

УДК 637.134

МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СТРУМИННОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА МОЛОКА ЩІЛИННОГО ТИПУ

Самойчук К. О., к.т.н.,

Ковальов О. О., інженер,

Лубко Д. В., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

(0619)–42–13–06

Анотація – стаття присвячена моделюванню параметрів гомогенізатора в програмному комплексі кінцево–елементного аналізу ANSYS. Стаття містить обґрунтування вибору програми для виконання параметрів моделювання, обґрунтування діапазону коливань обраних факторів.

Як фактори, що роблять істотний вплив на якість помелу, розрізняють надлишковий тиск подачі знежиреного молока, що надходить в камеру гомогенізатора після попереднього розділення, і відстань в прорізи. Діапазон коливань обмежений надлишковим тиском в області більш низьких значень з необхідністю створення гідродинамічних умов для ефективного дроблення жирових кульок в області значного зростання енерговитрат процесу диспергування. Діапазон зміни значень відстані в зазорі в області мінімальних значень обмежений необхідністю забезпечення погодинної продуктивності на рівні промислових машин, а в області максимальних значень – погіршенням умов шліфування, пов'язаних з розсіюванням енергії потоку знежиреного молока.

Результати моделювання свідчать про те, що раціональний параметр надлишкового тиску знежиреного молока становить 12 МПа, при якому різниця швидкостей дисперсійної і дисперсної фаз, що є необхідною умовою подрібнення, складає майже 2 рази. З іншого боку, оптимальні умови для отримання технологічно заданого середнього розміру жирових кульок забезпечуються при використанні гомогенізатора з мінімальною відстанню в зазорі.

Ключові слова – гомогенізація, щілинний гомогенізатор, жирова кулька, струминний гомогенізатор, диспергування, молоко.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зниження енергетичних витрат на процес гомогенізації, що складає найбільш значущі витрати у технології виготовлення питного молока є пріоритетною задачею молокопереробної галузі. Операція належить до нормативних процесів, що проводиться для покращення смакових та сенсорних властивостей продукту, підвищення його харчової цінності та збільшення терміну його зберігання [1]. Конструкція гомогенізатора клапанного типу, що є найбільш розповсюдженою в промисловому виробництві забезпечує заданий технологічними вимогами середній розмір жирових кульок. Але при цьому її енерговитрати складають до 8 кВт*год/т обробленого продукту. Інші менш поширені в масовому виробництві конструкції не забезпечують заданого середнього розміру жирових кульок після гомогенізації.

Однією з головних проблем, що досі не вирішені науковцями є відсутність загальноприйнятих теоретичних основ процесу диспергування. Це пояснюється мікроскопічними розмірами жирових кульок та високими швидкостями їх руху. Згідно останніх досліджень провідних вчених основою процесу є створення різниці між швидкостями руху дисперсійної та дисперсної фаз продукту та підтримання її на рівні максимально можливих значень [2].

Аналіз результатів досліджень процесу диспергування емульсій свідчить, що досягти суттєвого (4–6 разів) зниження енергетичних витрат можливо за рахунок використання струминних гомогенізаторів. Принцип їхньої дії заснований на створенні максимальної різниці між швидкостями руху знежиреного молока та вершків. Серед досліджених конструкцій диспергаторів цього типу слід виділити струминні гомогенізатори молока [3]. Незважаючи на середній розмір жирових кульок, що отримується при обробці молока в них (0,8–0,85 мкм) та низькі витрати енергії, що менше витрат у клапанних машинах в 5–8 разів, ці конструкції мають суттєві недоліки [4]. Гомогенізатор протитечійно–струминного типу при роботі погіршує якість продукту за рахунок дестабілізації білкової фази, виникнення якої пов'язано з тим, що процес відбувається в повітряному середовищі.

Підвищення ефективності диспергування можливо досягти за рахунок використання конструкції струминного гомогенізатора молока щілинного типу, розробленого на базі кафедри ОПХВ імені професора Ф.Ю. Ялпачика ТДАТУ.

Наведена на рис.1 камера струминного гомогенізатора щілинного типу складається з двох пар утворюючих 3, відстань між якими формує місце найбільшого звуження 2.

В місці найбільшого звуження камери гомогенізатора знаходиться щілина, крізь яку молоко у певній кількості надходить до

потоків знежиреного молока, що подається з патрубку 1 та має у цьому місці найбільшу швидкість. Дозована подача вершків забезпечується за допомогою зміни відстані у щілині та тиску подачі вершків у необхідному відношенні, розрахованому згідно рівняння матеріального балансу. Вершки при цьому подаються з ємності 4, що оточує камеру по периметру та забезпечує рівномірне надходження вершків з обох боків від місця найбільшого звуження. Гомогенізоване молоко відводиться крізь патрубок 5.

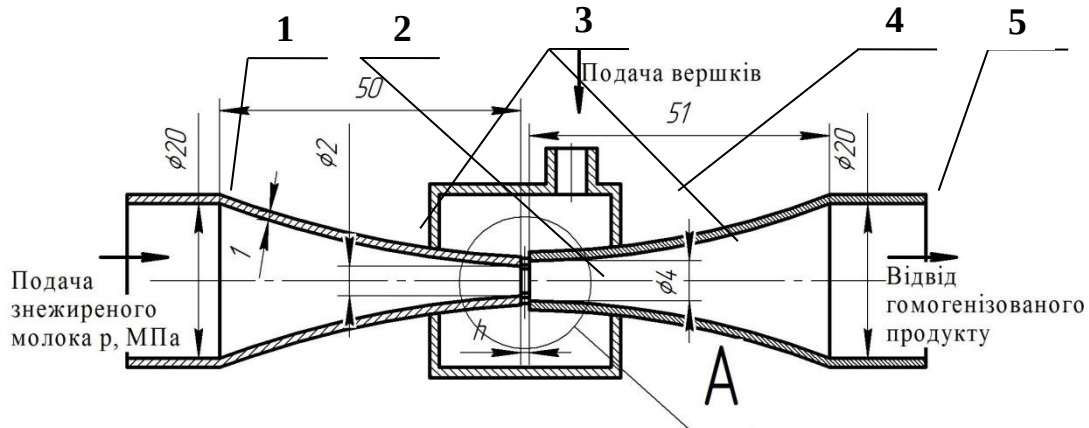


Рис. 1. Схема струминного гомогенізатора молока щілинного типу

Після надходження крізь патрубок подачі знежиреного молока, продукт досягає місця найбільшого звуження камери, де до нього з мінімальною швидкістю додаються вершки. Враховуючи рівняння нерозривності потоку та залежності Нав'є–Стокса у цьому місці відбувається включення кульки до потоку знежиреного молока. Оскільки швидкість жирової кульки має у декілька разів нижчі значення, порівняно зі швидкістю потоку знежиреного молока, руйнування кульки відбувається за рахунок виникнення тангенціальних напружень [5].

Сили опору, інерції та приєднаної маси обумовлюють гальмування кульки при одночасній дії потоку у напрямку плину рідини [6]. Це призводить до того, що жирова кулька, подрібнення якої відбувається при досягненні певного відношення між поверхневим натягом, критерієм руйнування Вебера та тангенціальними напруженнями, що діють на неї деформується. Спочатку відбувається витягнення жирової кульки з утворенням циліндру, при перевищенні відношення довжини до діаметру якого відбувається руйнування материнської кульки з утворенням 4–5 кульок більш дрібного розміру [7]. У відповідності до результатів теоретичних досліджень, використання гомогенізатора такого типу дозволяє отримувати молоко з середнім розміром жирових часток, що дорівнює 0,8 мкм, при цьому енерговитрати, що витрачаються на здійснення операції

знижуються у 4–6 разів. Крім цього щілинний гомогенізатор не має недоліків протитечійно–струминного і струминного гомогенізатора з роздільною подачею вершків.

Формування цілей статті(постановка завдання). Конструкція струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків забезпечує високу якість продукту, але оскільки в ньому вершки подаються тонким струменем у місці найбільшого звуження камери, спостерігається швидка облітерація каналів. Означені протиріччя може вирішити конструкція струминного гомогенізатора молока щілинного типу, отже задачею статті є дослідження процесу струминної гомогенізації молока за допомогою моделювання в програмному комплексі ANSYS. Для реалізації цієї мети необхідно:

- розробити параметричну модель струминного гомогенізатора щілинного типу,
- визначити фактори процесу,
- провести моделювання гідродинамічних показників в зоні руйнування жирових кульок шляхом аналізу полів розподілення миттєвих значень швидкості для визначення оптимальних значень факторів процесу диспергування в струминному гомогенізаторі молока щілинного типу.

Виклад основного матеріалу. Проведені аналітичні дослідження процесу диспергування дали змогу визначити осередненні значення факторів процесу гомогенізації. Для отримання миттєвих значень гідродинамічних показників необхідно провести комп'ютерне моделювання процесу. Для цього обрано програмний комплекс кінцево–елементного аналізу ANSYS, зважаючи на те, що порівняно з програмами COSMOS, Solid Works, AutoCAD він дає змогу оперувати більшою кількістю параметрів при одночасному забезпеченні високій точності отримуваних даних. Окрім цього, даний комплекс дозволяє враховувати значення в'язкості та густини знежиреного молока та вершків, що максимально наближені до реальних значень. Для проведення моделювання геометричну модель камери щілинного гомогенізатору, що була створена за допомогою програми Solid Works, було інтегровано до комплексу ANSYS.

В якості змінних факторів, що здійснюють значний вплив на середній розмір жирових кульок після диспергування при проведенні моделювання були виділені відстань у щілині подавання вершків h та тиск подачі знежиреного молока p . Згідно результатів теоретичних досліджень процесу диспергування у щілинному гомогенізаторі молока з точки зору забезпечення технологічно заданої якості диспергування при одночасному зниженні енергетичних витрат процесу раціональні параметри надлишкового тиску диспергування знаходяться у межах 4–12 МПа. Нижнє значення надлишкового тиску

обумовлене необхідністю створення гідродинамічного режиму, за якого досягаються необхідні для зменшення середнього розміру жирових кульок значення надлишкового тиску гомогенізації. Отримані в ході теоретичних досліджень та експериментально підтверджені значення критерія Вебера для найбільш близького за конструкцією струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків складають 120. Такі значення критерія подрібнення досягаються при надлишковому тиску подачі знежиреного молока, що дорівнює 4 МПа. Верхня межа діапазону коливання надлишкового тиску подачі знежиреного молока (12 МПа) обумовлена стрімким зростанням енергетичних витрат процесу диспергування.

Відстань у щілині гомогенізатору коливається у діапазоні значень 0,4–1,2 мм. Нижнє значення параметру (0,4 мм) обумовлене необхідністю забезпечення заданої продуктивності лабораторного зразку, що має наближуватись до промислових зразків. Верхня межа коливання відстані у щілині (1,2 мм) обумовлена розсіюванням енергії потоку, що виникає при збільшенні відстані та викликає збільшення середнього розміру жирових кульок.

Серед багатьох параметрів, які дає змогу визначати та моделювати робота у програмному комплексі кінцево-елементного аналізу ANSYS, найбільший інтерес являють поля швидкостей дисперсійної та дисперсної фаз у місці диспергування, тобто у центральній частині камери щілинного гомогенізатора (рис. 2).

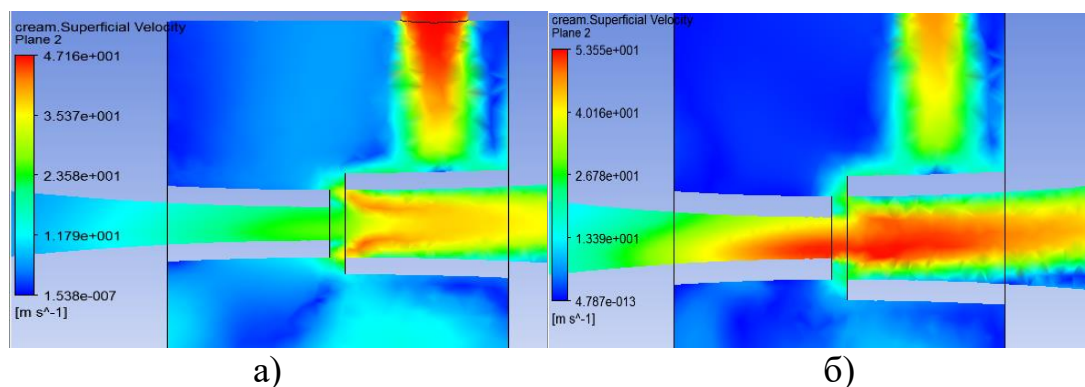


Рис. 2. Поля швидкостей при відстані у щілині $h=0,8$ мм та тиску подачі знежиреного молока: а) $p = 4$ МПа; б) $p = 12$ МПа

Аналіз отриманих полів швидкостей для струминного гомогенізатора молока щілинного типу свідчать про те, що при заданій величині відстані у щілині (0,8 мм) збільшення надлишкового тиску подавання знежиреного молока у 3 рази призводить до майже дворазового зростання швидкості вершків з 23,6 м/с (рис. 2а) при $p=4$ МПа до 53,5 м/с при $p=12$ МПа (рис. 2б). Враховуючи те, що необхідною умовою для подрібнення жирових кульок є створення

максимальної різниці швидкостей фаз, слід констатувати, що раціональним параметром є 12 МПа, оскільки при ньому, значення швидкості потоку знежиреного молока в місці включення до нього вершків складає близько 54 м/с, при цьому швидкість вершків складає 26,8 м/с. На відміну від нього, при даному значенні відстані у щілині швидкість потоку знежиреного молока майже дорівнює швидкості вершків, в результаті чого не створюються необхідні передумови для подрібнення жирових кульок (критичне значення критерію Вебера).

Оскільки відстань у щілині впливає на середній діаметр жирових кульок після диспергування, розглянемо поля швидкостей для різних значень відстані у щілині камери струминного гомогенізатора молока (рис. 3).

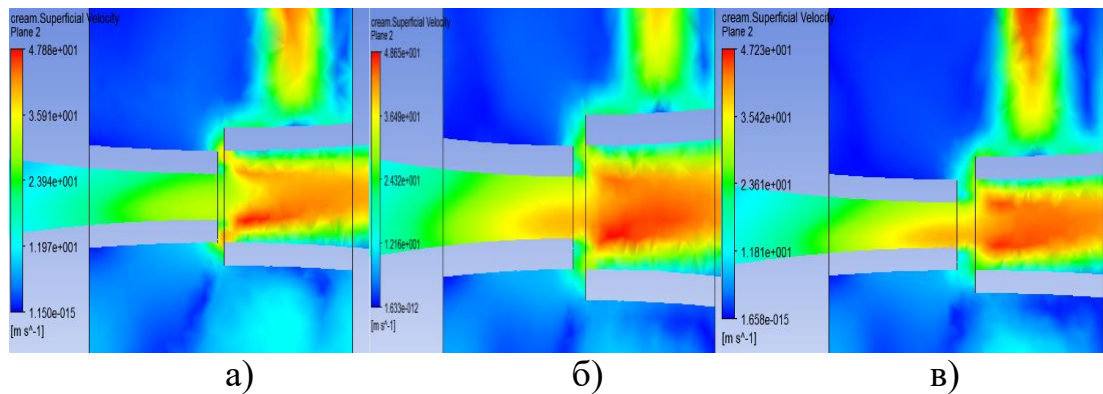


Рис. 3. Поля швидкостей тиску подачі знежиреного молока $p=8$ МПа та відстані у щілині h , що дорівнює: а) $h=0,4$ мм; б) $h=0,8$ мм; в) $h=1,2$ мм

Аналізуючи отримані при моделюванні дані, бачимо, що при мінімальній відстані у щілині включення жирових кульок до потоку знежиреного молока (рис. 3 а) відбувається з найбільшою різницею швидкостей, які складають для знежиреного молока біля 23,4 м/с, при цьому швидкість надходження вершків складає майже 48 м/с. Такі умови є найбільш ефективними з точки зору створення необхідної величини критичного значення критерію Вебера. Збільшення відстані до 0,8 та 1,2 мм призводить до розсіювання дисипації потужності потоку знежиреного молока, внаслідок чого вершки надходять до місця включення у потік з меншою швидкістю, яка складає відповідно 30 та 25 м/с при швидкості потоку знежиреного молока близько 36 м/с в обох випадках. Така незначна різниця в швидкостях руху дисперсійної і дисперсної фази не може створити необхідні гідродинамічні умови для забезпечення зменшення середнього розміру жирових кульок до технологічно заданих значень.

Висновки. Таким чином отримані дані при проведенні моделювання параметрів струминного гомогенізатора щілинного типу дозволяють обґрунтувати раціональні параметри процесу

гомогенізації. В якості факторів, що суттєво впливають на якість диспергування виділені надлишковий тиск подачі знежиреного молока та відстань у щілині. Обґрунтовано значення параметрів, що були отримані шляхом аналітичних розрахунків. Обґрунтовано вибір програмного комплексу кінцево-елементного аналізу ANSYS та необхідність дослідження саме полів швидкостей. Отримані при моделюванні результати свідчать про те, що раціональним параметром надлишкового тиску подачі знежиреного молока з точки зору створення критичного значення критерію Вебера є 12 МПа. Отримані дані щодо раціонального значення відстані у щілині, яка має складати 0,4 мм, оскільки її збільшення призводить до вирівнювання швидкостей потоку знежиреного молока та жирової кульки та виключає можливість її подрібнення.

Література:

1. Фиалкова Е. А. Гомогенизация. Новый взгляд: монография–справочник / *Е. А. Фиалкова*. – СПб.: ГИОРД, 2006. – 392с.
2. Самойчук К. О. Розробка лабораторного зразка струминного гомогенізатору з роздільною подачею вершків / *К. О. Самойчук, О.О.Ковальов* // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2011. – Вип. 11, т. 6. – С. 77–84.
3. Самойчук К. О. Якість та енергетична ефективність процесу струминної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків / *К. О. Самойчук, О. О. Ковальов, В. О. Султанова* // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2015. – Вип. 15, т. 1. – С. 241–249.
4. Самойчук К. О. Використання нормалізації у струминному гомогенізаторі молока з роздільною подачею вершків / *К. О. Самойчук, О. О. Ковальов* // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2014. – Вип. 14, т.1. – С. 37–45.
5. 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.
6. Самойчук К. О. Обґрунтування параметрів та режимів роботи протитечійно-струменевого диспергатора молока: автореф дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12 / *К. О. Самойчук*. – Донецьк, 2008, – 20с.
7. Матвиенко О. В. Математическое моделирование турбулентного переноса дисперсной фазы в турбулентном потоке / *О. В. Матвиенко, Е. В. Евтюшкин* // Вестник ТГПУ. – 2004. – Вып. 6. – С. 50–53.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРУИ ГОМОГЕНИЗАТОРА МОЛОКА ЩИЛИННОГО ТИПА

Самойчук К. О., Ковалёв О. О., Лубко Д. В.

Аннотация – статья посвящена моделированию параметров гомогенизатора в программном комплексе конечно–элементного анализа ANSYS. Статья содержит обоснование выбора программы для выполнения параметров моделирования, обоснование диапазона колебаний выбранных факторов.

В качестве факторов, оказывающих существенное влияние на качество помола, различают избыточное давление подачи обезжиренного молока, поступающего в камеру гомогенизатора после предварительного разделения, и расстояние в прорези. Диапазон колебаний ограничен избыточным давлением в области более низких значений с необходимостью создания гидродинамических условий для эффективного дробления жировых шариков в области значительного роста энергозатрат процесса диспергирования. Диапазон изменения значений расстояния в зазоре в области минимальных значений ограничен необходимостью обеспечения почасовой производительности на уровне промышленных машин, а в области максимальных значений – ухудшением условий шлифования, связанных с рассеянием энергии потока обезжиренного молока.

Результаты моделирования свидетельствуют о том, что рациональный параметр избыточного давления обезжиренного молока составляет 12 МПа, при котором разница скоростей дисперсионной и дисперсной фаз, что является необходимым условием измельчения, составляет почти 2 раза. С другой стороны, рациональные условия для получения технологически заданного среднего размера жировых шариков обеспечиваются при использовании гомогенизатора с минимальным расстоянием в зазоре.

DESIGN OF PARAMETERS OF STREAM MILK HOMOGENIZER OF SLOT TYPE

K. Samoichuk, O. Kovalyov, D. Lubko

Summary

The article is devoted to the modeling of homogenizer parameters in the software complex of finite element analysis ANSYS. The article contains the rationale for the choice of the program to perform modeling parameters, justification of the range of fluctuations of the selected factors.

As factors that have a significant impact on the quality of grinding, the excess pressure of the supply of skimmed milk entering the homogenizer chamber after preliminary separation and the distance in the slit are distinguished. The range of fluctuations is limited to the excess pressure in the region of lower values with the need to create the hydrodynamic conditions for the efficient crushing of fat globules in the field of high value—significant growth in energy costs of the process of dispersing. The range of variation of the distance values in the gap in the region of minimum values is limited by the need to ensure hourly productivity at the level of industrial machines, and in the region of maximum values by the deterioration of grinding conditions associated with the scattering of the energy of the skim milk flow.

The simulation results suggest that the rational parameter of the excess pressure of skim milk is 12 MPa, in which the difference between the velocities of the dispersion and dispersed phases, which is a necessary condition for grinding is almost 2 times. On the other hand, rational conditions for obtaining a technologically specified average size of fat globules are provided when using a homogenizer with a minimum distance in the gap.