

сирних продуктів, оскільки за збільшення кількості цієї добавки підвищується значення граничного напруження зсуву.

Перспективи подальших досліджень у цьому напрямку. У подальшому доцільним є розроблення рецептурного складу плавлених сирних продуктів з урахуванням собівартості готового продукту та вивчення їх поживних властивостей.

Список літератури

1. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
2. Зедгенидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И.Г. Зедгенидзе. – М.: Наука, 1976. – 390 с.
3. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.
4. Грачев Ю.П. Математические методы планирования эксперимента / Ю.П. Грачев, Ю.М. Плаксин. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 296 с.
5. Окара А.И. Управление жирнокислотным составом и потребительскими свойствами растительных масел-смесей путем оптимизации рецептур / А.И. Окара, К.Г. Земляк, Т.К. Каленик // Масложировая промышленность. – 2009. – №2. – С. 8-10.
6. Компьютерное проектирование смесей растительных белков, оптимизированных по содержанию незаменимых аминокислот / П.П. Бабенко [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. – № 12. – С. 44-47.
7. Павлова В.В. Влияние солей-плавителей и температуры на некоторые закономерности формирования структуры творожных плавленых пластично-вязких продуктов [Электронный ресурс] / В.В. Павлова, А.Г. Галстян, А.Н. Петров. – Режим доступа: <http://molprom.ru/s_publ2003_155.html>.
8. Сири плавлені. Технологічна інструкція до ТУ У 15.5-30019749-007:2005. – [Чинна від 2005-06-03]. – К.: Снорк, 2005. – 22 с.

УДК 631.563.4

Самойчук К.О., канд. техн., наук доц.,
Полудненко О.В. (ТДАТУ, Мелітополь)

РЕЗУЛЬТАТИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ РІДКИХ КОМПОНЕНТІВ У СТРУМИННОМУ ЗМІШУВАЧІ

У статті наведено результати аналізу пристроїв для перемішування рідких компонентів, подано результати комп'ютерного моделювання процесу змішування рідких компонентів у струминному змішувачі.

Ключові слова: перемішування, струминний змішувач, моделювання, дослідження.

Постановка проблеми та її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями. Процеси перемішування знайшли досить широке розповсюдження в різних галузях харчової промисловості, зокрема у виробництві безалкогольних напоїв. Сьогодні у технології їх виробництва спостерігається тенденція повернення до використання натуральної сировини, адже раніше напої виготовлялись на основі натуральних соків із додаванням екстрактів і концентратів настоїв різноманітних зборів лікарських трав, тобто під час виготовлення безалкогольних напоїв одним з основних процесів є перемішування рідких компонентів. З огляду на об'єми виробництва безалкогольних напоїв, що зростають, актуальними є розроблення і впровадження у виробництво змішувальних апаратів, які забезпечать якісне перемішування рідких компонентів за мінімальних витрат енергії і часу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перемішування в рідких середовищах використовується для приготування однорідних суспензій або емульсій, отримання гомогенних систем (наприклад, розчинення), інтенсифікації процесів теплопередачі у процесі нагрівання або охолодження середовищ, а також інтенсифікації процесів масообміну.

Залежно від методу підведення енергії в середовища, що перемішуються, перемішування може бути пневматичним, інерційним у потоці рідини, циркуляційним, механічним або струминним [2].

Пневматичне перемішування (барботаже) здійснюється за рахунок енергії газового середовища, що подається в рідину через спеціальний пристрій (барботер). Цей спосіб енергомісткий і його доцільно використовувати в агресивних середовищах, або коли одночасно з перемішуванням відбувається насичення рідини газом. Недоліком процесу є утворення на поверхні піни, винос частинок у вигляді туману, підвищення витрат електроенергії за рахунок роботи компресорів.

Інерційне перемішування в потоці рідини здійснюється в трубопроводах за рахунок зміни напрямку потоку або штучної турбулізації за використання спеціальних вставок або насадок. Використовується для розчинення дрібних частинок, що рухаються в потоці. Недоліком є збільшення втрат енергії на транспортування за рахунок зростання втрат натиску на тертя та місцеві опори.

Циркуляційне перемішування проводять за допомогою вмонтованих або винесених насосів, які багаторазово переміщують рідину в об'ємі апарату. Застосовують для підтримування рівномірного розподілу частинок у рідині або вирівнювання концентрації та температури в об'ємі апарату. Аналогічно до інерційного перемішування недоліком циркуляційного перемішування є збільшення витрат енергії на транспортування за рахунок зростання втрат натиску через тертя та місцеві опори, а також підвищена витрата електроенергії за рахунок високої кратності процесу.

Механічне перемішування зводиться до переміщення одних часток середовища відносно інших за допомогою механічних мішалок. Мішалки розрізняють за конструктивними особливостями та швидкохідністю [1]. Механічне перемішування є найбільш вивченим, універсальним та широко застосованим способом, але для досягнення одного і того ж технологічного ефекту в апаратах із мішалками витрачається більше часу й енергії на перемішування, ніж в апа-

ратах безперервної дії. Якщо за механічного перемішування у звичайних апаратах час перебування обчислюється в хвилинах, то в апаратах безперервної дії – у секундах.

Струминне перемішування являє собою передавання кінетичної енергії одного потоку іншому шляхом безпосереднього контакту (змішування). Потоки робочої та інжектваної рідин надходять до камери змішування, де відбувається вирівнювання швидкостей потоків, що супроводжується, як правило, підвищенням тиску. Із камери змішування потік надходить до дифузора, де відбувається подальше зростання тиску. Тиск змішаного потоку на виході з дифузора вищий за тиск інжектваного потоку, що надходить до приймальної камери.

Підвищення тиску інжектваного потоку без безпосередньої затрати механічної енергії є основною, принциповою якістю струминних апаратів. Завдяки цій якості використання струминних апаратів у багатьох галузях виробництва дозволяє отримувати більш прості і надійні технічні рішення порівняно з використанням інших змішувальних пристроїв.

Ступінь та ефективність перемішування в струминних апаратах є дуже високими внаслідок підведення значних потужностей до невеликого об'єму. Простота схем включення таких апаратів до різних установок поряд із виключною простотою їх конструкції, а також невеликою складністю виготовлення забезпечили широку сферу використання струминних змішувачів.

Постановка завдання. Для вирішення завдань інтенсифікації процесу перемішування у струминних змішувачах, призначених для використання на підприємствах харчової промисловості, є необхідними подальші дослідження з обґрунтування режимів роботи та параметрів конструкції змішувачів. Вирішення цього завдання вимагає розроблення принципово нових підходів із використанням методів чисельного моделювання, вирішення рівнянь теплопередачі, дифузії, конвекції і ін.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для порівняльної оцінки різних перемішувальних пристроїв зазвичай використовують дві їх найбільш важливі характеристики: ступінь (або однорідність) перемішування, інтенсивність та ефективність процесу [2].

Ступінь (однорідність) перемішування характеризується рівномірністю розподілу фаз у системі після проведення процесу і визначає якість перемішування. Наприклад, для суспензій або емульсій порівнюють об'ємну концентрацію в різних точках об'єму в різні проміжки часу.

Інтенсивність визначає швидкість досягнення поставленої мети перемішування, характеризується часом проведення процесу. Чим вища інтенсивність перемішування, тим менший час, що необхідний для досягнення заданого ефекту перемішування.

Ефективність – якісний показник, що характеризує досягнутий технологічний ефект (мету перемішування). Тому ефективність пов'язана з інтенсивністю, а основним завданням є оптимізація процесу – досягнення технологічного ефекту за мінімізації витрат енергії.

Струминні змішувачі відрізняються формою камер змішування. Кількістю каналів підводу інжектваних компонентів і способом підведення інжекто-

ваного компонента (існують змішувачі із супутним і протитечійним способом підведення).

У ході вивчення цих процесів було визначено, що, використовуючи протитечійний спосіб підведення, виникає додаткове змішування, через те, що основний потік із великою швидкістю зустрічається з потоком інжектваного компонента [6].

Для визначення ефективності роботи струминного змішувача було розроблено його схему та принцип дії. Проведено моделювання процесу змішування робочого потоку з інжектованою рідиною. Здійснено дослідження якості процесу змішування робочого й інжектованого потоків. Для дослідження було обрано протитечійний спосіб підведення інжектованої рідини.

Принцип дії змішувача полягає в тому, що основний потік проходить через камеру змішування і зустрічається з потоком інжектованого компонента, який подається насосом, при цьому відбувається змішування компонентів.

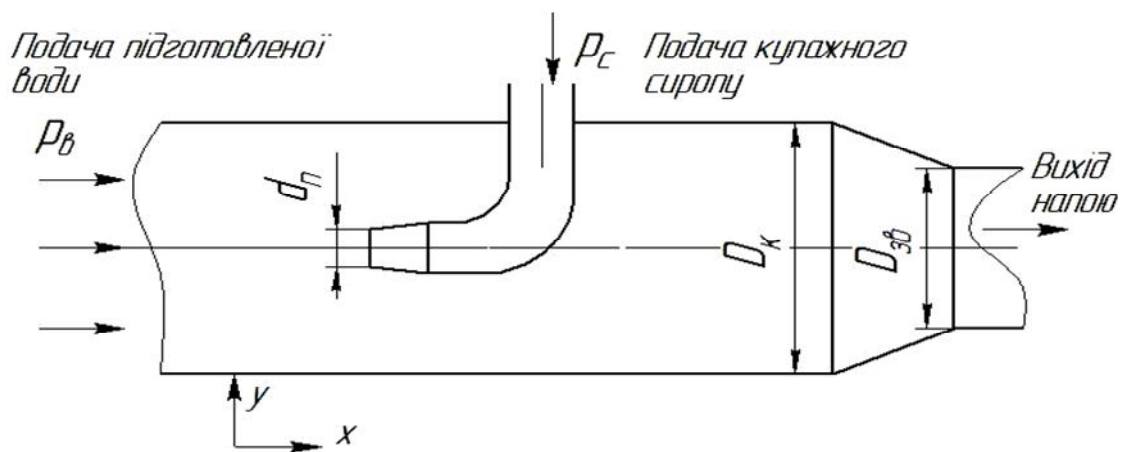


Рисунок 1 – Схема струминного змішувача з протитечійним способом підведення інжектованого компонента

Через те, що встановлення необхідних фізичних величин у лабораторних умовах є дуже проблематичним, а за отримання деяких даних є зовсім неможливим, ми звернулися до симуляції процесу в програмному комплексі ANSYS.

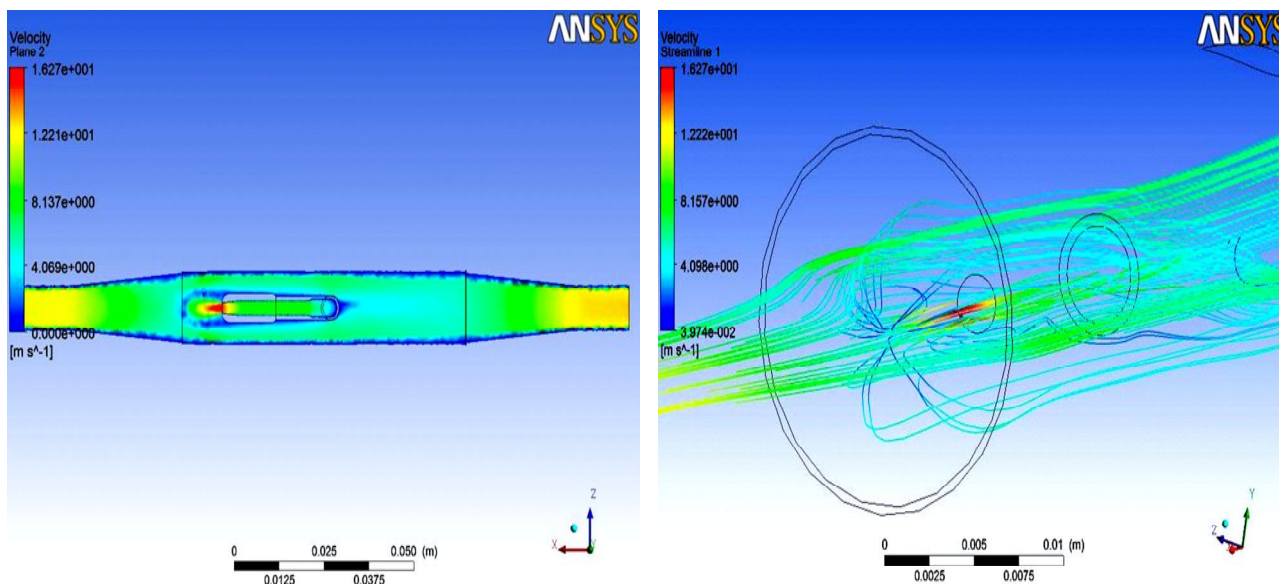
Проведено моделювання процесу змішування підготовленої води (основний компонент) із купажним сиропом у виробництві напою «Лимонад».

Згідно з технологічною інструкцією на виробництво безалкогольних напоїв [3] і рецептурою напою «Лимонад», вихідними даними у процесі моделювання були: температура підготовленої води (4°C), її щільність (1 г/см³); температура купажного сиропу (10°C), масова частка сухих речовин у купажному сиропі 53,5%, масова частка сухих речовин у готовому напої 12,5%. Змішування купажного сиропу з підготовленою водою проводять у співвідношенні 1:5.

Тиск підготовленої води на вході в камеру змішування $p_B = 0,2$ МПа. Діаметр камери змішування $D_K = 40$ мм. Тиск подавання купажного сиропу змінювали у межах $p_C = 0,2-0,3$ МПа. Діаметр патрубку підведення компонента d_n дорівнює 4, 6, 8 мм.

Змінюючи тиск купажного сиропу в камеру змішування було досліджено процес перемішування його з підготовленою водою з метою визначення оптимального режиму роботи змішувача.

Завдяки моделюванню процесу змішування в програмному комплексі ANSYS було створено поле швидкостей (рисунок 2), тиску в камері змішування, залежності кінетичної енергії турбулентності, дисипації турбулентності (рисунок 3), вектори руху елементарних потоків і лінії токів у камері змішування.



а) поле швидкостей камери змішування у вертикальній площині;

б) подавання купажного сиропу.

Рисунок 2 – Результати моделювання в ANSYS

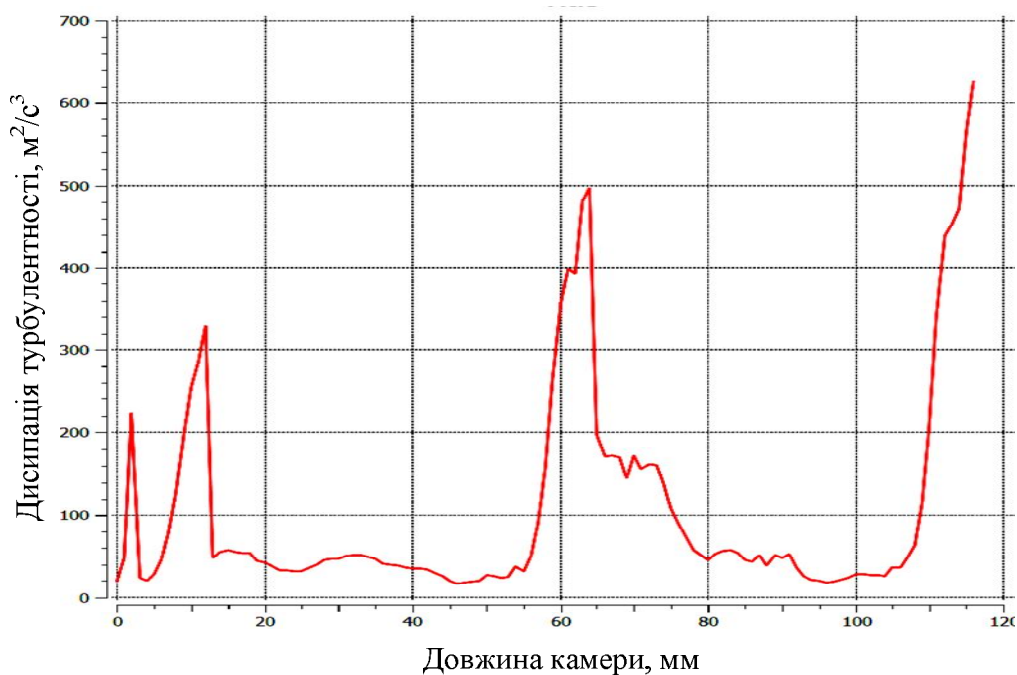


Рисунок 3 – Графік дисипації турбулентності в камері змішування

Відповідно до рисунка 2, швидкість руху рідин у різних зонах робочого об'єму камери змішування є неоднаковою.

За тиску купажного сиропу $p_c = 0,3$ МПа вона коливається від 2 до 13 м/с, за $p_c = 0,2$ МПа – 0,5-9 м/с.

Найбільших значень (9-13 м/с) швидкість досягає в зоні підводу основного потоку, за ввідним патрубком і на звуженні каналу в кінці камери змішування.

За зміни d_n від 4 до 8 мм швидкість потоку збільшується, що призводить до збільшення довжини зони змішування і підвищення якості змішування.

Графік дисипації турбулентності в камері змішування має три чітких піки. Ці максимуми (як і найбільші значення швидкостей) припадають на зону підводу (зростання з $20 \text{ м}^2/\text{с}^3$ до $330 \text{ м}^2/\text{с}^3$), за ввідним патрубком (з $18 \text{ м}^2/\text{с}^3$ до $500 \text{ м}^2/\text{с}^3$) і на звуження каналу в кінці камери змішування (з $30 \text{ м}^2/\text{с}^3$ до $640 \text{ м}^2/\text{с}^3$).

За збільшення d_n різниця між піками зменшувалась, що призводить до зменшення якості перемішування.

Висновки. Аналіз результатів, що отримали, свідчить про те, що перемішування купажного сиропу з водою відбувається у декількох зонах змішувальної камери, а саме в зоні підводу сиропу, за ввідним патрубком (у цій зоні спостерігається розрідження від 0,2 МПа до 0,1 МПа), а також на звуженні каналу в кінці камери змішування.

Усі ефекти перемішування супроводжуються підвищенням тиску в середньому на 50% і зниженням швидкості потоку на 80-85%. Це пояснюється тим, що на цих ділянках зростає кінетична енергія турбулентності і її дисипація.

Збільшення тиску та зменшення діаметра патрубка подавання купажного сиропу призводить до підвищення якості змішування.

У подальшому планується розробити лабораторний пристрій для дослідження струминного змішування та провести експериментальні дослідження.

Список літератури

1. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками / Ф. Стренк; пер. с пол. под ред. И.А. Щупляка. – Л.: Химия, 1975. – 384 с.
2. Штербачек З. Перемешивание в химической промышленности / З. Штербачек, П. Тауск; пер. с чеш. – Л.: Госхимиздат, 1963. – 417 с.
3. Технологічна інструкція на виробництво напоїв безалкогольних: ТІ У 61.960:2008.
4. Рецепт на 100 дал напою «Лимонад»: РЦ У 61.960.11-98.
5. Черевко О.І. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / О.І. Черевко, А.М. Поперечний. – Х.: ХДАТОХ, 2002. – 417 с.
6. Соколов Е.Я. Струйные аппараты / Е.Я Соколов, Н.М. Зингер. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.