

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

DOI : 10.33274/2079-4827-2021-42-1-82-90

УДК 664.643.1

Піддубний В. А., д-р техн. наук, професор¹

Паньків Ю. В., аспірант²

Стадник І. Я., д-р техн. наук, професор²

Петриченко Є. А., канд. тех. наук, доцент³

¹ Київський національний торговельно-економічний університет, м. Київ, Україна, e-mail: a.poddubnaya@i.ua.

² Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна, e-mail: igorstadnykk@gmail.com.

³ Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна, e-mail: 22102210g@ukr.net.

ІНТЕГРОВАНІ РІШЕННЯ І АПАРАТУРНЕ ОФОРМЛЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ЗМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ У ПСЕВДОШАРІ

UDK 664.643.

*Piddubnyi V. A., Grand PhD of Engineering Science,
Professor¹*

Pankiv Yu. V., Graduate student²

*Stadnyk I. Ya., Grand PhD of Engineering Science,
Professor²*

*Petrychenko Ye. A., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor³*

¹ Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine, e-mail: a.poddubnaya@i.ua.

² Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine, e-mail: igorstadnykk@gmail.com.

³ Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine, e-mail: 22102210g@ukr.net.

INTEGRATED SOLUTIONS AND INSTRUMENT DESIGN OF TRANSITIONAL PROCESSES OF COMPONENT MIXING IN PSEUDOSPAC

Мета — дати наукове обґрунтування впливу напірних та енергетичних характеристик струминних пристроїв при забезпеченні оптимальних умов змішування дозуючих компонентів у зваженому стані. Дослідження проводились на змішувачі нової конструкції при приготуванні рідкої опари.

Методи. Матеріалами дослідження є енергоефективне, багатофункціонально змінне формування перехідних процесів при змішуванні середовища. Змішування базувалось на створенні моделі синтезу подачі рідинної фази на основі процесу взаємодії з борошном при утворенні однорідної системи. При розробленні математичних моделей застосовано методи теоретичної механіки, математичного аналізу, математичної фізики і сучасні числові методи.

Результати. Розкрито перехідний процес створення рідинної суміші, що починається від моменту початку утворення струменя, його взаємодії з борошном. Показано динаміку прирощення об'єму рідинної суміші, що визначається співвідношенням рушійних сил, сил опору та сил інерції системи. Доведено, що саме в режимі перехідного процесу можливе досягнення максимальної здатності змішування.

Для досліджень перехідних процесів змішування компонентів у псевдошарі розроблено лабораторну установку, за допомогою якої визначено напірні і енергетичні характеристики

Надійшла до редакції 12.04.2021 р.

© В. А. Піддубний, Ю. В. Паньків, І. Я. Стадник,
Є. А. Петриченко, 2021

та встановлено величини конструктивних і режимних параметрів, що забезпечують оптимальні умови процесу. Проведені дослідження ґрунтовані на гідродинамічній теорії вальцювання і теорії подібності. Це дозволило встановити кількісні залежності між геометричними характеристиками робочого простору, властивостями оброблюваного матеріалу і режимами його обробки.

Ключові слова: насадка, камера змішування, робоча рідина, енергетична характеристика, енергетичні параметри.

Постановка проблеми. До числа перспективних напрямків інтенсифікації процесу змішування в системах «рідина — тверде тіло» при змішуванні, слід застосовувати переведення даної системи в режими комбінованих дискретно-імпульсних взаємодій. Комбінована взаємодія спрямована і має за мету перерозподіл утворених енергетичних потоків на користь зони впливу у вигляді псевдошару та генерації пульсаційних впливів. Теоретичні положення динаміки даних систем під час псевдозмішування потребують подальшого розвитку, в тому числі, і з точки зору інтересів визначення амплітудно-частотних характеристик. Одержання таких даних можливе на основі уявлення про взаємодію рідинної й твердої фаз і утворення середовища, як пружної системи з утвореною в'язкою масою.

Головною перевагою дискретно-імпульсного введення компонентів є можливість переведення дозуючих компонентів і оброблюваного середовища до метастабільних станів. Дана можливість є логічним продовженням дискретно-імпульсної технології у впливі на змішування компонентів і утворення рідинної суміші (опари), що має можливість накопичувати енергетичний потенціал. Важливо [1, 2], що використання розсіювання рідини струменевим пристроєм впливає на досягнення утворення структури суміші оброблюваних компонентів у потоці на молекулярному рівні. Цьому сприяє гідродинаміка утворених потоків та ударні явища взаємодійних потоків.

Моделювання гідродинаміки в утворених потоках суміші стосується використання масових сил для інтенсифікації змішування. При цьому комбінації миттєвих змін сил інерції і їх абсолютних значень можуть бути різними і такими, що на порядок і більше перевищують сили тяжіння.

Ударні явища також супроводжують взаємодію потоків при їх змішуванні. В основі цих явищ [3] покладено принцип Даламбера, закон збереження кількості руху, закон збереження енергії, теорему Ейлера про зміну головного вектора кількостей руху системи матеріальних точок, теорему Жуковського щодо визначення тисків в системах у режимах гідравлічних ударів, спосіб Релея.

При застосуванні конструкцій струминних пристроїв не враховуються специфічні умови їх експлуатації, внаслідок чого приймаються наближені значення конструктивних та експлуатаційних параметрів на основі практичного досвіду їх використання. Недостатнє вивчення питань знижує ефективність та поширеність їх використання при реалізації окремих процесів у хлібопекарській галузі. Це пов'язано з незадовільним вивченням теоретичних питань використання пристроїв при змішуванні пшеничної опари, емульсій, суспензій, тіста і свідчить про актуальність теоретичних та експериментальних досліджень даних систем.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Наявні моделі змішувачів компонентів різних фаз й різної дисперсності не завжди здатні задовольнити вимоги до якості утвореного середовища. За способом підведення енергії, що витрачається безпосередньо на змішування, диспергування, розрізняють наступні способи розпилювання рідини: гідравлічний, механічний, акустичний, електростатичний, електрогідравлічний, ультразвуковий, пневматичний та інші [4]. Вибір типу розпилювання в робочій камері базується на тому, що він не містить обертових елементів. Такий підхід не ускладнює конструкцію самого апарата і не призводить до порушення процесу. Попри значну кількість розроблених конструкцій, ефективність використання струминних пристроїв не завжди відповідає необхідним вимогам, що в значній мірі стримує їх застосування у хлібопекарській галузі.

Дисперсний склад розпилу визначається конструкцією форсунки, швидкістю витікання рідини, теплофізичними властивостями та оточуючим середовищем. Швидкість витікання залежить [4], в першу чергу, від тиску перед форсункою і діаметру її отвору. Рідина під тиском через циліндричний канал поступає в циліндричну робочу камеру у вигляді факела дрібнодисперсних краплин. Гідромеханічні ефекти, які виникають при цьому, забезпечують її інтенсивне диспергування [4, 5]. Ступінь диспергування на вході в робочу камеру може виявитись недостатньо високим для забезпечення виконання умов ідеального режиму. Застосування форсунок по периметру камери для розпилювання рідини в цій камері підвищує ефективність роботи змішувача в цілому.

Для забезпечення режиму роботи машини близької до ідеального замішування, автори [5, 6] відзначають необхідність уникнення зайвих енергетичних витрат. Взаємодія компонентів на вході в робочу камеру має бути максимально наближеною до рівноважної. Те саме стосується температури рідинної фази дозування. Проста конструкція струминного пристрою із відсутністю рухомих частин при змішуванні рідин в галузі вивчені недостатньо. В цих умовах зростає роль експериментальних методів досліджень використання струминних пристроїв для підвищення інтенсивності змішування при ефективному застосуванні гідродинамічних впливів. Тому виникла проблема створення обладнання, яке нами розроблено [7, 8], для якісного змішування компонентів із різними фізико-механічними та хіміко-біологічними властивостями. Особлива увага розробки стосується змішування опари, емульсій, суспензій та дозволяє збільшити інтенсивність й скоротити час процесу при мінімумі затрат коштів та енергії. Недостатній об'єм проведених експериментальних досліджень у використанні струминних пристроїв при змішуванні компонентів зумовив вибір мети досліджень, результати яких наведені в даній статті.

Мета статті — вплив напірних та енергетичних характеристик струминних пристроїв при забезпеченні оптимальних умов псевдозмішування компонентів дозування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Матеріалами дослідження є енергоефективне, багатофункціонально змінне формування перехідних процесів при змішуванні середовища. Змішування базувалось на створенні моделі синтезу подачі рідинної фази на основі процесу взаємодії з борошном при утворенні однорідної системи. При розробленні математичних моделей застосовано методи теоретичної механіки, математичного аналізу, математичної фізики і сучасні числові методи.

Задачами дослідження були процеси взаємодії між пристроєм розпилювання змішувальної машини і системою керування із зниженим енергоспоживанням. Дослідження пристрою змішувача для дозування рідини та її взаємодії з дріжджами проводились як в імітаційних програмах (ПП FlowVision) [9], так і експериментальним шляхом. У процесі експериментальних досліджень застосовувався струминний пристрій (рис. 1).

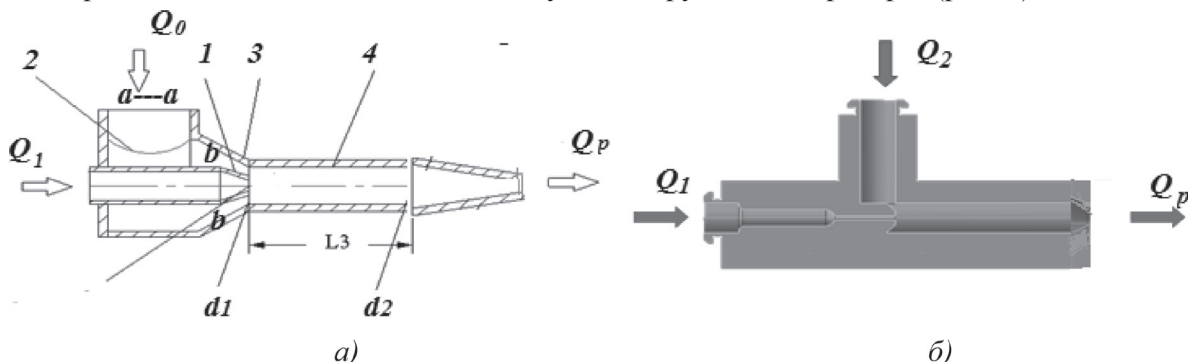


Рисунок 1 — Загальна конструкція ежектора соплової системи змішувача компонентів (струминний пристрій):

а) класична модель із основними зонами (перерізами) зміни тиску активне:

1 — сопло; 2 — приймальна камера; 3 — пасивне сопло; 4 — камера змішування; 5 — дифузор;

б) 3D-модель розроблена із змінними прохідними перерізами; Q_1 — підведення води в сопловий переріз; Q_2 — вхідні рідкі дріжджі у напірний канал; Q_p — вивідна змішана рідинна суміш, (вихлопний) канал

Основні конструктивні параметри — це діаметр робочої насадки та співвідношення площ перерізів камери змішування та робочої насадки, що в діапазоні: діаметр робочої насадки від 3 до 25 мм, співвідношення площ перерізів — від 1,5 до 20. Вибір цих параметрів здійснено на основі практичного досвіду використання, виходячи з призначення струминного пристрою конструкції змішувача та самого процесу.

Для дослідження роботи струминного пристрою розроблена лабораторна установка (рис. 2).

Технічна характеристика лабораторної установки: максимальна подача мембранного насоса, 0,0018 м³/с; максимальний тиск відцентрового насоса, 0,04 МПа; діаметр робочої насадки, 15, 18, 23, 25 мм; діаметр камери змішування, 40 мм; величина регульованого зазору між робочою насадкою та камерою змішування, 15–30 мм.

Установка складається зі струминного пристрою 1, мембранного насосу 2, приймального резервуару 3, всмоктувальної та вихідної ліній 4 та 5. Приймальний резервуар 3 обладнаний трубою рівнепоказчика 6 та зливним патрубком з вентилям 7. Регулювання режиму роботи мембранного та струминного пристрою здійснюється за допомогою засувки 8, 9, 10, 11.

Засувка 8 дозволяє змінювати подачу насоса шляхом регулювання величини тиску на вхідній лінії. Засувка 9 дає змогу здійснювати регулювання режиму роботи струминного пристрою шляхом зміни величини тиску змішаного потоку, не впливаючи безпосередньо на значення тиску інжектованого потоку. Оскільки розгалуження всмоктувальної лінії струминного пристрою розміщене за потоком після засувки 9, зростання тиску змішаного потоку, викликане зміною ступеня її відкриття, не передається безпосередньо в приймальну камеру. Зміна ступеня відкриття засувки 9 дає можливість регулювати режим роботи струминного пристрою за рахунок зниження або зростання витрати робочого потоку.

Враховуючи обернено-пропорційний зв'язок між напором та витратою насоса, зростання гідравлічного опору його вихідної лінії неминуче викликає зниження витрати потоку. Засувка 10 уможливує регулювання режиму роботи струминного пристрою шляхом зміни подачі мембранного насосу.

Процес планування експериментальних досліджень: визначено показники, що характеризують робочий процес. Режим роботи струминного пристрою (рис. 1) характеризується п'ятьма параметрами:

1. Витрата робочої рідини

$$Q_1 = V_1 S_1 = V_1 (\pi/4) d_1^2, \quad (1)$$

де V_1 — швидкість робочого потоку у вихідному перерізі робочої насадки; S_1 — площа вихідного перерізу робочої насадки; d_1 — діаметр вихідного перерізу робочої насадки.

2. Корисна подача

$$Q_0 = V_0 S_0 = V_0 (\pi/4) d_0^2, \quad (2)$$

де V_0 — швидкість потоку у вхідному перерізі камери змішування; S_0 — площа потоку у вхідному перерізі камери змішування; d_0 — діаметр камери змішування.

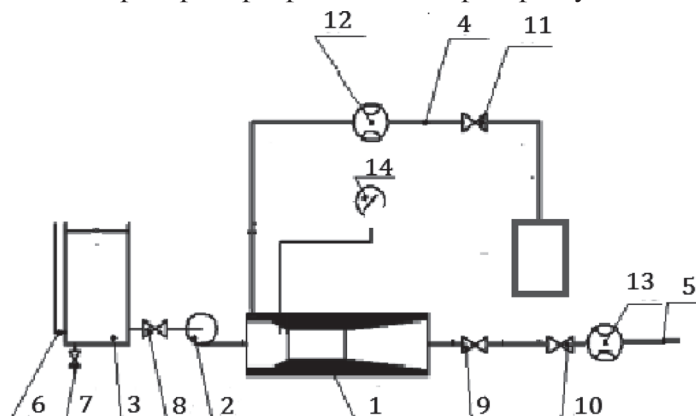


Рисунок 2 — Схема установки для випробувань струминного пристрою:

- 1 — струминний пристрій; 2 — відцентровий насос (силовий привод постійного струму);
- 3 — приймальний резервуар рідини;
- 4 — всмоктувальна лінія розведених дрiжджiв;
- 5 — вихідна лінія; 6 — рівнепоказчик рідини; 7 — вентиль; 8, 9, 10, 11 — засувки;
- 12, 13 — витратоміри; 14 — манометр.

3. Робочий напір, що витрачається, дорівнює різниці напорів робочого потоку на вході в струминний пристрій та на виході з нього:

$$H_p = p_b/\rho g + v_b^2/2g - p_c/\rho g - v_c^2/2g \quad (3)$$

4. Корисний напір, що створюється, дорівнює різниці напорів рідини, що подається за ним та перед ним:

$$H_c = p_c/\rho g + v_c^2/2g - p_a/\rho g - v_a^2/2g. \quad (4)$$

5. ККД струминного пристрою — це відношення корисної потужності до витраченої

$$\eta = H_k Q_0 / H_p Q_1, \quad (5)$$

де: H_k , H_p — робочий та корисний напір; p_c , p_b , p_a , — тиск у характерних перерізах струминного пристрою; v_c , v_b , v_a , — швидкість потоку у характерних перерізах; ρ — густина рідини.

Енергія змішаного потоку перевищує енергію корисної подачі Q_0 , але менша енергії робочого потоку Q_1 перед входом в пристрій [9].

Робочий потік води із великою швидкістю із насадки струминного пристрою захоплює середовище розведених дріжджів, що має більш низький тиск (інжектване — пасивне). Відбувається спочатку перетворення потенціальної енергії робочого потоку в кінетичну. Кінетична енергія робочого потоку частково передається пасивному потоку. В проточній частині відбувається вирівнювання швидкостей змішаних потоків, зворотне перетворення кінетичної енергії змішаного потоку в потенціальну. Утворена рідинна суміш поступає в робочу камеру змішувача (рис. 3).

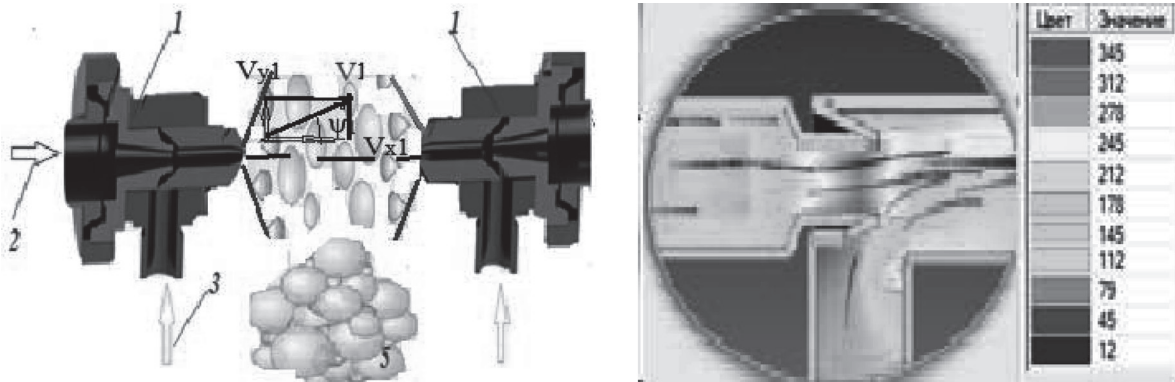


Рисунок 3 — Схема та імітація процесу формування:

а) потоків псевдозмішування;

1 — пристрій розпилювання; 2 — подача води; 3 — подача рідких дріжджів;

б) потоків рідких компонентів розпилювання пристрою

Для уточнення ролі окремих факторів системи здійснено постановку обчислювальних експериментів з одержанням відповідних рівнянь. Авторами [3, 5, 9] розкрито утворення гідродинамічних ефектів, що утворюються у вигляді факела дрібнодисперсних краплин при витіканні із сопла на вході в робочу камеру. Разом з рідиною в камеру надходить певна кількість борошна. При зустрічі з борошном рідкі дрібнодисперсні краплин забезпечують інтенсивне диспергування утвореної рідинної суміші. Завдяки високій швидкості рідини на вході в камеру і низькому тиску (0,015 МПа), всередині камери відбувається інтенсивне зважене взаємне контактування краплин з середовищем борошна. Як наслідок, в об'ємі камери утворюється значна кількість краплинної в'язкої суміші. Вона опускається по циліндричній стінці на дно камери, створюючи умови до рівноважної взаємодії з усією масою компонентів дозування.

Кількісне співвідношення перерозподілу вхідного енергетичного потоку рідинної та твердої фаз при змішуванні вказує на явну перевагу витрат, пов'язаних зі створенням псевдозмішування. На основі принципу суперпозиції зроблено висновок про рівність рушійних сил і сил опору середовищ. Рушійний фактор процесу є рідинна фаза, а її ста-

білізована швидкість вказує на рівність фактора рушійних сил і фактора сил опору середовища. З урахуванням положення про рівність дії і протидії приходимо до висновку про можливість визначення процесу.

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 [10], сил опору та сил інерції системи, то це означає, що саме в режимі перехідного процесу можливе досягнення максимальної здатності змішування.

Оскільки важливими чинниками системи є утримувальна здатність борошна і рівень дисперсності [3], то додаткове енерговведення на рівні гідродинаміки означає точні локалізовані впливи, рівень яких визначається на основі процесів ізотермічного або адіабатного стискання (розширення). Наявність таких даних дає можливість визначення часу перехідних процесів.

В роботі [11] відзначено, що створення гідродинамічних потоків, швидкостей у рідинних середовищах є наслідком змін за його напрямком, масообміну на межі поділу фаз. Оцінка динаміки перебігу таких процесів здійснюється на основі лінійних диференціальних рівнянь процесу, які доповнюються закономірностями зміни парціальних тисків, швидкостей (і сталих насичення). Автор [3] відзначає, що кінцевим результатом розв'язання рівнянь перебігу процесів є визначення їх швидкості та оцінка їх енергетичного потенціалу. На нашу думку, кількісна оцінка величини матеріального потоку рідини і борошна та їх енергетичний потенціал можна здійснювати за методикою, аналогічною щодо масообмінних потоків.

Визначення енергії створення міжфазної поверхні ґрунтується на фізичній суті такого поняття, як поверхневий натяг [3, 5, 11]. Процес утворення вказаної поверхні відбувається в умовах, близьких до ізотермічних, а перехід до швидкості утворення міжфазової поверхні визначає його потужність.

За відомих даних [3, 5], щодо секундних витрат потоку і бажаного рівня дисперсності рідинної фази визначається швидкість генерації поверхні поділу фаз, а з урахуванням поверхневого натягу — потрібна потужність енергетичного потоку для її реалізації.

Таким чином [3, 11], в умовах швидкоплинних деформацій маса рідинної розподіленої фази в робочій камері за способом Релея в еквівалентній схемі визначається як приведена. 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 [10]. Рушійний фактор в ній визначається добутком зовнішнього тиску на площу поперечного перерізу робочої камери, а протидіючою силою в деформації рідинного середовища виступають пружні сили утворені дозуючим борошном і силами внутрішнього тертя.

Одержана модель дозволяє відслідковувати впливи різних законів зміни швидкостей на динаміку внутрішніх потоків, тисків системи за використання в якості аналітичних моделей диференціальних рівнянь руху другого порядку. При змішуванні компонентів на вирішальне значення утворення суміші мають енергетичні показники рідинної системи. Енергетичне забезпечення систем досягається за рахунок створення комбінованих дій різних конструктивних і технологічних факторів (рис. 3). Схему до структури енергетичних потоків наведено на рис. 4.

У відповідності до схеми енергетичні потоки рідинної фази і борошна витрачаються на енергію створення міжфазної поверхні, потенціальну енергію рідинного шару, кінетичну енергію перемішування середовища та енергетичний потенціал їх взаємодії.

Підґрунтям у визначенні силових і кінематичних параметрів змішувального шару середовища у перехідному процесі є рівняння руху

$$\rho_{pid} F (H_{pid} - x) \dot{x} = \rho_{pid} g u - \rho_{pid} g (H_{zag} - x) F. \quad (6)$$

Його початкові умови: $t_n = 0$; $x_n = 0$; $\dot{x} = 0$.

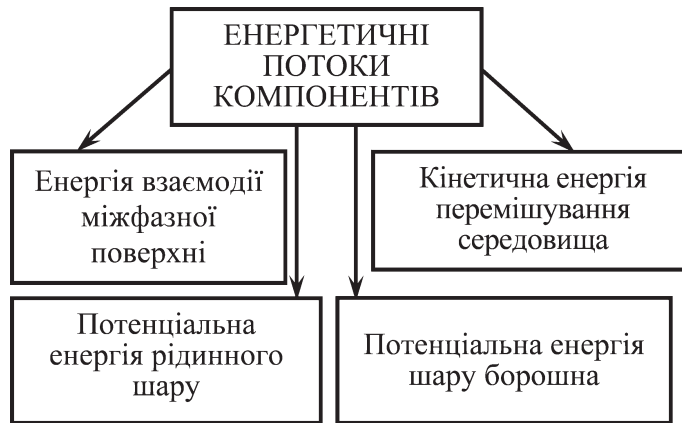


Рисунок 4 — Схема до структури енергетичних потоків

Енергетичний потенціал утвореного шару середовища:

$$E_{\text{раз}} = V_{\text{рід}} c_{\text{н(с)}} P_c \quad (7)$$

де $V_{\text{рід}}$ — об'єм рідинної фази; $c_{\text{н(с)}}$ — середня стала насичення по утвореному середовищі опари; P_c — середній для системи тиск.

Оцінка рівня кінетичної енергії досягалася на основі відносної швидкості рідинного потоку, що є стабілізованим. Це означає рівність рушійних Архимедових сил і сил опору утворюючого середовища. Сумарна Архимедова сила визначається через утримувальну здатність:

$$P_{\text{руш}} = \rho_{\text{рід}} u g = P_{\text{он}} \quad (8)$$

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

$$w_{\text{рід}} = w_{\text{абс}} - w \quad (9)$$

При цьому абсолютна швидкість визначається методами гідродинаміки двофазних середовищ насичених бульбашками повітря. За вказаних співвідношень потужність циркуляційних контурів складає:

$$N_{\text{ук}} = \rho_{\text{рід}} u g w_{\text{рід}} \quad (9)$$

Енергія ізотермічного утворення одиниці поверхні на границі з іншою фазою визначається через величину поверхневого натягу σ . Тоді стосовно поверхні S маємо:

$$E_{\text{ут.н}} = \sigma S, \quad (10)$$

а перехід до швидкості утворення поверхні поділу фаз dS/dt дозволяє оцінити потужність цього процесу

$$N_{\text{yn}} = \sigma \frac{dS}{dt} \quad (11)$$

Зазначені співвідношення дають можливість перейти до визначення рівня дисперсності у зв'язку з енергетичним забезпеченням цього процесу.

Порівняння сукупності енергетичних впливів з енергією утворення міжфазної поверхні вказує на доцільність локалізації енерговведення в зону такого утворення за рахунок підвищення швидкості контактування компонентів.

Висновки. Запропоновано математичну формалізацію оцінки динамічних параметрів квазіпружних середовищ і методики визначення їх кінематичних характеристик. На базі проведених досліджень розроблено алгоритм діагностики системи дозування рідких компонентів із сопловим пристроєм. Розроблено імітаційну модель та визначено характеристики розподілу швидкості руху середовища дозування. На підставі результатів проведено-

го циклу імітаційних і фізичних експериментів вважаємо, що визначальними елементами робочої характеристики змішування у псевдошарі є: 1) струминний пристрій, що забезпечує потрібну течію дозуючих рідинних компонентів; 2) робоча камера змішування з необхідними параметрами; 3) місце розташування сопла і форма його сполучення з поверхнею робочої камери, що забезпечують необхідний розподіл швидкості з поворотом струменя та взаємодією з борошном. Зазначені фактори визначають рівень витратної характеристики і ефективність роботи системи в змішувачі.

Список літератури

1. Стадник І. Я. Вплив конструкції місильного органу на інтенсифікацію замішування. *Хлібопекарна і кондитерська промисловість України*. 2006. №9. С. 29–33.
2. 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.
3. Інтенсифікація тепло- та масообмінних процесів в харчових технологіях: монографія / під ред. д-ра техн. наук, проф. А. І. Соколенка. Київ : Фенікс. 2011. 536 с.
4. Пажи Д. Г., Галустов В. С. Распылители жидкости. М. : Химия. 2009. 216 с.
5. Stadnyk, I., Pankiv, J., Havrylko, P., Karpyk, H. (2019). Researching of the concentration distribution of soluble layers when mixed in the weight condition. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, vol. 13, no. 1, pp. 581–592.
6. Доломакін Ю. Ю. Структурно-механічні характеристики рідких хлібопекарських опар. *Ресурс- 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.*
7. Змішувач напівфабрикатів: пат. 137278 Україна: МПК А21С1/00 В01F7/00. № u201903951; заявл. 15.04.2019; опубл. 10.10.2019, Бюл. №19.
8. Змішувач рідких напівфабрикатів: пат. 134226 Україна: МПК А21С1/00 В01F7/00. № u201903951; заявл. 12.10.2018; опубл. 10.05.2019, Бюл. № 9.
9. Kryvoplyas-Volodina, L. (2014). 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*, vol. 2, no. 4, pp. 138–142.
10. Stręk, Fryderyk. (2011). Mieszanie i mieszalniki. Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 367 p.
11. Брагинский Л. Н., Бегачев В. И., Барабаш В. М. Перемешивание в жидких средах. *Физические основы и инженерные методы расчета*. Л. : Химия, 1984. 336 с.

References

1. Stadnyk, I. Ya. (2006). *Vplyv konstruktsii misylnoho orhanu na intensyfikatsiiu zamishuvannia* [Influence of the design of the kneading body on the intensification of kneading]. *Khlibopekarna i kondyterska promyslovisht Ukrainy* [Bakery and confectionery industry of Ukraine], no. 9, pp. 29–33.
2. Yudaev, V. F. (1994). *Hydromekhanicheskiye protsessy v rotornikh apparatakh s moduliatsyei prokhodnoho secheniya potoka obrabatyvaemoi sredi* [Hydromechanical processes in rotary devices with modulation of the flow cross section of the flow of the treated medium]. *Teoretycheskiye osnovy khymycheskykh tekhnolohiy* [Theoretical foundations of chemical technologies], vol. 28, no. 6, pp. 581–590.
3. Sokolenko, A. I. (ed.) (2011). *Intensyfikatsiia teplo — ta masoobminnykh protsesiv v kharchovykh tekhnolohiiakh* [Intensification of heat and mass transfer processes in food technologies]. Kyiv, Phoenix Publ., 536 p.
4. Pazhy, D. H., Halustov, B. C. (2009). *Raspilytely zhydkosty* [Sprayers of liquid]. Moscow, Chemistry Publ., 216 p.
5. Stadnyk, I., Pankiv, J., Havrylko, P., Karpyk, H. (2019). Researching of the concentration distribution of soluble layers when mixed in the weight condition. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, vol. 13, no. 1, pp. 581–592.

6. Dolomakin, Yu. Yu. (2015). *Strukturno-mekhanichni kharakterystyky ridkykh khlibopekarskykh opar* [Structural and mechanical characteristics of liquid baking pans]. Resource and energy-saving technologies of food production and packaging — the basic principles of its competitiveness: materials of the IV International Specialized Scientific and Practical Conference, September 8, 2015. Kyiv, NUHT Publ., pp. 59–61.
7. Semi-finished mixer: US Pat. 137278 Ukraine: publ. 10/10/2019, bull. №19.
8. Mixer of liquid semi-finished products: US Pat. 134226 Ukraine: publ. 10/05/2019, bull. no. 9.
9. Kryvoplyas-Volodina, L. (2014). 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*, vol. 2, no. 4, pp. 138–142.
10. Stręk, Fryderyk. (2011). *Mieszanie i mieszalniki*. Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 367 p.
11. Braginsky, L. N., Begachev, V. I., Barabash, V. M. (1984). *Stirring in liquids environments: Physical foundations and engineering calculation methods*. Chemistry, 336 p.

Objective is to give a scientific substantiation of the influence of pressure and energy characteristics of reactive devices while maintaining optimal conditions for mixing dosing components in a suspended state. The research was carried out on a mixer of a new design in the preparation of liquid mash.

Methods. The research materials are energy-efficient, multifunctionally variable formation of transients during mixing of the medium. The mixing was based on the creation of a model for the synthesis of the liquid phase supply based on the process of interaction with flour during the formation of a homogeneous system. Methods of theoretical mechanics, mathematical analysis, mathematical physics and modern numerical methods were used in the development of mathematical models.

Results. The transient process of creating a liquid mixture, which begins from the moment of formation of the jet, its interaction with flour, is revealed. The dynamics of increasing the volume of the liquid mixture is shown, which is determined by the ratio of driving forces, resistance forces and forces of inertia of the system. It is proved that it is possible to achieve the maximum mixing ability in the transient mode.

For researches of transient processes of displacement of components in a pseudolayer of the developed laboratory establishment, by means of the certain certain national and power characteristics, the big design and mode parameters providing optimum process conditions have been established. The conducted research is based on the hydrodynamic theory of rolling and the theory of similarity. This made it possible to establish quantitative dependencies between the geometrical characteristics of the working space (gap), the properties of the material being processed and the modes of its processing

Key words: nozzle, displacement chamber, working system, energy characteristic, power parameters.