



УДК 664.643.1

HYDRODYNAMIC SPEED MODES OF THE LIQUID AND GAS PHASES
ГІДРОДИНАМІЧНІ ШВИДКІСНІ РЕЖИМИ РІДКОЇ ТА ГАЗОВОЇ ФАЗ**Stadnik I.Y./ Стадник І.Я.,**
*d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4126-3256>*Ternopil Ivan Puluj National Technical University*
46001, 6 Hohol str., Ternopil*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*
46001, вул. Гоголя, 6, м. Тернопіль**Piddubnyi V.A./ Піддубний В.А.**
*d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1497-7133>*Kyiv National University of Trade and Economics*
02156, 19 Kyoto str., Kyiv*Національний університет торгівлі і економіки*
02156, вул.Киото, 19, м. Київ**Havrylko P.P./ Гаврилко П. П.**
*s.e.s., as.prof. / к.е.н., доц.*ORCID ID <https://orcid.org/0000-0003-2467-8150>*Uzhhorod Trade and Economic Institute of SUTE*
88000, 21 Pravoslavna naberezhna str., Uzhhorod*Ужгородський торговельно-економічний інститут ДТЕУ*
88000, вул. Православна набережна, 21, м. Ужгород**Hushtan T.V./ Гуштан Т.В.**
*s.e.s., as.prof. / к.е.н., доц.*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0299-0437>*Uzhhorod Trade and Economic Institute of SUTE*
88000, 21 Pravoslavna naberezhna str., Uzhhorod*Ужгородський торговельно-економічний інститут ДТЕУ*
88000, вул. Православна набережна, 21, м. Ужгород**Kahanets-havrylko L.P/ Каганець-Гаврилко Л.П.**
*teacher/викладач*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2800-1465>*Uzhhorod trade and economic professional college of the State trade and economic university;*
88000, Kapitulna, st. 1/3, Uzhhorod*Ужгородський торговельно-економічний фаховий коледж*
Державного торговельно-економічного університету;
88000, Капітульна, вул. Україна, м. Ужгород, 1/3,

Анотація. Проведено аналіз змішувачів різних конструкцій, відзначено їх ступінь впливу на середовище, а також недоліки при виборі відповідних параметрів у проведенні модернізації, реконструкції де не враховується необхідна мікроструктура напівфабрикату, що визначає його поведінку і якість.

Розглянуто змішування як чисто механічний процес взаємного формування біополімерних матеріалів в умовах течії зсувного деформування, існування взаємозв'язків між температурою, прикладеним зусиллям, всебічним стисканням, з одного боку, і іншими властивостями біополімерів, з іншого.

Відзначено, що використання псевдозрідження та вібрації в період дозування компонентів на стадії змішування сприяє інтенсифікації взаємодії дисперсної фази, тобто



як принцип дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ) із іншими фізичними ефектами створює швидкі зміни руху компонентів.

Розглянуто математичний опис процесу формування потоку рідини та дисперсного потоку частинок борошна, утворених вібродозатором борошна і розпилюючою форсункою (насадкою). Отримано функціональну залежність рівномірності утворення бульбашок середовища від трьох факторів $v=f(h, V, v_c)$. Перевірка однорідності дисперсій, адекватність отриманої функціональної залежності та пошуку її оптимуму виконано в середовищі комп'ютерної математики Maple.

Ключові слова: змішувач, тісто, псевдозрідження, моделювання.

Вступ.

Напрямки підвищення якості утворення сумішей при змішуванні у харчовій та фармацевтичній промисловості, є актуальними. Тому сьогодні приділяється велика увага, як у нашій країні, так і за кордоном. Адже в умовах ринкової економіки найкращим буде той процес та обладнання, що оптимізує технологічні процеси з меншими енергетичними та матеріальними витратами.

Борошно є одним з найбільш популярних продуктів переробки. У всьому світі просто вражаюча кількість споживаного борошна в розмірах, формах, текстурі і смаку різних видів виготовлених напівфабрикатів. Приготування напівфабрикату в комплексі залежить не тільки від вхідних інгредієнтів, а й параметрів обладнання на якому вони переробляються. Необхідно відмітити, яким би “сучасним” та “ефективним” не були змішувачі, без якісної сировини отримати якісний продукт неможливо.

Здебільшого, обладнання для цієї операції обирають виходячи з особливостей виробництва, заданої продуктивності, характеристик сировини, показників якості готової суміші та економічних можливостей підприємства. Механічне перемішування у харчовій промисловості набуло найширшого використання завдяки своїй відносній простоті, а також різноманітності типорозмірів і конструкцій змішувальних робочих органів. Як стверджують автори [1], робочі органи не тільки служать для перемішування, але є універсальним засобом для гомогенізації малов'язких і в'язких середовищ. Їх ефективність використання є вищою, ніж під час розчинення у стаціонарному шарі компонентів. Їм належить рівномірний та інтенсивний масообмін між твердою фазою та рідиною.

Технологічні машини різних конструкцій розрізняються ступенем впливу на компоненти [2]. Цей вплив призводить до отримання кінцевого продукту з неоднаковими структурно-механічними властивостями та готової продукції різної якості. Вивчення впливу окремих змішувачів на властивості напівфабрикатів дозволяє робити пошук у їх найбільш доцільних конструкціях по підбору оптимальних режимів змішування.

Автори відзначають [3,4], що у даний час при виборі такого технологічного обладнання або проведенні модернізації з відповідними параметрами не враховується необхідна мікроструктура напівфабрикату, що визначає його поведінку і якість. Нерідко існуюче устаткування обумовлене сформованими традиціями, доступністю його виготовлення, або неповними знаннями про даний процес. Тому перспективним напрямком при змішуванні суміші компонентів є використання нового покоління обладнання, що



дозволило б збільшувати турбулізацію і циркуляцію потоків при одночасному зниженні енергоспоживання і металоємності.

Розробка конструкції обладнання для приготування рідких водно-борошняних напівфабрикатів, емульсій, суспензій вітчизняного виробництва сьогодні практично відсутня, а існуючі - досить консервативні та малоєфективні. У цих машинах слабо вирішені вимоги, що ставить сучасність. Частково відсутня або незбалансована дія робочого органу та робочої камери машини, не передбачено регулювання режиму змішування, що призводить до підвищення нагріву середовища з не достатньою його аерацією.

Отже, наукові дослідження у цій області знань відкривають шляхи для модернізації існуючих та розробки нових конструкцій з необхідними параметрами. На наш погляд одним із можливих шляхів удосконалення змішування є створення дискретно-імпульсного впливу, пульсацій тиску та швидкості рідинного потоку, розвиненої турбулентності в локальних об'ємах потоку в робочій камері машини.

Аналіз останніх досліджень.

Проблема розчинення твердих частинок (борошна) у промисловості вирішується різними методами: з механічним або пневматичним переміщенням, із псевдозрідженим шаром, перемішуванням струменем рідини або повітря, з рухомим або стаціонарним шаром твердої фази.

Відомо [4], що борошно це високомолекулярний біополімер в роздробленому (дисперсному) стані і є порошкоподібним адсорбентом. Питома поверхня різних сортів пшеничного борошна коливається у межах 60...270 м²/кг [4]. Борошно, особливо з твердих сортів пшениці, складається з дискретних частинок. Хоча ці частинки представляються маленькими, насправді вони досить великі (100...200 мкм), набагато більше гранул крохмалю (5...40 мкм) і, звичайно, більше молекул білка.

При формуванні біополімерних матеріалів основне значення мають процеси течії в умовах зсувного деформування. При будь-якій швидкості дії робочих органів існує взаємозв'язок між температурою, прикладеним зусиллям, всебічного стискання, з одного боку, і іншими властивостями біополімерів, з іншого. Вивченням всіх аспектів деформування середовища під впливом прикладених напружень займається спеціальний розділ механіки – реологія [5].

В праці [6] Стренк відзначає: створення якісної суміші не рівнозначно отриманню рівномірної концентрації частинок твердого тіла в рідині у всьому об'ємі апарата. Часто такого стану добитися неможливо. Утім, це й не обов'язково. Рівномірна концентрація суспензії у всьому об'ємі змішувача, істотного значення не має, але важливо, щоб всі частинки твердого тіла знаходилися у рідині в підвішеному стані. Також необхідно створити досить велику турбулентність рідини навколо частинок з метою зменшення товщини ламінарного шару на межі рідина – тверде тіло.

Отже, процес змішування розглядається як чисто механічний процес взаємного проникнення. Мета проникнення спрямована на отримання максимально однорідного суцільного середовища. Взаємодія частинок суцільного середовища з одними фізичними властивостями між частинками



суцільного середовища з іншими фізичними властивостями створює нові властивості, що відрізняються від властивостей змішуваних середовищ.

Авторами статті [7] розглянуто моделі псевдозрідження полідисперсних суспензій. На основі фізичної суті процесу було запропоновано систему рівнянь для математичного моделювання киплячого шару полідисперсної суспензії. В роботі наведено рівняння, графіки та діаграми за результатами досліджень. Недоліком запропонованої моделі є те, що вона не враховує різну швидкість руху частинок.

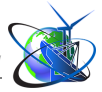
У роботах [9,10,11] наведено змішувач, що містить циліндричний корпус з днищем, кришкою і патрубками, вертикальний вал з тарільчастими робочими органами, а також змонтовані на внутрішній поверхні корпусу гальмівні елементи. Так в роботі [10] відзначено, що використання псевдозрідження та вібрації в період дозування компонентів на першій стадії змішування інтенсифікує технологічний процес із дисперсною фазою. Цей підхід, який названий принципом дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ), базується на корисному використанні згаданих вище механічних та інших фізичних ефектах, що виникають в псевдозрідженому середовищі при швидкій зміні руху компонентів та внутрішнього тиску.

Ідеологія ДІВЕ має на увазі наявність в утвореній рідкій фазі великої кількості рівномірно розподілених частинок борошна, бульбашок. Поведінка будь-якої окремої частинки визначається впливом найближчих інших сусідніх частинок. Динамічні характеристики в локальній точці рідини розглядаються з урахуванням впливу всіх частинок дозуючих компонентів. Це призводить до утворення всередині рідинної фази хаотичного, безперервно змінного в часі і в просторі полів швидкостей і тисків. Мікротечія в міжфазовому просторі має вихровий характер. Це формує поля тисків і швидкостей, що нагадують за своїм характером відповідні поля у турбулізованому потоці рідини.

Таким чином, просторово-часова структура потоку при імпульсному введенні енергії є утворення поблизу поверхні розділу фаз концентрованих зон дисипації енергії, що перевищують дисипацію енергії при звичайних способах проведення процесу на декілька порядків. Внаслідок цього в приграничному шарі розвиваються різного роду потужні фактори, які інтенсифікують перенесення тепла і маси. Все це приводить до підвищення інтенсифікації тепломасообміну та додаткового змішування.

Окрім гідродинаміки процесу, важливою характеристикою розчинення є її кінетика. Сумарна швидкість процесу розчинення визначається інтенсивністю кінетичної та дифузійної стадій. Кінетика є одним із найважливіших аспектів розчинення. Вона встановлює закономірності перебігу процесу у часі, визначає швидкість процесу. Нею також визначається продуктивність апаратів-розчинників [12,13]. Формування адекватних кінетичних моделей зазвичай базується на попередніх експериментальних дослідженнях. У цьому відношенні значний інтерес представляє дослідження, що проходить в області гетерогенного розчину [13,14].

Швидкість гетерогенних процесів залежить від величини поверхні міжфазного контакту і від дифузії. Причому збільшення швидкості процесу



відбувається в основному за рахунок поновлення компонентів на поверхні контакту фаз, так як швидкість дифузії незначна. Гетерогенна реакція складається з декількох послідовних стадій між рідинною фазою і частинками борошна. Результируюча швидкість всього процесу визначається швидкістю взаємодій фаз.

Для полегшення аналізу закономірностей процесу змішування та виявлення постадійних раціональних параметрів його забезпечення авторами [4,10] удосконалено запропоновану тристадійну модель процесу О.Т. Лісовенко [13], яка базується також на розробках Х.Д. Чейшнера, Н. Квендта та інших.

Важливим є дослідження впливу концентрації на швидкість, з якою тверда частинка борошна розчиняється у рідинній фазі. Дослідниками роботи [14] зроблено висновок, що швидкість, з якою тверда речовина розчиняється у розчині, пропорційна різниці між концентрацією цього розчину та концентрацією насиченого розчину.

Змішування в псевдозрідженому стані та з використанням обертових мішалок – гідромеханічний процес, в якому гідродинаміка має вирішальне значення для якості кінцевого стану середовища, виробу та продуктивності процесу. Однозначно, конструкція змішувального пристрою, в першу чергу, мішалки, безпосередньо бере участь у формуванні поля швидкості та характеристик турбулентного й конвективного перенесення на стадії утворення суміші. Ця стадія безпосередньо впливає на ефективність й визначає рівень змішування, тобто розчинення твердих частинок борошна з утворенням обнорідної сонцентрації. Під час змішування взаємно розчинних рідин і борошна, то ці характеристики повністю визначають час розчинення (гомогенізації). Окрім конструкції робочих органів, корпус робочої камери також має вплив на гідродинамічні характеристики рухомого потоку в змішувачі.

Метою роботи є оптимізація кінетики розчинення дисперсної суміші борошна та рідких компонентів під час їх псевдоперемішування у зваженому стані.

Методи і матеріали.

В якості об'єкта дослідження обрано процес змішування, як чисто механічний процес взаємного проникнення частинок борошна з фізичними властивостями та частинок рідинного середовища з іншими фізичними властивостями. Розглянуто ситуацію щодо розв'язку моделюванням із застосуванням поняття приведеної швидкості рідинно-газової фази.

Аналіз досліджень.

На нашу думку і авторів [9,14], підвищення енергоефективності змішування можливо за умови визначення та встановлення раціональних параметрів струминного пристрою та технологічних параметрів процесу змішування. Такий результат можливо отримати при дискретно- імпульсному дозуванні компонентів з впровадженням конструкції ежектора соплової системи змішувача компонентів (струминний пристрій). Конструкція пристрою заснована на створенні максимальної різниці швидкостей фаз, що дозволяє знизити енергетичні витрати на проведення диспергування. Ступінь на перших



хвилинах зв'язування незначної кількості рідинної фази активної гідрофільної груп частинок борошна, сприяє утворенню водяних оболонок. Взаємодія рідинної фази з гідрофільними групами відбувається не тільки на поверхні частинок борошна, але і в об'ємі. Процес протікає з виділенням і поглинанням теплоти (екзотермічно). Кількість утримуваної рідинної фази близько 30 % не призводить до великого збільшення об'єму частинок рис.

Отже, на водопоглинальну здатність борошна впливає її дисперсність, тобто розмір частинок. Із зменшенням розміру частинок збільшується питома поверхня в одиниці маси борошна, тому може бути адсорбційно більше зв'язано води. Поглинання води частинками з дрібними розмірами відбувається значно швидше. Основою способу змішування, що розглядається, є зволоження пиловидних часточок борошна, які перебувають у завислому стані, струменем рідини під тиском за умови термодинамічних процесів. Взаємодія компонентів спрямована на інтенсивність впливу тепломасообміну в модельній опарній композиції.

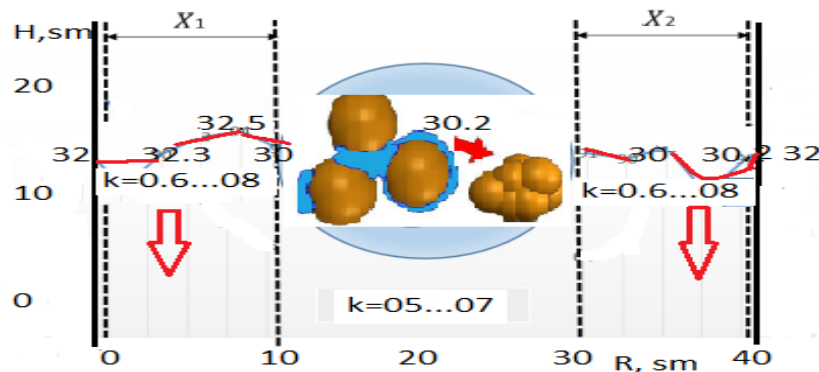


Рис. Структурна схема взаємодії компонентів у ваговомк стані

Авторська розробка

Переведення середовища в режим адіабатної взаємодії пов'язане зі зниженням тиску, що для температурних інтервалів рідинної фази має складати відповідно: 30-38 °С. З порівняння особливостей способу витікання та взаємодії компонентів, досягнення вказаних температурних режимів має супроводжуватися однаковими енергетичними витратами. Так, перехід від твердої фази до рідинної супроводжується нагріванням утвореного середовища на $\Delta t = 10^\circ\text{C}$, у зв'язку із чим теплові витрати складуть:

$$Q_{ce} = m_{ce} C_{ce} \Delta t ,$$

де m_{ce} і C_{ce} – відповідно маса та теплоємність середовища.

Оскільки взаємодія борошна із рідкою фазою до загальної маси має підвищити її температуру на 10°С, то це означає, що повинна виконуватися умова дозування. На основі останнього досягається можливість визначити масу частини середовища, що утворюється. Це означає, що маса середовища, яка підлягає режиму вагового змішування у 3,5 рази менша за загальну масу утвореного середовища.

Важливою частиною генерування в середовищі рідинної фази при оцінці процесу вагового змішування, варто ж звернути увагу на те, що він здійснюється за рахунок теплопритоку через поверхню теплопередавання.



Процес сприймається в першу чергу борошном через рідинну фазу. Це означає, що окрім обмеження оброблюваної частини ефект деструкції частинок борошна досягатися не буде. Досягнення останнього можливе лише в режимі адіабатного нагрівання середовища, реалізація якого за декокційним способом обробки має супроводжуватися нагріванням до температур $>40^{\circ}\text{C}$ за рахунок механічного впливу в робочій камері машини. Проте, можливою є реалізація режиму адіабатного нагрівання і за рахунок примусового зниження тиску в робочій камері, тобто за рахунок вакуумування, за рахунок інтенсифікації. Перехід до режимів адіабатного нагрівання в обох випадках означає використання елементів дискретно-імпульсних технологій, наслідки впливів яких на середовища не потребують додаткових доказів. Однак, віддаючи перевагу одному чи іншому напрямку, слід звернути увагу на можливі технологічні наслідки. Прояв останніх також пов'язується з температурами і часом перебігу процесів з точки зору впливу на ферментативні комплекси. Це означає, що нагрівання середовища від заданої температури до 40°C явно і суттєво перевищує температуру оцукрювання, що не може не впливати на ферментативну активність системи при бродінні.

Наведені міркування приводять до висновку про можливість реалізації режимів адіабатного нагрівання, при цьому потенціал енергетичних впливів оцінюється перепадом температур, який спрацьовує в режимі досягнення середовищем нового стану термодинамічної рівноваги.

Окрім гідродинаміки процесу, важливою характеристикою взаємодії компонентів є їх кінетика. Сумарна швидкість процесу взаємодії визначається інтенсивністю кінетичної та дифузійної стадій. Кінетика є одним із найважливіших аспектів взаємодії фаз компонентів. Вона встановлює закономірності перебігу процесу у часі, визначає швидкість процесу. Нею також визначається продуктивність змішувачів [5,9]. У цьому відношенні значний інтерес представляє дослідження, проведене в області гетерогенної взаємодії борошна з рідкими компонентами [3, 4].

Ми вже згадували, що взаємодія борошна із розсіяним струменем рідинної фази відбувається переважно хаотичний процес, тобто їх взаємодія з перемішування. Таким чином, у нашому розглянутому випадку під дією вібрації та перемішування у зваженому стані, суміш намагається перейти у квазірівноважений стан. Це відбувається з урахуванням перетворень сил внутрішнього тертя. Разом з тим на стан рівноваги суттєво впливають виникаючі у процесі гравітаційні сили, які визначають не тільки розміри і щільність, а також форму та інші параметри суміші.

Наведені міркування і співвідношення приводять до логічного висновку про те, що можливості бродіння тіста за показником швидкості розчинення кисню повинні відповідати динаміці споживання O_2 дріжджами в перерахунку на швидкість приросту середовища або на швидкість зменшення концентрації цукру в середовищі. Така відповідність балансів відображується залежністю:

$$\frac{dM_{\text{кнс}}}{d\tau} = k_{\text{м}} F(c_{\text{н}} - c_{\text{т}}), \frac{\text{кг}}{\text{с}}, \quad (1)$$

де $k_{\text{м}}$ – коефіцієнт масопередачі на межі поділу диспергованої газової фази і



рідинного середовища, м/с; F – площа поверхні поділу фаз, м²; c_n і c_t – відповідно концентрація насичення і плинна концентрація масопередачі. Добуток $k_M F$ називають об'ємним коефіцієнтом масопередачі:

$$k_v = k_M F, \frac{M^3}{c}. \quad (2)$$

Числові значення коефіцієнтів масопередачі і поверхні поділу фаз залежать від фізичних параметрів рідинної і газової фаз, як температура, в'язкість, поверхневий натяг, гідродинамічний режим газорідинного середовища, умови утворення диспергованої газової фази, газотримувальної здатності, швидкості спливання газових бульбашок тощо.

Оскільки інтенсивність гідродинамічних режимів залежить від газотримувальної здатності, то пошук першопричини слід починати з визначення параметрів впливу на неї. Відповідь на питання про вплив рівня аерації завжди позитивна. Так, збільшення кількості (інтенсивності) вхідного потоку повітря, що вводиться в систему, газотримувальну здатність підвищує. Саме на основі цього факту використання знаходить методика оцінки інтенсивності на основі кількості повітря в м³ середовища за одиницю часу. При цьому стверджується можливість моделювання гідродинамічних режимів, у тому числі і в середовищах різної геометрії, що відображується різними співвідношеннями площі поперечного перерізу і висоти стосовно ізооб'ємного рівня в робочій камері машини.

Ситуація щодо розв'язання поняття приведеної швидкості газової фази [14], яка визначається відношенням рідинно-газового потоку V в м³/с до площі поперечного перерізу робочої камери f_{ap} :

$$w_{np} = \frac{V}{f_{ap}}, \frac{M}{c}. \quad (3)$$

Таким чином, режиму моделювання гідродинаміки в середовищі відповідає наближення до виконання умови $w_{np} = \text{const}$. Саме це означає зменшення газового потоку V при кратному зменшенні площі поперечного перерізу f_{ap} і, навпаки, за відповідного збільшення стосовно ізооб'єму.

Доцільність використання параметра w_{np} в моделюванні режимів змішування підтверджується порівнянням енергетичних витрат на введення в середовища рідинно-газових потоків. Такі витрати пов'язані з необхідністю подолання потоками гідростатичних тисків і утворенням міжфазної поверхні. Для визначення першої складової скористаємося трансформованим рівнянням ідеального газу Клапейрона у формі:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2, \text{ Вт або } \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}, \quad (4)$$

де p_1 і p_2 – гідростатичні тиски в зонах введення потоків в порівнюваних змішувачах, Па;

V_1 і V_2 – відповідно об'ємні потоки рідинно-газової фази, м³/с.

Оскільки умова (4) передбачає рівність потужностей вхідних рідинно-газових потоків, то при $w_{np} = \text{const}$ маємо:

$$V_1 = w_{np} f_1; \quad V_2 = w_{np} f_2 \quad (5)$$



і звідси

$$V_2 = \frac{V_1 f_2}{f_1}; \quad V_1 = V_2 \frac{f_1}{f_2}. \quad (6)$$

Наведені співвідношення дозволяють сформулювати умову моделювання гідродинамічних режимів у формі:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 = \text{const при } w_{\text{пр}} = \text{const}. \quad (7)$$

Енергетичні витрати, що стосуються утворення міжфазної поверхні F також пов'язані з газотримувальною здатністю, оскільки:

$$A = \sigma F, \quad (8)$$

де A – робота утворення міжфазної поверхні, Дж;

σ – коефіцієнт поверхневого натягу, Дж/м².

За інших рівних умов міжфазна поверхня є функцією газотримувальної здатності:

$$F = F(u)$$

і тому

$$A = \sigma F(u). \quad (9)$$

Утворення міжфазної поверхні відбувається в зоні контактування рідинної фази з вхідним повітряним потоком з відповідною енергетичною трансформацією.

При цьому в локальній зоні створюється високотурбулізований режим на основі повного поглинання кінетичної енергії потоку з потужністю:

$$N = \rho V \frac{w^2}{2}, \text{ Вт}, \quad (10)$$

де w – швидкість входження в контакт потоку рідинної фази з повітрям, м/с;

ρ – питома маса рідинно-газового потоку, кг/м³.

Результатом такої взаємодії із борошном є утворення диспергованої рідинно-газової фази в супроводженні дисипативних явищ. Якщо останніми знехтувати і вважати, що потужність утворення міжфазної поверхні і потужність вхідного потоку наближено рівні, то на цій основі виникає можливість оцінки швидкості її синтезу. Від моменту утворення газових бульбашок починає діяти закон Архімеда завдяки створенню рушійного фактора:

$$P_{\text{руш}} = \rho_{\text{рід}} g v_6, \quad (11)$$

де $\rho_{\text{рід}}$ – густина рідинної фази, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

v_6 – об'єм бульбашки, м³.

Остання залежність вказує на те, що найбільш суттєвим фактором впливу на динаміку синтезу міжфазної поверхні є швидкість контактування фаз. Важливо, що технічна реалізація у виборі параметра w є цілком досяжною за рахунок вибору загальної площі робочого органу та методики дозування рідких компонентів у впливі на оклюзію і рівномірність розподілу в них газового потоку.

Висновок.

Раціональним для запропонованої конструкції змішувача і технології дискретно-імпульсного дозування компонентів відбувається при малих значеннях коефіцієнту варіації розмірів суміші.

При $vc=3\%$ залежність рівномірності дозування компонентів від відносної висоти h та швидкості руху V буде мати вигляд:



$$v(v_c=3\%)=193,8 \cdot h^2+0,039 \cdot V^2-0,264 \cdot h \cdot V-551,5 \cdot h-0,62 \cdot V+406,9$$

Одержаний вираз диференційної функції розподілу числа частинок по кутовому розсіюванню дозуючих компонентів дозволяє зробити опис структури дисперсного потоку, що утворився при змішуванні в псевдошарі.

Література

1. Особливості аеродинамічного сепарування однокомпонентних насінневих сумішей на прикладі кукурудзи / М. Я. Кирпа та ін. // Насінництво. 2013. С. 45-50.
2. Igor Stadnyk, Volodymyr Piddubnyy, Olena Eremeeva, Halyna Karpyk FEATURES OF HEAT TRANSFER IN THE ENVIRONMENT WHEN IT IS SPRAYED WITH ROTARY ROLLERS //Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences vol. 12, 2018, no. 1, p. 824-835/doi: <https://doi.org/10.5219/977>
3. 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
4. Дробот В.І. Технологічні розрахунки у хлібопекарському виробництві. – К.: Кондор, 2010 – 440 с.
5. Stręk Fryderyk. Mieszanie i mieszalniki, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1971, 367 stron
6. Брагинский Л.Н., Бегачев В.И., Барабаш В.М. Перемешивание в жидких средах: Физические основы и инженерные методы расчета. – Л.: Химия, 1984. – 336 с.
7. Stefan Berres, Raimund Burger, Elmer M. Tory. On mathematical models and numerical simulation of the fluidization of polydisperse suspensions Applied Mathematical Modelling. 2005. P. 159 – 193.
8. Патент №137278 «Змішувач напівфабрикатів» бюлетень №19, від 10.10.2019р. Стадник І., Панбків Ю., Гіджинський В.
9. Патент №134226 «Змішувач рідких напівфабрикатів» бюлетень №9, від 10.05.2019р. Стадник І., Панбків Ю., Лясота О.
10. Стадник, В.А. Піддубний Вдосконалення технологічного процесу та обладнання для формування виробів- 1 частина: Монографія. / Стадник І.Я, Піддубний В.А. –Тернопіль: Видавництво ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019.-290с.
11. Delaplace, G., Guerin, R., Leuliet, J.C., Chhabra, R.P., 2006. An analytical model for the prediction of power consumption for shear-thinning fluids with helical ribbon and helical screw ribbon impellers. Chemical Engineering Science 61, 3250–3259
12. Generalov, M.B. Kinetics and nanostructures in cryogenic crystallization of binary eutectic salt solutions, Theor. Found. Chem. Eng. 2013. vol. 47, no. 3. P. 201.
13. Лисовенко А.Т. Технологическое оборудование хлебозаводов и пути его совершенствования. – М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1982. – 208 с.
14. Noyes A.A., Whitney W.R. The rate of solution of solid substances in their own solutions Massachusetts institute of technology, Boston. 1997. P.930-934.



REFERENCES

1. Peculiarities of aerodynamic separation of one-component seed mixtures on the example of corn / M. Ya. Kirpa et al. // Seed production. 2013. P. 45-50.
2. Igor Stadnyk, Volodymyr Piddubnyy, Olena Eremeeva, Halyna Karpyk
FEATURES OF HEAT TRANSFER IN THE ENVIRONMENT WHEN IT IS SPRAYED WITH ROTARY ROLLERS //Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences vol. 12, 2018, no. 1, p. 824-835/doi: <https://doi.org/10.5219/977>
3. Dolomakin, Yu.Yu. Structural and mechanical characteristics of liquid bread Karskikh opar // Resource- and energy-saving technologies for the production and packaging of food products - the main principles of its competitiveness: materials of the 4th International Specialized Scientific and Practical Conference, September 8, 2015, Kyiv. - K.: NUHT, 2015. - P. 59-61
4. Drobot V.I. Technological calculations in bakery production. - K.: Condor, 2010 - 440 p.
5. Stręk Fryderyk. Mieszanie i mieszalniki, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1971, 367 stron
6. Braginsky L.N., Begachev V.I., Barabash V.M. Stirring in liquids Wednesday: Physical principles and engineering methods of calculation. – L.: Chemistry, 1984. – 336 p.
7. Stefan Berres, Raimund Burger, Elmer M. Tory. On mathematical models and numerical simulation of the fluidization of polydisperse suspensions Applied Mathematical Modelling. 2005. P. 159 – 193.
8. Patent No. 137278 "Semi-finished product mixer" Bulletin No. 19, dated October 10, 2019. Stadnyk I., Panbkiv Yu., Gidjinskits V.
9. Patent No. 134226 "Mixer of liquid semi-finished products" Bulletin No. 9, dated May 10, 2019. Stadnyk I., Panbkiv Yu., Lyasota O.
10. Stadnyk, V.A. Poddubny Improvement of the technological process and equipment for the formation of products - 1 part: Monograph. / Stadnyk I.Ya. Poddubny V.A. – Ternopil: Ivan Pulyuy TNTU Publishing House, 2019.-290c.
11. Delaplace, G., Guerin, R., Leuliet, J.C., Chhabra, R.P., 2006. An analytical model for the prediction of power consumption for shear-thinning fluids with helical ribbon and helical screw ribbon impellers. Chemical Engineering Science 61, 3250–3259
12. Generalov, M.B. Kinetics and nanostructures in cryogenic crystallization of binary eutectic salt solutions, Theor. Found. Chem. Eng. 2013. vol. 47, no. 3. P. 201.
3. Lysovenko A.T. Technological equipment of bread factories and its routesperfection - Moscow: Light and food industry, 1982. - 208 p.
14. Noyes A.A., Whitney W.R. The rate of solution of solid substances in their own solutions Massachusetts institute of technology, Boston. 1997. P.930-934.

Abstract. *The article evaluates the component of the technological process of interaction of components in the working chamber of the machine with the possibility of efficient formation of the mixture on the basis of their redistribution with the creation of local zones. The direction of improving the quality of mixing mixtures in the food industry is relevant, because the improvement of technology and equipment for processing components by different methods, nature and degree of impact is practically achievable for their improvement, especially today. The purpose of the study is to improve the design parameters and increase the efficiency of the mixer by creating conditions that will optimize the dissolution kinetics of the dispersed mixture of flour and liquid components during their pseudo-mixing in the suspended state. The analysis of mixing machines of periodic action and their degree of influence on components is carried out, the physical basis of the principle and systems of redistribution and transformations of deformations in expediency of constructive parameters for optimum modes of mixing is defined. A complex sequence of interaction of components and dynamic flows with possible minimization of energy costs, which is achieved by the degree of their direct interaction and possible transformation with each other, is considered. Mixing is considered as a mechanical process of mutual formation of biopolymer materials in the conditions of shear deformation, the existence of relationships between temperature, applied*



compression forces, on the one hand, and other properties of biopolymers, on the other. It is determined that the use of fluidization and vibration during the dosing of components at the mixing stage contributes to the intensification of the interaction of the dispersed phase. That is, the principle of discrete-pulse energy input (DIVE) with other physical effects is used, which creates rapid changes in the movement of components.

The properties of raw materials for methods of its quality determination are considered, laboratory methods with the use of research tools are substantiated at the established planning technique with the analysis of the received results and the Flow Vision software package is used in plotting graphs based on thermodynamic laws. Processing of the experimental data set was carried out by mathematical description of the process of formation of liquid flow and dispersed flow of flour particles formed by flour vibrating batcher and spray nozzle.