

А.В. Деркач, к.т.н.
Р.Ю. Кравченко, аспірант
І.Я. Стадник, д.т.н., проф.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Ю.І. Радченко, незалежний дослідник
Компанія «Дармі Фабарм»
А.В. Піддубний, д.т.н., проф.
Київський державний торговельно-економічний університет

Вплив параметрів змішувача на однорідності суміші при змішуванні компонентів у хлібопекарській галузі

Представлено результати аналізу відомих досліджень змішування компонентів у змішувальних машинах та рівень суттєвого впливу їх конструктивних параметрів на показники структуроутворення суміші. Зазначено, що дослідження змішування компонентів у хлібопекарській промисловості України на машинах періодичної та безперервної дії є однією з найважливіших технологічних операцій, і темп її розвитку в бік удосконалення конструктивно-технологічних параметрів машини та процесу для поліпшення якості структуроутворення суміші залишається актуальним. В основі роботи покладено покроковий розгляд теорії змішування першої стадії утворення суміші компонентів. Проведено аналіз взаємодії компонентів при встановленому впливі конструкції змішувача, що дозволив у подальшому розкрити шляхи проведення розрахунку конструктивних параметрів засобів для їх дозування і змішування залежно від природи фаз у кожному випадку. Підкреслено, що плив поверхневого шару фази на її загальні витрати визначається питомою енергією. Встановлено, що надлишок вільної енергії на поверхні розподілу фаз є основною причиною нестійкості рідкої консистенції компонентів (у вигляді емульсії), бо згідно з принципом термодинаміки найстійкішому стану системи відповідає мінімальне значення поверхневої енергії. Така залежність у нестійкості рідкої консистенції дозволяє розглянути можливі шляхи оптимізації технології змішування та сприяє суттєвому покращенню характеристики змішувача, що буде позитивно впливати на експлуатаційні характеристики машини. Встановлено величину швидкості потоку, коли кожне крохмальне зерно бере участь всією своєю поверхнею в зіткненні з рідкою фазою, для борошна фазовий контакт $S = 178 \cdot 10^3$ м можна вважати ідеальним.

Ключові слова: змішувач; параметри машини; рух рідини; поверхневий натяг; питома енергія; змішування; середовище; компоненти.

Актуальність теми. У наш час на харчових та фармацевтичних підприємствах працює велика кількість змішувальних машин [1]. Вони здійснюють обробку продукту різними методами і широко різняться характером та ступенем впливу робочих органів на продукт. Розглядаючи найбільш типові машини, можна проаналізувати особливості їх роботи, виокремити переваги і недоліки, і на основі цього розробити практичні рекомендації для проектування нових видів змішувачів, що відповідають вимогам техніки сьогодення.

Аналіз останніх досліджень. Змішування саме собою – це складне поєднання обертання, деформації зсуву і розтягу [1, 2], тому дуже важко пов'язати точні умови обробки з макроскопічними особливостями продукту, що переробляється, не кажучи вже про зміни на молекулярному або мезоскопічному рівні. Як зауважує Стренк [3], створення якісної суміші нерівнозначне 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 підвищеному стані. Також необхідно створити досить велику турбулентність рідини навколо зерен з метою зменшення товщини ламінарного шару на межі рідина – тверде тіло.

Процес змішування розглядається як суто механічний процес взаємного проникнення (частинок суцільного середовища з одними фізичними властивостями між частинками суцільного середовища з іншими фізичними властивостями) з метою отримання максимально однорідного суцільного середовища з новими властивостями, що відрізняються від властивостей змішуваних середовищ. Результуюча швидкість всього процесу визначається швидкістю найповільнішої стадії. Якщо такою стадією є власне хімічна реакція, то змішування використовується для вирівнювання концентраційного поля. У цьому випадку необхідна велика циркуляція. Якщо найповільніша стадія – масопередача, то перемішування призводить до зменшення

товщини дифузійної плівки. Внаслідок турбулізації потоку, викликані змішуванням, відбувається підведення речовини до кордону міжфазного контакту і подальше відведення продуктів реакції [4].

Під час конвективного змішування борошна і рідини швидкість процесу майже не залежить від фізико-механічних властивостей суміші, оскільки процес змішування відбувається на рівні макрооб'ємів. Головний вплив на швидкість процесу змішування у ці моменти часу надає характер руху потоків частинок в змішувачі, який залежить від його конструкції та параметрів. Після того як компоненти (борошно і рідина) в основному будуть розподілені по робочому об'єму змішувача, процеси конвективного і дифузійного змішування стають, за їх впливом на загальний процес змішування, зівставними. У цей час процес перерозподілу часток йде вже на рівні мікрооб'ємів. Починаючи з певного моменту, процес дифузійного змішування стає переважаючим. Істотно впливати на процес починає сегрегація частинок борошна.

У якийсь момент часу ці процеси можуть врівноважитися, після чого подальше змішування втрачає сенс, і процес має бути закінчений. Тривалість дифузійного змішування залежить і від фізико-механічних властивостей суміші, з яких найбільше значення мають гранулометричний склад, щільність, форма і характер поверхні частинок, їх вологість і сипучість [5]. Чим ближче у компонентів зазначені властивості, тим ефективніше їх змішування. Велика різниця у розмірах, щільності сприяє сегрегації частинок. Має значення також число компонентів – борошно, рідина, добавки. З їх збільшенням частка кожного зменшується, а процес змішування ускладнюється.

Велика тривалість змішування необхідна для рівномірного розподілу компонентів борошна і рідини, що входять до складу суміші в малих кількостях. Природно, що компоненти з більшою дисперсністю, що містять в одиниці об'єму більшу кількість частинок, розподіляються краще.

Також у літературі описують кількісну міру цього процесу, яку називають ступінь перемішування [6]. У певній системі вона залежить від інтенсивності утворених мішалкою вихрових потоків, тобто від турбулентності, і від сил, що прагнуть погасити цей рух рідини. Чим вище відношення рушійних сил і опору, тим вище ступінь перемішування. Це співвідношення можна виразити відомим рівнянням швидкості: $\text{рушійна сила} / \text{опір} = \text{швидкість або міра ступеня перемішування}$.

Мета роботи – досягнення взаємодії компонентів під час змішування шляхом використання робочих параметрів змішувальних машин та оцінка однорідності суміші.

Викладення основного матеріалу. Проведений аналіз свідчить, що дослідження процесів змішування дисперсних матеріалів – досить розповсюджена тема наукових розробок у багатьох галузях. Проте розглянуті фахові праці [1–6] не конкретизують явища одночасного дозування і змішування з різними показниками компонентів, що особливо важливо для структуроутворення. Технологічні завдання змішування компонентів часто різняться за функціональним і технічним станом структуроутворення. Тому виникає потреба в розробленні методичних основ розрахунку технологічних і конструкційних параметрів універсальних засобів для дозування і змішування сировини.

У камері машини відбувається процес циркуляції, що базується на багаторазовому русі речовини в закритому контурі з інтенсивним перемішуванням складових. Цей контур містить засіб для ініціювання руху – робочий орган, який, крім функції змішування, виконує функцію насоса, перемішуючи компоненти. Це сприяє формуванню турбулентності компонентів, що збільшує ефективність масопереносу в утвореній суміші та сприяє значному збільшенню міжфазної поверхні. Крім того, перенесення маси від однієї фази до іншої головним чином відбувається за рахунок вихорового руху до межі розподілу всередині іншої фази. Додатково важливою особливістю є те, що в системі з високим рівнем турбулентності поверхневий шар рідини постійно оновлюється – тривалість існування будь-якого фрагмента поверхні від моменту його утворення до зникнення надзвичайно коротка [7, 8]. В таких умовах нормальна структура на даний момент часу не має часу сформуватися, що дозволяє різним компонентам швидко проникнути всередину. Очевидно, що цей режим є більш ефективним, оскільки за максимальної швидкості, а отже, і максимальної продуктивності пристрою, змішується найбільша кількість компонентів.

З аналізу гідродинамічного процесу змішування тіста з'ясовано, що протягом перших секунд у динамічній фазовій системі за наявності руху фаз на поверхні контакту виникають дисипативні ефекти. Таким чином, на поверхні фазового контакту виникає додатковий дисипативний потік енергії, що змінює енергетичний стан, тобто сприяє зсуву фазового контакту.

Відомо, що властивості ділянки фаз, яка прилягає до її поверхні, відрізняються від властивостей фази в об'ємі. Частинки борошна на поверхні кожної фази утворюють особливий прошарок і мають інше оточення порівняно з однорідними частинками глибинних шарів, а тому й інший спосіб взаємодії. Величина поверхневого натягу й енергії частинки залежать у кожному випадку від природи фаз процесу змішування. Вплив поверхневого шару фази на її загальні витрати визначаємо питомою енергією.

Отже, зі збільшенням питомої поверхні за однакової кількості фаз частка поверхневої енергії зростає. Надлишок вільної енергії на поверхні розподілу фаз є основною причиною нестійкості рідкої консистенції компонентів (у вигляді емульсії), бо згідно з принципом термодинаміки найстійкішому станові системи відповідає мінімальне значення поверхневої енергії [2, 7, 9]. Тому в нашому випадку поверхнева енергія прямуватиме до мінімуму внаслідок зменшення поверхні розподілу фаз шляхом

злиття. Цьому сприяють адсорбційні властивості шарів, в'язкість та співвідношення об'ємів фаз, умови диспергування, вид механічного впливу.

Однорідність суміші визначає тривалість і якість кінцевого процесу утворення та інтенсивність технологічного процесу змішування. Процес змішування є просторовим переміщенням окремих частинок борошна під впливом зовнішніх сил. Обґрунтовано, що в утворювальній суміші компонентів відбувається рівномірний розподіл концентрації, але не в окремих частинках компонентів суміші. Для машини змішування, де вже відома характеристика кінетики процесу, однорідність маси розглядається як функціональна залежність:

$$V_c = f(\tau),$$

де τ – тривалість процесу.

Це дозволяє обґрунтувати однорідність суміші через кратність циркуляції в замкнутому контурі місильної камери, тобто

$$\theta = \frac{Q_k}{Q_{зм}},$$

де θ – кратність;

Q_k – кількість борошна, що подається за одиницю часу, кг;

$Q_{зм}$ – загальна кількість компонентів у стадії замішування, кг/с.

Відомо [9, 10], що величина питомої поверхні фазового контакту переважно залежить від дисперсності фази і від співвідношення обсягів фази та змішуваної системи. Дисперсність фази є результатом механічного опрацювання системи, а співвідношення фази і системи є результатом дозування компонентів суміші відповідно до заданої рецептури. Тому утворення суміші розглядається як сукупність дозування компонентів та їх переміщення протягом дискретного процесу. За характером взаємозв'язку цих двох складових частин процесу утворення суміші можна охарактеризувати і весь процес. Великою, що характеризує однорідність суміші, вважаємо відношення загальної поверхні розподілу фаз до обсягу всієї системи, тобто питому поверхню фазового контакту:

$$S_{од.} = \frac{S_{п.ф.}}{V},$$

де $S_{п.ф.}$ – площа поверхні фази, м²;

V – обсяг змішувальної системи, м³.

Вплив конструкції робочого органу і циліндричної робочої камери на однорідність суміші обґрунтовується їх питомою поверхнею фазового контакту, що є функцією багатьох величин:

$$S_{од.} = f(n, d, D, H, \sigma, \rho, \mu_\phi \mu_c),$$

де n – число обертів робочого органу, хв;

d, D, H – діаметр робочого органу, камери і висота наповнення робочої камери, м;

σ – величина поверхневого натягу на межі розподілу фаз, кг/м²;

ρ_ϕ – густина фази, кг/м³;

μ_c, μ_ϕ – в'язкість середовища і фази в кг×с/м².

Отже, критерій однорідності суміші, тобто її дискретність, у цьому випадку характеризується регульованими величинами n, d, D, H , тобто конструктивними особливостями машини. Під час проєктування змішувачів рекомендується розраховувати основні параметри на основі теорії подібності. За наявності раціональної конструкції змішувача, який використовують як фізичну модель, розрахунок доцільно вести за формулами:

$$D_n = D_m \sqrt[14]{\frac{Q_n}{Q_{зм}}};$$

$$\omega_n = \omega_m \sqrt{\frac{D_p}{D_m}};$$

$$N_n = \frac{N_n \omega_n D_p^{2.82}}{\omega_m D_m^{2.82}},$$

де D_p і D_m – діаметри, відповідно проєктованого змішувача і моделі;

ω_m – кутова швидкість, с⁻¹;

N_n – споживана потужність, кВт.

Підставивши числові значення вихідних величин у наведені математичні вирази, можна отримати показники основних конструкційних та технологічних параметрів змішувача компонентів.

Величина питомої поверхні фазового контакту переважно залежить від дисперсності фази рідких компонентів і від співвідношення об'ємів рідких компонентів і усіх змішуваних компонентів. Дисперсність досягається в результаті вільного падіння і механічної дії робочого органу при встановленому режимі дозування компонентів суміші згідно з рецептурою [10]. Тому процес утворення рідкої суміші компонентів розглядається спільно з процесом дозування, вони зміщені в часі і набувають плавного неперервного характеру.

Встановлено, що основою процесу змішування є потік компонентів у замкнутому контурі місильної камери. Незалежно від форми і характеру руху потоку його кратність на будь-якій стадії обробки постійна і дорівнює:

$$g = S_1 v \gamma,$$

де S_1 – умовна середня площа поперечного перерізу, м²;

v – середня швидкість потоку, м/с;

γ – об'ємна вага змішуваних компонентів, кг/м³;

q – середня продуктивність потоку, кг/с.

Зміна величини потоку може призвести до порушення технологічного режиму роботи процесу змішування: збільшення тривалості змішування; збільшення питомої роботи; погіршення якості напівфабрикату. Форми потоку в профільному каналі робочої камери за рахунок зміни поперечних розмірів викликають відповідні зміни рідкої суміші у технологічному процесі. Проте рух потоку не припиняється. У зв'язку з цим у нижній частині камери нагромаджуються компоненти суміші.

При середній продуктивності потоку і ритмі $\tau_{\text{зам}}$ маса утвореної суміші у «ванні» дорівнює:

$$m_c = S_1 v \rho \tau_{\text{зам}},$$

де $\tau_{\text{зам}}$ – цикл підведення і відведення потоку компонентів робочим органом, с.

Потік отримує підвищену швидкість у вигляді тонкого шару, тому поверхня фазового контакту між компонентами суміші є достатньою для отримання необхідної однорідності суміші тільки за рахунок гідротаційної активності інгредієнтів [10, 12]. Тому можлива більш інтенсивна робота робочого органу, оскільки навантаження зменшується, але до встановленої швидкості. Рівень утворення суміші, або рівень досконалості машини можна характеризувати як відношення продуктивності потоку до кількості компонентів, що перебувають у стадії змішування:

$$n = \frac{q}{m},$$

де q – продуктивність потоку в кг/с;

m – кількість компонентів у стадії змішування, кг;

n – показник швидкості потоку, с⁻¹ (рис. 1).

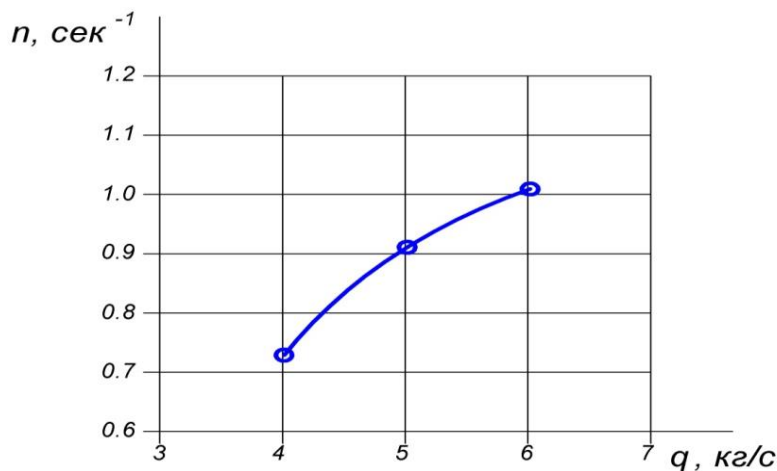


Рис. 1. Зміна показника швидкості потоку від продуктивності

Як видно із рисунка 1, суміш при її неперервному утворенні однорідніша за більшої швидкості потоку, оскільки при цьому зменшується до певної межі його висота (товщина). Ця величина відповідає швидкості потоку, коли кожне крохмальне зерно бере участь всією своєю поверхнею в зіткненні з рідкою фазою [12]. Отже, для борошна фазовий контакт $S = 178 \cdot 10^3$ м можна вважати ідеальним. Чим більша поверхня дотику рідкої фази з борошном, тим швидше діяльність її активної частини, що збільшує поверхню їхнього зіткнення, тобто збільшує фазовий контакт.

Виходячи з цих даних, можна стверджувати, що навіть незначні зміни конструктивних параметрів машини і технології прямо впливають на структуроутворення суміші. При удосконаленні стадійності процесу змішування отримуємо підвищення надійності роботи машини, зниження витрат енергосировинних ресурсів.

Висновки. Удосконалення процесу утворення суміші можна досягнути за рахунок максимального фазового контакту змішувальних компонентів. Такого ефекту можна досягнути методом їх пошарового з'єднання в циліндрично-конічній камері з псевдозваженим станом компонентів та дії робочого органу.

Використання сучасних методів та засобів у інноваційному підході при ретельному аналізі впливу параметрів дозволяє розробити економічно вигідну машину та процес змішування. Для додержання цих ефектів необхідно конструктивно розрахувати всі параметри машини та встановити методику подачі компонентів при додержанні стабільності змішування.

Список використаної літератури:

1. Determination of specific power when mixing components of yeast dough / *I.Stadnyk, V.Piddubnyi, A.Sabadosh and other* // *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. – 2023. – Vol. 14. – P. 1243–1262.
2. Сучасні технології та енергетичні потоки при формуванні борошняних напівфабрикатів / *І.Я. Стадник, В.А. Піддубний, О.В. Хареба та інші*. – Тернопіль : Ви-тво ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 392 с.
3. Інтегровані рішення і апаратне оформлення перехідних процесів змішування компонентів у псевдошарі / *В.А. Піддубний, Ю.В. Паньків, І.Я. Стадник, Є.А. Петриченко* // *Обладнання та технології харчових виробництв*. – 2021. – № 1 (42). – С. 82–90.
4. *Корнієнко Я.М.* Процеси переносу в дисперсних системах : навч. посібник / *Я.М. Корнієнко, Р.В. Сачок*. – Київ, 2011. – 132 с.
5. *Корнієнко Б.Я.* Особливості моделювання процесів переносу в дисперсних системах / *Б.Я. Корнієнко* // *Вісн. нац. техн. ун-ту України «Київ. політехн. ін-т»*. Сер. : Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. – 2011. – № 2 (8). – С. 5–9.
6. *Доломакін Ю.Ю.* Структурно-механічні характеристики рідких хлібопекарських опар / *Ю.Ю. Доломакін* // *Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентоздатності : матеріали IV Міжнародної спеціалізованої науково-практичної конференції, 8 вересня*. – К. : НУХТ, 2015. – С. 59–61.
7. *Dolomakin Y.* Determination of the main stages of mixing wheat sourdough relative method / *Y.Dolomakin* // *Journal of food and packaging science, Technique and Tech-nologies*. – 2016. – Year V, № 9. – P. 49–54.
8. *Стадник І.Я.* Застосування способів вібраційного та пульсаційного змішування при розробці нової тістомісильної машини / *І.Я. Стадник, О.Т. Лісовенко* // *Хлібопекарська і кондитерська промисловість України*. – 2009. – № 4. – С. 37–40.
9. *Стадник І.Я.* Основи теорії пластифікації тіста / *І.Я. Стадник, О.Т. Лісовенко* // *Хлібопекарська і кондитерська промисловість України*. – 2009. – № 5. – С. 22–24.
10. *Dolomakin Y.* Determination of the amount of energy spent on the destruction of the structure of wheat dough / *Y.Dolomakin, I.Litovchenko* // *Scientific works of Rusenski University «Angel Kunchev»*. – 2015. – T. 54, №. 2. – P. 51–54.
11. Energy Saving Thermal Systems on the Mobile Platform of the Mini-Bakery / *I.Stadnyk, V.Piddubnyi, A.Chahaida and other* // *Strojnický časopis – Journal of Mechanical Engineering*. – 2023. – Vol. 73, No. 1. – P. 169–186. DOI: 10.2478/scjme-2023-0014.
12. Researching of the Concentration Distribution of Soluble Layers When Mixed in the Weight Condition / *I.Stadnyk, J.Pankiv, P.Havrylko, H.Karpyk* // *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. – 2019. – Vol. 13, № 1. – P. 581–592. DOI: 10.5219/1129.

References:

1. Stadnyk, I., Piddubnyi, V., Sabadosh, A. et al. (2023), «Determination of specific power when mixing components of yeast dough», *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, Vol. 14, pp. 1243–1262.
2. Stadnyk, I.A., Piddubnyi, V.A., Khareba, O.V. et al. (2021), *Suchasni tekhnologii ta enerhetychni potoky pry formuvanni boroshnianykh napivfabrykativ*, Vy-tvo TNTU imeni Ivana Puliuia, Ternopil, 392 p.
3. Piddubnyi, V.A., Pankiv, Yu.V., Stadnyk, I.Ya. and Petrychenko, Ye.A. (2021), «Intehrovani rishennia i aparaturne oformlennia perekhidnykh protsesiv zmishuvannia komponentiv u psevdoshari», *Obladnannia ta tekhnologii kharchovykh vyrobnytstv*, No. 1 (42), pp. 82–90.
4. Korniienko, Ya.M. and Sachok, R.V. (2011), *Protsesy perenosu v dyspersnykh systemakh*, navch. posibnyk, Kyiv, 132 p.
5. Korniienko, B.Ia. (2011), «Osoblyvosti modeliuвання protsesiv perenosu v dyspersnykh systemakh», *Visn. nats. tekhn. un-tu Ukrainy «Kyiv. politekhn. in-t»*. Ser. *Khimichna inzheneriia, ekolohiia ta resursozberezhennia*, No. 2 (8), pp. 5–9.
6. Dolomakin, Yu.Iu. (2015), «Strukturno-mekhanichni kharakterystyky ridkykh khlibopekarskykh opar», *Resurso- ta enerhooshchadni tekhnologii vyrobnytstva i pakuvannia kharchovoi produktsii – osnovni zasady yii konkurentozdatnosti*, materialy IV Mizhnarodnoi spetsializovanoi nauково-praktychnoi konferentsii, 8 veresnia, NUKhT, K., pp. 59–61.
7. Dolomakin, Y. (2016), «Determination of the main stages of mixing wheat sourdough relative method», *Journal of food and packaging science, Technique and Tech-nologies*, Year V, No. 9, pp. 49–54.
8. Stadnyk, I.Ya. and Lisovenko, O.T. (2009), «Zastosuvannia sposobiv vibratsiinoho ta pulsatsiinoho zamishuvannia pry rozrobtsi novoi tistomisylnoi mashyny», *Khlibopekarska i kondyterska promyslovisht Ukrainy*, No. 4, pp. 37–40.
9. Stadnyk, I.Ya. and Lisovenko, O.T. (2009), «Osnovy teorii plastyfikatsii tista», *Khlibopekarska i kondyterska promyslovisht Ukrainy*, No. 5, pp. 22–24.
10. Dolomakin, Y. and Litovchenko, I. (2015), «Determination of the amount of energy spent on the destruction of the structure of wheat dough», *Scientific works of Rusenski University «Angel Kunchev»*, Vol. 54, No. 2, pp. 51–54.

11. Stadnyk, I., Piddubnyi, V., Chahaida, A. et al. (2024), «Energy Saving Thermal Systems on the Mobile Platform of the Mini-Bakery», *Strojnícky časopis – Contents of Journal of Mechanical Engineering*, Vol. 73, No. 1, pp. 169–186, doi: 10.2478/scjme-2023-0014.
12. Stadnyk, I., Pankiv, J., Havrylko, R. and Karpyk, H. (2019), «Researching of the Concentration Distribution of Soluble Layers When Mixed in the Weight Condition», *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, Vol. 13, No. 1, pp. 581–592, doi: 10.5219/1129.

Деркач Андрій Васильович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри обладнання харчових технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

<https://orcid.org/0000-0002-0395-362x>.

Наукові інтереси:

- дослідження властивостей змішувальних машин;
- дослідження конструювання та аналіз процесу в змішувачі.

Кравченко Ростислав Юрійович – аспірант кафедри обладнання харчових технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

<https://orcid.org/0009-0007-1974-5001>.

Наукові інтереси:

- дослідження технології змішування компонентів;
- дослідження стадійності змішування.

Стадник Ігор Ярославович – доктор технічних наук, професор кафедри обладнання харчових технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Наукові інтереси:

- дослідження впливу конструктивних параметрів на процес змішування;
- визначення напрямів удосконалення дозування компонентів;
- дослідження змішування у ваговому шарі.

Радченко Юрій Ігорович – незалежний дослідник компанії «Дармі Фабарм».

<https://orcid.org/0000-0002-4499-0910>.

Наукові інтереси:

- дослідження експлуатаційних властивостей змішувачів.

Піддубний Володимир Антонович – доктор технічних наук, професор кафедри ресторанних і крафтових технологій Державного торговельно-економічного університету.

<https://orcid.org/0000-0002-1497-7133>.

Наукові інтереси:

- дослідження впливу конструктивних параметрів на процес змішування;
- встановлення зміни концентрації при структуроутворенні;
- дослідження стадійності змішування.

Derkach A.V., Kravcheniuk R. U., Stadnyk I.Y., Radchenko Yu. I., Piddubnyi V.A.

Influence of mixer parameters on the homogeneity of the resulting mixture when mixing components in the bakery industry

An analysis of the results of known studies of mixing components in mixing machines and the level of significant influence of their design parameters on indicators of structure formation of the mixture is given. It is noted that the study of mixing components in the bakery industry of Ukraine on high-speed and continuous machines is the only one of the completed technological operations, and the pace of its development towards improving the structural and technological parameters of the machine and the process to improve the quality of the structure formation of the mixture remains relevant. The work is based on a step-by-step consideration of the mixing theory of the first stage of the formation of a mixture of components. An analysis of the interaction of the components with the established effect of the mixer design was carried out, which made it possible to further reveal the ways of calculating the design parameters of their dosing and mixing means, depending on the nature of the phase in each case. It is noted that the influence of the surface layer of the phase on its total costs is determined by the specific energy. It was established that the excess of free energy on the surface of the phase distribution is the main reason for the instability of the liquid consistency of the components (in the form of an emulsion), since according to the principle of thermodynamics, the minimum value of the surface energy corresponds to the most stable state of the system. Such a dependence in the instability of the liquid consistency allows us to consider possible ways of optimizing the mixing technology and contributes to a significant improvement in the characteristics of the mixer, which will have a positive effect on the operational characteristics of the machine. The value of the flow rate was determined when each starch grain is involved with the entire surface in contact with the liquid phase, for flour, the phase contact $S = 178 \cdot 103 \text{ m}^2/\text{m}^3$ can be considered ideal.

Keywords: surface tension; specific energy; mixing; environment; components.

Стаття надійшла до редакції 09.04.2024.