

УДК 637.134

**ВИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХУ ЗМІШУВАННЯ ТА ДОТИЧНИХ
НАПРУЖЕНЬ В СТРУМИННОМУ ГОМОГЕНІЗАТОРІ
МОЛОКА***Леженкін О. М., д.т.н, проф.**Самойчук К.О., к.т.н., доц.**Ковальов О.О., ас.**Паляничка Н.О., к.т.н.**Верхоланцева В.О., к.т.н.**Таврійський державний агротехнологічний університет**м. Мелітополь, Україна**Тел. +3806192421306*

Анотація. Метою статті є аналітичне визначення шляху змішування, як технологічного показнику, що показує час, за який жирова фаза, що подається по тонкому каналу до камери гомогенізації зрівняється зі швидкістю потоку знежиреного молока. Значення цього параметру дозволять коригувати розташування каналу для подавання вершків з метою отримання найбільшої різниці швидкостей фаз та уникнути розсіювання зони локалізації максимальної різниці швидкостей фаз.

Враховуючи результати, що були отримані при моделюванні процесу струминної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків в програмному комплексі кінцево-елементного аналізу ANSYS, при подачі вершків зона локалізації максимальних швидкостей буде зсунута відносно місця найбільшого звуження на величину близьку до шляху змішування. Іншою метою статті є визначення величини тангенційних напружень, за дії яких відбувається спочатку деформація, а потім і руйнування початкової жирової кульки з утворенням великої кількості елементів з меншим розміром часток. Визначення дотичних напружень, що відіграють визначальну роль в процесі деформування та зменшення середнього розміру жирових часток, підтвердило дані комп'ютерного моделювання стосовно оптимального розмі-

ру відстані між напрямлюючими потоку в місці найбільшого звуження камери струминного гомогенізатору.

Ключові слова: граничний шар, струминний гомогенізатор, жирова кулька, тангенційні напруження, моделювання, різниця швидкостей, градієнт швидкості.

Постановка проблеми. Гомогенізація являє собою одну з найбільш енерговитратних операцій, що входить до значної частини нормативних процесів у технології переробки молочної сировини. Однак, незважаючи на тривалу історію використання операції, до цього часу не існує загальної теорії процесу диспергування. Це пов'язано з невеликим розміром досліджуваних часток жиру та великими швидкостями процесу. Відомі близько 7 гіпотез диспергування, на базі кожної з них виготовлені гомогенізатори і емульсори відповідних типів [1]. Однак, більша частина з них не знайшла практичного використання у молокопереробній галузі. Крім цього, впровадження технічних вдосконалень, що спрямовані на зниження енергетичних витрат процесу або підвищення якості диспергування досягли меж технічної реалізації.

Новітні дослідження процесу свідчать про високу ефективність струминних гомогенізаторів, що створені за принципом реалізації найбільшої різниці швидкостей дисперсійної і дисперсної фаз молока. Однією з таких конструкцій є протитечійно-струминний диспергатор молочних продуктів [2]. Однак, враховуючи принцип зіткнення струменів в повітряному середовищі, пристрій має недоліки, що полягають у дестабілізації білкової фази, що призводить до спінення продукту. Струминний гомогенізатор молока з роздільною подачею вершків реалізує принцип створення максимальної різниці швидкостей фаз, при здійсненні процесу в умовах затопленого струменю, що виключає недоліки попередньої конструкції [3]. Однак, недостатня дослідженість процесу не дозволяє запропонувати раціональні параметри процесу.

Метою дослідження є аналітичне визначення показників шляху змішування та тангенційних напружень, що дозволять обґрунтувати відстань між напрямлюючими у місці найбільшого

звуження та скласти адекватну модель процесу струминного диспергування молока з роздільною подачею вершків.

Аналіз останніх досліджень. Струминний гомогенізатор молока, лабораторний зразок якого виготовлений на базі кафедри ОПХВ імені Ф. Ю. Ялпачика ТДАТУ, складається з емностей для знежиреного молока та вершків, насосів для подавання дисперсійної та дисперсної фаз продукту, камери гомогенізації та контрольно-регулювальної апаратури [1]. Процес відбувається наступним чином: попередньо знежирене молоко надходить до місця найбільшого звуження в камері гомогенізації, що створюють дві напрямлюючі потоку. В цій точці до потоку знежиреного молока тонким струменем крізь канал у стінках однієї з напрямлюючих у необхідному співвідношенні подаються вершки. Жирова кулька, попадаючи до потоку знежиреного молока проходить деяку відстань до моменту, коли швидкості рідин зрівнюються. У цей час, в залежності від місця знаходження кульки біля стінок, або ближче до центральної лінії на ній діють тангенційні напруження, що призводять до руйнування жирової кульки з утворенням великої кількості структур меншого розміру.

Основна частина. Найпростіший випадок утворення струминного граничного шару має місце при витіканні жирової фази з рівномірним полем швидкостей $v_{ж.ф}$ в середовище знежиреного молока, що рухається з постійною швидкістю v_1 , причому в початковому перетині струменю товщина граничного шару дорівнює нулю. Збільшення товщини граничного шару, відбувається внаслідок включення задіяних в процесі часток оточуючої середовища та загальмованих завдяки дії сил в'язкості та тертя часток самого струменю. Істотний вплив на поведінку дискретної фази оказує турбулентність несучої фази (знежиреного молока), модель врахування якої було запропоновано Г.Н.Абрамовичем на базі гіпотези Прандтля щодо шляху змішування, що буде розглянуто далі [4].

В затопленому струмені турбулентність розвивається наступним чином: ламінарна частина струменю (ядро) звужується та зникає на відстані шести діаметрів отвору, а турбулентний струмінь розширюється за рахунок вихорів. В граничному шарі за рахунок турбулентного перемішування та включен-

ня до процесу часток зовнішньої рідини повздовжня швидкість часток струменю зменшується від деякої початкової $v_{\text{поч}}$ на межі з ядром до $v_{\text{кінь}}$, що дорівнює нулю на межі струменю де з'являється поперечна складова швидкості $v_{\text{попер}}$. Всюди, крім області, наближеної до границь струменю, поперечна швидкість незначна порівняно з повздовжньою. Характерною особливістю турбулентного струменю є незначущість поперечних складових швидкості в будь-якому напрямі відносно повздовжніх швидкостей. На відстані де відбувається вирівнювання повздовжніх швидкостей буде проходити руйнування кульок. Звідси з метою виключення втрати енергії потоку можна зробити висновок, що відстань a між напрямлюючими повинна прагнути до мінімальних значень при $v = f(\Delta p) \rightarrow \max$ [5].

Сили в'язкості, що діють в граничному шарі викликають дію дотичних напружень, що дещо зменшують швидкість часток дисперсійної середи та викликають утворення вихорів. При русі ідеальної рідини сили в'язкості можна не враховувати в рівняннях Нав'є-Стокса. За межами граничного шару вплив в'язкості звичайно проявляється слабо, в ньому можна знехтувати силами тертя і градієнт швидкості не досягає таких великих значень, як в граничному шарі, а картина течії близька до тієї яку дає ідеальна рідина. Спочатку градієнт швидкості du/dy в напрямку, перпендикулярному до стінки є дуже великим (граничний шар), а в'язкість $\mu_{\text{пл}}$ як би мала вона не була оказує вагомий вплив на течію, оскільки тут дотичні напруження викликані тертям можуть приймати великі значення. Граничний шар являє собою область руху рідини в якому величини сили тертя та інерції мають однаковий порядок, на підставі чого можна оцінити товщину граничного шару [4].

При порушенні шаруватого характеру рідини під дією зовнішніх факторів встановлюється турбулентний режим. Додаткові до основного збудження руху часток, що виникають при цьому підтримують проявлення інерції рідини та нівелюються силами в'язкості. Збільшення швидкості основного руху рідини призводить до розвитку збудженого руху часток. Турбулентну течію можна розкласти на власний осереднений рух та пульсаційні утворення, накладенні на осереднений рух та

отримати наступний вираз для швидкості, тиску та температури. Турбулентний рух рідини є нестійким, тому розглядаються деякі осереднені в часі характеристики потоку, середня швидкість, середній розподіл швидкостей за перетином, середній тиск, середня величина пульсацій [6].

$$u = \bar{u} + u', v = \bar{v} + v', \omega = \bar{\omega} + \omega', p = \bar{p} + p', T = \bar{T} + T'. \quad (1)$$

де $\bar{u}, \bar{v}, \bar{\omega}, \bar{p}, \bar{T}$ – i -та компонента осередненої швидкості,

u', v', ω', p', T' – i -та компонента пульсаційної швидкості

Шлях змішування як міру турбулентності запропонував Л.Прандтль як відстань, що повинна пройти частка рідини у вихорі за турбулентної течії при проникненні з рухомого шару до оточуючої рідини, поки їх швидкості не зрівняються. Шлях змішування збільшується за мірою збільшення інтенсивності турбулентності. Довжина шляху змішування визначається емпіричною умовою запропонованої Прандтлем моделі визначається тією обставиною, що для багатьох типів течії зі зсувом l_m . Для течії, що розглядається $l_m = ky$, де k – універсальний коефіцієнт пропорційності, що не залежить від числа Рейнольдса $k \approx 0,39$. Це пояснюється тим, що пульсації більше там, де вище швидкість. Відповідно у стінки де швидкість наближується до нуля, пульсацій немає. Шлях перемішування пропорційний відстані від стінки напрямлюючої y [7].

Рівняння Прандтля для граничного шару

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0. \quad (3)$$

Граничними умовами будуть $u = v = 0$, при $y = 0$ і $u = u(x, t)$ при $y \rightarrow \infty$.

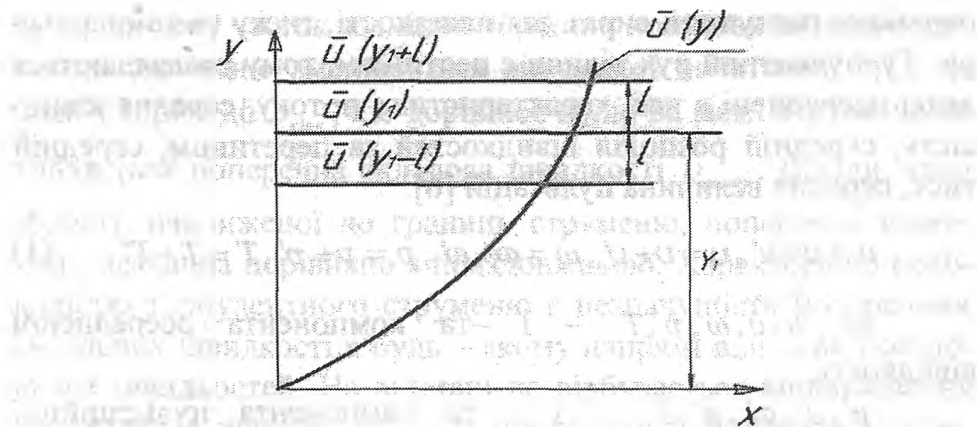


Рисунок 1. – Схема до визначення дотичних напружень та шляху змішування.

В новій теорії Прандтля $\tau_{xy} = \rho \cdot \varepsilon \cdot \frac{\partial \bar{u}}{\partial y}$, де ε – коефіцієнт турбулентного тертя, що враховує він не молекулярну структуру рідини а характеристики турбулентного руху [6]. Стосовно осередненої здвигової течії, за відсутності градієнту тиску Прандтль визначив, що характерний масштаб пульсаційної швидкості v дорівнює градієнту осередненої швидкості помноженому на характерний масштаб довжини l_m , який він звав шляхом змішування. Градієнт швидкості в напрямку, перпендикулярному до напрямлюючих є великим. В той же час за межами граничного шару дотичні напруження є малими. Істинні швидкості в цьому випадку [7].

$$v_x = \bar{v}_x + v'_x, v_y = \bar{v}_y. \quad (4)$$

Харша та Лі запропонували лінійну залежність для граничного шару струменю [8].

$$\tau = A \frac{1}{2} (\bar{u}^2 + \bar{v}^2 + \bar{\omega}^2), \quad (5)$$

де A – постійна ($A = 0,3$),

$\bar{u}, \bar{v}, \bar{\omega}$ – середньоквадратичні значення проекцій пульсаційних швидкостей на вісі x, y, z .

Напруження тертя в турбулентному граничному шарі явлено у вигляді суми.

$$\tau = \tau_m + \tau_t, \quad (6)$$

де $\tau_m = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)$ – напруження тертя, зумовлене молекулярним переносом,

τ_m – дотичні напруження, що викликають турбулентні пульсації, дорівнюють згідно гіпотези Прандтля

$$\tau_m = \rho \cdot l^2 \cdot \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2, \quad (7)$$

де l – довжина шляху змішування.

При турбулентній течії дотичні напруження складаються з ламінарної частини $\tau_m = \tau_l \sim \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)$ та

турбулентної $\tau = \left(\mu + A \cdot \tau \cdot \frac{\partial u}{\partial y} \right)$, обумовлену турбулентним перемішуванням, тобто

$$\tau = \left(\mu + A \cdot \tau \cdot \frac{\partial u}{\partial y} \right), \quad (8)$$

Дотичні напруження τ осереднених значень за часом, що діють на ділянці (Рисунок 1) граничного шару, що виникають за рахунок пульсаційних швидкостей u_x та u_y .

$$\tau = \rho_{nl} \cdot u_x' \cdot u_y' = C_m \cdot \frac{\partial u}{\partial y}, \quad (9)$$

де

$$C_m = \rho_{nl} \cdot l^2 \cdot \frac{\partial u}{\partial y}. \quad (10)$$

Величину дотичних напружень можна приблизно розрахувати за формулою

$$\tau \sim \mu_{nl} \cdot v_{nl} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{nl} \cdot u}{\mu_{nl} \cdot l}}, \quad (11)$$

де середня швидкість дорівнює

$$u = \sqrt{\frac{17,8 \cdot \sigma}{d_k \cdot \rho_{nl}}}. \quad (12)$$

Коефіцієнт динамічної в'язкості при 60°C приблизно дорівнює $7 \cdot 10^{-4}$ Па·с. Шлях змішування будемо оцінювати в

межах коливання відстані між напрямлюючими. Згідно наведених формул (12) та (11) середня швидкість рідини дорівнює 41,4 м/с, а дотичні напруження при відстані між напрямлюючими 10мм складають $8,2 \cdot 10^{-5}$ Па; при відстані 1мм відповідно $2,6 \cdot 10^{-4}$ Па. З отриманих результатів можливо зробити висновок, що відстані між напрямлюючими камери гомогенізатору – вона повинна прагнути до мінімального значення для забезпечення ефективного подрібнення.

Товщина граничного шару пропорційна до кореню квадратного з кінематичної в'язкості

$$\delta = \sqrt{1,5 \cdot 10^{-6}} \quad (13)$$

або у вигляді

$$\delta \sim \sqrt{\frac{\mu_m \cdot l}{\rho_m \cdot \nu}} \quad (14)$$

Згідно наведених формул (13) та (14) товщина граничного шару дорівнює відповідно $1,2 \cdot 10^{-3}$ та $6,2 \cdot 10^{-4}$ мм. Різниця між отриманими значеннями пояснюється приблизністю розрахунку коефіцієнту динамічної в'язкості молока та приблизною оцінкою величини шляха змішування.

Звідси можна зробити висновок, що для отримання найбільшого ефекту, відстань між стінками напрямлюючих повинна бути незначною. Відстань повинна прагнути до мінімальних значень, але дорівнювати нулю вона не може, бо в такому випадку буде відсутен шлях змішування, в якому відбувається процес подрібнення. Проте, якщо його значення буде великим, пульсації, що будуть створюватись при цьому розсіюватимуть енергію потоку.

Передача кількості руху викликано як тангенційними напруженнями між менш та більш рухомими шарами рідини так і турбулентним проникненням часток з потоку в оточуючу рідину. Швидкість руху дисперсної фази втягнутої до руху струменю менше швидкості руху струменю. Кожен шар рідини, приведений до руху залучає наступні шари рідини, що до цього знаходились в стані спокою. Різниця швидкостей руху диспергованих крапель та оточуючої рідини обумовлюють появу тангенційних напружень, що викликає деформацію крапель, яка матиме значення достатньо високе

для початку подрібнення. Зміна гідродинамічних параметрів в значній мірі визначає протікання тепломасообмінних процесів між краплею та рідиною [9].

Проти деформації крапель під дією тангенційних напружень діє поверхневий натяг між фазами, що змушує краплю гранично скоротивши поверхню прийняти форму шару. Взаємодія цих сил обумовлює форму краплі та можливість її подрібнення. Найбільш інтенсивне подрібнення крапель відбувається в місці найбільшої різниці в швидкостях руху обидвох фаз, тобто в місці звуження. При зниженні поверхневого натягу, що буде відбуватись зі збільшенням температури довжина струменю буде збільшуватись, що за інших рівних умов буде сприяти кращому подрібненню [9].

Згідно теорії гідродинамічного граничного шару достатньо великі значення дотичних напружень та сил внутрішнього тертя, що спричиняють подрібнення можуть виникнути лише за наявності достатньо великих градієнтів швидкості.

$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dy}, \quad (15)$$

де $\frac{du}{dy}$ – градієнт швидкості в даній частині потоку.

Великі градієнти швидкості можуть виникати в двох випадках. По - перше, при русі рідини поблизу твердої поверхні бо на поверхні швидкість дорівнює нулю, що є умовою прилипання. По – друге, поблизу зони контакту двох потоків рідини, що мають істотну різницю в швидкостях. На деякій відстані $y_1 - \ell$ (Рисунок 1) ламінарний пристінний режим втрачає стійкість завдяки тому, що сили інерції починають переважають над силами внутрішнього тертя та з'являється турбулентний граничний шар. В запропонованій лабораторній установці можливе забезпечення обидвох умов створення великих градієнтів швидкості потоку.

Шлях змішування зі зростанням турбулентності є значно більшими, тому тангенційні напруження та масообмін в потоці істотно зростає [9].

$$\theta = l \cdot \rho_m^2 \left(\frac{du}{dy} \right)^2, \quad (16)$$

де θ – тангенційні напруження, за умови розвиненої турбулентності впливом ламінарного тертя можна знехтувати, тоді $\theta = \frac{du}{dy}$.

В кожному перетині, що знаходиться перпендикулярно до напрямку струменю швидкість зменшується в напрямку від вісі потоку до меж конусу. За турбулентної течії на головну течію (знежиреного молока) рідини, що відбувається в напрямку вісі камери накладається поперечний рух, що призводить до перемішування рідини. Внаслідок цього відбувається обмін імпульсами в поперечному напрямку, коли в повздовжньому напрямку частка зберігає імпульс. Відстань між напрямлюючими можна встановити на рівні мінімально можливих значень, що буде означати рух біля твердої поверхні [9].

Критичні умови дроблення крапель визначаються значенням числа Вебера, яке обумовлюються в мить початку руйнування крапель. Найбільш важливим параметром, що визначає стійкість та руйнування крапель є число Вебера. Хінце для визначення подрібнення крапель пропонує відносне число Вебера та виразити його як відношення тангенційної напруги до міжфазного натягу [3].

$$We_{кр} = \frac{\theta \cdot d_k}{\sigma}, \quad (17)$$

де θ – тангенційні напруження між краплею та оточуючою рідиною, що є пропорційними ступеню турбулізації потоку.

Збільшення критерію Вебера показує, що тангенційні напруження по відношенню до міжфазного натягу зростає, внаслідок збільшується деформація крапель. За досягнення критичних значень числа Вебера відбувається подрібнення крапель. З іншого боку зростання числа Вебера веде до зменшення середнього розміру жирових кульок та як наслідок підвищення колоїдної стійкості отриманих емульсій, що відображається на якості продукту [9].

Розглянувши процеси, що відбуваються в струминному гомогенізаторі з роздільною подачею вершків можна дійти висновку, що кулька в ньому подрібнюється в декілька етапів. Відмінність в швидкостях знежиреного молока та жирової кульки, що досягається зміною гідродинамічних параметрів

зв'язок яких з тангенційними напруженнями наведено у формулі (17) призводить до виникнення тангенційних напружень, які будуть визначальними в процесі руйнування жирової фази. До другорядних сил відносять: різницю в'язкостей, осциляцію, вторинні турбулентні пульсації.

Дотичні напруження при діаметрі звуження центрального каналу $a = 1 \dots 3$ мм та середній швидкості у каналі подачі 40 м/с складають відповідно $(0,8 \dots 2,6) \cdot 10^{-4}$ Па, тобто при збільшенні діаметру звуження центрального каналу дотичні напруження, що спричиняють руйнування жирових кульок, зменшуються.

Розглядаючи рух частки жиру в потоці знежиреного молока необхідно зупинитись на шляху змішування, терміні, що позначає відстань яку проходить частка в потоці до тієї миті коли її швидкість зрівняється зі швидкістю оточуючого середовища. Довжина шляху змішування визначається згідно емпіричної залежності запропонованої Прандтлем [8].

$$l_m = ky, \quad (18)$$

де k – універсальний коефіцієнт пропорційності, що не залежить від числа Рейнольдса $k \approx 0,39$;

U – відстань від стінки каналу, м.

Висновки. З отриманих результатів при розрахунках шляху змішування, можливо зробити висновок, щодо відстані між напрямлюючими камери гомогенізатору – вона повинна прагнути до мінімального значення для забезпечення ефективного подрібнення. Для відстані $a = 1 \dots 3$ мм шлях змішування складатиме 0,39 – 1,17 мм, що складає при $a = 1$ мм весь шлях до місця подрібнення, а при збільшенні відстані до 3 мм – лише третину, що ще раз свідчить про необхідність забезпечення мінімальної відстані в центрі звуження центрального каналу. При зменшенні діаметру звуження центрального каналу, враховуючи умову нерозривності потоку, швидкість у точці введення жирової фази збільшується, що закономірно збільшує критерій Вебера та ступінь гомогенізації. Дотичні напруження при діаметрі звуження центрального каналу $a = 1 \dots 3$ мм та середній швидкості у каналі подачі 40 м/с складають відповідно $(0,8 \dots 2,6) \cdot 10^{-4}$ Па, тобто при збільшенні діаметру звуження центрального каналу дотичні напруження, що спричиняють

руйнування жирових кульок, зменшуються. Цей висновок підтверджують результати комп'ютерного моделювання руху рідини в камері струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків, згідно якої при $a=3\text{мм}$ відбувається зменшення площі зони локалізації максимальної різниці швидкостей фаз, тому ефективність подрібнення знижується.

ЛІТЕРАТУРА

1. Самойчук К.О. Розробка лабораторного зразка струминного гомогенізатору з роздільною подачею вершків /К.О.Самойчук, О.О.Ковальов // Мелітополь:Праці ТДАТУ. – 2011. – вип.11 ,т6 – С.77–84.
2. Самойчук К.О. Обґрунтування параметрів та режимів роботи протитечійно - струменевого диспергатора молока: автореф дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12 // – Донецьк, 2008, – 20с.
3. Самойчук К.О., Ковальов О.О., Султанова В.О. Якість та енергетична ефективність процесу струминної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків // Праці ТДАТУ.: Мелітополь – 2015. – Вип.15, Т.1. – С. 240-248.
4. Пажи Д.Г. Основы техники распыливания жидкости/ Д.Г.Пажи,В.С. Галустов. – М.: Химия, 1984. – 256с.
5. Шквар.Є.О.Математичне моделювання засобів керування примежовими шарами. Матеріали VII Міжнародної НТК “АВІА-2006”. – К.: НАУ. – 2006.
6. Добросельский К.Г.Симметрия уравнений Рейнольдса и полуэмпирические теории турбулентной затопленной струи / К.Г. Добросельский,А.Г. Просьянник//Информатика и системы управления. – 2004. –№ 1. – С. 37 – 43.
7. Веремеев С.А. Взаимодействие импульсной затопленной струи жидкости с преградой / С.А. Веремеев, А.Н. Семко // Прикладна гідромеханіка. – 2008. – Т. 10, № 1. – С. 3 – 9.
8. Харша Ли Связь между турбулентным напряжением трения и кинетической энергии турбулентного движения. — «Ракетная техника и космонавтика», 1970, – т.8, – №8. – С. 179-181.
9. Штербачек З., Тауск П. Перемешивание в химической промышленности. – Ленинград: Государственное научно-техническое издательство химической литературы. – 1963. – 417с.

BIBLIOGRAPHY

1. Samojchuk K.O. Rozrobka laboratornogo zrazka strumy`nnogo gomogenizatoru z rozdil`noyu podacheyu vershkiv/ /K.O.Samojchuk, O.O.Koval`ov// – Melitopol`:Praci TDATU. – 2011. – vy`p.11 ,T6 – S.77–84.
2. Samojchuk K.O. Obgruntuvannya parametriv ta rezhy`miv roboty` proty`techijno - strumenevogo dy`s-pergatora moloka: avtoref dy`s. ... kand. texn. nauk : 05.18.12 // – Donecz`k, 2008, – 20s.
3. Samojchuk K.O., Koval`ov O.O., Sultanova V.O. Yakist` ta energety`chna efekty`vnist` procesu strumy`nnoyi gomogenizaciyi moloka z rozdil`noyu podacheyu vershkiv // Praci TDATU.: Melitopol` – 2015. – Vy`p.15, T.1. – S. 240-248.
4. Pazhi D.G. Osnovyi tehniki raspylivaniya zhidkosti/ D.G.Pazhi,V.S. Galustov. – M.: Himiya, 1984. – 256s.
5. Shkvar Ye.O.Matematy`chne modelyuvannya zasobiv keruvannya pry`mezhovoy`my` sharamy`. Materialy` VII Mizhnarodnoyi NTK "AVIA-2006". – K.: NAU. – 2006.
6. Dobroselskiy K.G. Simmetriya uravneniy Reynoldsa i poluempiricheskie teorii turbulentnoy zatoplennoy strui / K.G. Dobroselskiy, A.G. Prosyannik//Informatika i sistemyi upravleniya. – 2004. –№ 1. – S. 37 – 43.
7. Veremeev S. A. Vzaimodeystvie impulsnoy zatoplennoy strui zhidkosti s pregradoy / S.A. Veremeev, A.N. Semko // Prikladna gidromehanika. – 2008. – T. 10, № 1. – S. 3 – 9.
8. Harsha Li Svyaz mezhdou turbulentnyim napryazheniem treniya i kineticheskoy energii turbulentnogo dvizheniya. - «Raketnaya tehnika i kosmonavtika», 1970, – T.8, – №8. – S. 179-181.
9. Shterbachek Z., Tausk P. Peremeshivanie v himicheskoy promyishlennosti. – Leningrad: Gosudarstvennoe nauchno-tehnicheskoe izdatelstvo himicheskoy literaturyi. – 1963. – 417s.

DETERMINATION OF THE MIXING PATH AND TANGENTIAL TENSION IN THE JET MILK HOMOGENIZER

*O.M. Lezhenkin, K.O. Samoychuk, O.O. Kovaliov,
N.O. Palyanychka, V.O. Verkholantseva*

Summary

The purpose of the article is analytical determination of the path of mixing, as a technological indicator showing time during which a fat phase that is fed through a thin channel to the homogenization chamber becomes equal to the flow rate of skim milk. The value of this parameter will allow correcting the arrangement of the feed to serve the cream in order to obtain the greatest difference in phase velocities and to avoid scattering of the zone of localization of the maximum difference in phase velocities.

Taking into account the results obtained in the simulation of the process of jet milk homogenization with a separate supply of cream in the software complex of finite-element analysis ANSYS, when feeding the cream the zone of localization of the maximum velocities will be shifted relative to the place of the largest narrowing by a magnitude close to the mixing path.

Another purpose of the article is to determine the tangential tension, the actions of which first causes deformation, and then destruction of the initial fat ball with formation of a large number of elements with smaller particle size.

The determination of the tangential tensions that play a decisive role in the process of deforming and reducing the average size of fat particles has confirmed the data of computer simulation regarding the optimal size of the distance between the guiding flow at the point of the largest narrowing of the jet homogenizer chamber.

Key words: jet homogenizer, boundary layer, fat ball, tangential tension, simulation, velocity difference, velocity gradient.