with extrudedcourn/ N. Filipovic, S. Simovi, V. Filipovic. Chimal Industry Chemsal Engineering Quarterly. № 15(1) 2009. С. 21 – 24.

60. Кірієва Т.В. Наукові основи інтенсифікації виробництва і підвищення якості киргизських національних борошняних виробів: автореферат дис. на здобуття наук. ступеня доктора тех. наук : 05.18.16 «Технологія продуктів харчування» / Т.В. Кірієва. Х., 2002. 25 с.

61. A. Sadeghi The secrets of sourdough A review of miraculous potentials of sourdough in bread shelf life/ A. Sadeghi Biotechnology 7(3) 2008 ISSN 1682-29X/ С. 413 – 417.

62. Effect of Sourdough bakteria on the guality life of bread / Salim-ur-Rehman, N. Nawaz, S. Hussain and et. University of Agriculture Faisalabod. Pakistan, 2007. № 6(6). ISSN 1680-5194.-С/562-565.

63. Паньків Ю. Характеристика процесів змішування : тези доп. IV Міжн. студентської наук.-техн. конф. «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання». Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 28-29 квітня 2021 р.). С. 111 – 112.

64. Романков П.Г., Курочкина М.И. Гидромеханические процессы химической технологи. Л.: Химия, 1982. 288 с.

65. Сандул О.О. Математичне моделювання процесу формування тіста екструзією / О.О. Сандул, Є.В. Штефан, Ю.С. Теличкун, В.І. Теличкун // Харчова промисловість. 2001. Вип. 46. С. 95 – 98.

66. Серга Г.В. Оптимизация параметров рабочих органов машин / Серга Г.В., С.М. Резниченко, В.В.Цыбулевский, К.А.Белокур // Краснодар, ФГОУ ВПО, 2009. 279 с.

67. Сидоренко І.І. Віброізолюючий пристрій з коригувальною ланкою. Збірник наукових праць. Одеса: ОІВС, 2006. № 12. С. 103 – 108.

68. Стадник І.Я., Паньків Ю.Ю. Розроблення конструкції змішувача для інтенсифікацій перемішування компонентів : тези доп. VII Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», (Тернопіль, 28–29 листоп. 2018.) в 3-х томах / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2018. Т. 1. С. 146 – 147.

69. Сидоренко И.И. Саморегулируемая упругая опора. Зб. наук. праць кораблебуд. ун-ту. Миколаїв: НУК, 2007. № 4(11). С. 110 –115.

70. Скробин Ю.Б., Тябин Н.В. Основы расчетов реологических процессов течения полимерных систем в рабочих органах валковых машин. Часть 1. Учебное пособие. Изд. Волгоград, 1981. С. 33 – 59.

71. Xiongwei Ni, Colin C. Stevenson. On the effect of gap size between baffle outer diameter tube inner diameter on the mixing characteristics in an oscillatory baffled column / Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 1999. № 74.

72. Шириязданов Р.Р., Николаев Е.А., Шулаев Н.С. Интенсификация процессов массообмен в системах "жидкость-газ". Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. М., 2007. 1222 с.

73. Иванец В.Н., Зайцев В.Н. Аппараты с перемешивающими устройствами. КемТИПП, Кемерово, 1994. 135 с.

74. Иванец В.Н., Желтухин Ю.С. Исследование эффективности самовсасывающих мешалок. Сб. научн. тр. Химия и химическая технология. КузПИ, Кемерово, 1976. № 81. С. 51 – 57.

75. Лосик В.И. Герметичные аппараты с винтовыми перемешивающими устройствами. Сер. ХМ-1. ЦИНТИхимнефтемаш, 1976. 28 с.
76. Брагинский Л.Н. Перемешивание в жидких средах. М.: Химия, 1984. 378 с.
77. Балабудкин М.А. Роторно-пульсационные аппараты в химико-фармацевтической промышленности. М.: Медицина, 1983. 344 с.
78. Стадник І.Я. Науково-технічні основи процесів та розробка обладнання для безлопатевого замішування тіста : автореферат док. тех. наук. Київ, 2013. 42 с.
79. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1970. 736 с.
80. Соколенко А.І., Шевченко О.Ю., Піддубний В.А. Інтенсифікація масообмінних процесів в харчових технологіях. К.: Люксар, 2008. 443 с.
81. Технологія «Rapidojet» від фірми «Diosna», запропонованої Бернхардом Ноллем : проспект. 8 с.
82. Марценюк О.С., Мельник Л.М. Процеси і апарати харчових виробництв. Київ НУХТ, 2011. 406 с.
83. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Распылители жидкости. М.: Химия, 1979. 216 с.
84. Соу С. Гидродинамика многофазных систем. Москва : Мир, 1971. 536 с.
85. Седов Л.И. Механика сплошных сред. Т. 1. Москва : Наука, 1976. 536 с.
86. Корнієнко Я.М., Сачок Р.В. Процеси переносу в дисперсних системах : навч. посібник. Київ, 2011. 132 с.
87. Лісовенко О.Т. Технологічне обладнання хлібопекарських і макаронних виробництв / О.Т. Лісовенко, О.А. Руденко-Грицюк, И.М. Литовченко та ін. К.: Наукова думка, 2000. 283 с.
88. Sergey Merzlov, Neonila Lomova, Serhiy Narizhniy, Olha Snizhko, Viktor Voroshchuk. Optimization of technology for chredding the bee pollen. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 89. Is. 5(11). P. 55 – 61.

89. Добротвор І.Г., Стадник І.Я. Дослідження розподілу концентрацій розчинних шарів при змішуванні. *Хранение и переработка зерна*. 2011. № 9. С. 57 – 58
90. Лісовенко О.Т., Стадник І.Я. Новий спосіб замішування тіста : науково-практична конференція «Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів:сьогодення та перспективи» Національний університет харчових технологій. К.: НУХТ, 2010. № 10. С. 28.
91. Дробот В.І. Технологія хлібопекарського виробництва. К.: Логос, 2002. 365 с.
92. Vichko, O., Shved, O., Kukhtyn, M., Petrima R., Mylyanych A., Babii M.& Novikov V. (2021). Optimization of technological production of feed additive based on microbiota of Tibetan kefir grains. *Scientific study & Reseach - Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 22 (2), 159 – 176.
93. Shanina O., Galyasnyj I.,Gavrysh T., Dugina K., Sukhenko Y., Sukhenko V., Miedviedieva N., Mushtruk M., Rozbytska T. & Slobodyanyuk N. Development of gluten-free non-yeasted dough structure as factor of bread quality formation. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2019. Vol. 13(1). P. 971 – 983.
94. Samoichuk K., Zhuravel D., Viunyk O., Milko D., Bondar A., Sukhenko Y., Sukhenko V., Adamchuk L. & Sergey D. Research on milk homogenization in the stream homogenizer with separate cream feeding. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2020. Vol. 14. P. 142 – 148.
95. Стадник І.Я. Лісовенко О.Т. Застосування способів вібраційного та пульсаційного замішування при розробці нової тістомісильної машини. *Хлібопекарська і кондитерська промисловість України*. 2009. № 4. С. 37 – 40.
96. Лісовенко А.Т. Технологическое оборудование хлебозаводов и пути его совершенствования. М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1982. 208 с.
97. Стадник І. Я. Шляхи зниження енергозатрат при замішуванні тіста. *Вісник ТДТУ імені Івана Пулюя*. 2008. № 1. Том. 13. С. 110 – 114.
98. Igor Stadnyk Scientific and technical basics of discrete action on mixing components. Монографія. Ternopil, TNTU named after Ivan Pulyuy. 2015. 240 p.

99. Igor Stadnyk, Anatoly Sokolenko, Volodymyr Piddubnyy, Kostiantyn Vasylykivsky, Andrii Chahaida, Viktor Fedoriv. Justification of thermodynamic efficiency of the new air heat pump in the system of redistribution of energy resources at the enterprise. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2021. Vol. 15. P. 680 – 693.
100. Стадник І. Я. Процеси першої стадії замішування на новій тістомісильній машині. *Вісник ТДТУ, Науковий журнал*. 2009. Випуск № 2. Том 14. С. 72 – 79.
101. Стадник І.Я., Лісовенко О.Т. Тістомісильна машина безперервної та періодичної дії. *Хранение и переработка зерна*. 2008. № 2. С. 51 – 52.
102. N. Filipovic. Breadmaking characteristics of dough with extrudedcourn / N. Filipovic, S. Simovi, V. Filipovic. *Chimical Industry Chemsal Engineering Quarterly*. 2009. № 15(1). С.21 – 24.
103. A. Sadeghi The secrets of sourdough A review of miraculous potentials of sourdough in bread shelf life/ A. Sadeghi *Biotechnology* 7(3) 2008 ISSN 1682-29X. С. 413 – 417.
104. Effect of Sourdough bakteria on the guality life of bread/ Salim-ur-Rehman, N. Nawaz, S. Hussain and et. *University of Agriculture Faisalabod. Pakistan*, 2008 № 7(8).
105. Quillen, C.S. Mixing: the universal operation. *Chemical Engineering*. 1964. № 61.
106. Козлов, Г.Ф. Проблемы питания и здоровье. Ч. 2. Потребительская, питательная ценность продуктов. Элементы рациональной технологии: учебник. Одесса: Optimum, 2007. 413 с.
107. Мерко И.Т., Моргун В.А., Погирной Н.Е. Структура и эффективность технологических процессов производства муки. М.: Колос, 1983. 239 с.
108. Карпик Г., Стадник І., Паньків Ю. Оцінка однорідності суміші при замішуванні. *Научно-практический журнал «Хранение и переработка зерна»*. Дніпро. 2018. № 9 (228). С. 49 – 51.

109. Волков М.В. Метод расчета процесса смешивания сыпучих материалов в новом аппарате с открытой рабочей камерой : дис. канд. техн. наук : 05.17.08 / Волков Максим Витальевич. Ярославль, 2014. 138 с.

110. Янаков В.П. Обґрунтування параметрів і режимів роботи тістомісильної машини періодичної дії: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.18.12 «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв». 2011. 20 с.

111. Neuvazhaev V. E. Mathematical modeling of turbulent displacement, Izdet of Chelyabinsk University, 2000. 135 p.

112. Скорикова А.И., Ройтер И.М. Физические свойства пшеничного теста и клейковины после замеса в ротационной машине и дежовой. Известия вузов. Пищевая технология. 1967. № 4. С. 47 – 51.

113. Кірієва Т.В. Наукові основи інтенсифікації виробництва підвищення якості киргизьких національних борошняних виробів: дис. на здобуття наук. ступеня доктора тех. Наук : 05.18.16 «Технологія продуктів харчування»/ Т.В. Кірієва. Х.,2002. 325 с.

114. Стадник І.Я., Лісовенко О.Т. Порівняння основних показників сучасних тістомісильних машин вітчизняних, європейських, американських та інших країн світу. Хлібопекарна і кондитерська промисловість України. 2010. № 7-8.

115. Стадник І.Я. Вплив конструкції місильного органу на інтенсифікацію замішування. Хлібопекарна і кондитерська промисловість України. 2006. № 9. С. 29 – 33.

116. Юдаев В.Ф. Гидромеханические процессы в роторных аппаратах с модуляцией проходного сечения потока обрабатываемой среды. Теоретические основы химических технологий. 1994. Т. 28. № 6. С. 581 – 590.

117. Інтенсифікація тепло- та масообмінних процесів в харчових технологіях : монографія / під ред. д-ра техн. наук, проф. А. І. Соколенка. Київ : Фенікс. 2011. 536 с.

118. Доломакін Ю.Ю. Структурно-механічні характеристики рідких хлібопекарських опар. Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції - основні засади її конкурентоздатності: матеріали IV міжнар. спеціаліз. наук.-практ. конф., 8 вересня 2015 р. К. : НУХТ, 2015. С. 59 – 61.

119. Kryvoplyas-Volodina L. Research of dynamic process in the pneumatic cylinder system of double action at the stable movement. Journal of food and packaging science technique and technologies. 2014. vol. 2, no. 4, pp. 138 – 142.

120. Stręk Fryderyk. Mieszanie i mieszalniki. Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2011, 367 p

121. Брагинский Л.Н., Бегачев В.И., Барабаш В.М. Перемешивание в жидких средах. Физические основы и инженерные методы расчета. Л. : Химия, 1984. 336 с.

122. Брагинский Л.Н. Перемешивание компонентов в жидких средах. Л.: Химия, 1994. 416 с.

123. Jongen, T.R.G., Bruschke, M.V., Dekker, J.G., 2003. Analysis of dough kneaders using numerical flow simulations, Cereal Chemistry, No. 80, pp. 383-389.

124. Домарецький, В.А. Технология пищевых продуктов: учебник. — К.: Издат. дом «Аскания», 2011. — 736 с.

125. Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. М.: Колос, 2007. 760 с.

126. Жигунов Д.А., Волошенко О.С. Мучные смеси из зерновых культур. Одесса: Освіта України, 2013. 156 с.

127. Кафаров В.В., Когин Н.Е., Розе Н.В. Теоретическая гидродинамика. Перемешивание в жидких средах. Госхимиздат, 1949. Ч. 1.

128. Никитенко Н.И., Снежкин Ю.Ф., Сороковая Н.Н. Математическая модель и метод расчета тепломассопереноса и фазовых превращений при смешивании// Промышленная теплотехника. 2001. Т. 23. № 3. С. 65 – 73.

129. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло- и массопереноса. М. Л.: Госэниздат, 1963. 534 с.

130. Корнієнко Б.Я. Особливості моделювання процесів переносу в дисперсних системах. Вісн. Нац. техн. ун-ту України «Київ. політехн. інт». Сер. Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2011. № 2 (8). С. 5 – 9.

131. Иванец В.Н., Лобасенко Б.А. Методы интенсификации гидромеханических процессов : Учебное пособие. Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2003. 84 с.

132. Khorolskyi V., Bavyko A., Yermak S., Riabykina K., Khorolskyi K. (2018). Innovative functional food products for the mining industry. Journal of Hygienic Engineering and Design, vol. 24, pp. 55 – 62.

133. Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика. АН СССР, 1986. 135 С.

134. Гончаренко Б.М., Ладанюк А.П. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій: підручник. Київ : НУХТ, 2014. 530 с. ISBN 978-966-612-163-2.

135. Барабаш В.М., Бегичев В.И., Белевицкая М.А., Смирнов Н.Н. Проблемы и тенденции развития теории и практики перемешивания жидких сред. Теоретические основы хим. технологии. 2007. Т. 41. № 2. С. 140 – 147.

136. Грек О.В., Онопрійчук О.О. Наукові основи безвідходних технологій відновлюваної сировини: підруч. Київ: НУХТ, 2020. 323 с.

137. Янаков В.П. Обґрунтування параметрів та режимів роботи тістомісильної машини періодичної дії : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.18.12. Донецьк, 2011. 20 с.

138. Янаков В.П. Методичні та практичні аспекти теорії приготування тіста. Обладнання та технології харчових виробництв. 2020. №. 2 (39). С. 59–66.

139. Янаков В.П., Ланже О. Інтеграційні аспекти пропонованої теорії приготування тіста. Обладнання та технології харчових виробництв. 2020. №. 3 (40). С. 36 – 43.

140. Галкін В.М. Фазова рівновага рідина-пара в бінарних сумішах компонентів повітря : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.14.06. Одеса, 2020. 20 с

141. Лозова Т.М. Наукові основи формування споживних властивостей і зберігання якості борошняних кондитерських виробів : монографія / ред. І.В. Сирохман. Львів ЛКУ, 2009. 456 с

142. Сафонова О.М., Гавриш Т.В., Перцевий Ф.В., Панченко І.А. Спосіб одержання дріжджового тіста : Пат. 50178 Україна, МПК А 21 D 8/02 ; заявник та патентовласник Сафонова О. М., Гавриш Т. В., Перцевий Ф. В., Панченко І. А. (Україна). No 2001117630; заявл. 08.11.2011; опубл. 15.10.2012, бюл. № 10. Simakova O., Korenets Yu., Yudina T., Nazarenko I., Goriainova Iu. (2018). Examining a possibility of using purple amaranth in the technology for products made of yeast dough. Eastern European Journal of Enterprise technologies: Technology and equipment of food production, vol. 2, no. 11 (92), pp. 57 – 64. doi : 10.15587/1729-4061.2018.127173.

143. Сирохман І.В., Лозова Т.М. Наукові спрямування у поліпшенні споживних властивостей та якості борошняних кондитерських виробів. Наук. праці НУХТ. 2008. № 25. С. 40 – 43.

144. Павлюк Р.Ю. Активация рослинних біологічно активних речовин фізичними методами : монографія. Харків, 2010. 157 с.

145. Mykhaylov V., Samokhvalova O., Kucheruk Z., Kasabova K., Simakova O., Goriainova Iu., Rogovaya A., Choni I. (2019). Influence of microbial polysaccharides on the formation of structure of protein-free and gluten-free flour-based products. Eastern European Journal of Enterprise technologies: Technology and equipment of food production, vol. 6, no. 11 (102), pp. 23–32. doi : 10.15587/1729-4061.2019.184464.

146. Сафонова О.М., Гавриш Т.В., Перцевий Ф.В., Панченко І.А. Спосіб одержання дріжджового тіста : Пат. 50179 Україна, МПК А 21 D 8/02 ; заявник та патентовласник Сафонова О. М., Гавриш Т. В., Перцевий Ф. В., Панченко І. А. (Україна). No 2001117630; заявл. 08.11.2011; опубл. 15.10.2012, бюл. № 10.

147. Korenets Yu., Goriainova Yu., Nykyforov R., Nazarenko I., Simakova O. (2017). Substantiation of feasibility of using black chokeberry in the technology of products from shortcake dough. Eastern European Journal of Enterprise technologies. Technology and equipment of food production, vol. 2, no. 10 (86), pp. 25 – 31.

148. Гурський П.В., Горальчук А.Б., Пивоваров П.П., Гринченко О.О., Погожих І.І., Полевич В.В. Реологічні методи дослідження сировини і харчових продуктів та автоматизація розрахунків реологічних характеристик. Харків : Харків. держ. ун-т харч. і торгівлі, 2006. 63 с.

149. Дорохович В.В. Наукове обґрунтування та розроблення технологій борошняних кондитерських виробів спеціального дієтичного призначення : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.16 / Київ. нац. торг-екон. ун-т. Київ, 2010. 39 с.

150. Стадник І.Я., Паньків Ю.Ю., Чорна Н.В., Лісовська Т.О. Дискретно-імпульсне змішування борошняних компонентів. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наукових праць / відпов. ред. О.І. Черевко. Х.: ХДУХТ, 2020. Вип. 1 (31). С. 157

151. Стадник І.Я., Лісовенко О.Т. Процеси та машини для замішування тіста. Тернопіль: видавництво ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 212 с.

152. Патент України 124070, МПК А21D 8/02, А21С 1/00. Спосіб приготування опари. Стадник І.Я., Паньків Ю.Ю.; заявник і власник патенту Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. № а201902245; заявл. 05.03.2019; опубл. 14.0.2021. Бюл. № 28/2021. 3 с.

153. Патент 134226 Україна, МПК А01С 1/02, В01F 7/00. Змішувач напіврідких фабрикатів. Стадник І.Я., Паньків Ю.Ю., Лясота О.М. ; заявник і власник патенту Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. № u201811745; заявл. 28.11.2018; опубл. 10.05.2019. Бюл. № 9/2019. 3 с.

154. Патент 137278 Україна, МПК А01С 1/02, В01F 7/00. Змішувач напівфабрикатів. Стадник І.Я., Паньків Ю.Ю., Гіджеліцький В.М. ; заявник і власник патенту Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. № u2019003951; заявл. 15.04.2019; опубл. 10.10.2019. Бюл. № 19/2019. 3 с.

155. Патент 137426 Україна, МПК А01С 1/02. Спосіб приготування опари. Стадник І.Я., Паньків Ю.Ю. ; заявник і власник патенту Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. № u201902242; заявл. 05.03.2019; опубл. 25.10.2019. Бюл. № 20/2019. 3 с.

156. Паньків Ю., Стадник І.Я. Основні закономірності процесу перемішування : тези доп. VII Міжн. наук.-техн. конф. «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції», 6-7 листопада 2018 р., м. Київ. К.: НУХТ, 2018 р. С. 36 – 37.

157. Піддубний В.А., Паньків Ю.Ю., Стадник І.Я., Петриченко Є.А. Інтегровані рішення і апаратурне оформлення перехідних процесів змішування компонентів у псевдошарі. Збірник наукових праць. Обладнання та технології харчових виробництв. 2021. № 1(42). С. 82 – 90. DOI : 10.33274/2079-4827-2021-42-1-82-90. ISSN 2079-482.

158. Долинский А.А., Басок Б.И., Гулый И.С., Накорчевский А.И., Шурчкова Ю.А. Дискретно-импульсный ввод энергии в теплотехнологиях. Київ: Наукова думка, 1996. 208 с.

159. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Теоретическое обоснование принципа дискретно-импульсного введения энергии. Промышленная теплотехника. 1995. Т. 17. № 5. С. 3 – 29.

160. Манастирний М.М., Корнієнко Я.М., Любека А.М. Оцінка ефективності роботи механічного диспергатора. Науковий журнал – Молодий вчений. 2017. № 11 (51). С. 6 – 9.

161. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Теоретическое обоснование принципа дискретно-импульсного введения энергии. Модель динамики одиночного парового пузырька. Промышленная теплотехника. 1995. Т. 17. № 5. С. 3 – 23.

162. Манастирний М.М., Корнієнко Я.М., Любека А.М., Сачок Р.В., Мартинюк О.В. Математична модель руху рідини по поверхні механічного диспергатора. Науковий журнал – Молодий вчений. 2018. № 4 (56). С. 8 – 14.

163. Стадник І.Я., Паньків Ю. Змішувач рідких компонентів : тези доп. Міжн. наук.-техн. конф. до 60 річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175 річчя з дня народження Івана Пулюя, (Тернопіль, 14–15 травня 2020 року). Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2020. С. 232.

164. Стадник І.Я., Паньків Ю.Ю. Метод інтенсивного формування фазового контакту компонентів при змішуванні. Volumul include materialele Simpozionului Științific Internațional „Realizări și perspective în inginerie agrară și transport auto” dedicat aniversării a 85 ani de la fondarea Universității Agrare de Stat din Moldova. Chișinău : UASM, 2018. Vol. 51. P. 78–82.

165. Паньків Ю., Стадник І., Василів В. Динаміка міжфазової взаємодії змішувально-збивального процесу : тези доп. VIII Міжн. наук.-практ. конф. вчених, аспірантів і студентів. «Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства», (м. Київ, 17 квітня 2019 р. – 18 квітня 2019 р.). К. : РВВ НУБіП України, 2019. С. 275.

166. Стадник І.Я., Пилипець О.М., Паньків Ю. Обґрунтування параметрів надійності і довговічності машини статистичним моделюванням : тези доп. Міжн. наук. конф. «Іван Пулюй: життя в ім'я науки та України» (до 175-ліття від дня народження), 28-30 вересня 2020 р. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Тернопіль: ФОП Паляниця А.В. 2020. С. 101.

167. Карпушкін С.В., Глебов О.А. Теорія інженерного експерименту. Тамбов: ФГБОУ ВО «Тамбовський державний технічний університет», 2017. 81 с.

168. Веденяпін Г.В. Обща методика експериментальних досліджень і обробки даних. М.: Колос, 1973. 159 с.

169. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимізація процесів технологій методами планування експериментів / Ф.С. Новик,. М.: Машиностроєння, Софія: Техніка, 1980. 304 с.

170. Шенк Х. Теорія інженерного експерименту. М. : Мир, 1972. 374 с.

171. Бронштейн І.Н., Семендяєв К.А. Справочник по математиці для інженерів і учасників втузов М.: Наука Главная редакция физико-математической литературы, 1981. 706 с.

172. Крутов В.І., Попов В.В. Основи наукових досліджень / под ред. В.І. Крутова. М. : Высшая школа, 1989. 363 с.

173. Сан ПИН 2.3.4.545-96 Производство хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий

174. Дробот В.І. Довідник з технології хлібопекарського виробництва. - Київ. ТОВ "Руслана", 1998.

175. Зверева Л.Ф., Немцов З.С., Волкова Н.П. Технология и теххимический контроль хлебопекарного производства.- М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983

176. Паньків Ю. Визначення геометричних параметрів змішувача : тези доп. II Міжн. студентської наук.-техн. конф. «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання». Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 25-26 квітня 2019 р.). С. 16.

177. Паньків Ю., Стадник І., Василів В. Визначення поверхні фазового контакту у процесах змішування сумішей : тези доп. VIII Міжн. наук.-практ. конф. вчених, аспірантів і студентів. «Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства», (м. Київ, 17 квітня 2019 р. – 18 квітня 2019 р.). К. : РВВ НУБіП України, 2019. С. 272.

178. Ройтер И.М. Хлебопекарное производство, справочник Т. 2. М: Пищевая промышленность, 1977.

179. ГСТУ 46.004-99 Борошно пшеничне. Технічні умови.

180. Дробот В.І. Довідник хлібопекарського виробництва. Київ. ТОВ "Руслана", 2018.

181. Паньків Ю.Ю., Стадник І.Я. Визначення геометричних параметрів змішування : тези доп. XII Міжн. наук.-практ. конф. «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький, 6-8 листопада 2019 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С. 18 – 19.

182. ДСТУ 4812:2007 Дріжджі хлібопекарські пресовані. Технічні умови

183. Доломакін, Ю.Ю. Структурно-механічні характеристики рідких хлібопекарських опар // Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентоздатності:

матеріали IV Міжнародної спеціалізованої науково-практичної конференції, 8 вересня 2015 р., м. Київ. К.: НУХТ, 2015. С. 59 – 61.

184. Гвоздєв В.О. Обґрунтування технологічного процесу та конструктивних параметрів швидкохідного гвинтового змішувача кормів. : дис. канд. техн. наук : 05.05.11 / Гвоздєв Віктор Олександрович – Глеваха, 2008. – 193 с.

185. Гришков Е.Е. Обоснование параметров и режимов работы спирального смесителя при приготовлении кормов из побочных продуктов крахмалопаточного производства: дис. канд. техн. наук :05.20.01 / Гришков Евгений Евгеньевич – Рязань, 2015. – 237 с.

186. Долинский А.А., Басок Б.И., Гулый И.С., Накорчевский А.И., Шурчкова Ю.А. Дискретно-импульсный ввод энергии в теплотехнологиях. Київ : Наукова думка. 1996. 208 с.

187. Дущенко В.П. Кинетика и динамика внутреннего тепло- и массопереноса в твердых дисперсных системах. Дис. д-ра. техн. наук. Киев, 1974. 320 с.

188. Львов Ф.П. Тепло- и массообмен при сушке в кипящем, взвешенном, плотном и виброкипящих слоях. // В кн.: Тепло- и массообмен: Материалы дискуссии III Всесоюзн. сов. по тепло- и массопереносу. Минск: ИТМО, 1969. Т. 11. С. 105 – 124.

189. Веде В.Е., Пономаренко А.В. Определение коэффициента массоотдачи в оформлении гетерогенно-каталитических процессов. Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2014. № 2/6(68). С. 42 – 46.

190. Zanoni V. A study of the bread-baking process. I: a phenomenological model / V. Zanoni, C. Peri, S. Pierucci // Journal of Food Engineering. 1993. # 19. P. 389 – 398.

191. Айзерман А.А. Классическая механика. Главн ред. физ.-мат. лит. М.: «Наука», 1974. 368 с.

192. Нигматулин Р.И. Динамика многофазовых сред. Главн. ред. физ.-мат. лит. М.: «Наука», 1987. – 464 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковано основні результати дисертаційної роботи

1. Карпик Г., Стадник І., **Паньків Ю.** Оцінка однорідності суміші при змішуванні. Научно-практический журнал «Хранение и переработка зерна». Дніпро. 2018. № 9 (228). С. 49 – 51.
2. Стадник І.Я., **Паньків Ю.Ю.** Метод інтенсивного формування фазового контакту компонентів при змішуванні. Volumul include materialele Simpozionului Științific Internațional „Realizări și perspective în inginerie agrară și transport auto” dedicat aniversării a 85 ani de la fondarea Universității Agrare de Stat din Moldova. Chișinău : UASM, 2018. Vol. 51. P. 78–82.
3. Igor Yaroslavovych Stadnyk, **Julia Pankiv**, Petro Havrylko, Halina Karpyk. Researching of the concentration distribution of soluble layers when mixed in the weight condition. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. Slovak. 2019. Vol. 13. No. 1. P. 581 – 592.
4. Стадник І.Я., **Паньків Ю.Ю.**, Чорна Н.В., Лісовська Т.О. Дискретно-імпульсне змішування борошняних компонентів. Прогресивні техніки та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наукових праць / відпов. ред. О.І. Черевко. Х.: ХДУХТ, 2020. Вип. 1 (31). С. 157 – 171.
5. **Паньків Ю.Ю.**, Стадник І.Я., Василів В.П., Кос Т.С. Динаміка міжфазової взаємодії між компонентами при перемішуванні. Продовольчі ресурси: зб. наук. праць Інституту продовольчих ресурсів НААН. К.: ТОВ «БАРМИ». Т. 8(2020). № 15. С. 174 – 184.
6. Стадник І.Я., **Паньків Ю.Ю.**, Піддубний В.А. Визначення питомої потужності при змішуванні компонентів. Наукові праці Національного університету харчових технологій (категорія Б). Т. 26. №. 6. С. 143 – 153.
7. Піддубний В.А., **Паньків Ю.Ю.**, Стадник І.Я., Петриченко Є.А. Інтегровані рішення і апаратне оформлення перехідних процесів змішування компонентів у псевдошарі. Зб. наук. праць. Обладнання та технології харчових виробництв. 2021. № 1(42). С. 82 – 90.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертаційної роботи

8. **Паньків Ю.**, Стадник І.Я. Основні закономірності процесу перемішування : тези доп. VII Міжн. наук.-техн. конф. «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції», 6-7 листопада 2018 р., м. Київ. К.: НУХТ, 2018 р. С. 36 – 37.

9. Стадник І.Я., **Паньків Ю.Ю.** Розроблення конструкції змішувача для інтенсифікації перемішування компонентів : тези доп. VII Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», (Тернопіль, 28–29 листоп. 2018.) в 3-х томах / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2018. Т. 1. С. 146 – 147.

10. **Паньків Ю.**, Стадник І., Василів В. Визначення поверхні фазового контакту у процесах змішування сумішей : тези доп. VIII Міжн. наук.-практ. конф. вчених, аспірантів і студентів. «Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства», (м. Київ, 17 квітня 2019 р. – 18 квітня 2019 р.). К. : РВВ НУБіП України, 2019. С. 272.

11. Паньків Ю. Визначення геометричних параметрів змішувача : тези доп. II Міжн. студентської наук.-техн. конф. «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання». Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 25-26 квітня 2019 р.). С. 16.

12. **Паньків Ю.**, Стадник І., Василів В. Динаміка міжфазової взаємодії змішувально-збивального процесу : тези доп. VIII Міжн. наук.-практ. конф. вчених, аспірантів і студентів. «Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства», (м. Київ, 17 квітня 2019 р. – 18 квітня 2019 р.). К. : РВВ НУБіП України, 2019. С. 275.

13. **Паньків Ю.Ю.**, Стадник І.Я. Визначення геометричних параметрів змішування : тези доп. XII Міжн. наук.-практ. конф. «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький, 6-8 листопада 2019 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С. 18 – 19.

14. Стадник І.Я., Пилипець О.М., **Паньків Ю.** Обґрунтування параметрів надійності і довговічності машини статистичним моделюванням : тези доп. Міжн. наук. конф. «Іван Пулюй: життя в ім'я науки та України» (до 175-ліття від дня народження), 28-30 вересня 2020 р. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Тернопіль: ФОП Паляниця А.В. 2020. С. 101.

15. Стадник І.Я., **Паньків Ю.** Змішувач рідких компонентів : тези доп. Міжн. наук.-техн. конф. до 60 річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175 річчя з дня народження Івана Пулюя, (Тернопіль, 14–15 травня 2020 року). Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2020. С. 232.

16. Паньків Ю. Характеристика процесів змішування : тези доп. IV Міжн. студентської наук.-техн. конф. «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання». Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 28-29 квітня 2021 р.) С. 111 – 112.

Наукові праці, які додатково розкривають результати дисертаційної роботи

17. Патент України 124070, МПК А21D 8/02, А21С 1/00. Спосіб приготування опари. Стадник І.Я., **Паньків Ю.Ю.**; заявник і власник патенту Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. № а201902245; заявл. 05.03.2019; опубл. 14.0.2021. Бюл. № 28/2021. 3 с.

18. Патент 134226 Україна, МПК А01С 1/02, В01F 7/00. Змішувач напіврідких фабрикатів. Стадник І.Я., **Паньків Ю.Ю.**, Лясота О.М. ; заявник і власник патенту Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. № u201811745; заявл. 28.11.2018; опубл. 10.05.2019. Бюл. № 9/2019. 3 с.

19. Патент 137278 Україна, МПК А01С 1/02, В01F 7/00. Змішувач напівфабрикатів. Стадник І.Я., **Паньків Ю.Ю.**, Гіджеліцький В.М. ; заявник і власник патенту Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. № u2019003951; заявл. 15.04.2019; опубл. 10.10.2019. Бюл. № 19/2019. 3 с.

21. Патент 137426 Україна, МПК А01С 1/02. Спосіб приготування опари.
 Стадник І.Я., **Паньків Ю.Ю.**; заявник і власник патенту Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. № u201902242; заявл. 05.03.2019; опубл. 25.10.2019. Бюл. № 20/2019. 3 с.

Додаток Б.1.1

Загальна блок-схема технології виробництва хлібобулочних виробів



Додаток Б.2.1

Сировина для приготування борошняного тіста

Товарознавча характеристика сировини			
			
Пшеничне борошно. Пшеничне борошно. Зберігають при температурі 15-16 °С 6-8 місяців.	Сіль. Застосовують ольовий розчин, концентрація 5%.	Цукор-пісок. Він містить 99,7% сахарози і 0,14% воологи.	Дріжджі пресовані. Розчиняють у воді температурою 30-35 °С (1:3, 1:4).
			
Сливочне масло. Перед застосуванням зачищують, проциджують через сито.	Яйце. Білок – 56-62% (від маси яйця). Жлвток - 28-32% Скорлупа - 10-12%.	Сливки. (Вміст білків – 0,7, жирів – 26,0, вуглеводів – 13,5, сахарози 12,0.	

Додаток Б.3.1

Машини для просівання борошна



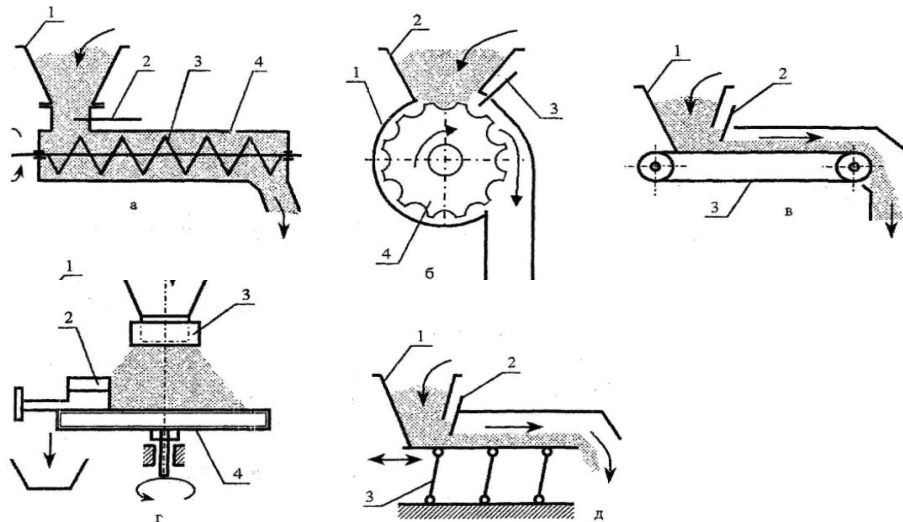
а – відцентровий ротрний просіював; б – просіював вібраційний (вібросито);
в – просіював сипких матеріалів для вакуумних ліній

Способи змішування компонентів



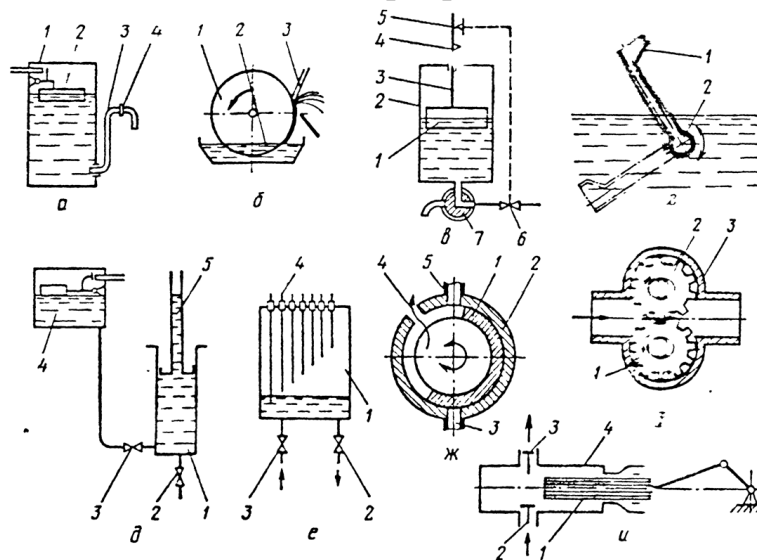
Додаток Б.4.1

Основні схеми дозаторів сипких матеріалів



- а – шнековий: 1 – бункер; 2 – дозуюча заслінка; 3 – шнек; 4 – корпус;
 б – барабанний: 1 – корпус; 2 – бункер; 3 – дозуюча заслінка; 4 – барабан;
 в – стрічковий: 1 – бункер; 2 – дозуюча заслінка; 3 – стрічка; г – тарілчастий:
 1 – бункер; 2 – шкребок; 3 – регулююча манжета; 4 – тарілка; д – вібраційний:
 1 – бункер; 2 – регулююча заслінка; 3 – гнучка опора

Основні схеми дозаторів рідких компонентів



- а) – дросельний: 1 – ємність; 2 – поплавець; 3 – трубка; 4 – дросель;
 б) – барабанний: 1 – барабан; 2 – ємність; 3 – шкребок; в) – поплавковий:
 1 – поплавець; 2 – ємність; 3 – стрижень; 4 – контакт рухливий;
 5 – контакт нерухомий; б) – електромагнітний клапан; 7 – триходовий клапан;
 г) – ковшовий: 1 – ківш; 2 – трубка; д) – фіксованого рівня: 1 – ємність;
 2 – випускний клапан; 3 – впускний клапан; 4 – бачок постійного рівня;
 5 – регулююча трубка; е) – електродний: 1 – ємність; 2, 3 – електромагнітний
 клапан; 4 – електроди; ж) – стаканчиковий: 1 – обертовий стакан; 2 – корпус;
 3, 4, 5 – отвори; з) – шестеренний: 1, 2 – шестірні; 3 – корпус; і) – поршневий:
 1 – поршень; 2 – усмоктувальний клапан; 3 – нагнітальний клапан

Додаток Б.5.3



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **124070** (13) **C2**

(51) МПК (2021.01)

A21D 8/02 (2006.01)**A21C 1/00**

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2019 02245</p> <p>(22) Дата подання заявки: 05.03.2019</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 15.07.2021</p> <p>(41) Публікація відомостей про заяву: 10.09.2020, Бюл.№ 17</p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 14.07.2021, Бюл.№ 28</p>	<p>(72) Винахідник(и): Стадник Ігор Ярославович (UA), Паньків Юлія Юріївна (UA)</p> <p>(73) Володілець (володілці): ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 113924 C2, 27.03.2017 UA 107829 U, 24.06.2016 RU 2262235 C1, 20.10.2005 RU 2293466 C2, 20.02.2007 RU 2344603 C1, 27.01.2009 US 20100255151 A1, 07.10.2010 US 4107341 A, 15.08.1978 JP H05276857 A, 26.10.1993</p>
--	--

(54) СПОСІБ ПРИГОТУВАННЯ ОПАРИ**(57) Реферат:**

Винахід стосується способу приготування опари, що передбачає змішування борошна, води та дріжджової суспензії, причому компоненти дозують за зміщеним режимом і на першому етапі проводять дозування борошна з частотою обертання робочого органу (0,5-0,7) від максимальної частоти n , на другому етапі через 5 секунд починають дозування дріжджової суспензії з відповідною швидкістю та частотою обертання робочого органу (0,5-0,7) від максимальної частоти n , на третьому етапі через 35 секунд робочий орган сповільнюють до частоти (0,4-0,2) n і на 65 секунді завершують дозування, при цьому тривалість кожного з етапів складає відповідно (0,5-0,7) t , (0,3-0,2) t та (0,2-0,1) t від загального часу t на приготування опари.

UA 124070 C2



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **134226** (13) **U**(51) МПК (2019.01)
A21C 1/02 (2006.01)
B01F 7/00МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: u 2018 11745	(72) Винахідник(и): Стадник Ігор Ярославович (UA), Паньків Юлія Юріївна (UA), Лясота Оксана Михайлівна (UA)
(22) Дата подання заявки: 28.11.2018	(73) Власник(и): ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.05.2019	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.05.2019, Бюл.№ 9	

(54) ЗМІШУВАЧ РІДКИХ НАПІВФАБРИКАТІВ**(57) Реферат:**

Змішувач рідких напівфабрикатів має корпус, вертикальний вал, на якому розміщений ротор з вхідним отвором та вихідними каналами, діаметр вхідного отвору для оброблюваного продукту регулюється змінною шайбою, всередині ротора встановлено два циліндри радіусів відповідно $0,2...0,25D$ та $0,35...0,4D$ із вісьма наскрізними каналами, циліндр радіусом $0,35...0,4D$ встановлений з ексцентриситетом. Внутрішній діаметр $D_{р.в.}$ ротора залежить від готового об'єму рідкої суміші по завантаженню $V_{гс}$ та висоти шару суміші в роторі h_c і визначається

$$D_{р.в.} = \sqrt{\frac{4V_{гс}}{\pi h_c}}$$

де $V_{гс}$ - об'єм готової суміші, який визначається рівнянням:

$$V_{гс} = \frac{\pi d^2}{4} h_c;$$

h_c - шар рідкої суміші в роторі, м;

d - діаметр циліндричної ємності, м.

UA 134226 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **137278** (13) **U**
 (51) МПК (2019.01)
A21C 1/00
B01F 7/00

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
 ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
 СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2019 03951</p> <p>(22) Дата подання заявки: 15.04.2019</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.10.2019</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.10.2019, Бюл.№ 19</p>	<p>(72) Винахідник(и): Стадник Ігор Ярославович (UA), Паньків Юлія Юріївна (UA), Гіджеліцький Віталій Миколайович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001 (UA)</p>
--	--

(54) ЗМІШУВАЧ НАПІВФАБРИКАТІВ

(57) Реферат:

Змішувач напівфабрикатів має циліндричний бункер для сировини із закріпленим гвинтовим конвеєром з патрубком, вставленим в циліндричну робочу камеру, зверху якої є привід для обертання конуса з тангенціальними вирізами і встановленими механічними форсунками по горизонталі зліва і справа з підведеним трубопроводом від насоса-дозатора. Привід виконаний з можливістю приведення в обертання тарілчастого робочого органу з отворами по периметру відповідного діаметра d , які знаходяться в залежності від висоти h й ділильного кола D тарілчастого робочого органу відносно центра осі отвору та розраховуються відповідною формулою.

UA 137278 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **137426** (13) **U**
 (51) МПК
A21D 8/02 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
 ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
 СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2019 02242 (22) Дата подання заявки: 05.03.2019 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.10.2019 (46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.10.2019, Бюл.№ 20</p>	<p>(72) Винахідник(и): Стадник Ігор Ярославович (UA), Паньків Юлія Юріївна (UA) (73) Власник(и): ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001 (UA)</p>
--	--

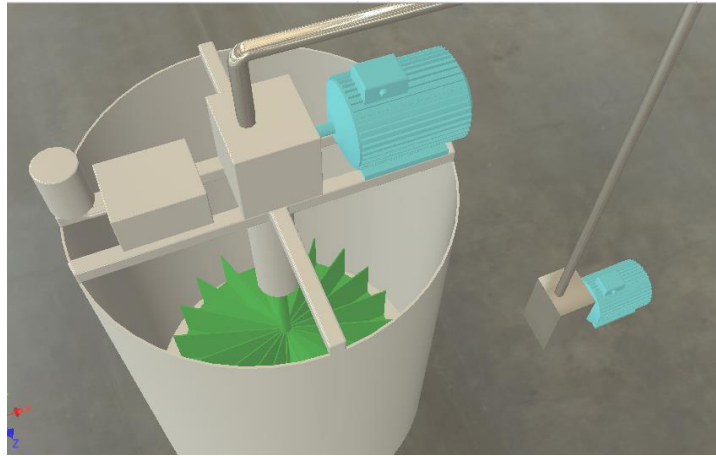
(54) СПОСІБ ПРИГОТУВАННЯ ОПАРИ**(57) Реферат:**

Спосіб приготування опари включає змішування борошна, води та дріжджової суспензії. Компоненти дозують за зміщеним режимом і на першому етапі проводять дозування борошна з частотою обертання робочого органа $(0,5 \dots 0,7)$ від максимальної частоти n . На другому етапі через 5 секунд починають дозування дріжджової суспензії з відповідною швидкістю та частотою обертання робочого органа $(0,5 \dots 0,7)$ від максимальної частоти n . На третьому етапі через 35 секунд робочий орган сповільнюють до частоти $(0,4 \dots 0,2)n$ і на 65 секунд завершують дозування. При цьому тривалість кожного з етапів складає відповідно $(0,5 \dots 0,7)t$, $(0,3 \dots 0,2)t$ та $(0,2 \dots 0,1)t$ від загального часу t на приготування опари.

UA 137426 U

Додаток Б.6.3

3D моделі загального вигляду змішувача



Додаток В.1.1

Загальний вигляд змішувача та панелі керування електродвигунами



Додаток В.2.1

Технічна характеристика лабораторної установки

Показники технічної характеристики	Значення показника
Тип змішувача	Дискретно-імпульсний
Діаметр робочої камери, м	0,25
Висота робочої камери, м	0,55
Кількість тарілчастих дисків, шт.	3
Діаметр тарілчастих дисків, м	0,23; 0,21; 0,19
Межі регулювання зазору між тарілчастими дисками, м	0,1...0,15
Частота обертання тарілчастих дисків, об/хв	160; 180; 200
Межі зміни секундної подачі борошна, кг/с	0...0,08
Межі зміни секундної подачі водно-дріжджової суміші, кг/с	0...0,05
Частота обертання мішалки, об/хв	160; 180; 200
Частота обертання відцентрового електронасоса, об/хв	120, 200, 280
Напруга живлення відцентрового електронасоса, В	-12
Споживча потужність відцентрового електронасоса, Вт	10

Додаток В.3.1

Технічна характеристика лабораторного станду

Показники технічної характеристики	Значення показника
Максимальна подача відцентрового насоса, м ³ /с	0,0018
Максимальний тиск відцентрового насоса, МПа	0,04
Діаметр робочої насадки, мм	15; 18; 23; 25
Діаметр камери змішування, мм	40
Величина регульованого зазору між робочою насадкою та стінкою камери змішування, мм	15...30

Додаток В.4.2

Загальний вигляд електронних ваг



Загальний вигляд електронного пристрою GM 533A
для вимірювання температури рідин



Додаток В.5.3

Методика планування експериментів і статистичної обробки
експериментального масиву даних

Оскільки при проведенні експериментів змінні незалежні фактори неоднорідні і мають різні одиниці вимірювання, а числа, що виражають значення цих факторів – різні порядки, то їх приводили до єдиної системи обрахунків шляхом переходу від натуральних величин до кодованих.

Зв'язок між кодованими x_i та натуральними X_i змінними факторами встановлювали за залежністю [137]

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i}, \quad (1)$$

де X_{i0} – натуральне значення i -го фактору на нульовому рівні;

ΔX_i – інтервал варіювання i -го фактору.

Нульовий рівень, або середнє значення кожного вхідного фактора, визначали за формулою [137]

$$X_0 = \frac{X_{max} + X_{min}}{2}, \quad (2)$$

де X_0 , X_{max} , X_{min} – відповідно, числове значення нульового, верхнього та нижнього рівня вхідного фактора.

Визначали інтервали варіювання факторами [137]:

$$\Delta X_i = \frac{X_{max} - X_{min}}{2}. \quad (3)$$

Коефіцієнти апроксимуючого полінома, представленого у вигляді повного квадратичного рівняння, при умові ортогональності і симетрії план-матриці проведення експериментальних досліджень з визначення максимальної робочої висоти h_{pe} утвореної суміші, коефіцієнта однорідності k_{oe} приготовленої рідкої опари та висоти h_{oe} бродіння опари визначали за загальними формулами [143]:

- вільний член b_0 рівняння регресії та коефіцієнти b_i кожного i -го фактора

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{N}; \quad (4)$$

- коефіцієнти взаємодії вхідних факторів b_{ij}

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u}{N}, \quad (5)$$

де x_{iu} – значення кодової змінної у відповідному стовпці симетричної план-матриці; \bar{y}_u – середній результат u -го дослід; u – порядковий номер дослід; $i; j, k$ – відповідно, номер фактора та номер фактора, відмінного від i -го; N – кількість проведених експериментів.

Статистичну значимість коефіцієнтів b_i кожного окремого фактора та коефіцієнтів взаємодії b_{ij} рівняння регресії проводили за t -критерієм Ст'юдента та визначали у такій послідовності [144]:

- визначали дисперсію похибок дослідів у рядках плану

$$S_u^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_{uj} - \bar{y}_u)^2, \quad (6)$$

де n – кількість паралельних дослідів (повторності одного експерименту);

$$j = 1, 2, \dots, n;$$

- визначали дисперсію відтворення дослідів

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N S_u^2, \quad (7)$$

- визначали похибку відтворення

$$S_y = \sqrt{S_y^2}, \quad (8)$$

- визначали умову значимості коефіцієнтів b_i рівняння регресії

$$b_{i(jk)} > t_T S_y / \sqrt{Nn}, \quad (9)$$

де t_T – табличне значення коефіцієнта Ст'юдента, яке вибирається з таблиці залежно від ступеня відповідності f та рівня значимості α [144].

Ступень відповідності визначається

$$f = (n-1)N, \quad (10)$$

де n – число повторності експерименту (паралельні дослідів за одних і тих рівнів варіювання факторів).

Якщо умова значимості (10) не виконується, то такий коефіцієнт b_i рівняння регресії приймали рівним нулю, а відповідний член x_i рівняння регресії виключали.

Перевірку адекватності вибраної математичної моделі експериментальним даним, тобто відповідність математичної моделі реальному процесу, або отриманому експериментальному масиву даних здійснювали за F -критерієм Фішера наступним чином [145]:

- визначали дисперсію адекватності:

$$S_{ag}^2 = \frac{n}{N - g'} \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \tilde{y}_u)^2, \quad (11)$$

де $N - g'$ – число степенів вільності дисперсії адекватності; g' – число значимих коефіцієнтів в рівнянні регресії; \bar{y}_u – середнє значення відгуку в u -му досліді; \tilde{y}_u – значення відгуку в u -й точці плану, обчислене за рівнянням регресії; визначали розрахунковий критерій адекватності емпіричної моделі, або критерій Фішера F_p

$$F_p = \frac{S_{ag}^2}{S_y^2}, \quad (12)$$

де S_y^2 – дисперсія відтворення дослідів;

- визначали табличне значення критерію Фішера F_T за заданим рівнем значимості α і двома степенями відповідності $f_{ag} = N - g$ та $f_y = N(n - 1)$ [131].

Умову адекватності математичної моделі перевіряли згідно нерівності

$$F_p < F_T. \quad (13)$$

Отримане значення F_p порівнювали з табличним F_T . Якщо умова $F_p < F_T(0,05, f_{ag}, f_y)$ виконувалась, тобто розрахункове значення F_p -критерію Фішера було менше табличного F_T при 5 %-му рівні значущості, числі степені вільності дисперсії адекватності $f_{ag} = N - g$ та числа степені вільності дисперсії відтворюваності $f_y = N(n - 1)$, тоді рівняння регресії є адекватним експериментальним даним.

Додаток В.6.3

Рандомізована несиметрична план-матриця Бокса-Бенкіна планованого факторного експерименту типу ПФЕ 3^3

№ екс.	Вхідні фактори та їх взаємодія									Параметр оптимізації	
	x_1	x_2	x_3	x_{12}	x_{13}	x_{23}	x_{11}	x_{22}	x_{33}	h_p	k_o
1	+	+	0	+	0	0	+	+	0	h_{1p}	k_{1o}
2	-	+	0	-	0	0	+	+	0	h_{2p}	k_{2o}
3	+	-	0	-	0	0	+	+	0	h_{3p}	k_{3o}
4	-	-	0	+	0	0	+	+	0	h_{4p}	k_{4o}
5	+	0	+	0	+	0	+	0	+	h_{5p}	k_{5o}
6	-	0	+	0	-	0	+	0	+	h_{6p}	k_{6o}
7	+	0	-	0	-	0	+	0	+	h_{7p}	k_{7o}
8	-	0	-	0	0	0	+	0	+	h_{8p}	k_{8o}
9	0	+	+	0	0	+	0	+	+	h_{9p}	k_{9o}
10	0	-	+	0	0	-	0	+	+	h_{10p}	k_{10o}
11	0	+	-	0	0	-	0	+	+	h_{11p}	k_{11o}
12	0	-	-	0	0	+	0	+	+	h_{12p}	k_{12o}
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	h_{13p}	k_{13o}
14	0	+	0	0	0	0	0	+	0	h_{14p}	k_{14o}
15	-	0	-	0	+	0	+	0	+	h_{15p}	k_{15o}

Додаток В.7.3

Загальний вигляд електронного тахометра DT-2234C⁺



Додаток В.8.3

План-матриця проведення експерименту типу ПФЕ 3^2

№ досл.	Рівні факторів			Взаємодія факторів $x_1 x_2$	Параметр оптимізації, Y			Середні значення Y $Y_{сер.}$
	x_0	x_1	x_2		Повторюваність			
					1	2	3	
1(4)	+1	-1	+1	-1	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	$Y_{4с}$
2(2)	+1	+1	-1	-1	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	$Y_{2с}$
3(8)	+1	+1	0	0	Y_{81}	Y_{82}	Y_{83}	$Y_{8с}$
4(1)	+1	-1	-1	+1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	$Y_{1с}$
5(5)	+1	+1	+1	+1	Y_{51}	Y_{52}	Y_{53}	$Y_{5с}$
6(9)	+1	0	0	0	Y_{91}	Y_{92}	Y_{93}	$Y_{9с}$
7(7)	+1	-1	0	0	Y_{71}	Y_{72}	Y_{73}	$Y_{7с}$
8(3)	+1	0	-1	0	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	$Y_{3с}$
9(6)	+1	0	+1	0	Y_{61}	Y_{62}	Y_{63}	$Y_{6с}$

Додаток В.9.3

Вимірювання висоти h_{pe} опари бродіння

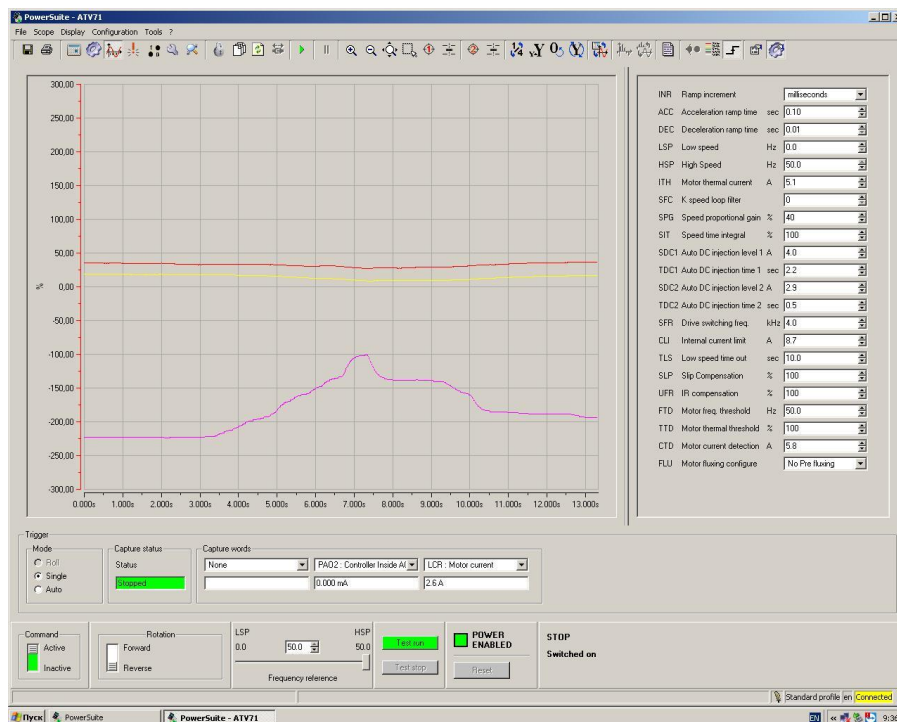
Додаток В.10.4

Загальний вигляд аналогово-цифрового перетворювача Altinar-71 та персонального комп'ютера



Додаток В.11.4

Загальний вигляд віртуального монітора



Додаток Г.1.1

Порядок перетворення та спрощення залежності (3.26)

$$h_c = 4 \sum_{i=1}^n V_k / \pi D_1^2;$$

$$h_c \geq \frac{4 \sum_{i=1}^n V_k}{\pi \left(\frac{120 \sqrt{g(h_y - h_c)}}{\pi n_\delta} \right)^2};$$

$$h_c \geq \frac{4 \left(\frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\epsilon}{\rho_\epsilon} \right)}{\pi \left(\frac{120 \sqrt{g(h_y - h_c)}}{\pi n_\delta} \right)^2};$$

$$h_c \geq \frac{4\pi^2 n_\delta^2 \left(\frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\epsilon}{\rho_\epsilon} \right)}{120^2 \pi g(h_y - h_c)};$$

$$h_c \geq \frac{4\pi n_\delta^2 \left(\frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\epsilon}{\rho_\epsilon} \right)}{120^2 g(h_y - h_c)};$$

Додаток Г.2.1

Порядок перетворення та спрощення залежності (3.28)

$$h_c \geq \frac{4\pi n_\delta^2 \left(\frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\epsilon}{\rho_\epsilon} \right)}{120^2 g(h_y - h_c)};$$

$$h_c \geq \frac{4\pi n_\delta^2 \left(\frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\epsilon}{\rho_\epsilon} \right)}{120^2 g \left(\frac{4}{\pi D_1^2} \left(\frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\epsilon}{\rho_\epsilon} \right) - \frac{D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n,y}) - h_c \right)};$$

$$\begin{aligned}
h_c &\geq \frac{4\pi n_\delta^2 \left(\frac{m_{\bar{\sigma}}}{\rho_{\bar{\sigma}}} + \frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\varepsilon}{\rho_\varepsilon} \right)}{120^2 g \frac{4}{\pi D_1^2} \left(\frac{m_{\bar{\sigma}}}{\rho_{\bar{\sigma}}} + \frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\varepsilon}{\rho_\varepsilon} \right) - 120^2 g \frac{D_1 \text{tg} \alpha_{n.y}}{6} (1 + \text{tg}^2 \alpha_{n.y}) - 120^2 g h_c}; \\
h_c &\left(3600 g \frac{4}{\pi D_1^2} \left(\frac{m_{\bar{\sigma}}}{\rho_{\bar{\sigma}}} + \frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\varepsilon}{\rho_\varepsilon} \right) - 3600 g \frac{D_1 \text{tg} \alpha_{n.y}}{6} (1 + \text{tg}^2 \alpha_{n.y}) - 3600 g h_c \right) \geq; \\
&\geq 4\pi n_\delta^2 \left(\frac{m_{\bar{\sigma}}}{\rho_{\bar{\sigma}}} + \frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\varepsilon}{\rho_\varepsilon} \right) \\
120^2 g h_c &\frac{4}{\pi D_1^2} \left(\frac{m_{\bar{\sigma}}}{\rho_{\bar{\sigma}}} + \frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\varepsilon}{\rho_\varepsilon} \right) - 120^2 g h_c \frac{D_1 \text{tg} \alpha_{n.y}}{6} (1 + \text{tg}^2 \alpha_{n.y}) - 120^2 g h_c^2 \geq; \\
&\geq 4\pi n_\delta^2 \left(\frac{m_{\bar{\sigma}}}{\rho_{\bar{\sigma}}} + \frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\varepsilon}{\rho_\varepsilon} \right) \\
120^2 g h_c^2 - 120^2 g h_c &\frac{4}{\pi D_1^2} \left(\frac{m_{\bar{\sigma}}}{\rho_{\bar{\sigma}}} + \frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\varepsilon}{\rho_\varepsilon} \right) + \\
&+ 120^2 g h_c \frac{D_1 \text{tg} \alpha_{n.y}}{6} (1 + \text{tg}^2 \alpha_{n.y}) - 4\pi n_\delta^2 \left(\frac{m_{\bar{\sigma}}}{\rho_{\bar{\sigma}}} + \frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\varepsilon}{\rho_\varepsilon} \right) \geq 0; \\
h_c^2 - h_c &\frac{4}{\pi D_1^2} \left(\frac{m_{\bar{\sigma}}}{\rho_{\bar{\sigma}}} + \frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\varepsilon}{\rho_\varepsilon} \right) + \\
&+ h_c \frac{D_1 \text{tg} \alpha_{n.y}}{6} (1 + \text{tg}^2 \alpha_{n.y}) - \frac{\pi n_\delta^2}{3600 g} \left(\frac{m_{\bar{\sigma}}}{\rho_{\bar{\sigma}}} + \frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\varepsilon}{\rho_\varepsilon} \right) \geq 0; \\
h_c^2 - h_c &\left[\frac{4}{\pi D_1^2} \left(\frac{m_{\bar{\sigma}}}{\rho_{\bar{\sigma}}} + \frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\varepsilon}{\rho_\varepsilon} \right) + \frac{D_1 \text{tg} \alpha_{n.y}}{6} (1 + \text{tg}^2 \alpha_{n.y}) \right] - \frac{\pi n_\delta^2}{3600 g} \left(\frac{m_{\bar{\sigma}}}{\rho_{\bar{\sigma}}} + \frac{m_\delta}{\rho_\delta} + \frac{m_\varepsilon}{\rho_\varepsilon} \right) \geq 0.
\end{aligned}$$

Додаток Г.3.1

Порядок спрощення та перетворення залежності (3.37)

$$\begin{aligned}
\omega_{\delta} &\leq \frac{4}{D_1} \sqrt{g \left[\frac{2}{\pi D_1^2} \left(\frac{m_{\delta}}{\rho_{\delta}} + \frac{m_{\delta}}{\rho_{\delta}} + \frac{m_{\epsilon}}{\rho_{\epsilon}} \right) + \frac{D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n,y}) \right] \pm \sqrt{\left(\frac{2}{\pi D_1^2} \left(\frac{m_{\delta}}{\rho_{\delta}} + \frac{m_{\delta}}{\rho_{\delta}} + \frac{m_{\epsilon}}{\rho_{\epsilon}} \right) + \frac{D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n,y}) \right)^2 + \frac{\omega_{\delta}^2}{2g} \left(\frac{m_{\delta}}{\rho_{\delta}} + \frac{m_{\delta}}{\rho_{\delta}} + \frac{m_{\epsilon}}{\rho_{\epsilon}} \right)}} \\
\omega_{\delta} &\leq \frac{4}{D_1} \sqrt{\frac{2g}{\pi D_1^2} \left(\frac{m_{\delta}}{\rho_{\delta}} + \frac{m_{\delta}}{\rho_{\delta}} + \frac{m_{\epsilon}}{\rho_{\epsilon}} \right) + \frac{g D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n,y}) \pm \sqrt{\left(\frac{2g}{\pi D_1^2} \left(\frac{m_{\delta}}{\rho_{\delta}} + \frac{m_{\delta}}{\rho_{\delta}} + \frac{m_{\epsilon}}{\rho_{\epsilon}} \right) + \frac{D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n,y}) \right)^2 + \frac{\pi n_{\delta}^2}{3600g} \left(\frac{m_{\delta}}{\rho_{\delta}} + \frac{m_{\delta}}{\rho_{\delta}} + \frac{m_{\epsilon}}{\rho_{\epsilon}} \right)}}; \\
\omega_{\delta} &\leq \frac{4}{D_1} \sqrt{\frac{2g V_o}{\pi D_1^2} + \frac{g D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n,y}) \pm \sqrt{\left(\frac{2g V_o}{\pi D_1^2} + \frac{D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n,y}) \right)^2 + \frac{\omega_{\delta}^2 V_o}{2\pi g}}}; \\
\omega_{\delta}^2 &\leq \frac{16}{D_1^2} \left(\frac{2g V_o}{\pi D_1^2} + \frac{g D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n,y}) \pm \sqrt{\left(\frac{2g V_o}{\pi D_1^2} + \frac{D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n,y}) \right)^2 + \frac{\omega_{\delta}^2 V_o}{2\pi g}} \right)^2; \\
\omega_{\delta}^2 &\leq \frac{16}{D_1^2} \left(\frac{2g V_o}{\pi D_1^2} + \frac{g D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n,y}) \pm \sqrt{\left(\frac{2g V_o}{\pi D_1^2} + \frac{D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n,y}) \right)^2 + \frac{\omega_{\delta}^2 V_o}{2\pi g}} \right); \\
\pm \frac{16g}{D_1^2} \sqrt{\left(\frac{2g V_o}{\pi D_1^2} + \frac{D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n,y}) \right)^2 + \frac{\omega_{\delta}^2 V_o}{2\pi g}} &\leq \frac{16}{D_1^2} \left(\frac{2g V_o}{\pi D_1^2} + \frac{g D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n,y}) \right) - \sqrt{\omega_{\delta}^4} \\
&; \\
\left(\pm \frac{16g}{D_1^2} \sqrt{\left(\frac{2g V_o}{\pi D_1^2} + \frac{D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n,y}) \right)^2 + \frac{\omega_{\delta}^2 V_o}{2\pi g}} \right)^2 &\leq \left(\frac{16}{D_1^2} \left(\frac{2g V_o}{\pi D_1^2} + \frac{g D_1 \operatorname{tg} \alpha_{n,y}}{6} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{n,y}) \right) - \sqrt{\omega_{\delta}^4} \right)^2;
\end{aligned}$$

$$\left(\pm \frac{16}{D_1^2}\right)^2 g^2 \left(\sqrt{\left(\frac{2gV_o}{\pi D_1^2} + \frac{gD_1 tg \alpha_{n,y}}{6} (1 + tg^2 \alpha_{n,y})\right)^2 + \frac{\omega_o^2 V_o}{2\pi g}} \right)^2 \leq \left(\frac{16}{D_1^2}\right)^2 \left(\left(\frac{2gV_o}{\pi D_1^2} + \frac{gD_1 tg \alpha_{n,y}}{6} (1 + tg^2 \alpha_{n,y})\right) - \sqrt{\omega_o^4} \right)^2;$$

$$\left(\pm g^2 \left[\frac{2gV_o}{\pi D_1^2} + \frac{gD_1 tg \alpha_{n,y}}{6} (1 + tg^2 \alpha_{n,y}) \right]\right)^2 + \frac{\omega_o^2 V_o}{2\pi g} \leq \left(\left(\frac{2gV_o}{\pi D_1^2} + \frac{gD_1 tg \alpha_{n,y}}{6} (1 + tg^2 \alpha_{n,y})\right) - \sqrt{\omega_o^4} \right)^2;$$

Позначимо вираз $\frac{2gV_o}{\pi D_1^2} + \frac{gD_1 tg \alpha_{n,y}}{6} (1 + tg^2 \alpha_{n,y}) = B$. Тоді

$$(\pm B)^2 g^2 + \frac{\omega_o^2 V_o}{2\pi g} \leq \left((B) - \sqrt{\omega_o^4} \right)^2;$$

$$\frac{(\pm B)^2 g^2 + \omega_o^2 V_o}{2\pi g} \leq \left((B) - \sqrt{\omega_o^4} \right)^2;$$

$$2\pi g \omega_o^4 - 4\pi g B \omega_o^2 - \omega_o^2 V_o \leq 2\pi g (\pm B)^2 g^2 - 2\pi g B^2;$$

$$\omega_o^4 - 2B \omega_o^2 - \frac{\omega_o^2 V_o}{2\pi g} \leq (\pm B)^2 g^2 - B^2;$$

$$\omega_o^4 - \omega_o^2 \left(2B + \frac{V_o}{2\pi g} \right) \leq (\pm B)^2 g^2 - B^2;$$

$$\omega_o^4 - \omega_o^2 \left(2B + \frac{V_o}{2\pi g} \right) + B^2 \pm B^2 \leq 0.$$

Додаток Г.4.2

Порядок виведення формули (3.71)

$$\vec{F}_{1c}^e = \vec{P}_{1c} - \vec{P}_{z\phi} = (\vec{P}_{1p} / \cos \gamma_{1c}) - \vec{P}_{z\phi};$$

$$\vec{F}_{1c}^e = \left(\sqrt{\vec{P}_{\phi\delta}^2 + (\vec{P}_{1m\phi} + P_{1\Delta dm_{\phi\delta}})^2} / \cos \gamma_{1c} \right) - \vec{P}_{z\phi};$$

$$\cos \gamma_{1c} = \vec{P}_{1c} / \vec{P}_{1p} = \vec{P}_{1c} / \sqrt{\vec{P}_{\phi\delta}^2 + (\vec{P}_{1m\phi} + P_{1\Delta dm_{\phi\delta}})^2};$$

$$\cos \gamma_{1c} = m_{1\phi} \frac{d\vartheta_{1\phi}}{dt_1} + \Delta dm_{1\phi\delta} \frac{d\vartheta_{1\phi\delta}}{dt_1} / \sqrt{\left(\frac{\vartheta_{\phi\delta}^2 \rho_{\phi\delta}}{2\mu_{\vartheta_{\phi\delta}} g} \right)^2 + \left(dm_{1\phi} \frac{d\vartheta_{1\phi}}{dt_1} + \Delta dm_{1\phi\delta} \frac{d\vartheta_{1\phi\delta}}{dt_1} \right)^2};$$

$$F_{1c}^e = \frac{\sqrt{\left(\frac{\vartheta_{\phi\delta}^2 \rho_{\phi\delta}}{2\mu_{\vartheta_{\phi\delta}} g} \right)^2 + \left(dm_{1\phi} \frac{d\vartheta_{1\phi}}{dt_1} + \Delta dm_{1\phi\delta} \frac{d\vartheta_{1\phi\delta}}{dt_1} \right)^2}}{dm_{1\phi} \frac{d\vartheta_{1\phi}}{dt_1} + \Delta dm_{1\phi\delta} \frac{d\vartheta_{1\phi\delta}}{dt_1}} - \rho_c V_{dm_{1c}} \kappa_o \vartheta_{1c}^2.$$

$$\cos \sqrt{\left(\frac{\vartheta_{\phi\delta}^2 \rho_{\phi\delta}}{2\mu_{\vartheta_{\phi\delta}} g} \right)^2 + \left(dm_{1\phi} \frac{d\vartheta_{1\phi}}{dt_1} + \Delta dm_{1\phi\delta} \frac{d\vartheta_{1\phi\delta}}{dt_1} \right)^2}$$

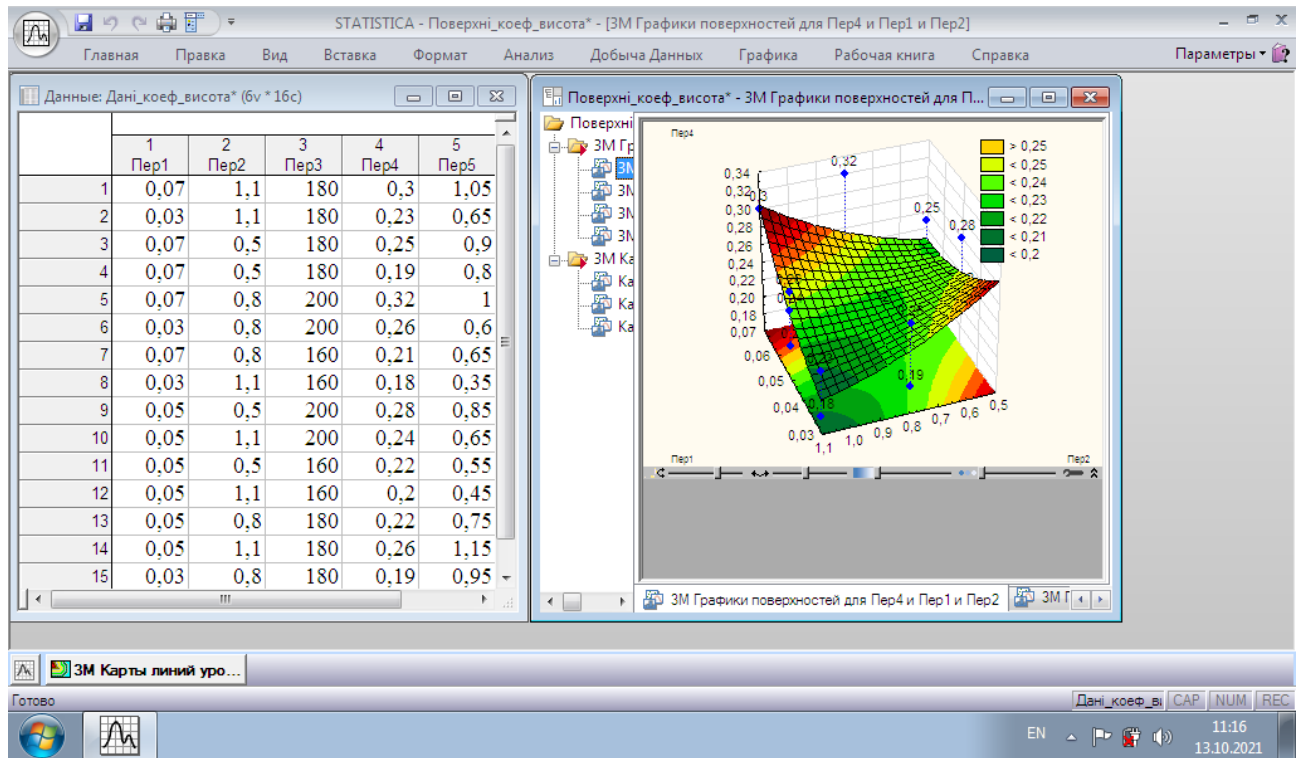
Додаток Д.1.1

Загальний вигляд дискретно-імпульсного змішувача компонентів, або лабораторної установки в роботі



Додаток Д.2.1

Експериментальний масив даних зміни максимальної робочої висоти h_{pe} утвореної суміші та коефіцієнта однорідності k_{oe} утвореної суміші під час приготування рідкої опари



Пер1 – секундна подача дозованого борошна Q_{σ} , кг/с;

Пер2 – амплітуда коливання дозованого борошна A_{σ} , мм;

Пер3 – частота обертання тарілчастого диска n_{σ} , об/хв;

Пер4 – максимальна робоча висота утвореної суміші h_p , м;

Пер5 – коефіцієнт однорідності утвореної суміші k_{oe} .

Додаток Д.3.1

Статистичні показники обробки експериментального масиву даних зміни
максимальної робочої висоти h_{pe} утвореної суміші
під час приготування рідкої опари

STAT

4 -кол-во переменных; полином второй степени; зависимость 6
Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит. = 2.142

N	Корреляция	Кoefficient регрессии	Статистич. ошибка	t-альфа	Кoeff. эластичности	Значимость
регрессии	Y с X	линеаризов.	коэф. регр.			коэф. регрессии
Зависимая переменная						
Y	+0.131172224879					
Независимые переменные						
1	+0.572	-2.402378559113	+9.56449	-0.25	-0.49	значим
2	-0.007	-0.075348056853	+0.59136	-0.13	-0.27	незначим
3	+0.657	-0.000359916652	+0.01633	-0.02	-0.27	значим
1*1	+0.572	+17.503238677979	+45.96649	+0.38	+0.19	значим
1*2	+0.453	+0.636249363422	+2.53497	+0.25	+0.11	незначим
1*3	+0.725	+0.009375027381	+0.04328	+0.22	+0.35	значим
2*2	-0.013	+0.107554152608	+0.21802	+0.49	+0.35	значим
2*3	+0.178	-0.000613237207	+0.00254	-0.24	-0.39	незначим
3*3	+0.659	+0.000006354847	+0.00004	+0.15	+0.88	значим

Имя файла PANULA .STA

Нажмите любую клавишу

STAT

Таблица анализа дисперсии

Компоненты дисперсии	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Среднее значение
Регрессия	0.0194	9	0.002
Остаток	0.0049 0	#### 5	0.001
Итого	0.0243	14	

Кoefficient множественной детерминации D = 0.797
Кoefficient множественной корреляции R = 0.893
Стандартное отклонение оценки s = 0.031
F критерий Фишера = 2.177
Кoefficient D значим с вероятностью P = 0.76558

Имя файла PANULA .STA

Нажмите любую клавишу

Додаток Д.4.1

Статистичні показники обробки експериментального масиву даних зміни
коєфіцієнта однорідності k_{oe} утвореної суміші
під час приготування рідкої опари

STAT

4 -кол-во переменных; полином второй степени; зависимость 6
Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит.= 2.142

N	Корре- кция рем. Y с X	Коэффициент регрессии линеаризов.	Статистич. ошибка коэф. регр.	t- альфа	Коэфф. эласти- чности	Значимость коэфф. регрессии
Зависимая переменная						
Y	-21.716522216797					
Независимые переменные						
1	+0.394	-24.052227020264	+52.77858	-0.46	-1.55	значим
2	-0.118	+0.671541929245	+3.26323	+0.21	+0.75	значим
3	+0.455	+0.247780337930	+0.09014	+2.75	+58.94	значим
1*1	+0.406	-33.907760620117	+253.65135	-0.13	-0.12	значим
1*2	+0.281	+13.104422569275	+13.98840	+0.94	+0.70	значим
1*3	+0.500	+0.127575069666	+0.23881	+0.53	+1.48	значим
2*2	-0.127	-0.443807095289	+1.20308	-0.37	-0.45	значим
2*3	+0.017	-0.003579236334	+0.01399	-0.26	-0.71	значим
3*3	+0.433	-0.000680775091	+0.00024	-2.84	-29.34	значим

Имя файла PANULA .STA

Нажмите любую клавишу

STAT

Таблица анализа дисперсии

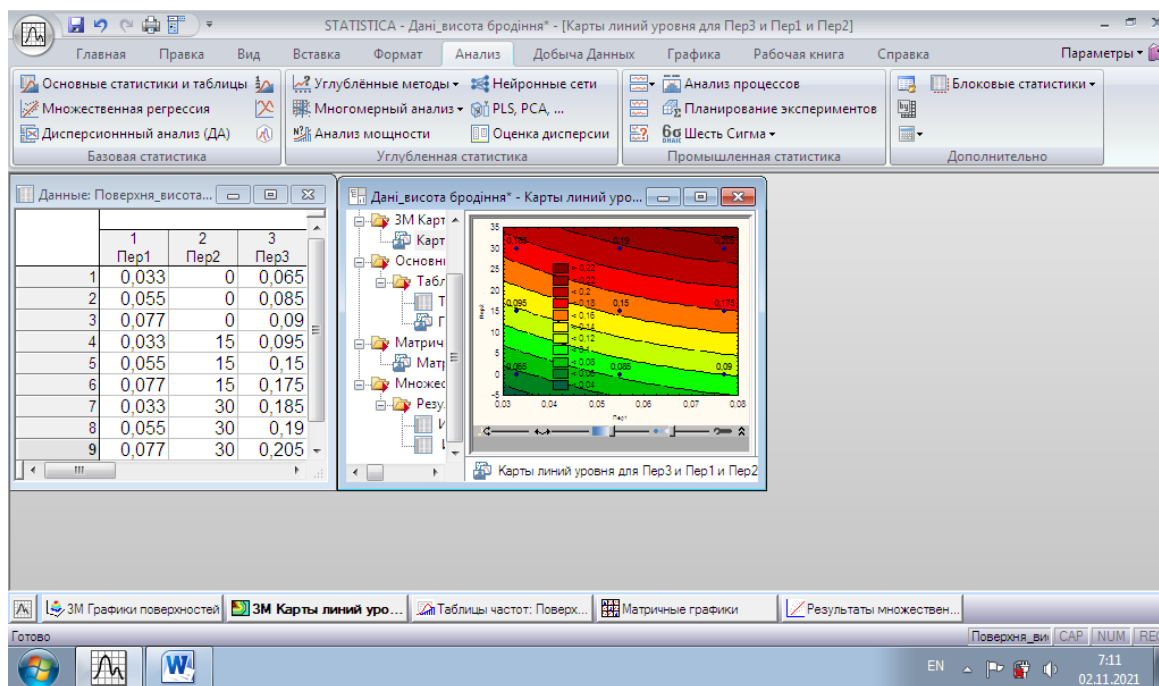
Компоненты дисперсии	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Среднее значение
Регрессия	0.5787	9	0.064
Остаток	0.1506	5	0.030
Итого	0.7293	14	

Коэффициент множественной детерминации D= 0.793
Коэффициент множественной корреляции R= 0.891
Стандартное отклонение оценки s= 0.174
F критерий Фишера = 2.134
Коэффициент D значим с вероятностью P = 0.75946

Имя файла PANULA .STA

Нажмите любую клавишу

Додаток Д.5.2

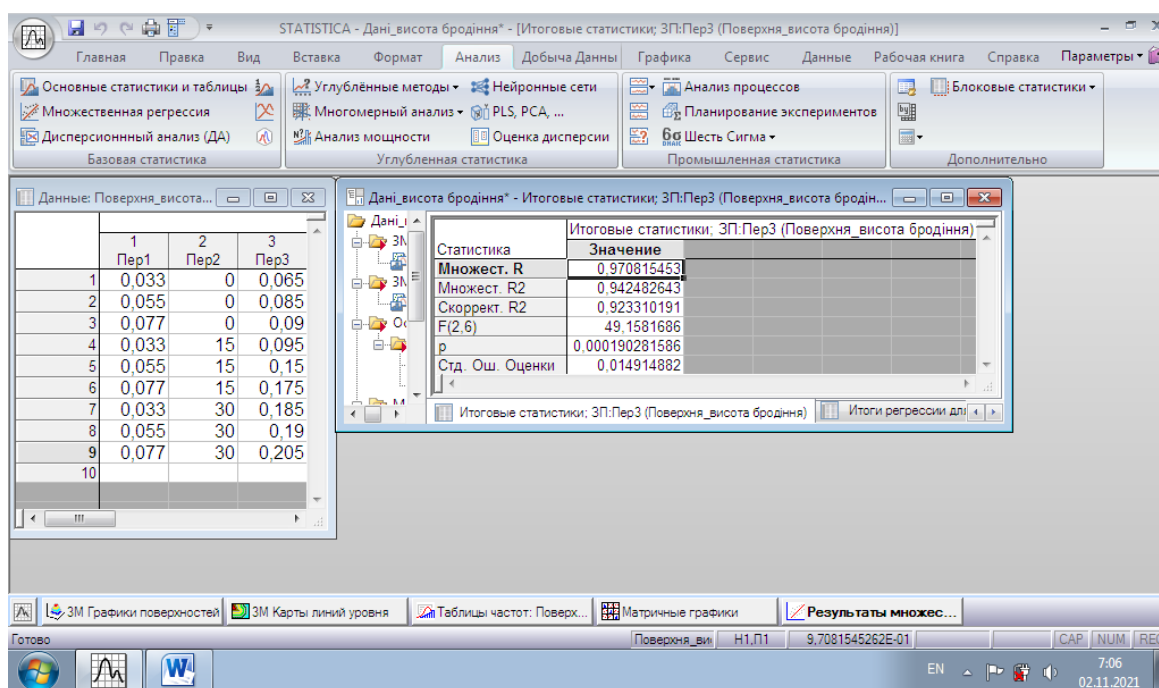
Експериментальний масив даних висоти h_{oe} бродіння опари

Пер1 – сумарна секундна подача борошна Q_c , кг/с;

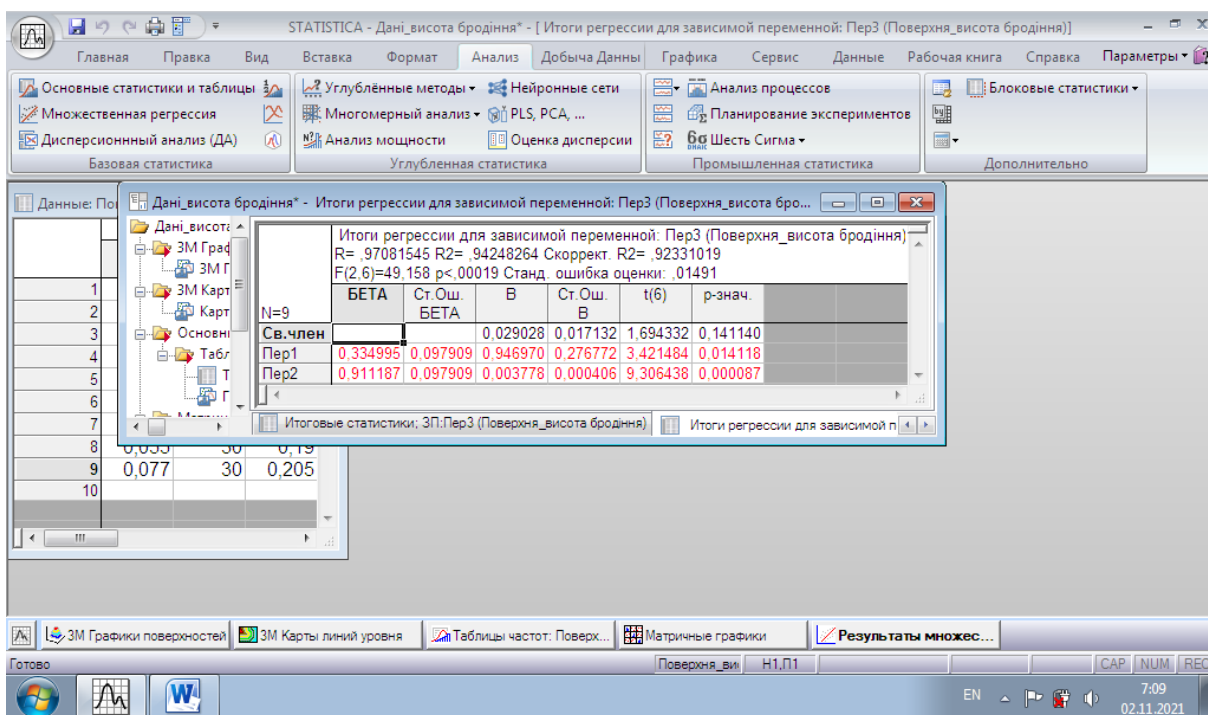
Пер2 – амплітуда коливання дозуючого борошна A_d , мм;

Пер3 – частота обертання тарілчастого диска n_d , об/хв;

Додаток Д.6.2

Показники статистичної обробки експериментального масиву даних висоти h_{oe} бродіння опари

Продовження додатку Д.6.2



Додаток Д.7.2

Експериментальні дані витрат споживаної потужності
та кислотності приготовленої рідкої опари:

- витрати споживчої потужності P_i , Вт

	1 Пер1	2 Пер2	3 Пер3	4 Пер4	5 Пер5	6 Пер6	7 Пер7	8 Пер8	9 Пер9
1	2,8	27	0,38	2,8	21	0,25	2,9	27	0,42
2	2,85	28,5	0,42	2,9	22,5	0,26	3	27,5	0,45
3	2,9	29	0,47	2,95	24	0,28	3,1	28	0,49
4	2,95	30,5	0,52	3,05	26,5	0,31	3,2	28,5	0,54
5	3	31	0,58	3,1	28,5	0,34	3,3	29	0,59
6	3,05	32	0,63	3,2	31	0,38	3,4	30	0,63

- кислотності приготовленої опари k_{io} , рН

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Пер1	Пер2	Пер3	Пер4	Пер5	Пер6	Пер7	Пер8	Пер9
1	2,8	27	5,81	2,8	21	5,89	2,9	27	5,91
2	2,85	28,5	5,72	2,9	22,5	5,75	3	27,5	5,82
3	2,9	29	5,61	2,95	24	5,53	3,1	28	5,74
4	2,95	30,5	5,53	3,05	26,5	5,32	3,2	28,5	5,65
5	3	31	5,34	3,1	28,5	5,27	3,3	29	5,42
6	3,05	32	5,14	3,2	31	5,18	3,4	30	5,28

Пер1, Пер4, Пер7 – час приготування рідкої опари t , с;

Пер2, Пер5, Пер8 – температура рідкої опари T_i , $^{\circ}\text{C}$;

Пер3, Пер6, Пер9 – відповідно, витрати споживаної потужності (Вт) та кислотність приготовленої опари k_{io} (рН)

Додаток Д.8.2

Показники статистичної обробки експериментальних даних

витрат споживаної потужності P_i та кислотності приготовленої рідкої опари k_{io} :

- витрати споживаної потужності P_1

```

3 - кол-во переменных; вид зависимости Линейная Y=A0+A(i)*X(i).....1
Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит.= 2.580

M | Среднее | Стандартное | Корреляции | Коэффициент | Статистич. | t-альфа | Значимость
pe- | отклонение | | Y с X(i) | регрессии | ошибка | | |
рен. | | | | | | | | |
: | | | | | | | | |
: | | | | | | | | |
: | | | | | | | | |

Зависимая переменная
Y +0.303 +0.050 +3.285142
Независимые переменные
X(1) +3.050 +0.187 +0.982206 -1.878785 +1.169466 -1.61 значим
X(2) +26.033 +3.796 +0.984387 +0.105576 +0.057642 +1.83 значим

Коэффициенты регрессии для уравнения
Y +3.28514218330
X(1) -1.87878549099
X(2) +0.10557568073

Имя файла ULIA .STA
Нажмите любую клавишу

```


Продовження додатку Д.8.2

```

STAT
Коеффіцієнт множинної детермінації D= 0.983
Коеффіцієнт множинної кореляції R= 0.992
Стандартне відхилення оцінки s= 0.008
F критерій Фішера = 88.671
Коеффіцієнт D значим с вероятностью P = 0.99066

Имя файла ULIA .STA
Нажмите любую клавишу

```

- витрати споживчої потужності P_2

```

STAT
3 - кол-во переменных; вид зависимости Линейная Y=A0+A(i)*X(i).....1
Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит.= 2.580

N | Среднее | Стандартное | Корреляции | Коеффициент | Статистич. | t-альфа | Значимость
pe- | | отклонение | Y с X(i) | регрессии | ошибка | | коэфф.
ren. | | | | | | | | регрессии
-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----
Зависимая переменная
Y +0.500 +0.095 -1.211584
Независимые переменные
X(1) +2.925 +0.094 +0.998462 +0.145952 +3.868814 +0.04 значим
X(2) +29.500 +1.871 +0.998489 +0.043548 +0.193441 +0.23 значим

Коеффициенты регрессии для уравнения
Y -1.21158409119
X(1) +0.14595174789
X(2) +0.04354831204

Имя файла ULIA .STA
Нажмите любую клавишу

```

```

STAT
Коеффіцієнт множинної детермінації D= 0.997
Коеффіцієнт множинної кореляції R= 0.998
Стандартне відхилення оцінки s= 0.007
F критерій Фішера = 460.816
Коеффіцієнт D значим с вероятностью P = 0.99817

Имя файла ULIA .STA
Нажмите любую клавишу

```

- витрати споживчої потужності P_3

3 - кол-во переменных; вид зависимости Линейная $Y=A_0+A(i)*X(i).....1$
 Уровень вероятности $P=0.95$ t-альфа крит. = 2.580

N пе-рен.	Среднее	Стандартное отклонение	Корреляции Y с X(i)	Коэффициент регрессии	Статистич. ошибка	t-альфа	Значимость коэфф. регрессии
Зависимая переменная Y	+5.507	+0.249		+6.795169			
Независимые переменные X(1)	+2.925	+0.094	-0.988502	+1.784979	+26.761475	+0.07	незначим
X(2)	+29.500	+1.871	-0.988589	-0.220663	+1.338074	-0.16	незначим

Коэффициенты регрессии для уравнения
 Y +6.79516887665
 X(1) +1.78497910500
 X(2) -0.22066324949

Имя файла ULIA .STA
 Нажмите любую клавишу

Коэффициент множественной детерминации $D= 0.977$
 Коэффициент множественной корреляции $R= 0.989$
 Стандартное отклонение оценки $s= 0.048$
 F критерий Фишера = 64.333
 Коэффициент D значим с вероятностью $P = 0.98676$

Имя файла ULIA .STA
 Нажмите любую клавишу

- кислотність приготовленої опари k_{1o}

3 - кол-во переменных; вид зависимости Линейная $Y=A_0+A(i)*X(i).....1$
 Уровень вероятности $P=0.95$ t-альфа крит. = 2.580

N пе-рен.	Среднее	Стандартное отклонение	Корреляции Y с X(i)	Коэффициент регрессии	Статистич. ошибка	t-альфа	Значимость коэфф. регрессии
Зависимая переменная Y	+5.613	+0.237		+10.400389			
Независимые переменные X(1)	+3.150	+0.187	-0.991473	-0.799603	+0.614481	-1.30	значим
X(2)	+28.333	+1.080	-0.988762	-0.080058	+0.106431	-0.75	значим

Коэффициенты регрессии для уравнения
 Y +10.40038871765
 X(1) -0.79960274696
 X(2) -0.08005788922

Имя файла ULIA .STA
 Нажмите любую клавишу

Продовження додатку Д.8.2

```

STAT
Коефіцієнт множинної детермінації D= 0.986
Коефіцієнт множинної кореляції R= 0.993
Стандартне відхилення оцінки s= 0.037
F критерій Фішера = 103.493
Коефіцієнт D значим с вероятностью P = 0.99209

Имя файла JULIA .STA
Нажмите любую клавишу

```

- кислотність приготовленої опари k_{2o}

```

STAT
3 - кол-во переменных; вид зависимости Линейная Y=A0+A(i)*X(i).....1
Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит.= 2.580
N | Среднее | Стандартное | Корреляции | Коэффициент | Статистич. | t-альфа | Значимость
pe- | | отклонение | Y с X(i) | регрессии | ошибка | | коэфф.
ren. | | | | | | | | регрессии
-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----
Зависимая переменная
Y +5.490 +0.284 +30.675816
Независимые переменные
X(1) +3.050 +0.187 -0.979466 -13.177120 +7.868815 -1.67 значим
X(2) +26.033 +3.796 -0.977085 +0.576353 +0.387848 +1.49 значим

Коефициенты регрессии для уравнения
Y +30.67581558228
X(1) -13.17712020874
X(2) +0.57635343075

Имя файла JULIA .STA
Нажмите любую клавишу

```

```

STAT
Коефіцієнт множинної детермінації D= 0.977
Коефіцієнт множинної кореляції R= 0.988
Стандартне відхилення оцінки s= 0.056
F критерій Фішера = 62.478
Коефіцієнт D значим с вероятностью P = 0.98633

Имя файла JULIA .STA
Нажмите любую клавишу

```

- кислотність приготовленої опари k_{30}

STAT

3 - кол-во переменных; вид зависимости Линейная $Y=A0+A(i)*X(i).....1$
 Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит.= 2.580

перемен.	Среднее	Стандартное отклонение	Корреляция Y с X(i)	Коэффициент регрессии	Статистич. ошибка	t-альфа	Значимость
				линеаризов.	коэф. регр.		коэфф. регрессии
Зависимая переменная Y	+0.303	+0.050		-0.187221			
Независимые переменные X(1)	+3.050	+0.187	+0.982206	+0.085225	+5.204898	+0.02	значим
X(2)	+26.000	+3.742	+0.982211	+0.008870	+0.260245	+0.03	значим

Коэффициенты регрессии для уравнения
 Y -0.18722116947
 X(1) +0.08522506803
 X(2) +0.00886992458

Имя файла ULIA .STA
 Нажмите любую клавишу

STAT

Коэффициент множественной детерминации D= 0.964
 Коэффициент множественной корреляции R= 0.982
 Стандартное отклонение оценки s= 0.012
 F критерий Фишера = 40.029
 Коэффициент D значим с вероятностью P = 0.97777

Имя файла ULIA .STA
 Нажмите любую клавишу

Акти впровадження результатів дослідження



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Головний інженер ПрАТ «ТерА»

Деркач А.В.

14.07.2020

Акт

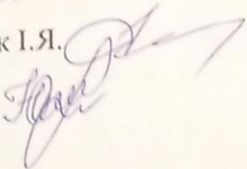
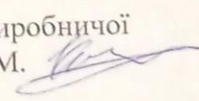
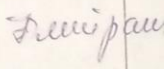
впровадження науково-дослідної роботи у виробництво

Ми, що нижче підписалися, представники Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя д.т.н. проф. Стадник І.Я., асп. Паньків Ю. і представники ПрАТ «ТерА», майстер виробничої дільниці Карпінський І.М., зав. лабораторії Дмитраш С.В.

Склали цей акт про те, що в період з вересня по жовтень 2019 року на кондитерській фабриці проваджена науково-дослідна робота «Удосконалення раціональних параметрів дозування компонентів у робочу камеру тістомісильної машини періодичної дії при змішуванні бубликового тіста».

В результаті впровадження роботи отримані наступні результати:
-підвищилась продуктивність процесу замішування на 6.2 %, скоротився час процесу до 10хв.; покращилися механічно-структурні характеристики напівфабрикату та зменшено споживання енергоресурсів до 3.6%.

Очікуваний економічний ефект на хлібозаводі в результаті впровадження даної методики дозування 13.6 тис. грн.

ВІД УНІВЕРСИТЕТУ	ВІД ПІДПРИЄМСТВА
д.т.н. проф. Стадник І.Я. асп. Паньків Ю. 	майстер виробничої дільниці Карпінський І.М.  зав. лабораторії Дмитраш С.В. 



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
 імені ІВАНА ПУЛЮЯ

вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001. Тел. (0352)52-41-81. Факс (0352)25-49-83
<http://www.tntu.edu.ua>, E-mail: univ@tu.edu.ua. Код ЄДРПОУ 05408102

№

На №

від

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Паньків Юлії Юріївни у навчальний процес

Даним актом стверджується, що результати дисертаційної роботи на тему «Підвищення ефективності процесу та розроблення обладнання для перемішування компонентів», яку виконано аспіранткою Паньків Юлією Юріївною та подану на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування впроваджено в навчальну програму під час викладання дисципліни «Технологічне обладнання хлібопекарських, кондитерських макаронних та харчоконцентратних виробництв»: будова, принцип роботи та теоретичні основи розрахунку робочих органів імпульсно-дискретного змішувача компонентів застосовано в процесі виконання практично-лабораторних робіт на кафедрі технологічне обладнання харчових виробництв Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя для підготовки фахівців освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування.

Проректор з наукової роботи
 Тернопільського національного технічного
 університету імені Івана Пулюя,
 д.т.н., проф.

П.О. Марушак

Завідувач кафедри технологічне
 обладнання харчових виробництв,
 д.т.н., проф.

Т.М. Вітенько

Додаток 3

Копія сертифікату та довідки про апробацію результатів наукових досліджень на міжнародних науково-практичних конференціях



Додаток 3

Апробація результатів дисертаційних досліджень
на наукових конференціях

ДОВІДКА

Довідка видана аспірантці Паньків Юлії Юріївні про те, що вона приймала участь у міжнародних науково-практичних конференціях у формі презентацій доповідей:

- II Міжн. студентська наук.-техн. конф. «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання». Тернопіль, 2019, ТНТУ ім. І. Пулюя; тема доповіді: «Основні закономірності процесу перемішування»;
- Міжн. наук. конф. «Іван Пулюй: життя в ім'я науки та України». Тернопіль, 2020, ТНТУ ім. І. Пулюя; тема доповіді: "Обґрунтування параметрів надійності і довговічності машини статистичним моделюванням»;
- VII Міжн. наук.-техн. конф. «Актуальні задачі сучасних технологій». 14-15 травня 2020 р., Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя; тема доповіді: «Змішувач рідких компонентів»;
- IV Міжн. студентська наук.-техн. конф. «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання». 28-29 квітня 2021 р. Тернопіль, 2021; тема доповіді: «Характеристика процесів змішування».

Декан факультету інженерії машин
споруд та технологій,
к.т.н., доцент



Р.Я. Лещук