

Міністерство аграрної політики та продовольства України
Таврійський державний агротехнологічний університет

НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
МЕХАНІЗАЦІЇ ЗЕМЛЕРОБСТВА ПІВДНЯ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО АГРОТЕХНОЛОГІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ

Відділ „ Ресурсозбереження в технологічних процесах АПК”

Науково-дослідна лабораторія «Механізація переробки
сільськогосподарської продукції»

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Проректор з НР д.т.н., проф.

В.Т.Надикто

„ _____ 2014 р.



ЗВІТ

**ПРО РОБОТУ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ
“МЕХАНІЗАЦІЯ ЗБЕРІГАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬ-
КОЇ ПРОДУКЦІЇ” ЗА 2014 р.**

**Підпрограма 1.6.3 "Розробка нетрадиційних технологій зберігання
плодів та ягід"**

Завідувач відділу:
д.т.н., проф.

В.А. Дідур

Завідувач лабораторією:
к.т.н., проф.

Ф.Ю. Ялпачик

Керівник підпрограми
к.т.н., доц.




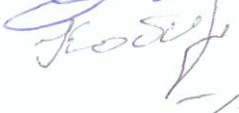



В.Ф. Ялпачик

Рецензент:
к.т.н., доц.

М.І.Стручаєв

Мелітополь
2014

Список виконавців

- | | | |
|----------------------|--|-------------------------------------|
| 1. Зав. каф., к.т.н. |  | Ялпачик Ф.Ю.
(Тема 1.6.3) |
| 2. к.т.н., доц. |  | Ялпачик В.Ф.
(розділ 1.6.3.1) |
| 3. аспірант | | Ялпачик О.В.
(розділ 1.6.3.2) |
| 4. к.т.н., доц. |  | Самойчук К.О. |
| 5 асистент | | Івженко А.О. |
| 6 асистент |  | Ковальов О.О.
(розділ 1.6.3.3) |
| 7 асистент |  | Полудненко О.В.
(розділ 1.6.3.4) |
| 8 асистент |  | Змеєва І.М.
(розділ 1.6.3.5) |
| 9 к.т.н., доц. |  | Ломейко О.П.
(розділ 1.6.3.6) |

ЗМІСТ

Розділ 1.6.3.1 Експериментальні дослідження фізико-механічних характеристик плодоовочевої сировини при низькотемпературному зберіганні	4
1. Методика досліджень.....	5
2. Комплексна оцінка якості рослинної продукції при її заморожуванні і в процесі зберігання в замороженому стані.....	5
3. Висновки.....	11
Розділ 1.6.3.2 Обґрунтування технологічного процесу, параметрів та режимів роботи дробарки прямого удару для подрібнення зерна...	12
1. Методика досліджень.....	14
2. Результати моделювання процесів в робочій камері дробарки	16
Розділ 1.6.3.3 Оптимізація параметрів процесу гомогенізації молока	21
1. Методи досліджень	23
2. Теоретичне та експериментальне дослідження гомогенізації молока в пульсаційному та струминному апаратах.....	26
3. Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту.....	36
Тема 1.6.3.4. Оптимізація процесу струминного змішування напоїв.....	40
1. Методика досліджень.....	42
2. Теоретичне та експериментальне дослідження струминного змішування напоїв.....	44
3. Обробка, аналіз одержаних результатів.....	48
Тема 1.6.3.5. Вдосконалення та розробка обладнання для розливу харчових рідин.....	50
1. Методика досліджень.....	51
2. Теоретичне та експериментальне дослідження впливу параметрів та режимів в дозуючому пристрої на процес розливу харчових рідин...	54
3. Результати досліджень.....	56

Розділ 1.6.3.1 Експериментальні дослідження фізико-механічних характеристик плодоовочевої сировини при низькотемпературному зберіганні

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є технологічний процес тривалого зберігання і переробки овочів.

Предмет дослідження – технологія і механізація заморожування овочів.

Мета роботи – є удосконалення технології низькотемпературного заморожування, тривалого зберігання, дефростації та переробки на основі зміни якості овочів, а також зниження енерговитрат швидкозаморозильного апарату.

Методи досліджень – поставлені задачі вирішувалися з використанням теоретичних методів дослідження, що дозволили досягти основних результатів роботи і підтвердити їхню вірогідність методом активних експериментів. Використовувалися методи диференційного та інтегрального обчислення, основні положення теоретичної механіки, аналітичної геометрії, комп'ютерної технології, методами математичного аналізу і математичної статистики.

Розроблено та досліджено машини для заморожування плодоовочевої продукції. Розроблено технологічні процеси зберігання сільськогосподарської продукції у замороженому виді.

ЗАМОРОЖУВАННЯ, КОЕФІЦІЄНТ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ, ДЕФРОСТАЦІЯ, ЕНЕРГОВИТРАТИ, ФЛЮЇДИЗАЦІЙНИЙ ШВИДКОМОРОЗИЛЬНИЙ АПАРАТ

ВСТУП

Ефективним шляхом збереження продукції і скорочення її втрат, а, отже, збільшення обсягів виробництва продовольчих ресурсів, є розширення виробництва швидкозаморожених продуктів, напівфабрикатів і готових блюд за технологією швидкої або шокової заморозки. У порівнянні з іншими методами консервування харчових продуктів застосування холоду викликає мінімальні зміни їхньої живильної цінності, маси й органолептичних показників.

Баклажан є однією з розповсюджених овочевих культур на півдні України. Він має високі харчосмакові і лікувально-профілактичні властивості, але через низьку лежкоспроможність плоди баклажанів мають обмежений термін споживання і переробки, внаслідок чого в період збирання баклажанів спостерігаються значні втрати цього коштовного продукту; переробні підприємства мають колосальні навантаження. Тому пріоритетного значення набуває проблема збільшення терміну споживання і переробки плодів баклажанів.

В умовах ринкової економіки в Україні доцільно переробляти рослинну продукцію безпосередньо на місцях її виробництва. Для заморожування плодів, овочів, ягід найбільш раціонально використовувати флюїдизаційні апарати. У той же час існуючі на сьогоднішній день флюїдизаційні апарати мають істотні енерговитрати, що стримує розвиток технології заморожування на сільськогосподарських переробних підприємствах.

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Програма досліджень

Дослідження комплексної оцінки якості рослинної продукції при її заморожуванні і в процесі зберігання в замороженому стані.

1. Методика дослідження

Об'єктом дослідження є процес тривалого зберігання баклажан, перця, кабачків, гарбуза, кукурудзи молочно-воскової стиглості і винограду сорту „Молдова”.

Під час тривалого зберігання плодоовочевої продукції характеризується не тільки змінами зовнішнього вигляду, змінами біохімічного складу, а фізико-механічних властивостей.

Всередині і зовні клітки є внутрішній гідростатичний тиск, який призводить до напруженням у кліткових оболонках і виникаючої в результаті пружної деформації, або напруженню.

Задача досліджень полягає у виборі режимів заморожування і дефростації, обумовлених забезпеченням умов для зниження пошкоджуючої дії осмотичного тиску води; зменшення деформації біологічного об'єкту зростаючими кристалами льоду; досягання зневоднення біологічного об'єкту, достатнього для попередження внутрішньоклітинної кристалізації.

Розв'язування поставленої задачі здійснюється шляхом аналізу змін фізико-механічних властивостей в процесі тривалого зберігання в замороженому стані математичної моделі процесу заморожування сільськогосподарської продукції.

Об'єктом випробувань є механізм тривалого зберігання плодоовочевої продукції на прикладі баклажана, перцю, кабачків, гарбуза, кукурудзи молочно-воскової стиглості і винограду сорту „Молдова”.

2. Комплексна оцінка якості рослинної продукції при її заморожуванні і в процесі зберігання в замороженому стані.

Одержані нами результати експериментальних досліджень з визначення основних показників плодоовочевої продукції, таких, як зусилля деформації, зусилля на прокол, вологовіддача, а також важливих біохімічних показників харчової сировини в процесах її заморожування та довготривалого зберігання дають можливість використання їх при розробці і впровадженні технологічних процесів зберігання сільськогосподарської продукції в замороженому стані. Проте, саме прийняття рішення щодо застосування того або іншого методу обробки холодом до конкретного виду рослинної сировини, а також при розробці раціонального поєднання режимів технологічного процесу заморожування і зберігання, оцінка доцільності дії проводиться, як правило, послідовним порівнянням великої кількості окремих показників і ухваленням компромісної узагальненої характеристики технології.

Результати органолептичної оцінки для всіх об'єктів досліджень зведені в таблицю (див. Додаток Е), а для їхньої наочної порівняльності побудовані парні діаграми, приклад яких представлений на рисунку 1.

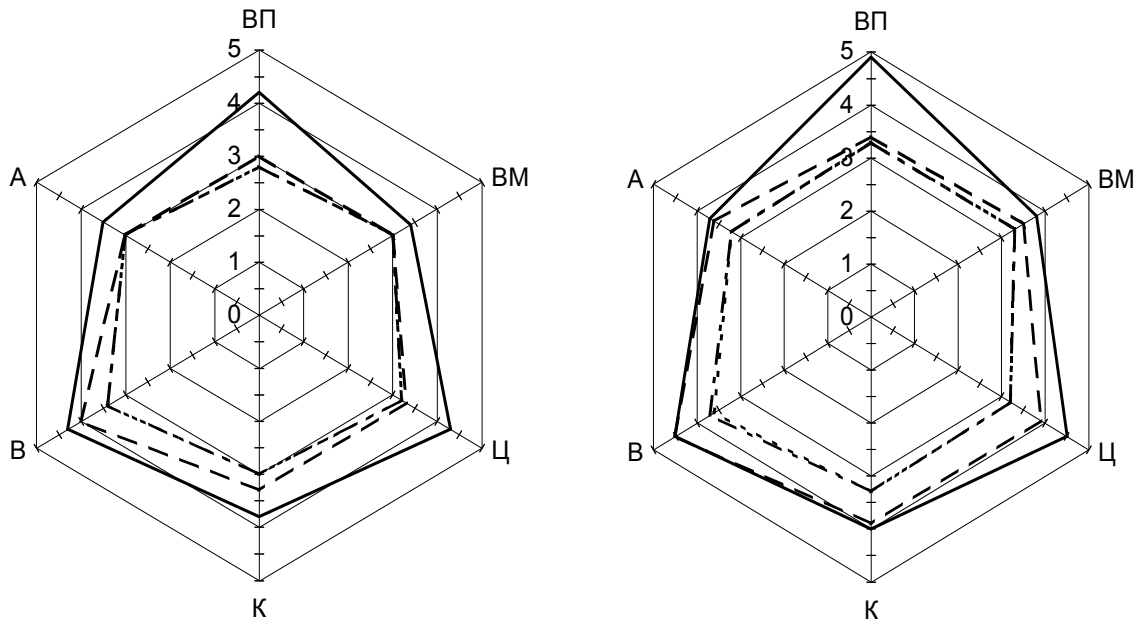


Рис. 1. Результати органолептичної оцінки заморожених баклажан:
а) - контрольний метод; б) - заморожування під тиском.

— свіжозаморожені; --- 3 місяця; - · - · 6 місяців; · · · · 9 місяців зберігання.

Ієрархічна структура комплексного показника якості наведена на рис. 2.

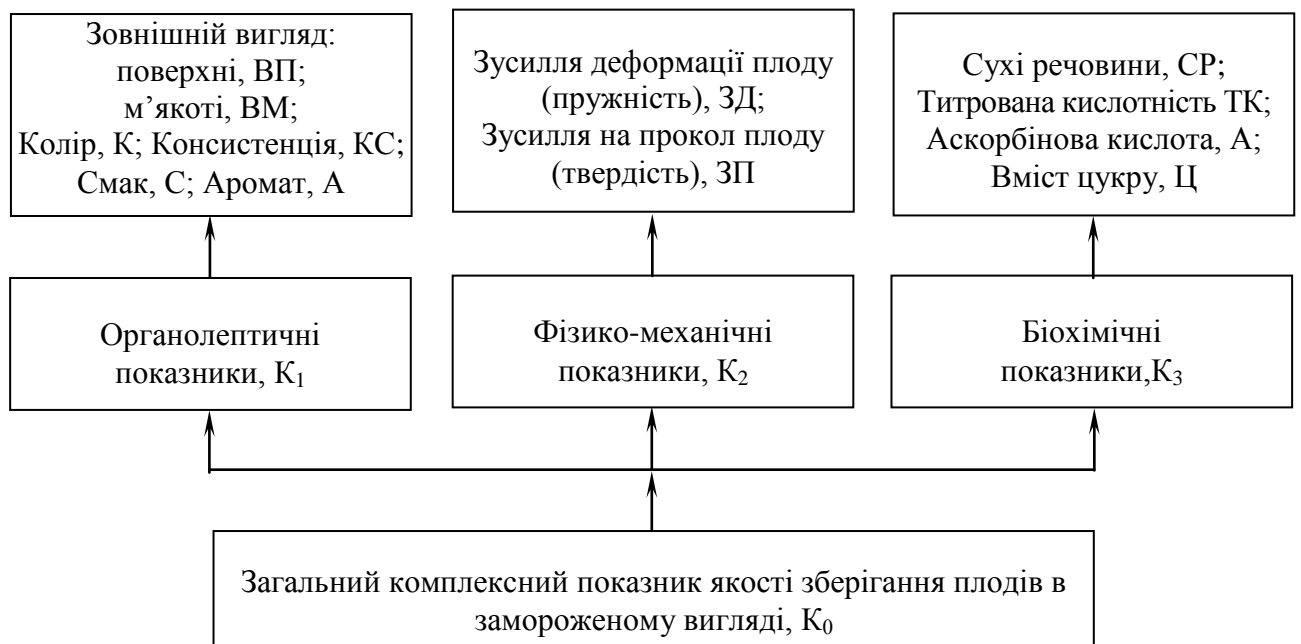


Рис. 2. Ієрархічна структура комплексного показника якості зберігання плодів в замороженому виді

Формула розрахунку загального комплексного показника якості має вид:

$$K_0 = K_1 M_1 + K_2 M_2 + K_3 M_3, \quad (1)$$

де K_1 - органолептичні показники;

K_2 - фізико-механічні показники;

K_3 - біохімічні показники;

$M_1 \dots M_3$ - коефіцієнти ваги кожної групи показників.

Для коефіцієнтів ваги груп показників встановлені наступні значення:
 $M_1 = 0,35$; $M_2 = 0,35$; $M_3 = 0,3$.

Комплексний показник органолептичних властивостей:

$$K_1 = \frac{ВП}{ВП_{\bar{6}}} M_{ВП} + \frac{ВМ}{ВМ_{\bar{6}}} M_{ВМ} + \frac{К}{К_{\bar{6}}} M_K + \frac{КС}{КС_{\bar{6}}} M_{КС} + \frac{С}{С_{\bar{6}}} M_C + \frac{А}{А_{\bar{6}}} M_A \quad (2)$$

де $ВП$, $ВМ$, $К$, $КС$, $С$, $А$ - вид поверхні, вид м'якоті, колір, консистенція смак і аромат зразків продукту;

$ВП_{\bar{6}}$, $ВМ_{\bar{6}}$, $К_{\bar{6}}$, $КС_{\bar{6}}$, $С_{\bar{6}}$, $А_{\bar{6}}$ - відповідні показники базового (контрольного)

зразка;

$M_{ВП} \dots M_A$ - коефіцієнти ваги органолептичних показників.

Коефіцієнти ваги при визначенні показника органолептичних властивостей мали наступні числові значення:

$$M_{ВП} = 0,15; M_{ВМ} = 0,15; M_K = 0,1; M_{КС} = 0,2; M_C = 0,3; M_A = 0,1.$$

Фізико-механічні показники об'єкту досліджень представлені граничною деформацією $ГД$ (пружністю) і зусиллям на прокол $ЗП$ (твердістю). Розрахункова формула показника:

$$K_2 = \frac{ГД}{ГД_{\bar{6}}} M_{ГД} + \frac{ЗП}{ЗП_{\bar{6}}} M_{ЗП}$$

Для фізико-механічного показника значення коефіцієнтів ваги розподілилися таким чином:

$$M_{ГД} = 0,55; M_{ЗП} = 0,45$$

До біохімічних показників якості зберігання заморожених продуктів віднесені: зміст сухих речовин $СР$, титрована кислотність $ТК$, вміст аскорбінової кислоти $А$ і вміст цукру $Ц$.

Формула для розрахунку біохімічного показника має вид;

$$K_1 = \frac{СР}{СР_{\bar{6}}} M_{СР} + \frac{ТК}{ТК_{\bar{6}}} M_{ТК} + \frac{А}{А_{\bar{6}}} M_A + \frac{Ц}{Ц_{\bar{6}}} M_C, \quad (3)$$

Складові біохімічного показника мають наступні значення коефіцієнтів ваги

$$M_{CP} = 0,2; M_{TK} = 0,2; M_A = 0,35; M_{Ц} = 0,25.$$

Порівняльна характеристика способів заморожування на прикладі об'єкту дослідження – плоду баклажана, проведена з використанням вищенаведеної методики розрахунку загального комплексного показника якості і представлена в таблиці 2. Чисельник дробу в значенні показника, приведеного в таблиці, характеризує контрольний (звичайний) спосіб заморожування, в знаменнику представлено значення показника способу заморожування під тиском.

Таблиця 2

Комплексний показник якості способів заморожування в динаміці зберігання плодів баклажан

Найменування показника	Стан продукту і термін зберігання				
	свіжий	свіжозаморожений	3 міс.	6 міс.	9 міс.
Зовнішній вигляд - поверхня, ВП	5/5	4,2/4,9	3,0/3,4	2,8/3,3	2,8/3,3
Зовнішній вигляд – м'якість, ВМ	5/5	3,4/3,8	3,0/3,5	3,0/3,3	3,0/3,3
Колір, К	5/5	4,3/4,5	3,3/3,9	3,2/3,2	3,2/3,2
Консистенція, КС	5/5	3,8/4,0	3,3/3,9	3,0/3,3	3,0/3,3
Смак, С	5/5	4,3/4,5	4,0/4,5	3,4/3,7	3,4/3,6
Аромат, А	5/5	3,5/3,7	3,0/3,6	3,0/3,2	3,0/3,2
Органолептичний показник, К ₁	1,0/1,0	0,752/0,81 9	0,672/0,7 77	0,622/0,6 78	0,622/0,9 72
Гранична деформація, ГД	15,9/15,9	15,2/15,3	14,6/15,0	13,9/14,4	12,7/13,6
Зусилля на прокол, ЗП	0,78/0,78	0,57/0,62	0,54/0,58	0,52/0,55	0,48/0,52
Фізико-механічний показник, К ₂	1,0/1,0	0,855/0,88 7	0,817/0,8 50	0,781/0,8 12	0,716/0,7 67
Сухі речовини, СР	9,9/9,9	9,1/9,3	8,7/9,1	8,5/8,9	8,4/8,8
Титрована кислотність, ТК*	0,23/0,23	0,25/0,24	0,25/0,24	0,27/0,25	0,28/0,25
Аскорбінова кислота, А	7,9/7,9	5,2/6,3	4,9/6,1	4,9/6,0	7,8/6,0
Загальний цукор, Ц	5,4/5,4	5,0/5,2	4,8/5,1	4,7/5,1	4,6/5,0
Біохімічний показник, К ₃	1,0/1,0	0,830/0,89 9	0,799/0,8 82	0,777/0,8 66	0,760/0,8 59
Загальний комплексний показник, К ₀	1,0/1,0	0,811/0,86 7	0,761/0,8 34	0,724/0,7 81	0,696/0,7 61

*Примітка: показники розраховані по співвідношеннях ТК_г/ТК.

Баклажан

Перець

Виноград

За результатами розрахунків загального комплексного показника для решти видів замороженої плодоовочевої продукції побудовані діаграми, показані на рисунку 3.

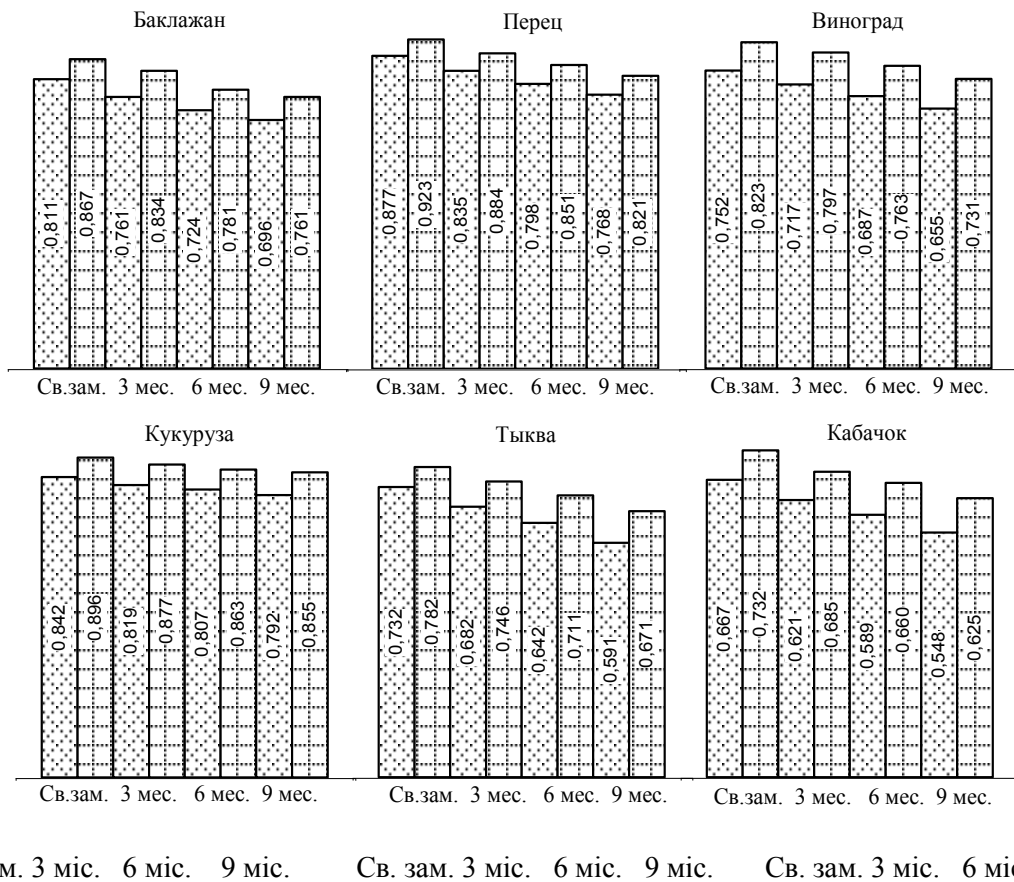


Рис. 3. Порівняльна оцінка досліджених способів заморожування

▨ - контрольний спосіб; ▩ - спосіб заморожування під тиском.

Як видно з таблиці і рисунка, порівняння за допомогою комплексного показника якості двох способів заморожування для різних видів плодоовочевої продукції дає можливість одержати достатньо точну та достовірну оцінку. В даному випадку цей показник підтверджує технологічну перевагу способу заморожування при підвищеному тиску. Звичайно, залучення тут техніко-економічних оцінок може змістити переваги до технології заморожування у повітрі при атмосферному тиску.

Розроблена методика оцінки якості продуктів рослинного походження при їх заморожуванні і тривалому зберіганні за допомогою комплексного показника може бути застосована при розробці нових способів, а також відробітку технологічних процесів переробки і зберігання сільськогосподарської продукції.

Висновки. Розроблено методику розрахунку узагальненого показника якості замороженої плодоовочевої сировини в кінці її довготривалого зберігання з урахуванням органолептичних оцінок. Методика рекомендується до використання при проведенні обґрунтування вибору технологій заморожування плодоовочевої сировини та її зберігання в замороженому стані. За тільки технологічними оцінками якості сировини в кінці процесу зберігання одержано, що більше переваг має спосіб заморожування при підвищеному тиску.

Список опублікованих праць за темою досліджень

1. Изменение качества замораживания продуктов растительного происхождения при холодильном хранении / В. П. Василяускас, В. В. Минкус, В. Ю. Шаповалова, П. В. Урбанис // Холодильная техника. – 1983. – № 10. – С. 59–60.
2. Коробкина З. В. Изменение органолептических свойств зеленого горошка в процессе замораживания и хранения / З. В. Коробкина, Л. П. Дружинина // Холодильная техника. – 1983. – № 10. – С.11–15.
3. Пилипенко Т. Д. Изменение биохимического состава плодов и овощей в процессе холодильной обработки и его влияние на обратимость воды по данным ПМР / Т. Д. Пилипенко, Е. Г. Кротов, В. В. Манк // Холодильная техника. – 1986. – № 4. – С. 20–24.
4. Русанов А. В. Изучение изменений в замороженных кабачках и патиссонах методом ЯМР / А. В. Русанов, Л. А. Жебрук // Применение искусственного холода, физико-химических и биологических средств для повышения качества и сохранности пищевых продуктов : межвуз. сб. науч. тр. / ГАХПТ. – СПб : ГАХПТ, 1996. – С. 68–75.
5. Ялпачик В. Ф. Змінення властивостей кукурудзи в процесі заморожування і тривалого зберігання / В. Ф. Ялпачик, С. Ф. Буденко, К. М. Стручаєв // Холодильна техніка і технологія. – 2005. – № 6. – С. 85–89.
6. Ялпачик В. Ф. Змінення властивостей плодів кабачків у процесі заморожування та тривалого зберігання / В. Ф. Ялпачик, С. Ф. Буденко, В. Г. Тарасенко // Праці Харківського державного університету харчування та торгівлі / ХДУХТ. – Харків : ХДУХТ, 2007. – Вип. 2. – С. 176–182.
7. Ялпачик В. Ф. Дослідження дефростації контактним методом під тиском / В. Ф. Ялпачик, Н. П. Загорко, К. М. Стручаєв // Праці Таврійської державної агротехнічної академії / ТДАТА. – Мелітополь : ТДАТА, 2005. – Вип. 30.– С. 69–73.
8. Ялпачик В. Ф. Дослідження напруженого стану при заморожуванні-розморожуванні винограду / В. Ф. Ялпачик, Леонова А. В., Кюрчева Л. Н. // Праці Таврійської державної агротехнічної академії / ТДАТА. – Мелітополь : ТДАТА, 2005. – Вип. 26. – С. 54–60.

Розділ 1.6.3.2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ДРОБАРКИ ПРЯМОГО УДАРУ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНА

РЕФЕРАТ

Об'єкт дослідження. Технологічний процес подрібнення фуражного зерна в подрібнювачі, що працює по способах подрібнювання «удар вліт» і «сколювання зріз» з одержанням готового продукту заданого гранулометричного складу.

Предмет дослідження – закономірності, умови і режими процесу подрібнення фуражного зерна у вертикальному пальцевому подрібнювачі.

Мета дослідження. Підвищення ефективності процесу подрібнювання фуражного зерна за рахунок використання в подрібнювачі пальцевих робочих органів.

Мета дослідження. У процесі виконання роботи проводилися аналітичні та експериментальні дослідження з використанням методу активного планування експерименту, методів випробувань сільськогосподарської техніки з використанням стандартних і оригінальних методик з наступною обробкою результатів методами математичної статистики.

Розроблено та досліджено процес подрібнювання фуражного зерна за рахунок використання в подрібнювачі пальцевих робочих органів. Розроблено технологічні процеси та режими процесу подрібнювання фуражного зерна у вертикальному пальцевому подрібнювачі.

ЗЕРНО, ПОДРІБНЕННЯ, ДРОБАРКА, ЯКІСТЬ ПОМОЛУ, ОПТИМАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ, ЕФЕКТИВНІСТЬ ПОДРІБНЮВАННЯ.

ВСТУП

Забезпечення населення продукцією тваринництва є головним завданням агропромислового комплексу України. У зв'язку із цим у ході реалізації пріоритетного напрямку його розвитку, особлива увага звертається на проблеми тваринництва і його кормовиробництва.

Із усього різноманіття існуючих способів переробки кормів, найбільше застосування одержала механічна технологія готування кормів.

У механічній технології готування кормів найпоширенішим і важливим процесом є подрібнювання, обумовлене вимогами фізіології відгодівлі тварин. Справа в тому, що поживні речовини присутні у кормах засвоюються організмом тварини тільки в розчинному виді, а швидкість обробки часток корму шлунковим соком прямо пропорційна площі їх поверхні. У результаті подрібнювання корму утворюється безліч часток з високорозвиненою поверхнею, що сприяє прискоренню процесів травлення та підвищенню засвоюваності поживних речовин.

Подрібнювання є одним з найбільш енергоємних процесів при переробці фуражного зерна на корм худобі та птиці. Для цього найчастіше застосовуються різні по конструктивному виконанню молоткові дробарки. При тонкому подрібнюванні ці дробарки дають до 30 % пилоподібної фракції, а при грубому – до 20 % недоподрібненої фракції.

Переподрібнювання приводить до збільшення витрат енергії на подрібнювання та втратам при згодовуванні, а недоподрібнене зерно погано поїдається і засвоюється тваринами. Крім цього молоткові дробарки мають великі енерговитрати при подрібнюванні вони споживають від 10 до 15 кВт·год. на одну тону подрібненого продукту.

Але, незважаючи на це, промисловістю випускаються кормоподрібнюючі машини, що мають досить високу енерго- і металоємність, низьку технологічність, а якість подрібненого матеріалу не завжди повністю відповідає зоотехнічним вимогам. Дотепер немає повного обґрунтування, як конструктивних параметрів, так і найбільш ефективних режимів роботи подрібнювачів.

У зв'язку з вищевикладеним розробка і обґрунтування основних параметрів вертикального пальцевого подрібнювача, що дозволяють знизити металоємність конструкції та енергоємність процесу подрібнювання фуражного зерна при якості одержаного продукту, що відповідає зоотехнічним вимогам є актуальним та важливим народногосподарським завданням.

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Програма досліджень на 2014 р.

1. Розробка програми та методики досліджень
2. Обґрунтування основних параметрів пальцевого подрібнювача.
3. Експериментальне дослідження Розподілу якості подрібненого матеріалу по камері дроблення.
4. Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту.

1. Методика дослідження

Мета дослідження. Підвищення ефективності процесу подрібнювання фуражного зерна за рахунок використання в подрібнювачі пальцевих робочих органів.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес подрібнювання фуражного зерна в подрібнювачі, що працює по способах подрібнювання „удар вліт“ і „сколювання-зріз“ з одержанням готового продукту заданого гранулометричного складу.

Предмет дослідження – закономірності, умови і режими процесу подрібнювання фуражного зерна у вертикальному пальцевому подрібнювачі.

Методи дослідження. У процесі виконання роботи проводилися аналітичні та експериментальні дослідження з використанням методу активного планування експерименту, методів випробувань сільськогосподарської техніки з використанням стандартних і оригінальних методик з наступною обробкою результатів методами математичної статистики.

1. Моделювання процесів в робочій камері дробарки

Для одержання наочного зображення процесів змінення тих чи інших параметрів процесів, що протікають в робочій камері дробарки було вирішено застосувати моделювання за допомогою сучасних обчислювальних комплексів.

На сьогоднішній день існує досить велика кількість комп'ютерних програм та комплексів, які дозволяють вирішувати подібні задачі. Однак функція розрахунку динаміки рідини, повітря та інших середовищ присутня тільки в небагатьох з них. До таких систем насамперед відносяться ANSYS, SolidWorks, Gas Dynamics та FlowVision.

Для визначення швидкості потоків та тиску в середині робочої камери пальцевої дробарки був використаний найбільш розповсюджений програмний комплекс ANSYS Workbench, що являє собою комп'ютерну систему для проектування і виконання зв'язаного міждисциплінарного аналізу методом кінцевих елементів. Звичайно вона використовується на етапі проектування, щоб уявити, як конкретна проектна розробка буде поводитися в експлуатаційному режимі навантаження. Також цю програму можна використовувати для оптимізації геометрії, описаної в параметричному вигляді.

ANSYS має засоби зв'язку з усіма Cad-Системами (включаючи CADDs, Pro-Engineer, Unigraphics, Autocad та ін.) за допомогою імпорту файлів у власних форматах CAD, в стандартних і універсальних графічних

форматах. Окремі версії ANSYS, інтегровані з основними Cad-Системами, де розрахункова технологія ANSYS застосовується для аналізу і оптимізації проектних розробок.

Програма, яка була застосована для даних досліджень мала модуль CFX, що дає можливість надійно та ефективно проводити розрахунки, пов'язані з динамікою рідини та інших середовищ, з урахуванням імпульсних коливань.

Через те, що встановлення потрібних фізичних показників процесу в лабораторних умовах є складним і трудомістким, а в деяких даних зовсім неможливим, за заданими параметрами були побудовані 3D-моделі дробарки в програмі SolidWorks з подальшою симуляцією процесу у програмному комплексі ANSYS. Зразки моделей представлені на рис. 1.

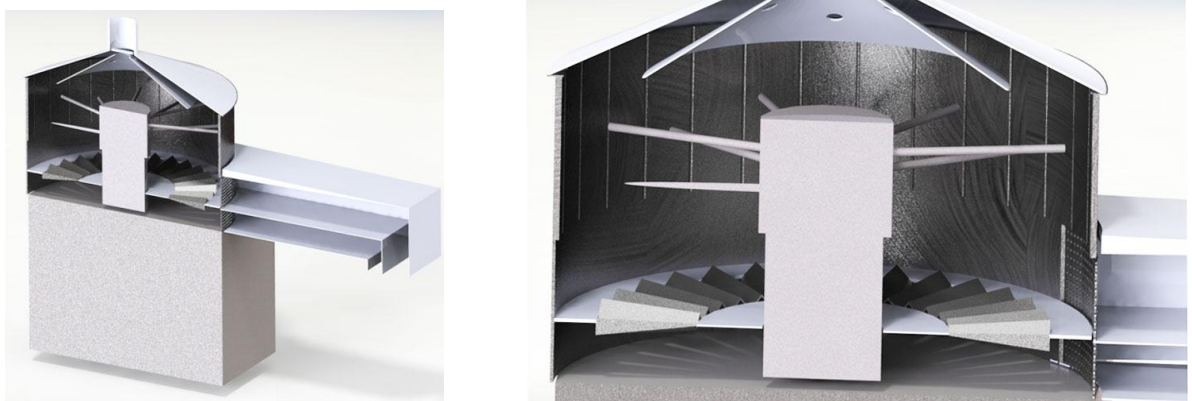


Рис. 1. 3-D модель пальцевої дробарки з вертикальним ротором
а) загальний вигляд; б) робоча камера (збільшено).

Досліджувався вплив частоти обертання ротора дробарки на розподіл швидкості потоків зерно-повітряної суміші по об'єму робочої камери, змінення тиску в порожнині камери, турбулентна кінетична енергія, її дисипація та інші показники процесу. Моделювання проводилося у наступній послідовності:

- 1) Створення моделей в Solidworks 2012
- 2) Конвертування в формат Parasolid
- 3) Додавання моделі у програму ANSYS
 - a. Додавання модуля геометрія, імпорт моделі у форматі Parasolid
 - b. Розрахунки математичної моделі, створення сітки
 - c. Підключення модуля CFX
 - d. Введення даних в setup
 - e. Розрахунки в модулі solution
 - f. Виведення результатів.

Алгоритм моделювання показаний на рис. 2.

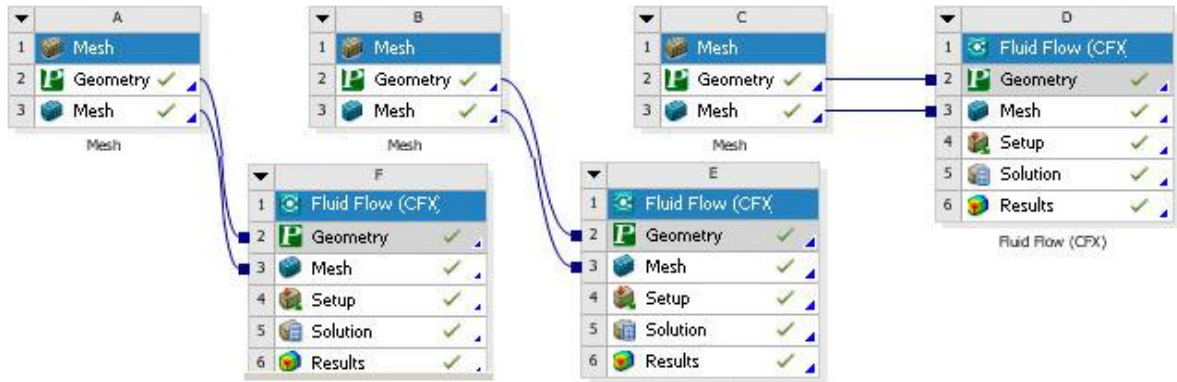


Рис. 2. Алгоритм моделювання процесів в робочій камері дробарки

2. Результати моделювання процесів в робочій камері дробарки

Моделювання процесів, що мають місце в робочій камері, проводилося за допомогою комплексу ANSYS.

Дослідження впливу частоти обертання ротора на швидкісні, енергетичні та інші основні показники процесу проводились при фіксованих значеннях частоти обертання **1500, 2000 та 2500** об/хв., що відповідало коловим швидкостям кінців пальців дробарки **47,1; 62,8 і 78,5** м/с.

Наочні зображення ліній швидкісних потоків зернової суміші в порожнині робочої камери дробарки побудовані для умов вище вказаних частот обертання ротора показані на рис. 3...5. Плани швидкостей по перетину порожнини представлені на рис. 6,7,8. Зони змінення швидкості переміщення повітряно-продуктової суміші по об'єму робочої камери, можуть давати конкретні відомості потрібні на стадії розрахунку, проектування і розробки конструкції дробарки.

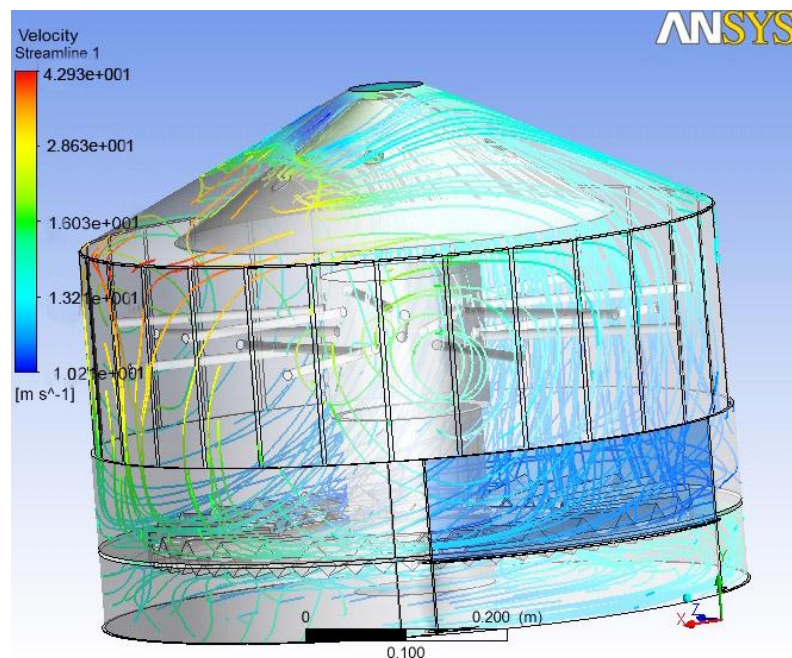


Рис. 3. Лінії швидкості потоку зернової суміші в робочій камері дробарки при $n = 1500$ об/хв.

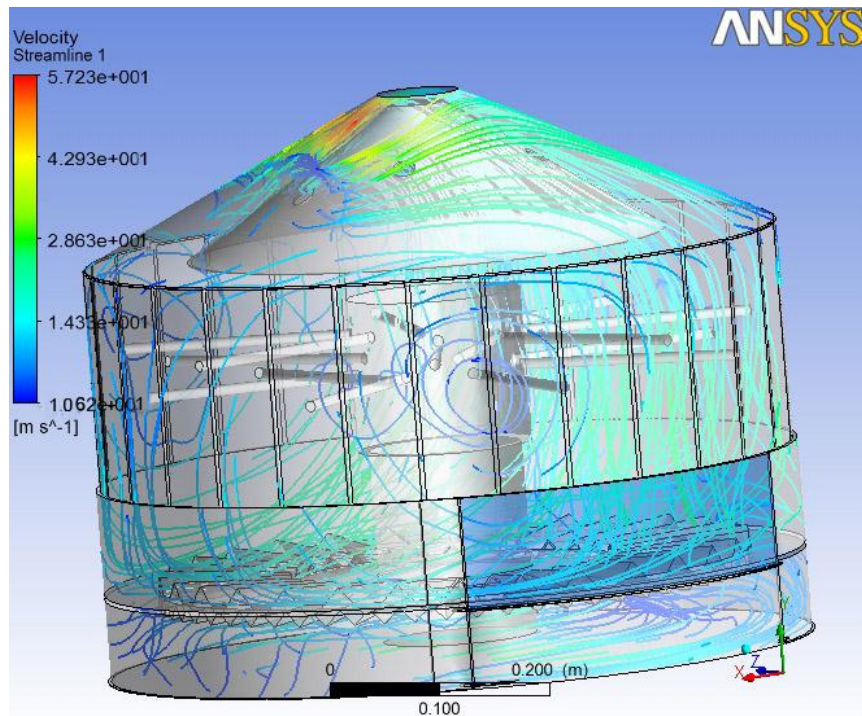


Рис. 4. Лінії швидкості потоку зернової суміші в робочій камері дробарки при $n = 2000$ об/хв.

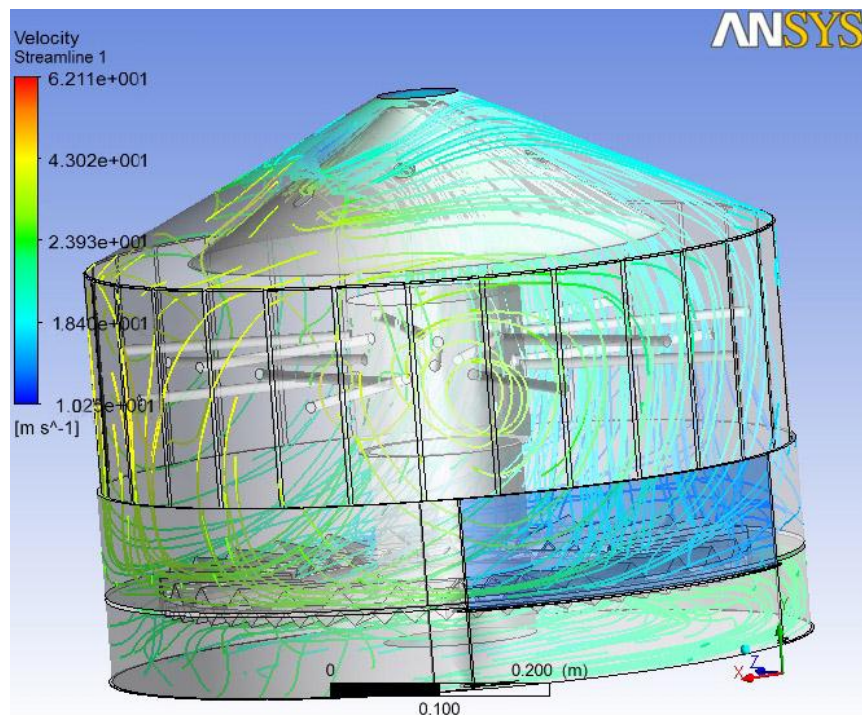


Рис. 5. Лінії швидкості потоку зернової суміші в робочій камері дробарки при $n = 1500$ об/хв.

Збільшення частоти обертання ротора, безсумнівно, у значній мірі впливає на змінення швидкості потоків всередині робочої камери дробарки. Діапазон значення швидкості потоків в різних частинах камери при частоті обер-

тання $n = 1500$ об/хв. становить від **42,9** до **10,2** м/с, при $n = 2000$ об/хв – від **57,2** до **10,6** м/с і при частоті $n = 2500$ об/хв. він коливається в межах **62,1...10,25** м/с.

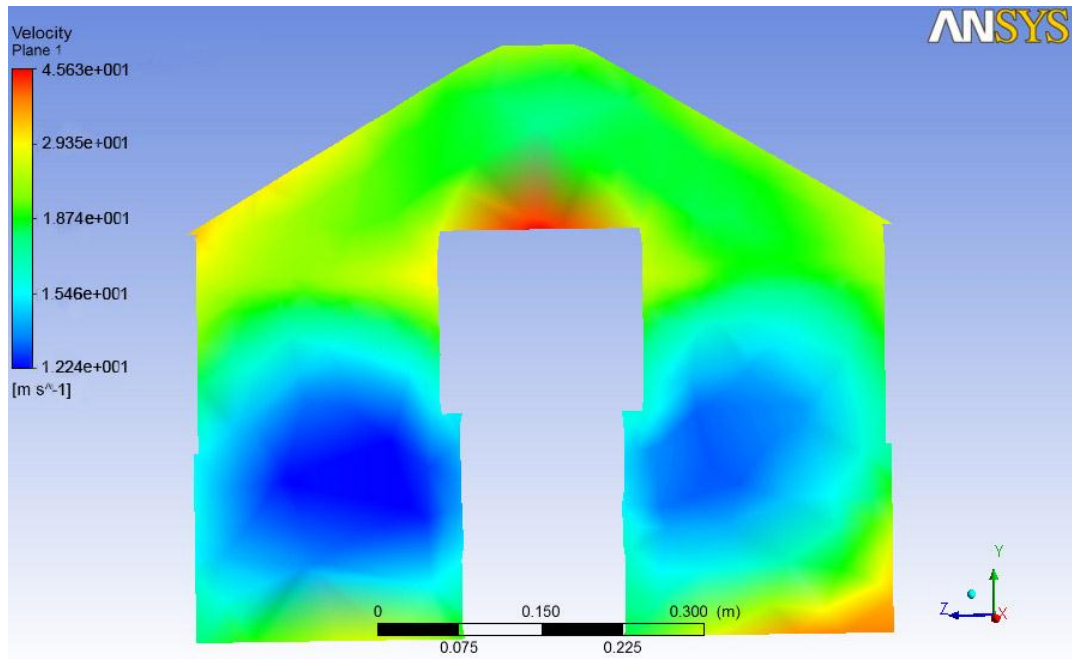


Рис. 6. План швидкості потоку зернової суміші в робочій камері дробарки при частоті обертання ротора $n = 1500$ об/хв.

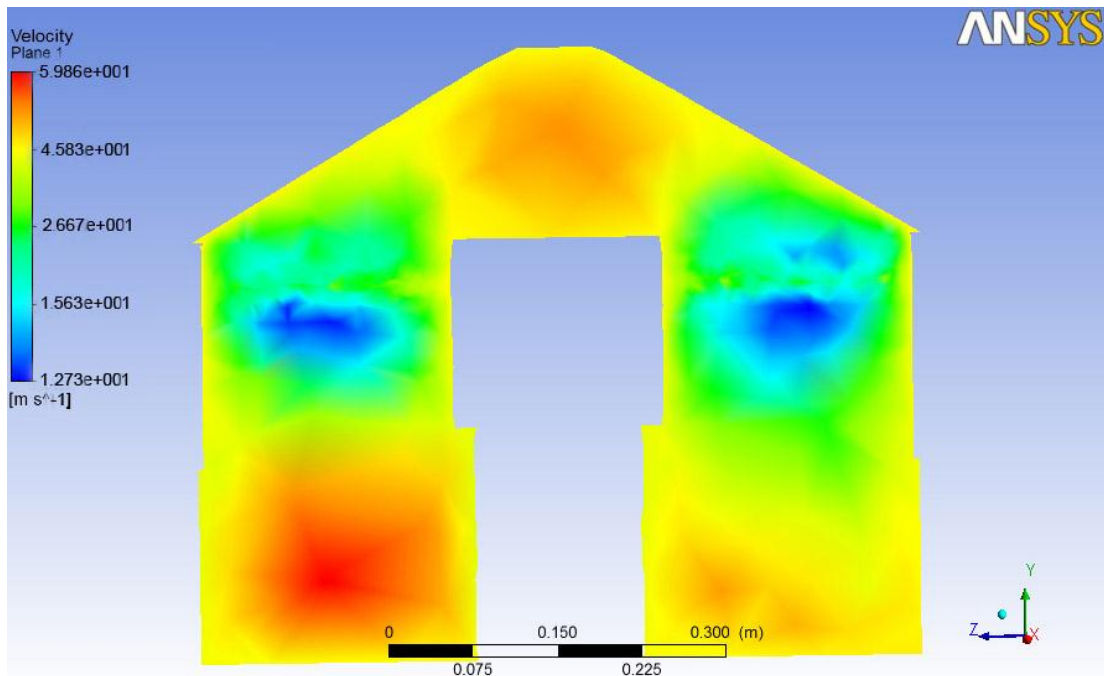


Рис. 7. План швидкості потоку зернової суміші в робочій камері дробарки при частоті обертання ротора $n = 2000$ об/хв.

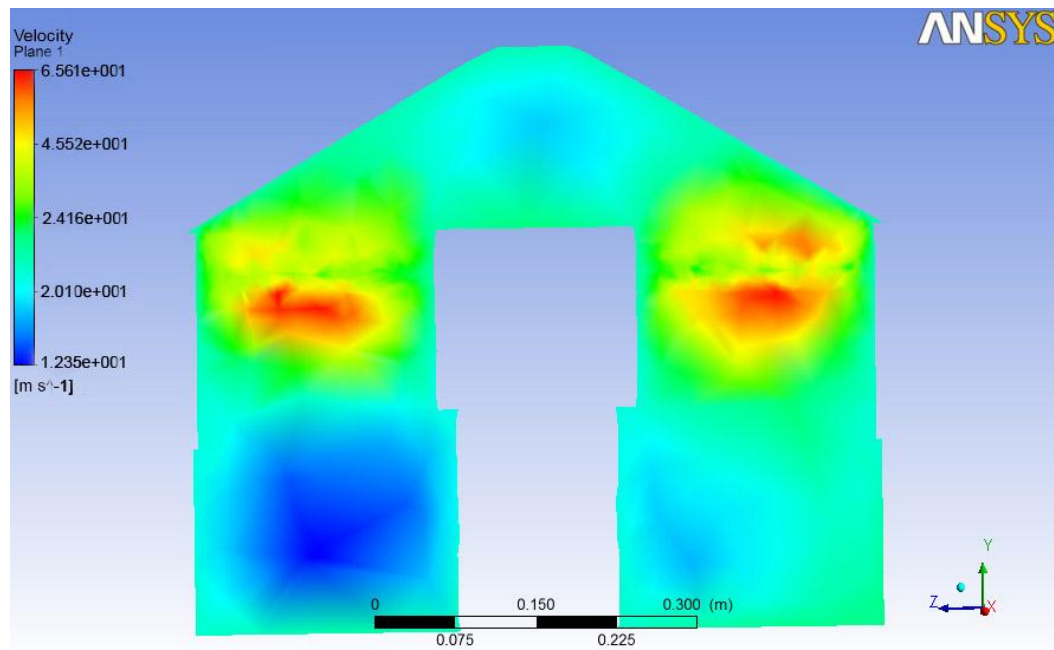


Рис. 8. План швидкості потоку зернової суміші в робочій камері дробарки при частоті обертання ротора $n = 2500$ об/хв.

Значення швидкості на планах швидкості також мають подібні діапазони значень. Швидкості в основних зонах подрібнення (розташування пальців ротора дробарки) мають коливання у межах **18...25** %, що дозволяє стверджувати про рівномірне подрібнення часток.

Як видно з рисунків, геометричний характер траєкторій швидкісних потоків на всіх досліджених частотах обертання має ідентичний вигляд і наочні зображення відрізняються лише масштабом значень швидкості. В порожнині камери чітко вирізняються певні зони з різними значеннями швидкості. Кількість циркуляційних рухів часток зерна до виходу з зони подрібнення або виведення з дробарки на кожній частині ротора дорівнює **3...8**. Такі значення свідчать про відсутність умов для переподрібнення зернового матеріалу і високу енергетичну ефективність пальцевої дробарки.

Крім вказаних, розроблені в програмному комплексі ANSYS моделі, дають змогу визначати і наочно представляти такі показники процесу, як тиск, коефіцієнт турбулентної в'язкості, турбулентна кінетична енергія та інші, значення яких при потребі, можуть бути використані при вивченні процесів, що протікають в робочому об'ємі камери дробарки.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Шпиганович Т.О. Дробарка прямого удару з системою сепарування зерна та продуктів подрібнення / Т.О. Шпиганович, О.В. Ялпачик // Техніка і технологія АПК, № 12, - С.7-10.

2. Шпиганович Т.О. Обґрунтування конструктивних параметрів дробарки зерна прямого удару з попередньою сепарацією зернового матеріалу// Т.О. Шпиганович, О.В. Ялпачик. Праці Таврійського державного агротехнологіч-

ного університету. - Мелітополь: ТДАТУ. Вип. 10, Т.3. - 2010. - С.23-35.

3.Шпиганович Т.О. Перспективні концепції розробки технологічного обладнання зернопереробних виробництв АПК // Т.О. Шпиганович, О.В. Ялпачик. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. Вип. 10, Т.1. - 2010. - С.91-98.

4.Ялпачик О.В. Експериментальні дослідження дробарки зерна прямого удару з вертикальним ротором / О.В. Ялпачик, Гвоздев О.В., Самойчук К.О. // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій, вип. 40, том 1, Одеса, 2011, - С. 218-222.

5.Ялпачик О.В. Визначення розподілу величини удару часток по поверхні деки дробарки прямого удару з вертикальним ротором / О.В.Ялпачик, К.О. Самойчук, О.В. Гвоздев // Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження № 15, - Львів:, 2011, - С. 165-173.

6.Патент України №50426 МПК А23N500 / Пристрій для луцення та подрібнення зерна / Шпиганович Т.О., Ялпачик О.В., Гвоздев О.В., Ялпачик Ф.Ю. // Бюл. №11 від 10.06.2010, 3 с.

7.Патент на винахід №93312 Україна Пристрій для луцення та подрібнення зерна / Шпиганович Т.О., Ялпачик Ф.Ю., Гвоздев О.В., Ялпачик О.В. // Бюл. №2 від 25.01.2011, 3 с.

8.Патент на винахід №95435 Україна Пристрій для луцення та подрібнення зерна Шпиганович Т.О., Ялпачик О.В. // Бюл. №14 від 25.07.2011, 7 с.

Розділ 1.6.3.3 Оптимізація параметрів процесу гомогенізації молока

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є аналітичні моделі зміни площі прохідного перетину модулятора в роторно-пульсаційних апаратах.

Предмет дослідження – залежності, що пов'язують ступінь диспергування та енерговитрати пульсаційного апарату з вібруючим ротором з конструктивними та технологічними його параметрами.

Мета роботи – є оптимізація конструкції та режимів роботи пульсаційного апарату з вібруючим ротором для зниження енерговитрат та підвищення якості гомогенізації молока.

Методи досліджень – поставлені задачі вирішувалися з використанням теоретичних методів дослідження, що дозволили досягти основних результатів роботи і підтвердити їхню вірогідність методом активних експериментів. Використовувалися методи диференційного та інтегрального обчислення, основні положення теоретичної механіки і гідравліки, аналітичної геометрії, комп'ютерної технології, методами математичного аналізу і математичної статистики.

В результаті роботи визначено рівняння зміни площі прохідного перетину модулятора в пульсаційному апараті з вібруючим ротором у вигляді безперервної функції. Це значно спрощує математичний опис функції, і подальшу аналітичну модель руху емульсії в апаратах такого типу. Отримане рівняння є необхідним при визначенні таких характеристик як миттєва швидкість і прискорення емульсії та діаметр дисперсної фази після обробки.

РОТОРНО-ПУЛЬСАЦІЙНИЙ АПАРАТ, ПУЛЬСАЦІЙНИЙ АПАРАТ, ГОМОГЕНІЗАТОР, ШВИДКІСТЬ, ПЛОЩА, МОДУЛЯТОР

ВСТУП

У харчовій, як і в багатьох інших галузях промисловості широко розповсюджені процеси гомогенізації і диспергування. Апарати, які використовуються для їх проведення мають ряд суттєвих недоліків і часто не відповідають сучасним вимогам якості та енергозбереження. Наприклад при переробці молока клапанні гомогенізатори мають енерговитрати більш 8 кВт/т і швидкий знос плунжерних пар і робочих органів, вакуумні – не забезпечують високого ступеня диспергування і т.д. Тому задача удосконалення існуючих конструкцій гомогенізаторів, наприклад за рахунок концентрації енергії та ефективного її розподілення по об'єму продукту, що обробляється є актуальною.

Серед великої кількості конструкцій апаратів для гомогенізації та диспергування, завдяки комплексному впливу на робоче середовище, створення максимального градієнта швидкості та кавітаційному впливу виділяються роторно-пульсаційні апарати (РПА), призначені для отримання стабільних вискодисперсних емульсій і суспензій. Недоліком при гомогенізації молока в ро-

торно-імпульсних апаратах є присутність часток жиру великої фракції, які утворились або внаслідок коалесценції жирових кульок або потрапили у зону недостатнього енергетичного впливу і не були зруйновані. Позбавлені цього недоліку РПА, ротор яких здійснює коливання вздовж вісі обертання. Пульсаційні апарати з вібруючим ротором (ПА з ВР) ефективні завдяки дисипації потужності на межі розділу фаз дисперсного та дисперсійного середовища у всьому об'ємі продукту і роботі у резонансному режимі. Завдяки цим перевагам енерговитрати ПА з ВР на 15-30% нижчі за гомогенізацію в РПА, а дисперсійний склад молочної емульсії характерний для обробки в клапанних гомогенізаторах. Такі апарати практично не досліджені, тому ця стаття є складовою циклу досліджень ПА з ВР, призначеного для гомогенізації молока.

Одним з методів зниження енергоємності процесу гомогенізації застосовано на попередньому виділенні сепарацією низькожирних (12%) вершків, гомогенізації їх при температурі 70°C та тиску 10 – 15 МПа, та послідууючої нормалізації вершків знежиреним молоком (роздільна гомогенізація). Роздільну гомогенізацію застосовують для того, щоб отримати продукт з необхідним вмістом жиру, підвищити стабільність жирової фази та білків та обмежити небажаний механічний вплив на молочний білок при виробництві питного молока, кисломолочних продуктів та сирів. Згідно тверджень деяких авторів при роздільній гомогенізації продуктивність зростає до 2,5 разів, а витрати енергії зменшуються на 50 – 70% за рахунок зниження кількості продукту, що гомогенізується [2].

Використання роздільної гомогенізації на основі розробки струминного гомогенізатора з роздільною подачею жирової фази – один з шляхів вирішення задачі зниження енерговитрат на гомогенізацію в молочній промисловості.

Програма досліджень на 2014 р.

- 1 Розробка програми та методики досліджень
- 2 Теоретичне та експериментальне дослідження гомогенізації молока в пульсаційному апараті з вібруючим ротором
- 3 Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту

1. Методика досліджень

Дослідження проводилися в 2014 році в лабораторії кафедри обладнання переробних і харчових виробництв Таврійського державного агротехнологічного університету. При проведенні досліджень використовувалась виробнича база ПП "Молокозавод-ОЛКОМ" Мелітопольського району Запорізької області. У процесі експериментальної роботи здійснювалися лабораторні дослідження згідно з діючими стандартами та нормативними документами по визначенню ступеня диспергування та стабільності жирової фази молока.

Гомогенізацію молока проводили у розробленій авторами експериментальній установці пульсаційного апарату з вібруючим ротором (Пат. №41129 UA Роторно-пульсаційний апарат /А.О., Івженко, О.В. Гвоздєв, О.В. Івженко 12.05.2009, Бюл. № 9., Пат. 47806 UA Роторно-пульсаційний апарат / А.О., Івженко, О.В. Гвоздєв, О.В. Івженко. 25.02.2010, Бюл. № 4.

Пат. 63772 UA. Роторно-пульсаційний апарат / А.О., Івженко, О.В. Гвоздєв, О.В. Івженко 25.10.2011, Бюл. № 20.).

Гомогенізацію у струминному гомогенізаторі-нормалізаторі з роздільною подачею вершків проводили на розробленій установці (Пат. 94041, Україна, МКИ⁵ А01J 11/00. Струминний гомогенізатор молока з роздільною подачею вершків /Самойчук К.О., Ковальов О.О., Ялпачик Ф.Ю. ; Бюл. № 20., Пат. 94048, Україна, МКИ⁵ А01J 11/00. Спосіб гомогенізації та нормалізації молока /Самойчук К.О., Ковальов О.О., Ялпачик Ф.Ю.; Бюл. № 20.)

Для проведення експериментальних досліджень була розроблена експериментальна установка, загальний вид якої і конструкція гомогенізуючого вузла показані на рис. 1 і 2.

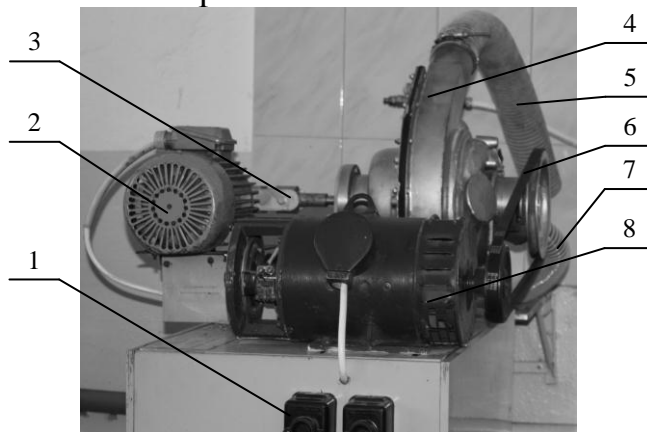


Рис. 1. Загальний вигляд експериментальної установки пульсаційного апарату з вібруючим ротором:

1 – пульт керування; 2 - електродвигун приводу вібрації ротора; 3 – кривошипний механізм; 4 – гомогенізуючий вузол; 5 – патрубок відведення продукту; 6 – клинопасова передача обертання ротора; 7 – патрубок подачі

молока; 8 – електродвигун приводу обертання ротора.

Для можливості зміни частоти обертання використаний електродвигун постійного струму. Амплітуду вібрації ротора змінювали регулюванням радіусом кривошипу у межах 0,5-1,5 мм. Лопатки, встановлені в порожнині ротора і розгонні пази дозволяють використовувати апарат без зовнішнього насосу, на відміну від типових РПА.

До подачі в пристрій для роздільної гомогенізації, молоко розділяється на знежирене молоко і вершки (рисунок 2). Знежирене молоко подається під тиском з певною швидкістю v_m , яка збільшується у центральній зоні пристрою за рахунок звуження потоку, величину якого можливо регулювати тягами. У місці найбільшого звуження подаються вершки по тонкому каналу. При взаємодії потоку та жирових кульок останні деформуються та подрібнюються.

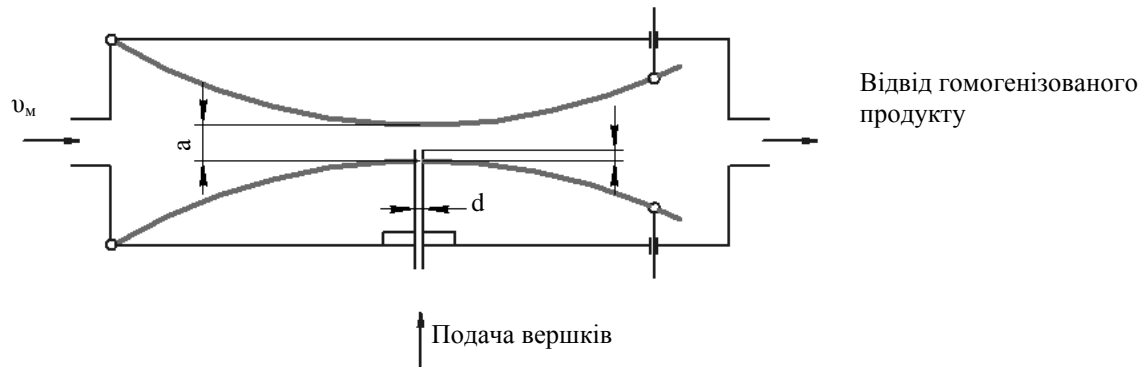


Рис. 2 – Схема струминного гомогенізатора з роздільною подачею вершків.

В якості об'єкта досліджень використовували молоко коров'яче жирністю 3,2-4,5% з середнім розміром жирових кульок 2,4–3,1 мкм. Розміри жирових кульок молока після гомогенізації підраховували за допомогою оптичного мікроскопа з приєднаною цифровою камерою з використанням мірного окуляра. Пробу молока розводили дистильованою водою у пропорції 1:10. Для підвищення точності з кожного зразка емульсії готували 3 розведення, а з кожного розведення – 2 препарати. Отримані цифрові зображення обробляли комп'ютерною програмою аналізу зображень для визначення кількості жирових кульок і їх розмірів. Кожен дослід повторювався 3 рази, після чого визначалося середнє арифметичне і здійснювалась перевірка на грубі похибки (методом оцінки максимальних розбіжностей результатів дослідів).

Змінними факторами при проведенні експериментальних досліджень обрано:

- частота обертання валу кривошипу ω_k (діапазон зміни 150–300 s^{-1});
- радіус кривошипу (діапазон зміни) r (діапазон зміни 0,5–1,5 мм).

Частота обертання ротора встановлювалась згідно формули $\omega_p = \omega_k / b$ для роботи установки в резонансному режимі. З цією ж метою встановлювалась різниця між кутами β і φ рівна 270° . Постійність цього контролювалась

перед початком кожного дослідження мітками на валу ротора, кривошипа та корпусі ротора.

Незмінні фактори: $D=0,15$ м, $z=6$, $\delta=1$ мм, $l_p=5$ мм, $l_c=10$ мм.

Визначення якості гомогенізації проводили методом аналізу мікрофотографій проб молока. Для отримання мікрофотографій використовували оптичний мікроскоп МИКМЕД-1 з пристосованою веб-камерою, під'єднану до персонального комп'ютера

Підготовку проб молока проводили у такій послідовності:

- пробу молока після гомогенізації ретельно перемішували, неодноразово переливаючи з судини у судину, уникаючи піноутворення;
- з центральної частини відбирали 1 мл. молока та розводили дистильованою водою у пропорції 1 до 40;
- з кожного зразка молока готували три розведення, а з кожного розведення – два препарати;
- краплю розбавленого молока наносили на предметне скло, закривали покривним та злегка придавлювали;
- пробу залишали стояти протягом 20...30 хв. для спливання жирових кульок;
- у кожному препараті фотографували 6...8 характерних полів зору.

Для отримання оптимального поля зору та найбільш якісного зображення, об'єктив камери прикріплювали до місця на мікроскопі, призначеного для приєднання фотонасадки. Кратність збільшення дорівнювала 640 разів при отриманні фотографії розмірами 10,8×8,1 см (при дозволяючій здатності камери 640×480 пікселів).

Метою проведення повнофакторного експерименту було визначення впливу частоти обертання ротора, часу обробки, кратності обробки і впливу вібрації на середній розмір жирової кульки після диспергування та енерговитрати на процес гомогенізації.

Час обробки в проведеному дослідженні регулювали за допомогою перекриття заслінки на виході з апарату. В якості емульсії використовували рослинну олію у воді з концентрацією 4%, як найбільш близьку до природної молочної емульсії.

Критеріями оптимізації обрано питомі енерговитрати (відношення енерговитрат до продуктивності апарату) і середній розмір жирових часток емульсії.

Енерговитрати визначали вимірюванням потужності, що споживалась електродвигунами установки, продуктивність – відношенням об'єму обробленої емульсії до часу обробки.

Кожен дослід повторювався 3 рази, після чого визначалося середнє арифметичне, здійснювалась перевірка на грубі промахи (методом оцінки максимальних розбіжностей результатів дослідів). З кожної проби емульсії відбирали 10-15 характерних мікрофотографій та визначали середній розмір жирових часток.

2. Теоретичне та експериментальне дослідження гомогенізації молока в пульсаційному апараті з вібруючим ротором

Під час попередніх досліджень визначено, що в ПА з ВР руйнування жирових кульок переважним чином відбувається за механізмом нестійкості Релея-Тейлора, де діаметр дисперсійної частки залежить від прискорення потоку рідини при русі молочної емульсії крізь канали переривника ПА (отвори ротора та статора). Прискорення потоку молока викликає різницю швидкості (ковзання) жирової кульки відносно молочної плазми, яка і призводить до руйнування жирової частки.

Для визначення середнього розміру жирової кульки після гомогенізації, необхідно розрахувати величину середнього прискорення молочної емульсії. Для визначення прискорення руху емульсії в отворах модулятора ПА з ВР необхідно визначити швидкість плинину емульсії крізь отвори модулятора ПА у функції часу.

Рух емульсії в модуляторі ПА з ВР v_o створюється за рахунок (рис. 3):

- відцентрового тиску в роторі ПА, що створюється за рахунок обертання ротора з лопатками;
- виштовхувального або всмоктуючого рідину руху ротора вздовж вісі обертання.

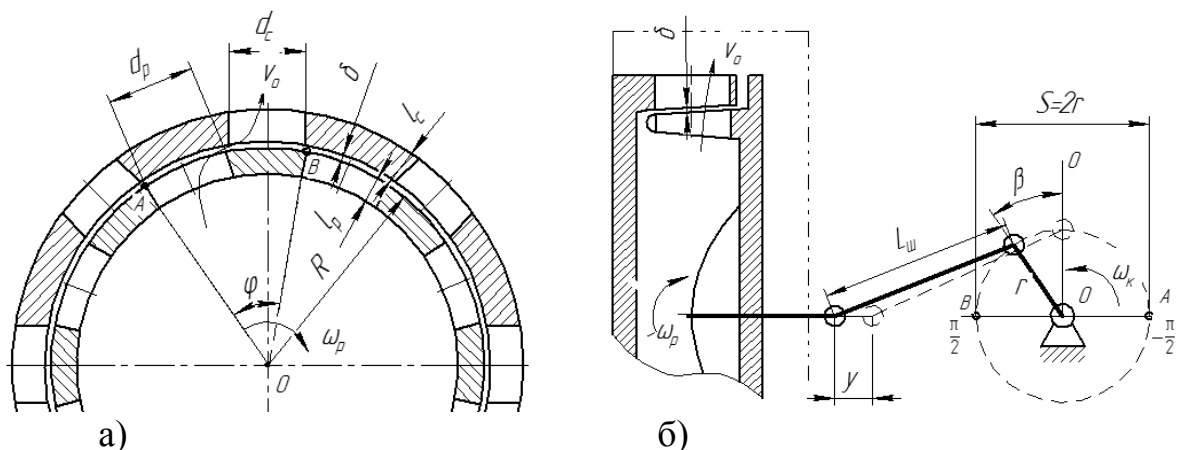


Рис. 3 – Рассчётная схема ПА з ВР: а) схема ротора и статора, б) схема привода вибрации ротора – кривошипного механизма.

Поставлену задачу знаходження швидкості емульсії у функції від часу (або кута повороту ротора) будемо вирішувати у 3 етапи. На першому – визначимо швидкість емульсії при коливальних осьових рухах ротора, не враховуючи відцентровий тиск рідини, що створюється при обертанні ротора v_o'' . На другому – швидкість емульсії при проходженні переривника ПА, що викликана тільки відцентровими силами v_o^e . На третьому – знайдемо сумарну швидкість рідини у переривнику ПА з ВР v_o .

Визначення швидкість емульсії при коливальних осьових рухах ротора, не враховуючи відцентровий тиск рідини, що створюється при обертанні ротора

При перекритті отворів статора і ротора рідина, що витісняється ротором при його коливальних рухах $Q_p(t)$ проходить крізь отвори переривника ПА. Тоді на основі умови нерозривності потоку

$$Q_p(t) = Q_o(t), \quad (1)$$

де $Q_o(t)$ – витрата емульсії крізь переривник ПА за рахунок осьових коливань ротора, м³/с.

При постійній частоті обертання ротору та кривошипу $n_p = \text{const}$, $n_\kappa = \text{const}$ останню рівність можна представити у вигляді

$$Q_p(\beta) = Q_o(\varphi). \quad (2)$$

де β – кут повороту кривошипу ПА з ВР, рад;

φ – кут повороту ротора ПА з ВР, рад;

За відомою формулою

$$Q_o(\varphi) = v_o^n(\varphi) \cdot S(\varphi), \quad (3)$$

де $v_o^n(\varphi)$ – швидкість емульсії крізь отвори переривника, м/с;

$S(\varphi)$ – площа отворів модулятора ПА, м².

Витрата емульсії при русі ротора на величину y (див. рис. 3 б) у будь-який момент часу

$$Q_p(t) = v_p(t) \frac{\pi D^2}{4}, \quad (4)$$

де D – діаметр ротора, м;

$v_p(t) = \frac{dy}{dt}$ – швидкість руху ротора вздовж вісі обертання, м/с.

Для простих синусоїдальних коливань при $s / 2L_{\text{ш}} \rightarrow 0$ можна записати

$$\frac{dy}{dt} = v(t) = \pi n_\kappa s \cdot \cos \beta, \quad (5)$$

де s – амплітуда коливань ротора $s = 2r$, м.

Для виконання вимоги створення гармонійних пульсацій емульсії в отворах ПА для синхронізації з осьовими коливаннями ротора кількість отворів ротора та статора повинні бути рівними $z_p = z_c = z$, оскільки всі канали переривника повинні бути в рівних умовах. З аналогічних міркувань діаметри отворів ротора і статора рівні $d_p = d_c$. Для цих умов зміна площі отворів переривника ПА з круглими отворами із задовільною точністю описується рівнянням

$$S(\varphi) = \frac{\pi d_p^2 z}{8} \left(1 + \sin\left(\varphi z - \frac{\pi}{2}\right) \right) + \pi d_p \delta z, \quad (6)$$

З урахуванням рівнянь (3 – 5) умову нерозривності потоку (1) запишемо у вигляді

$$\pi n_{\kappa} s \cdot \cos \beta \frac{\pi D^2}{4} = v_o^n(\varphi) \left(\frac{\pi d_p^2 z}{8} \left(1 + \sin\left(\varphi z - \frac{\pi}{2}\right) \right) + \pi d_p \delta z \right). \quad (7)$$

Таким чином швидкість руху емульсії крізь отвори переривника ПА з ВР v_o^n як функція від кута повороту кривошипу

$$v_o^n = \frac{\pi^2 n_{\kappa} r \cdot D^2 \cos \beta}{\pi d_p^2 z \left(1 + \sin\left(\varphi z - \frac{\pi}{2}\right) \right) + 8 \pi d_p \delta z}. \quad (8)$$

Кількість отворів ротора пов'язане з діаметром ротора та діаметром отворів співвідношенням, яке впливає з очевидних геометричних перетворень

$$d_p = \frac{\pi D}{2z}. \quad (9)$$

З урахуванням останнього, рівняння (8) набуває вигляду

$$v_o^n = \frac{2 n_{\kappa} r \cdot D \cos \beta}{\frac{\pi D}{2z} \left(1 + \sin\left(\varphi z - \frac{\pi}{2}\right) \right) + 8 \delta}. \quad (10)$$

Визначення швидкості емульсії при проходженні переривника ПА, що викликана тільки відцентровими силами

Розглянемо рух рідини при обертанні ротора ПА і періодичному відкриванню за закриванню отворів модулятора. Слід зазначити, що характер процесів зміни тиску, швидкості, прискорення та витрат рідини в модуляторі досить добре вивчений. За проведеними дослідженнями в процесі відкривання каналів статора оброблюване середовище у переривнику апарату розганяється, а її швидкість збільшується як показано на рис.4.

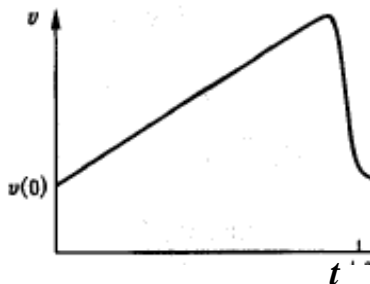


Рис.4. Характер залежності швидкості в каналі статора від часу.

Монотонно зростаюча частина функції на останньому рисунку описується наступним чином

$$v_o^e(t) = v(0) + \frac{\Delta P}{\rho l} t, \quad (11)$$

де $v(0)$ – початкова швидкість, м/с;

ΔP – перепад тиску між входом до каналу ротора та виходом з каналу статора, Па;

ρ – густина оброблюваного середовища, кг/м³;

l – довжина каналу модулятора, м;

t – час, с.

Останнє рівняння дійсне на проміжку часу, рівному циклу зміни площі переривника ($0 \leq \varphi \leq t_u$).

$$v_o^e(t) = v(0) + \frac{\Delta P}{\rho l} t_u \left\{ \frac{t}{t_u} \right\}, \quad (12)$$

де t_u – час циклу зміни площі переривника, с;

$\left\{ \frac{t}{t_u} \right\}$ – дробова частина числа $\frac{t}{t_u}$.

Початкова швидкість визначається з рівняння

$$v(0) = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho \zeta_{max}}}, \quad (13)$$

де ζ_{max} – максимальний гідравлічний опір (коефіцієнт місцевого гідравлічного опору пари "канал ротора – канал статора" при закритих каналах).

$$\zeta_{max} = \left(\frac{S_{max}}{\varepsilon \cdot S_{min}} - 1 \right)^2, \quad (14)$$

де S_{min} – мінімальна площа переривника, м²;

ε – коефіцієнт стиснення.

Представимо останнє рівняння у вигляді

$$\zeta_{max} = \left(\frac{I}{\varepsilon \frac{S_{min}}{S_{max}}} - 1 \right)^2. \quad (15)$$

Тоді, враховуючи (11) після перетворень отримаємо

$$\frac{S_{min}}{S_{max}} = \frac{4\delta}{d}. \quad (16)$$

Для кожного зі співвідношень S_{min} / S_{max} з таблиць Жуковського визначається ε .

У випадку коли ротор ПА має лопаті, які приводять рідину, що поступає в порожнину ротора у обертальний рух, перепад тиску між порожниною ПА та робочою камерою визначається з виразу

$$\Delta P = \frac{I}{2} \rho \omega_p^2 R^2. \quad (17)$$

Довжина каналів модулятора

$$l = l_p + \delta + l_c, \quad (18)$$

де l_p – довжина ротору, м;

δ – радіальний зазор між ротором та статором, м;

l_c – довжина статору, м.

З урахуванням останніх рівнянь вираз для миттєвої швидкості запишемо у вигляді

$$v_o^e(t) = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho\zeta_{max}}} + \frac{\rho\omega_p^2 R^2 t}{2\rho(l_p + \delta + l_c)} = \sqrt{\frac{2\frac{1}{2}\rho\omega_p^2 R^2}{\rho\zeta_{max}}} + \frac{\rho\omega_p^2 R^2 t}{2\rho(l_p + \delta + l_c)},$$

і після перетворень маємо

$$v_o^e(t) = \frac{\omega_p D}{2\sqrt{\zeta_{max}}} + \frac{\omega_p^2 D^2}{8(l_p + \delta + l_c)} t_u \left\{ \frac{t}{t_u} \right\}. \quad (19)$$

Виразимо час у останній формулі через функцію кута повороту ротора φ , враховуючи, що $t = \varphi / \omega_p$, $t_u = 2\pi / z\omega_p$

$$v_o^e(\varphi) = \frac{\omega_p D}{2\sqrt{\zeta_{max}}} + \frac{\omega_p D^2 \pi}{4z(l_p + \delta + l_c)} \left\{ \frac{\varphi z}{2\pi} \right\}. \quad (20)$$

Або

$$v_o^e(\varphi) = \frac{\pi n_p D}{60\sqrt{\zeta_{max}}} + \frac{\pi^2 n_p D^2}{120z(l_p + \delta + l_c)} \left\{ \frac{\varphi z}{2\pi} \right\}. \quad (21)$$

Для малих зазорів δ (що реалізується в ПА з ВР) швидкість $v(\theta)$ набагато менше максимальної швидкості, тому останню залежність можна записати у вигляді

$$v_o^e(\varphi) = \frac{\pi^2 n_p D^2}{120z(l_p + \delta + l_c)} \left\{ \frac{\varphi z}{2\pi} \right\}. \quad (22)$$

Сумарна швидкість рідини у переривнику ПА з ВР.

Сумарну швидкість рідини у переривнику ПА з ВР знайдемо як суму швидкостей v_o^e і v_o^n

$$\vec{v}_o = \vec{v}_o^n + \vec{v}_o^e. \quad (23)$$

Переходячи від векторної форми рівняння до скалярної, враховуючи, що лінії току рідини між цими векторами співпадають

$$v_o = v_o^n + v_o^e. \quad (24)$$

Отже, з урахуванням (10) і (21) швидкість руху рідини в отворах модулятора ПА

$$v_o = \frac{2 n_k r D \cos \beta}{\frac{\pi D}{2z} \left(1 + \sin\left(\varphi z - \frac{\pi}{2}\right) \right) + 8\delta} + \frac{\pi^2 n_p D^2}{120z(l_p + \delta + l_c)} \left\{ \frac{\varphi z}{2\pi} \right\}. \quad (25)$$

Аналізуючи останній вираз неважко визначити, що для збільшення швидкості плинущу емульсії через отвори переривника необхідно виконання вимог

$$v_o \rightarrow \max \left\{ \begin{array}{l} n_k, n_p, r, D \rightarrow \max; \\ \delta, l_p, l_c \rightarrow \min. \end{array} \right. \quad (26)$$

Для роботи ПА з ВР в енергоефективному - резонансному режимі по-

трібна синхронізація частоти обертання ротора і кривошипу

$$n_p = \frac{n_k}{z}. \quad (27)$$

Таким чином при роботі ПА з ВР в резонансному режимі результуюча швидкість по формулі (25) стане рівна

$$v_o = \frac{2 n_k r D \cos \beta}{\frac{\pi D}{2z} \left(1 + \sin \left(\varphi z - \frac{\pi}{2} \right) \right) + 8\delta} + \frac{\pi^2 n_k D^2}{120z^2 (l_p + \delta + l_c)} \left\{ \frac{\varphi z}{2\pi} \right\}. \quad (28)$$

Зміна кількості отворів z не змінює максимальну швидкість (рис. 5), але впливає на крутизну лінії v_o . В цілому можливо стверджувати, що впливом z на v_o можна знехтувати.

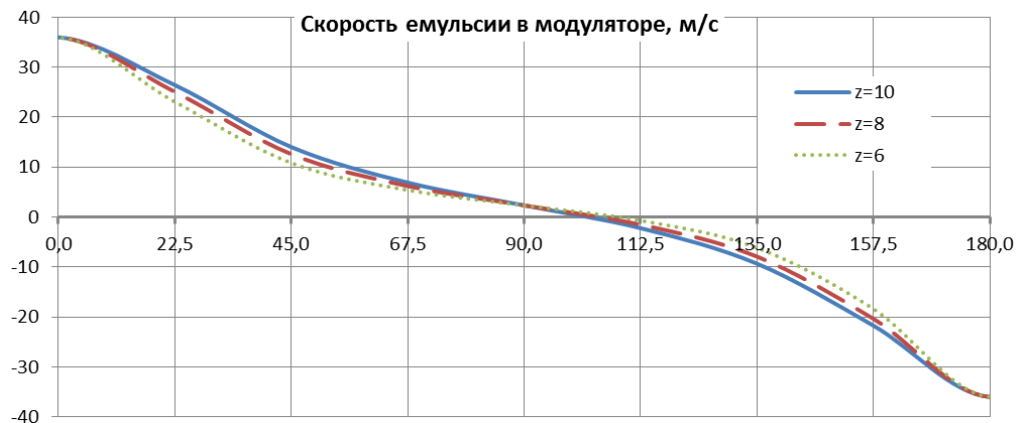


Рис. 5. Вплив кількості отворів z на швидкість v_o .

Діаметр ротора практично не впливає на швидкість v_o'' , але є основним чинником збільшення v_o^e (рис. 6). Вплив частоти обертання кривошипу показаний на рис. 7.

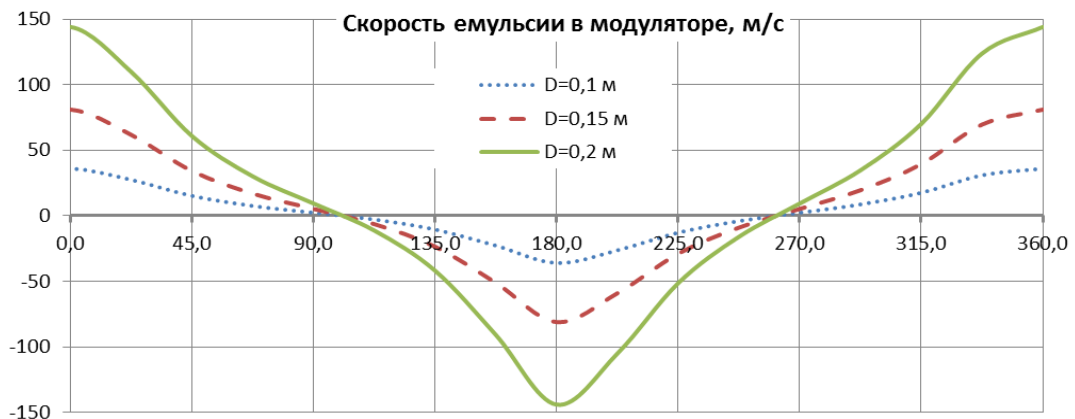


Рис. 6. Вплив діаметра ротора на v_o .

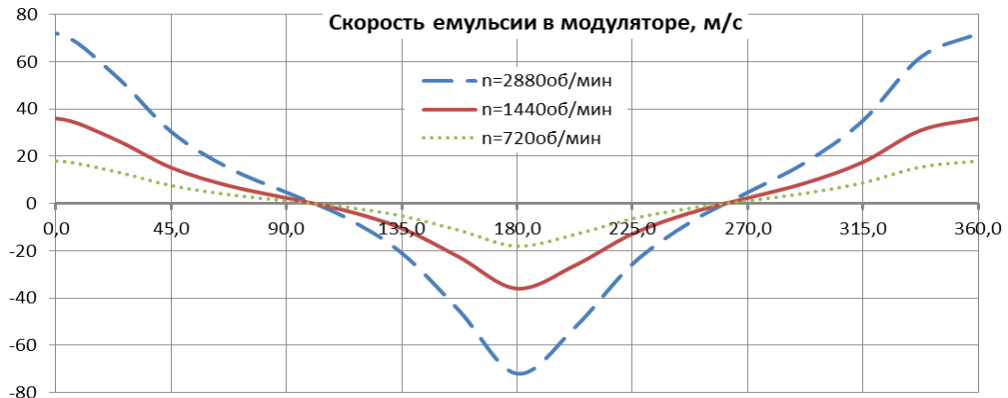


Рис. 7. Вплив частоти обертання кривошипу на v_o .

Радіус кривошипу прямо пропорційно впливає на v_o^n . Довжину модулятора ($l_p + \delta + l_c$) необхідно зменшувати для підвищення v_o^n .

Розраховувалось значення середнього прискорення молочної емульсії a_c і визначався середній розмір жирових кульок (рис. 8).

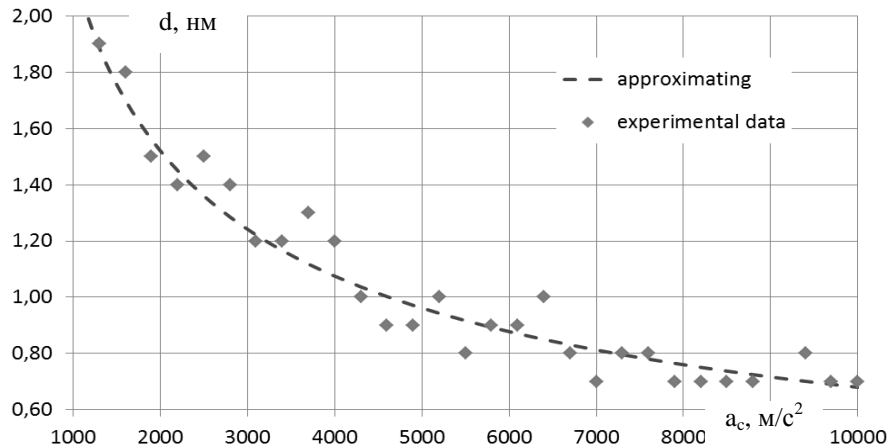


Рис. 8 – Залежність між середнім діаметром жирових кульок після гомогенізації та прискоренням молочної емульсії.

Результати з достовірністю 92% апроксимуються виразом (на рис. 8 показано штриховою лінією)

$$d = \frac{68}{\sqrt{a}}. \quad (29)$$

Слід зауважити про подібність отриманої залежності з формулою нестійкості Релея-Тейлора для руйнування крапель рідини. Це свідчить про подібність механізмів руйнування за нестійкістю Релея-Тейлора з диспергуванням жирових кульок у ПА з ВР.

Представимо результати експерименту у іншому вигляді (рис. 9).

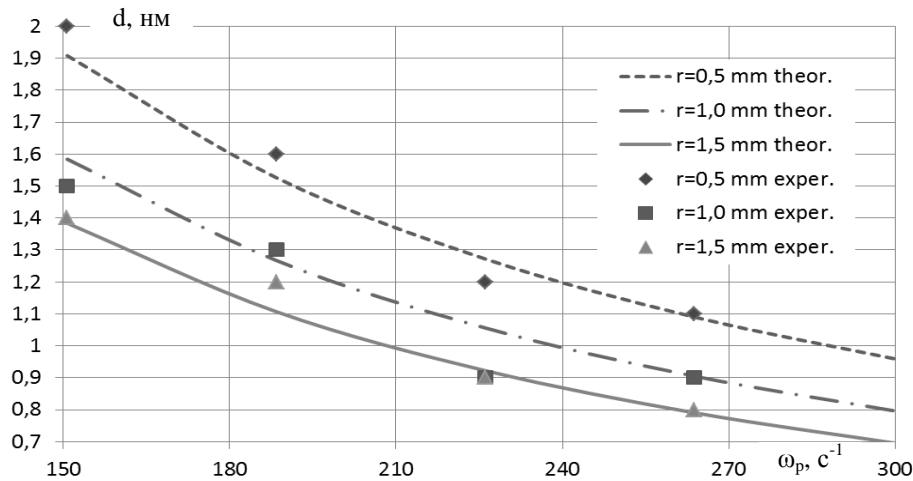


Рис. 9. Залежність середнього розміру жирових кульок молока від частоти обертання та радіусу кривошипу.

З результатів слідує, що однакову дисперсність можливо отримати при різних ω_k та r . За результатами досліджень енерговитрат ПА з ВР оптимальними будуть режими з мінімальним r . В цих режимах енерговитрати мінімальні. Наприклад $d=0,8$ мкм можливо отримати при $r=1,5$ мм і $\omega_k=260$ с⁻¹ та при $r=1,0$ мм і $\omega_k=300$ с⁻¹. Отже при $r=1,0$ мм (що дорівнює амплітуді коливання 2 мм) питомі енерговитрати процесу є меншими.

Для дослідження процесу струминної гомогенізації вихідними параметрами є: ступінь гомогенізації Hm та продуктивність гомогенізатору Q . Для забезпечення продуктивності гомогенізатору в межах 1000 – 5000 кг/год при ступені гомогенізації на рівні клапанних гомогенізаторів, надлишковий тиск повинен знаходитись в діапазоні значень $\Delta p_l = 0,5 \cdot 10^6 - 2,5 \cdot 10^6$ Па [10]. Для проведення розрахунків необхідно навести наступні параметри: густина плазми $\rho_{пл} = 1035$ кг/м³, густина вершків $\rho_v = 923$ кг/м³, $h = 4 \cdot 10^{-3}$ м, $a = 1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2}$ м, $\mu_1 = 0,85$ та $\mu_2 = 0,7$ – коефіцієнти витрат (залежить від конструкції каналів подачі знежиреного молока та вершків).

Продуктивність гомогенізатора визначається кількістю молока, що проходить крізь нього за одиницю часу. Для струминного гомогенізатору продуктивність в кг/год, Q_2 можна розрахувати за формулою

$$Q_2 = Q_6 + Q_{zn}, \quad (30)$$

Жирову фазу, що подається через відповідний канал подачі будемо розглядати як відкриту для зовнішніх впливів систему рухомих та взаємодіючих жирових крапель та суцільної середи. Витрати крізь канал подавання жирової фази можна розглядати як витрати крізь дросель.

$$Q_{zn} = 3600 \mu_1 S \rho_{пл} \sqrt{\frac{2}{\rho_{пл}} \Delta p_l}, \quad (31)$$

де S – площа перетину в місці найбільшого звуження, м²,
 Δp_l – надлишковий тиск у камері гомогенізатору, Па.

$$S = ha,$$

де h – висота камери по внутрішньому розміру, м;
 a – відстань між напрямляючими, м.

$$Q_g = 3600 \mu \rho_g \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho_g} \Delta p_2}, \quad (32)$$

де d – діаметр каналу подавання жирової фази, м;

Δp_2 – надлишковий тиск у каналі подавання жирової фази, Па.

Надлишковий тиск подачі жирової фази, згідно попередніх розрахунків, складає $0,1 \cdot 10^6 - 0,5 \cdot 10^6$ Па. Молочно-рослинна суміш подається по каналу подачі жирової фази та змішується із знежиреним молоком у необхідній для забезпечення заданої жирності кількості. Розрахунки щодо нормалізації можна вести графічним способом по трикутнику Баркана або по квадрату змішування.

Продуктивність по знежиреному молоку буде коливатись в діапазоні значень від 397 кг/год при $\Delta p_1 = 0,5$ МПа та $a = 1$ мм до 10045 кг/год при $\Delta p_1 = 3$ МПа і $a = 10$ мм. Продуктивність по жировій складовій при зміні надлишкового тиску та діаметру каналу, згідно формули (4) коливається від 2,4 кг/год при $\Delta p_2 = 0,1$ МПа та $d = 3 \cdot 10^{-4}$ м до 135 кг/год при $\Delta p_2 = 0,5$ МПа та $d = 15 \cdot 10^{-4}$ м. Продуктивність 1000 кг/год відповідає наступним режимам: надлишковому тиску в камері гомогенізатора $\Delta p_1 = 2,5 \cdot 10^6$ Па, діаметру каналу подавання жирової фази $d_2 = 0,00135$ м, надлишковому тиску в каналі подавання жирової фази $0,5 \cdot 10^6$ Па та відстані між напрямляючими 1 мм.

При $J_{zn} < J_{н.м}$ для нормалізації до знежиреного молока додають вершки, кількість яких розраховують за формулою.

$$M_g = \frac{M_{н.с} (J_{н.с} - J_{zn})}{J_g - J_{н.с}}, \quad (33)$$

А кількість знежиреного молока відповідно за формулою

$$M_{zn} = \frac{M_{н.с} (J_g - J_{н.м})}{J_g - J_{zn}}, \quad (34)$$

де $M_{н.с}, M_g, M_{zn}$ - відповідно маса нормалізованої суміші, вершків, знежиреного молока, кг;

$J_{н.с}, J_g, J_{zn}$ - відповідно масова частка жиру в нормалізованій суміші, вершках, знежиреному молоці, %.

Для розробленого гомогенізатору формули (32) та (34) для визначення кількості вершків та молока для змішування матимуть вигляд

$$Q_g = \frac{Q_z (J_{н.с} - J_{zn})}{J_g - J_{н.с}}, \quad (35)$$

$$Q_{zn} = \frac{Q_z (J_g - J_{н.м})}{J_g - J_{zn.м}}. \quad (36)$$

де Q_2 - продуктивність по нормалізованій суміші.

Звідси після перетворень останні вирази з урахуванням (2) і (4) можна записати як

$$3600 \mu_2 \rho_6 \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho_6} \Delta p_2} = \frac{Q_2 (\mathcal{J}_{н.с} - \mathcal{J}_{зн})}{\mathcal{J}_6 - \mathcal{J}_{н.с}}, \quad (37)$$

$$3600 \mu_1 S \rho_{нл} \sqrt{\frac{2}{\rho_{нл}} \Delta p_1} = \frac{Q_2 (\mathcal{J}_6 - \mathcal{J}_{н.с})}{\mathcal{J}_6 - \mathcal{J}_{зн}}. \quad (38)$$

З формул (37) та (38) визначимо розміри d та S для забезпечення необхідної продуктивності гомогенізатора

$$d = \sqrt{\frac{4Q_2 (\mathcal{J}_{н.с} - \mathcal{J}_{зн})}{3600 \mu_2 \rho_6 \pi \sqrt{\frac{2}{\rho_6} \Delta p_2} (\mathcal{J}_6 - \mathcal{J}_{н.с})}}, \quad (39)$$

$$S = \frac{Q_2 (\mathcal{J}_6 - \mathcal{J}_{н.с})}{3600 \mu_1 \rho_{нл} \sqrt{\frac{2 \Delta p_1}{\rho_{нл}} (\mathcal{J}_6 - \mathcal{J}_{зн})}}. \quad (40)$$

Використовуючи останні вирази можливо визначити співвідношення між d та S

$$d = \sqrt{\frac{4 (\mathcal{J}_{н.с} - \mathcal{J}_{зн}) (\mathcal{J}_6 - \mathcal{J}_{зн}) S \mu_1 \rho_{нл}}{(\mathcal{J}_6 - \mathcal{J}_{н.с})^2 \mu_2 \rho_6 \pi}} \sqrt{\frac{\Delta p_1 \rho_6}{\Delta p_2 \rho_{нл}}}. \quad (41)$$

Залежності (40) та (41) проілюструємо графічно, враховуючи, що жирність молока 3,5% , жирність вершків 35%, жирність знежиреного молока 0,05% і продуктивність 1000 – 5000кг/год.

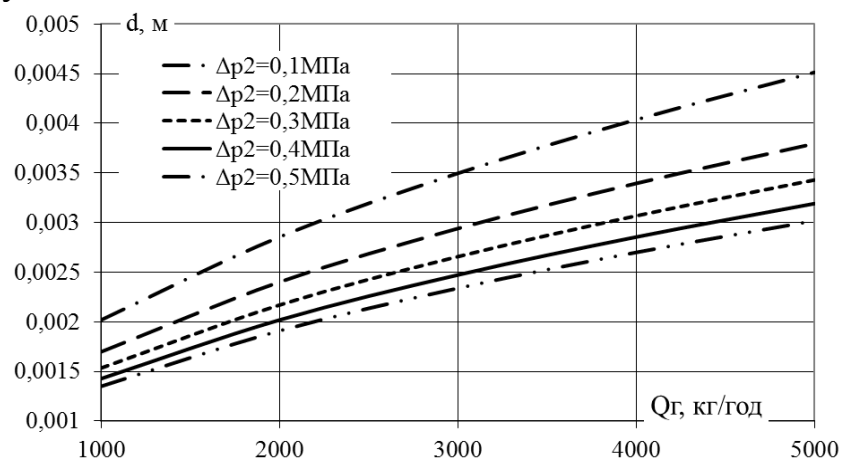


Рисунок 10 – Графік залежності діаметру каналу подавання жирової фази d від продуктивності гомогенізатору Q_2 за різних значень надлишкового тиску подавання жирової фази Δp_2 .

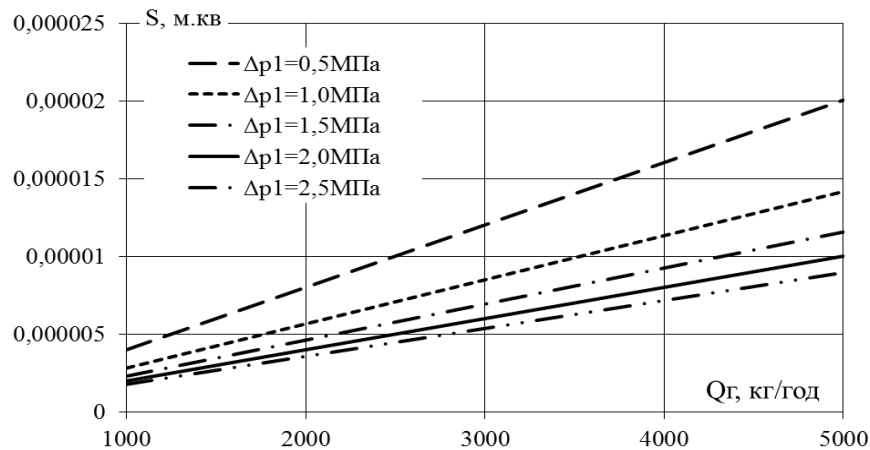


Рисунок 11 – Графік залежності площі перерізу S від продуктивності гомогенізатору Q_g і надлишкового тиску від в камері гомогенізатору Δp_1 .

З рисунку 10 легко визначити, що для забезпечення необхідної продуктивності 1000 кг/год необхідний діаметр каналу подачі вершків складає 2 мм при надлишковому тиску подачі жирової фази 0,1 МПа. Але за таких розмірів каналу подачі дисперсної фази розмір жирових часток буде доволі великим. Тому для забезпечення якісних характеристик продукту більш раціональним є використання діаметрів каналу подачі вершків менших значень при збільшенні надлишкового тиску Δp_2 .

Значення робочого перерізу можливо зменшувати із збільшенням тиску подачі знежиреного молока за того ж значення продуктивності (рисунок 11). Згідно теоретичних досліджень встановлено, що площа робочого простору повинна прагнути до мінімальних значень для запобігання розсіювання енергії потоку. З іншого боку для процесів гомогенізації та нормалізації необхідний деякий простір, так званий «граничний шар». Більш точне визначення раціональних значень величини робочого простору потребує додаткових досліджень.

3. Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту

В результаті теретичних досліджень отримана формула для визначення швидкості емульсії в отворах модулятора ПА з ВР в загальному вигляді і в енергоефективному - резонансному режимі роботи. Залежність зв'язує основні конструктивні і кінематичні параметри апарату : кількість отворів модулятора, діаметр ротора, довжини статора, ротора і кривошипа, проміжок між ротором і статором і частоти обертання кривошипа і ротора. Ця формула являється ключовій для визначення прискорення емульсії, середнього розміру жирових кульок після гомогенізації і енергозатрат апарата.

В результаті проведених аналітичних та експериментальних досліджень:

– встановлена емпірична залежність між середнім діаметром жирової кульки та середнім прискоренням емульсії в переривнику ПА з ВР, характер

якої схожий до механізму руйнування Релея-Тейлора, що свідчить про їх подібність;

– встановлений вплив основних параметрів ПА з ВР на середній розмір жирових кульок після гомогенізації;

– визначено, що при частотах обертання валу кривошипу до 300 с^{-1} і амплітуді коливання ротора 2 мм можливе отримання молочної емульсії з середнім розміром близько 0,8 мкм, що порівняно з обробкою в клапанних гомогенізаторах.

Обґрунтоване використання роздільної гомогенізації в струминному гомогенізаторі молока з роздільною подачею жиру. Отримані дані необхідні при розрахунку параметрів та впровадженні гомогенізатору в промислове виробництво з позицій вибору оптимального співвідношення діаметру каналу подачі жирової фази, площі робочого простору та надлишкових тисків подачі жирової фази та знежиреного молока з метою забезпечення необхідної жирності продукту.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Івженко А.О. Методи інтенсифікації процесів диспергування й гомогенізації в роторно-пульсаційних апаратах/ А.О. Івженко, О.В. Гвоздев // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції "Перспективна техніка і технологія" - 2008.: Миколаїв. – С. 166-167.

2. Гвоздев О.В. Використання комп'ютерних програм для дослідження процесів гомогенізації роторно-пульсаційного апарату / О.В. Гвоздев, А.О. Івженко // Тези доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми харчових технологій і харчування. сучасні виклики і перспективи розвитку". : Донецьк-Святогірськ – 2011. С. 131-132.

3. Івженко А.О. Исследование влияния рециркуляции на качество готового продукта на основе корреляционного анализа/ А.О. Івженко // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції "Сучасні проблеми техніки та технології харчових виробництв, ресторанного бізнесу та торгівлі" 18 листопада 2010 р.: Харків. – 2010. С. 268-269.

4. Самойчук К.О. Аналіз методів оцінювання якості гомогенізації молока/ К.О. Самойчук, О.О. Ковальов, А.О. Івженко// Праці ТДАТУ.: Мелітополь – 2012. – Вип.12, Т.4. – С. 222-229.

5. Самойчук К.О. Експериментальні дослідження диспергування жирової емульсії в пульсаційному апараті з вібруючим ротором / К.О. Самойчук, А.О. Івженко // Обладнання та технології харчових виробництв : Донецьк – 2013.– Вип. 30. – С. 155-161.

6. Самойчук К.О. Визначення резонансних режимів роботи пульсаційного апарата з вібруючим ротором / К.О. Самойчук, А.О. Івженко // Обладнання та технології харчових виробництв : Донецьк – 2013.– Вип. 31. – С. 74-82.

7. Самойчук К.О. Розрахунок енерговитрат пульсаційного апарата з

вібруючим ротором / К.О. Самойчук, А.О. Івженко // Наукові праці Одеської національної академії харчових виробництв: Одеса – 2013.– Вип. 43. – Том 2 С. 133-137.

8. Пат. 94041, Україна, МКИ⁵ А01J 11/00. Струминний гомогенізатор молока з роздільною подачею вершків /Самойчук К.О., Ковальов О.О., Ялпачик Ф.Ю. ; заявник і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. – № u201405239 ; заявл. 19.05.2014; опубл. 27.10.2014. Бюл. № 20.

9. Пат. 94048, Україна, МКИ⁵ А01J 11/00. Спосіб гомогенізації та нормалізації молока /Самойчук К.О., Ковальов О.О., Ялпачик Ф.Ю.; заявник і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. – № u201405343 ; заявл. 19.05.2014; опубл. 27.10.2014. Бюл. № 20.

10. Самойчук К.О. Механізми диспергування жирової фази в пульсаційному апараті з вібруючим ротором / К.О. Самойчук, А.О. Івженко// Праці ТДАТУ.: Мелітополь – 2013. – Вип.13, Т.7. – С. 11-20.

11. Самойчук К.О. Визначення продуктивності пульсаційного апарату з вібруючим ротором// К.О. Самойчук, А.О. Івженко // Наукові праці ОНАХТ: Одеса – 2014. – Вип. 45, Т.3 – С. 25 – 30.

12. Самойчук К.О. Определение скорости в модуляторе пульсационного гомогенизатора с вибрирующим ротором// К.О. Самойчук, А.О. Івженко //Вестник Могилёвского государственного университета продовольствия: Могилёв – 2014. – №1 (16). – С. 87 – 99.

13. Самойчук К.О. Диспергатори заміників цільного молока/ К.О.Самойчук, П.О.Серков, О.О.Ковальов // Праці ТДАТУ : Мелітополь: ТДАТУ. – 2011. – Вип. 11, Т.2. – С. 119-125.

14. Самойчук К.О. Струминний гомогенізатор з роздільною подачею вершків/ К.О.Самойчук, О.О.Ковальов // Тези доповідей VII міжнародної науково-практичної конференції 7-9 вересня 2011 р.Донецьк-Святогірськ с. 172-175.

15. 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. 77-83.

16. Самойчук К.О. Експериментальні дослідження струминного гомогенізатора з роздільним подаванням жирової фази / К.О. Самойчук, О.О. Ковальов // Обладнання та технології харчових виробництв : Донецьк – 2012.– Вип. 28. – С. 42-46.

17. Самойчук К.О. Аналіз методів оцінювання якості гомогенізації молока/ К.О. Самойчук, О.О. Ковальов, А.О. Івженко// Праці ТДАТУ.: Мелітополь – 2012. – Вип.12, Т.4. – С. 222-229.

18. Самойчук К.О. Аналітичні параметри процесу струминної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків / К.О. Самойчук, О.О. Ковальов //Наукові праці Одеської національної академії харчових виробництв : Одеса – 2013.– Вип. 43. – Том 2 С. 77-81.

19. Самойчук К.О. Аналіз сил дроблення жирових кульок в струминному гомогенізаторі /К .О. Самойчук, О.О. Ковальов // Наукові праці Півден-

ного філіалу Національного університету біоресурсів і природокористування України "Кримський агротехнологічний університет" (ПФ НУБіП України "КАТУ") : Сімферополь – 2013. – Вип.153. – С. 26-34.

20. Самойчук К.О. Теоретичні основи диспергування в струминному гомогенізаторі молока/ К.О.Самойчук, О.О.Ковальов// Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 75-річчю з дня народження ректора університету (1988-1991рр.), д.т.н., проф., член-кореспондента ВАСГНІЛ Беляєва М.І. «Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг»19 листопада 2013 року – Харків, 2013, Частина I. – с.382 – 384.

21. 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.

Тема 1.6.3.4. Оптимізація параметрів струминного змішування напоїв

Програма досліджень на 2014 р.

- 1. Методика досліджень**
- 2. Теоретичне та експериментальне дослідження струминного змішування напоїв**
- 3. Обробка, аналіз одержаних результатів**

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є процес струминного змішування рідких харчових продуктів.

Предмет дослідження – вплив параметрів і режимів роботи струминного змішувача на ефективність та енерговитрати змішування.

Метою роботи є визначення оптимальних параметрів струминного змішувача води та купажного сиропу для зниження енерговитрат та підвищення якості змішування рідких компонентів при виробництві солодких напоїв

Методи досліджень – При проведенні теоретичних досліджень були використанні сучасні моделі процесу змішування, руху потоку по змішувачу з урахуванням елементів вищої математики, фізики дискретних середовищ, теоретичної механіки, та математичної статистики. Експериментальні дослідження проводили в лабораторних умовах за традиційними та розробленими методиками. Процес руху потоку рідини в змішувачі вивчали за допомогою програмного комплексу ANSYS. Оптимальні технічні та конструктивні параметри струминного змішувача визначали методом математичного планування багатфакторного експерименту. Теоретичні розрахунки і статистичну обробку експериментальних даних проводили із застосуванням пакетів прикладних програм на ПЕОМ.

В результаті роботи визначено оптимальну відстань між соплами форсунок протитечійно-струминного змішувача з умови отримання найбільшої продуктивності і найвищого ступеня перемішування.

ЗМІШУВАННЯ, РІДКІ КОМПОНЕНТИ, ПРОТИТЕЧІЙНО-СТРУМИННИЙ ЗМІШУВАЧ, ПАРАМЕТРИ, ВІДСТАНЬ МІЖ ФОРСУНКАМИ, ШВИДКІСТЬ, ПРОДУКТИВНІСТЬ

ВСТУП

Процеси перемішування знайшли досить широке розповсюдження в різних галузях харчової промисловості, зокрема при виробництві безалкогольних напоїв. Сьогодні у технології їх виробництва спостерігається тенденція повернення до використання натуральної сировини, адже раніше напої виготовлялись на основі натуральних соків з додаванням екстрактів та концентратів настоїв різноманітних зборів лікарських трав, тобто, при виготовленні безалкогольних напоїв одним з основних процесів є перемішування рідких компонентів. З огляду на зростаючі об'єми виробництва безалкогольних напоїв актуальними є розробка і впровадження у виробництво змішуючих апаратів, які забезпечать якісне перемішування рідких компонентів при мінімальних витратах енергії і часу.

Відомі різні способи перемішування рідких компонентів. В залежності від методу підведення енергії до перемішуваних середовищ, перемішування може бути пневматичним, інерційним, в потоці рідини, циркуляційним, механічним або струминним.

Проаналізувавши різні способи перемішування рідких компонентів струминне перемішування було виділено як найбільш доцільний спосіб, адже для досягнення одного й того ж технологічного ефекту при використанні інших способів витрачається більше часу і енергії. Ступінь і ефективність перемішування в струминних апаратах дуже високі внаслідок підведення значних потужностей до невеликого об'єму. В струминних апаратах немає ніяких рухомих механізмів, що говорить про їх надійність. Перемішування здійснюється за рахунок кінетичної енергії потоків рідин. Процес перемішування відбувається у відповідній камері, завдяки турбулентності потоків рідин, що підводяться.

1. Методика досліджень

Експериментальні дослідження проведені в Таврійському державному агротехнологічному університеті на кафедрі ОПХВ у 2014 році. Конструкція лабораторної установки захищена патентами України на корисну модель за номером 91740 і 90011. Дослідження проводили в лабораторних умовах за традиційними та розробленими методиками. Процес руху потоків рідини у змішувачі вивчали за допомогою програмного комплексу ANSYS. Оптимальні технічні та конструктивні параметри струминного змішувача визначали методом математичного планування багатofакторного експерименту. Теоретичні розрахунки і статистичну обробку експериментальних даних проводили із застосуванням пакетів прикладних програм на ПЕОМ.

При проведенні теоретичних досліджень були використанні сучасні моделі процесу змішування, руху потоку по змішувачу з урахуванням елементів вищої математики, фізики дискретних середовищ, теоретичної механіки, та математичної статистики. Аналітичні дослідження базувались на теорії процесів переносу у зустрічних струменях. Теоретичні залежності базувалися на класичних залежностях гідродинаміки.

На підставі результатів аналізу різних конструкцій струминних змішувачих апаратів було розроблено схему протитечійно-струминного змішувача, який поєднує в собі високу ефективність перемішування і можливість дозування підмішуваних компонентів. Протитечійно-струминний змішувач (рисунок 1) складається з двох форсунок 2, встановлених співвісно, корпусів камер вводу підмішуваного компоненту 3 і ежекторів 4.

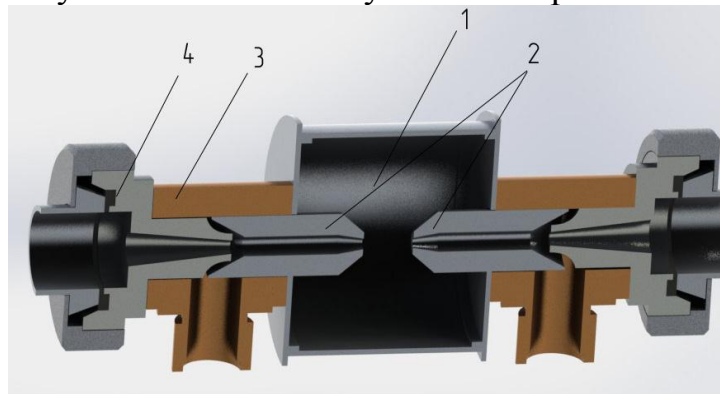


Рисунок 1. Протитечійно-струминний змішувач. 1 – камера змішування; 2 – форсунка; 3 – корпус камери вводу підмішуваного компоненту; 4 – ежектор.

Змішування відбувається в центральній частині камери змішування 1. В результаті проникнення часток одного струменя у зустрічний досягається висока рівномірність розподілу компонентів.

Лабораторна установка (рисунок 2): на станині 1, встановлено камеру змішування 2, в якій співвісно встановлені дві ідентичні форсунки 5, через патрубки подачі основного компоненту 3 у форсунки 5 під тиском подається підготовлена вода, через патрубки подачі підмішуваного компоненту 4 подається купаажний сироп при атмосферному тиску подачі. Змішаний продукт через вихідний отвір 6 відводиться у збірник.

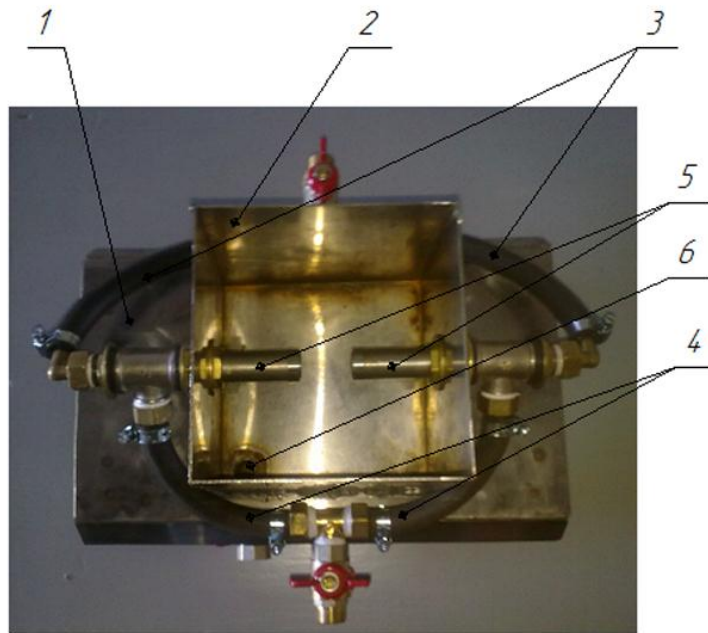


Рисунок 2 – Лабораторна установка для дослідження процесу змішування. 1 – станина; 2 – камера змішування; 3 – подача основного компоненту; 4 – подача підмішуваного компоненту; 5 – форсунка; 6 – вихідний отвір.

Вивчення впливу технологічних й кінематичних параметрів на процес змішування, проводилося на описаній лабораторній установці.

Основними факторами, що визначають процес перемішування є швидкість руху потоків, турбулентність, кінетична енергія турбулентності і величина її дисипації.

Експериментальні дослідження проводилися за такою методикою: основа, якою виступає водопровідна вода ГОСТ 2874-82 температурою 20°C (290°K) і щільністю 1000 кг/м^3 , подається в ежектор під тиском $0,2\text{ МПа}$. При проходженні крізь ежектор кінетична енергія потоку води підвищується, а потенційна знижується до створення розрідження, що досягає максимального значення у місці найбільшого звуження потоку, тобто на виході з ежектора. В камеру вводу підмішуваного компоненту підводився купаажний сироп «Лимонад» температурою 20°C (290°K) і щільністю 1147 кг/м^3 під атмосферним тиском. При проходженні струменя води крізь камеру вводу підмішуваного компоненту у потік води ежектується купаажний сироп. При проходженні струменя крізь форсунку відбувається попереднє змішування основного компоненту з підмішуваним, а при зіткненні струменів відбувається остаточне змішування рідких компонентів.

Візуальний контроль здійснюється крізь прозору кришку змішувача.

Так як встановлення необхідних фізичних величин в лабораторних умовах є дуже проблематичним, а при отриманні деяких даних зовсім неможливим, ми застосували симуляцію процесу в програмному комплексі ANSYS.

Якість змішування залежить від багатьох факторів (конструкції змішувача, інтенсивності змішування, якостей перемішуваних рідин та інш.) і визначає в подальшому якість вихідного продукту.

Основними критеріями, які визначають процес перемішування, є число Рейнольдса, турбулентність, кінетична енергія турбулентності та величина її дисипації за площею зіткнення струменів [2].

2. Теоретичне та експериментальне дослідження струминного змішування напоїв

Як вже зазначалося раніше, процес перемішування підготовленої води з купажним сиропом при протитечійно-струменевому змішуванні відбувається у два етапи. На першому з них перемішування води з сиропом відбувається в змішуючому каналі (соплі) форсунки. Фактично, процес перемішування води з сиропом на цьому етапі можна представити як окремий випадок перемішування у струминному апараті (потік підготовленої води передає кінетичну енергію потоку купажного сиропу шляхом безпосереднього контакту (змішування); потоки основного і інжектваного компонентів надходять до камери змішування де відбувається вирівнювання швидкостей), але основний процес змішування буде відбуватися при зіткненні струменів.

Задача про зіткнення струменів належить до числа класичних. Найбільш повно вона викладена у роботах [5, 6, 7], де наведені аналітичні рішення задач про зіткнення будь-якої кількості струменів як вільних, так і тих, що витікають з каналів з прямокутними стінками. Для випадку зіткнення двох струменів під довільними кутами задача є невизначеною, але має рішення у випадку протилежних напрямків струменів. Отримані рівняння для визначення швидкості кожної точки такого потоку, виходячи з ширини струменів і зсуву одного струменя відносно іншого (який звичайно не повинен перевищувати суми ширини струменів, інакше струмені не зіткнуться).

Схематично представимо це (рисунок 3), з рядом припущень:

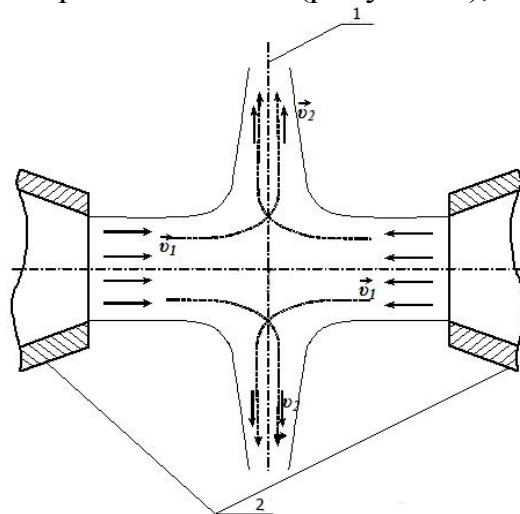


Рисунок 3. Схема зіткнення струменів рідини. 1 – лінія розділу потоків; 2 – сопла форсунок; v_1 – швидкість руху рідини при виході з сопла фо-

рсунок; v_2 – швидкість руху потоку рідини після зіткнення струменів.

– вісі струменів рідини перетинаються;

– конструкція, форма та розміри форсунок, надлишковий тиск рідини, що подається через них, ідентичні, що у свою чергу формує симетричні відносно вісі форсунок струмені рідини з ідентичними параметрами;

– не враховуємо відбиття струменів рідини від стінок камери, де розташована ні форсунки;

– вважаємо, що швидкість ядра струменя дорівнює швидкості потоку рідини на периферії. Ця умова практично виконується при малих відстанях від сопла, адже сопла форсунок планується розташувати якомога ближче одне до одного, щоб збільшити швидкість зіткнення струменів [8];

– при зростанні концентрації купажного сиропу в напої від пропорції 1:3 до 1:6 щільність рідини збільшується на 2% тому при подальших розрахунках зміна щільності напою не враховується

Рідина при виході з сопла форсунки рухається зі швидкістю v_1 . Після зіткнення, потік рідини змінює напрямок руху на 90° і рухається зі швидкістю v_2 , яка зменшується при збільшенні відстані від вісі форсунок.

Із збільшенням швидкості струменя зростає число Рейнольдса, а значить зростає турбулентність потоку. Таким чином, для збільшення ступеня перемішування купажного сиропу з підготовленою водою необхідно збільшувати швидкість струменів рідини у момент зіткнення. Зрозуміло, що при збільшенні відстані між соплом та лінією розділу струменів, швидкість потоку зменшується, завдяки чому буде зменшуватися і ступінь перемішування.

Відома залежність для визначення об'єму рідини, що витікає з форсунки за одиницю часу [9]. Для протитечійно-струминного змішувача, що складається з двох форсунок, можна записати

$$Q = \mu \frac{\pi d^2}{2} \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \Delta p}, \quad (1)$$

де μ – коефіцієнт витрат (залежить від конструкції форсунки);

d_c – діаметр сопел форсунок, м;

ρ – щільність рідини, кг/м^3 ;

Δp – перепад між тиском рідини у середині форсунки і тиском навколишнього середовища, в яке витікає рідина.

Крім того, при зближенні форсунок на деяку величину a_{min} , площа живого перерізу струменів, що відводяться, стане менше площі отворів сопел форсунок, внаслідок чого, при незмінному значенні надлишкового тиску, зменшиться продуктивність змішувача (1).

Розрахуємо мінімальну відстань між соплами форсунок a_{min} із умови забезпечення найвищої продуктивності змішувача.

Для отримання найбільшої продуктивності протитечійно-струминного змішувача необхідно, щоб площа циліндричної поверхні, утворена соплами форсунок, S_2 , м^2 , (на рисунку 4 відмічена штриховою лінією) була більше за

площу отворів форсунок [10], тобто $S_2 > 2 \frac{\pi d_c^2}{4}$.

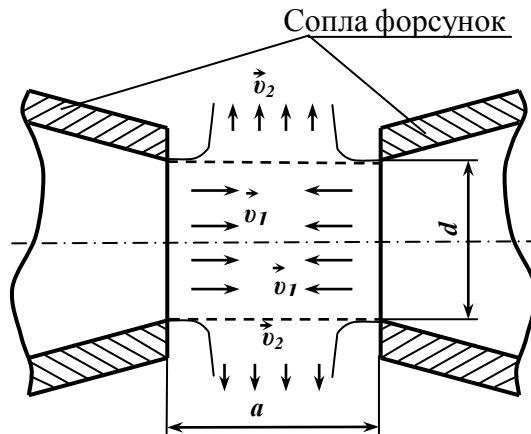


Рисунок 4. Схема визначення мінімальної відстані між соплами форсунок з умови отримання найбільшої продуктивності протитечійно-струминного змішувача.

Враховуючи, що $S_2 = \pi d_c a$, після перетворень отримаємо $a > \frac{d_c}{2}$, тобто $a_{min} = 0,5d_c$. Звідки при $a \geq d_c / 2$ продуктивність протитечійно-струминного змішувача визначається за формулою (1), а при $a < d_c / 2$ – за формулою

$$Q = \mu \pi d_c a \sqrt{2 \rho_m \cdot \Delta p}.$$

$Q, \text{кг/год}$

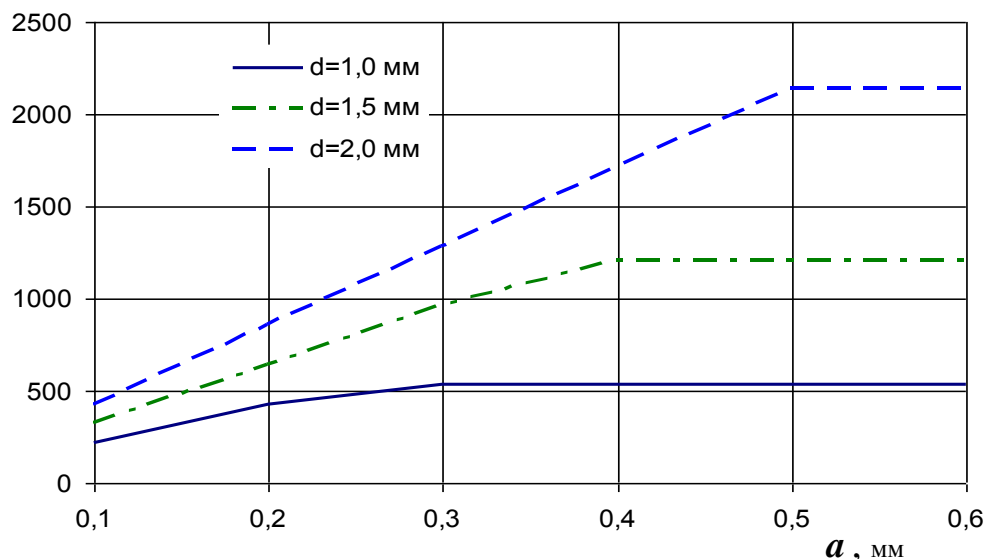


Рисунок 5. Залежність продуктивності від відстані між соплами форсунок

Одночасно зі зменшенням продуктивності змішувача при зближенні форсунок до відстані, що менше за половину діаметра сопла, змінюється швидкість струменя у момент зіткнення. При $a > d_c / 2$ швидкість струменя перед зіткненням v_1 (приймали рівною швидкості струменя при виході з форсунки) (рисунок 6 а). При $a < d_c / 2$ швидкість потоку молока до зіткнення v_3 буде менше за v_1 при незмінному значенні надлишкового тиску (рисунок 6 б) $v_3 < v_1$.

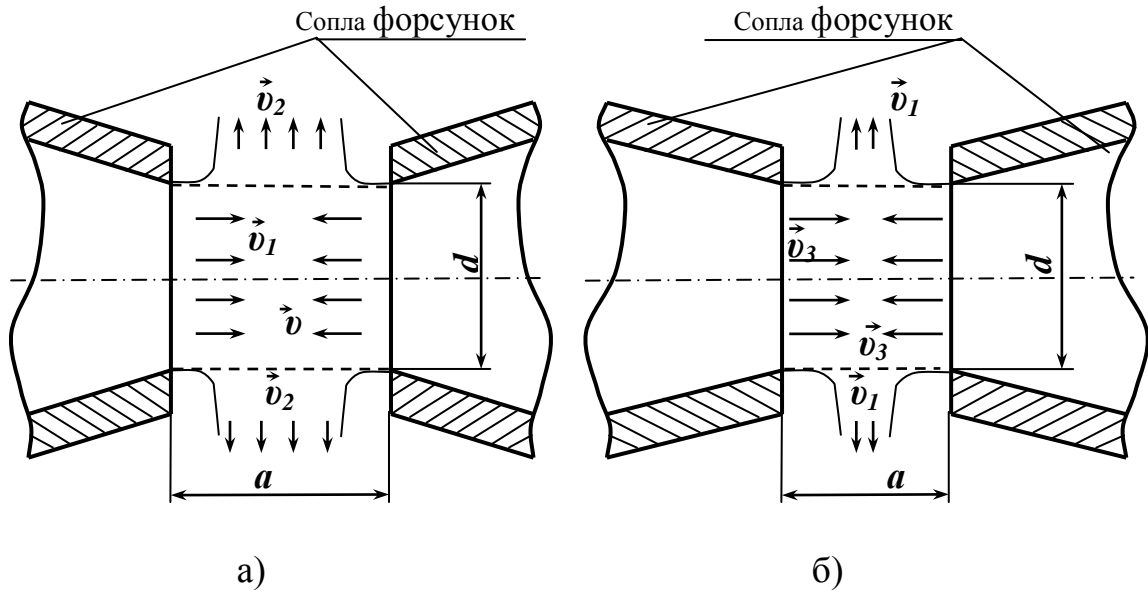


Рисунок 6. Схема зіткнення струменів а) при $a > d/2$ і б) при $a < d/2$.

Остання нерівність витікає з умови нерозривності потоку: $\pi d_c a v_1 = 2 \frac{\pi d_c^2}{4} v_3$, тобто $\frac{v_1}{v_3} = \frac{d_c}{2a}$. І при умові $a < d_c/2$ отримуємо нерівність $v_3 < v_1$. Остання нерівність витікає з умови нерозривності потоку $\pi d_c a v_1 = 2 \frac{\pi d_c^2}{4} v_3$, тобто $\frac{v_1}{v_3} = \frac{d_c}{2a}$. Швидкість струменя перед зіткненням при $a < d_c/2$ можна розрахувати як $v_3 = v_1 \frac{2a}{d_c}$.

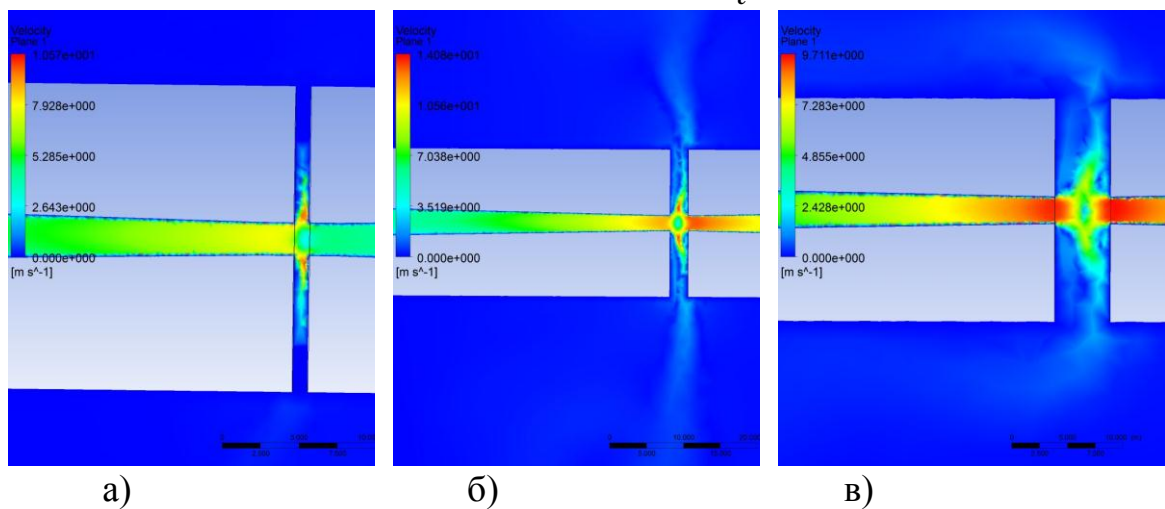


Рисунок 7. Поле швидкостей. а) при відстані між форсунками $a=0,5d_c$; б) при відстані між форсунками $a=d_c$; в) при відстані між форсунками $a=2d_c$.

Завдяки моделюванню процесу змішування в програмному комплексі

ANSYS було створено поле швидкостей в камері змішування, при постійному значенні тиску подачі 0,2 МПа, щільності рідини 1035кг/м³ (рисунок 7).

3. Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту

При відстані між форсунками $a=0,5d_c$ найбільшу швидкість потік рідини має після зіткнення струменів, який у 1,3...1,5 разів більше за швидкість при виході рідини з форсунки. Максимальна швидкість у даному випадку сягає значення 10 м/с. При відстані між форсунками $a=d_c$ максимальна швидкість однакова в зоні виходу рідини з форсунки і в зоні між торцевими поверхнями форсунок і сягає значення 14 м/с. При відстані між форсунками $a=2d_c$ максимальну швидкість потік рідини має в зоні виходу з форсунки. Швидкість потоку в зоні між торцевими поверхнями форсунок є у 1,7...1,9 разів меншою за швидкість при виході рідини із форсунки і сягає значення $9,5\text{мс}^{-1}$.

З умови отримання високої якості змішування рідини швидкість у момент зіткнення повинна бути максимальною. Тому максимальна якість змішування досягається при $a=d_c$.

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що оптимальна відстань між соплами форсунок протитечійно-струминного змішувача з умови отримання найбільшої продуктивності і найвищого ступеня перемішування (при постійному значенні надлишкового тиску) залежить від діаметра сопел форсунок і повинна дорівнювати діаметру сопла форсунки.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Пат. 90011, Україна, МКИ⁵ А01J 11/00. Спосіб змішування рідких компонентів /Самойчук К.О., Полудненко О.В.; заявитель и патентообладатель Таврійський державний агротехнологічний університет. – № u 201313938 ; заявл. 02.12.2013; опубл. 12.05.2014. Бюл. № 9.
2. Пат. 91740, Україна, МКИ⁵ А01J 11/00. Пристрій для струминного змішування рідких компонентів /Самойчук К.О., Полудненко О.В.; заявник і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. – № u201402154 ; заявл. 03.03.2014; опубл. 10.07.2014. Бюл. № 13.
3. Самойчук К.О. Аналіз обладнання для перемішування рідких компонентів / К.О. Самойчук, О.В. Полудненко // Праці ТДАТУ : Мелітополь – 2011.– Вип. 11, Т.6. – С. 226-233.
4. Самойчук К.О. Результати аналізу конструкцій струминних змішувачів рідких компонентів / К.О. Самойчук, О.В. Полудненко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2013. – Вип. 13, Т.1. – С. 205-211.
5. Самойчук К.О. «Обоснование конструкции смесителя жидких компонентов с помощью компьютерного моделирования»/ К.О. Самойчук , О.В. Полудненко // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: сборник научных статей. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос.

Аграрного у-та, 2013. – 140с. С. 86 – 92.

6. Самойчук К.О. Результати комп'ютерного моделювання процесу змішування рідких компонентів у струминному змішувачі / К.О. Самойчук, О.В. Полудненко // Обладнання та технології харчових виробництв : Донецьк – 2013.– Вип. 30. – С. 300-305.

7. Обґрунтування конструкції змішувача рідких компонентів за допомогою комп'ютерного моделювання/ К.О.Самойчук, О.В.Полудненко // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 75-річчю з дня народження ректора університету (1988-1991рр.), д.т.н., проф., член-кореспондента ВАСГНІЛ Беляєва М.І. «Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг» 19 листопада 2013 року – Харків, 2013, Частина І. – с.384 – 386.

8. Циб В.Г. Аналіз методів оцінювання якості змішування рідких компонентів при виробництві безалкогольних напоїв/В.Г.Циб, О.В. Полудненко, Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наук. фах. видання/ ТДАТУ; Мелітополь, 2014 – Вип.14 т.1 с. 7 –12.

Розділ 1.6.3.5. Вдосконалення та розробка обладнання для розливу харчових рідин.

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є технологічний процес розливу харчових рідин. Предмет дослідження – дозуючий пристрій для розливу харчових рідин.

Мета роботи – є удосконалення гідродинаміки процесу розливу харчових рідин в дозуючому пристрої, що дозує рідину до зазначеного рівня, а також збільшення продуктивності та точності дозування пристрою.

Методи досліджень – поставлені задачі вирішувалися з використанням програмного комплексу ANSYS, теоретичних методів дослідження, що дозволили досягти основних результатів роботи і підтвердити їхню вірогідність методом активних експериментів. Використовувалися методи диференційного та інтегрального обчислення, основні положення гідравліки, аналітичної геометрії, комп'ютерної технології, методами математичного аналізу і математичної статистики.

Розроблено та досліджено машину для розливу харчової рідини. Досліджено технологічний процес розливу харчової рідини в дозуючому пристрої до зазначеного рівня.

РОЗЛИВ, РОЗПОДІЛ ОБ'ЄМНОЇ ФРАКЦІЇ, ГІДРОДИНАМІКА, ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ANSYS

ВСТУП

У період риночної економіки перед харчовим машинобудуванням стоїть задача розробки та випуску універсального високопродуктивного обладнання для розливу харчових продуктів та автоматизованих технологічних ліній, які були б конкурентоспроможними на світовому ринку. Удосконалення обладнання повинне бути направлене на поліпшення технічного рівня та якості, у тому числі на підвищення продуктивності, покращення технологічних характеристик без суттєвого збільшення витрат на виготовлення та експлуатацію обладнання.

Підвищення продуктивності розливного (фасувального) обладнання простим збільшенням кількості розливних механізмів не дозволяє отримати максимальну ефективність, оскільки в цьому разі збільшується маса машини та її енергоспоживання. Тому у збільшенні продуктивності інтенсивним методом, без збільшення кількості розливних механізмів, криються можливості значного підвищення ефективності виробництва.

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Програма досліджень на 2013 р.

1. Розробка програми та методики досліджень
2. Теоретичне та експериментальне дослідження гідродинаміки процесу розливу харчових рідин в дозуючому пристрої.
3. Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту

1. Методика досліджень

1. Методика досліджень

Дослідження проводилися в 2014 році в лабораторії кафедри «Обладнання переробних харчових виробництв» Таврійського державного агротехнологічного університету.

У дослідженнях використовувалися натуральні соки згідно з ГОСТ 656 – 79 “Соки плодовые и ягодные натуральные. Технические условия,” та ГОСТ 29135 – 91 “Соки фруктовые. Общие технические условия.” А також тара ГОСТ 5717.2-2003 “Банки стеклянные для консервов. Основные параметры и размеры”.

Проаналізовано існуючі методи та умови розливу харчових рідин та обґрунтовано вибір найбільш оптимальної моделі розливу харчової рідини до зазначеного рівня. Приведена методика планування повнофакторного експерименту.

Для вивчення процесу розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня розроблено установку, представлену на рис. 2.

Методами математичної статистики із застосуванням комп'ютерних програм Microsoft Office Excel та Mathcad здійснювався статистичний аналіз характеристик розливу освітленого яблучного соку, перевірка на грубі помилки вимірювання, перевірка достовірності теоретичних залежностей. З метою визначення впливу кута нахилу направляючої, висоти підйому манжети відносно направляючої, висоти стовпа рідини в пристрої для розливному на продуктивність пристрою та точність процесу розливу, а також взаємного впливу цих факторів, використовували ротатабельне центральне композиційне планування повнофакторного експерименту, результати якого оброблялися за допомогою комп'ютерної програми Mathcad.

Дослідження процесу розливу проводили у розробленій авторами експериментальній установці для розливу харчових рідин до зазначеного рівня (Деклараційний патент України №64321А "Пристрій для розливу рідини" / Ялпачик Ф.Ю., Гвоздєв О.В., Змеєва І.М. від 16.02.2004 року).

Під час проведення експериментальних досліджень змінними параметрами є:

1. кут нахилу направляючої α , град;
2. висота підйому манжети відносно направляючої h , м;
3. висота стовпа рідини в розливному пристрої H , м.

Для проведення дослідів процесу розливу харчових рідин на основі існуючих аналогів іноземного виробництва та літературних джерел було розроблено та збудовано експериментальну модель установки.



Рис. 1. Структурно-логічна схема етапів дослідження

Розливальний пристрій для розливу харчових рідин до зазначеного рівня входить до складу експериментальної установки (рис. 2), яка складається з: дозатора; потенціометра КСП1 - ПЗ, ГОСТ; віскозиметра ВЗ – 246, ГОСТ 9070 – 75, “Визначення умовної в’язкості лакофарбних матеріалів та ньютонівських рідин або рідин, що до них відносяться”; тахометра цифрового ТЦ – 5; секундоміра СП – 15, 0 – 30 хв., ціна поділки 0,2 с.; нагрівального пристрою; приладу 2ТРМ1; – мікропроцесорний програмуємий вимірювач – регулятор дозволяє виміряти температуру в двох різних точках за допомогою датчика ТХК(L).

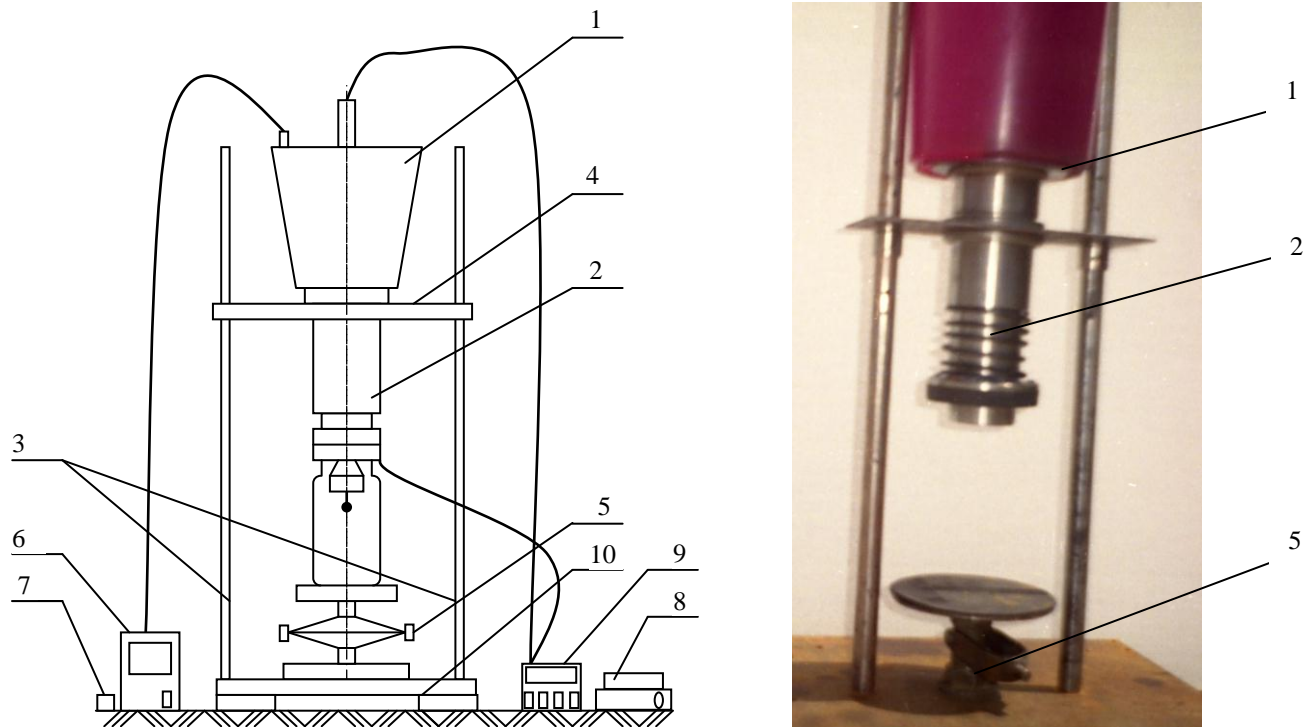


Рис. 2. Принципова схема та загальний вигляд пристрою для розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня:

1 – бак; 2 – патрон; 3 – опори; 4 – підтримуюча пластина; 5 – механізм піднімання та опускання тари; 6 – потенціометр марки КСП1-ПЗ;

7 – секундомір СП-15; 8 – нагрівальний пристрій; 9 – двоканальний цифровий прилад 2ТРМ1; 10 – станина

Оцінка впливу гідравлічного режиму процесу розливу харчових рідин на розлив було визначено за такими параметрами:

1. продуктивність, м³/с;
2. точність дозування, %

Всі заміри робляться у трьохкратній повторності для кожного досліду.

Визначення показників виконували за стандартними методиками. Відбір і підготовка проб до аналізів проводилися згідно з методичними рекомендаціями. В ході дослідження згідно плану робіт була вивчена залежність використання різних режимів розливу харчових рідин від зміни конструктивних параметрів.

2. Теоретичне та експериментальне дослідження впливу параметрів та режимів в дозуючому пристрої на процес розливу харчових рідин.

Процес заповнення банки харчовою рідиною є настільки складним, що детально описати його можна або за допомогою феноменологічної теорії або використовуючи чисельне моделювання. Промодельовано цей процес за допомогою FLOTRAN CFD (Computational Fluid Dynamics) аналізу програмного комплексу ANSYS.

В результаті проведення нестационарного аналізу отримуємо розподіл об'ємної фракції та розподіл поля швидкостей рідини у довільний момент часу наповнення банки. Час заповнення банки становить $t=1,53\text{с}$.

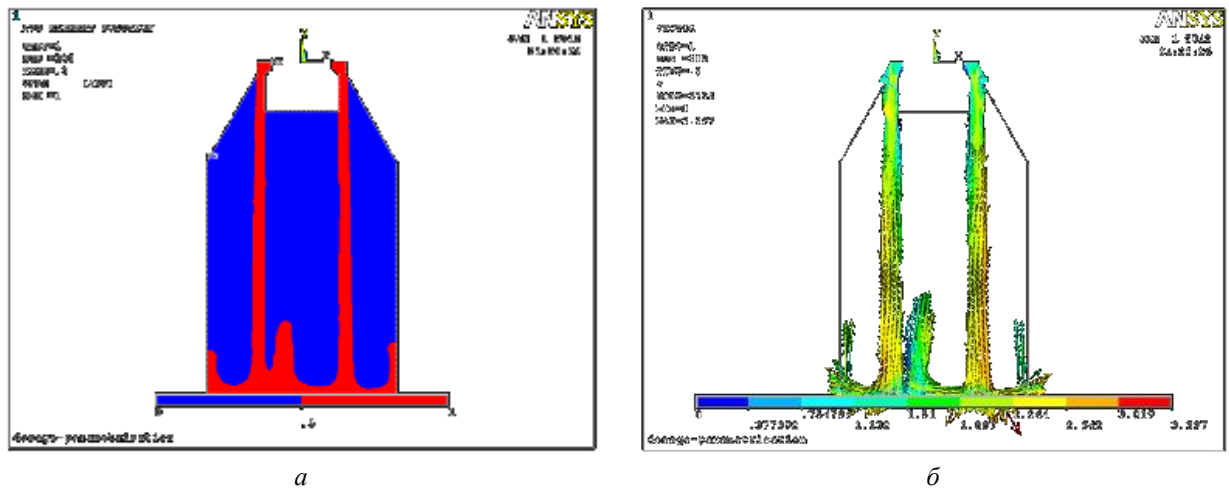


Рис.3 Розподіл об'ємної фракції рідини (а) та розподіл поля швидкостей (б) рідини у банці в момент часу $t=0,3\text{с}$

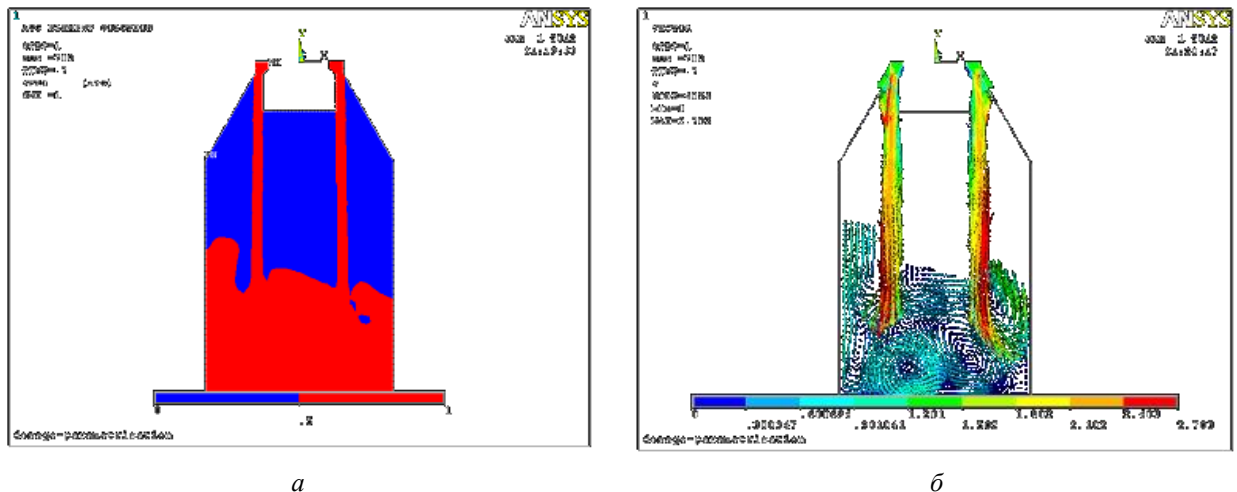


Рис. 4 Розподіл об'ємної фракції рідини (а) та розподіл поля швидкостей (б) рідини у банці в момент часу $t=0,7\text{с}$

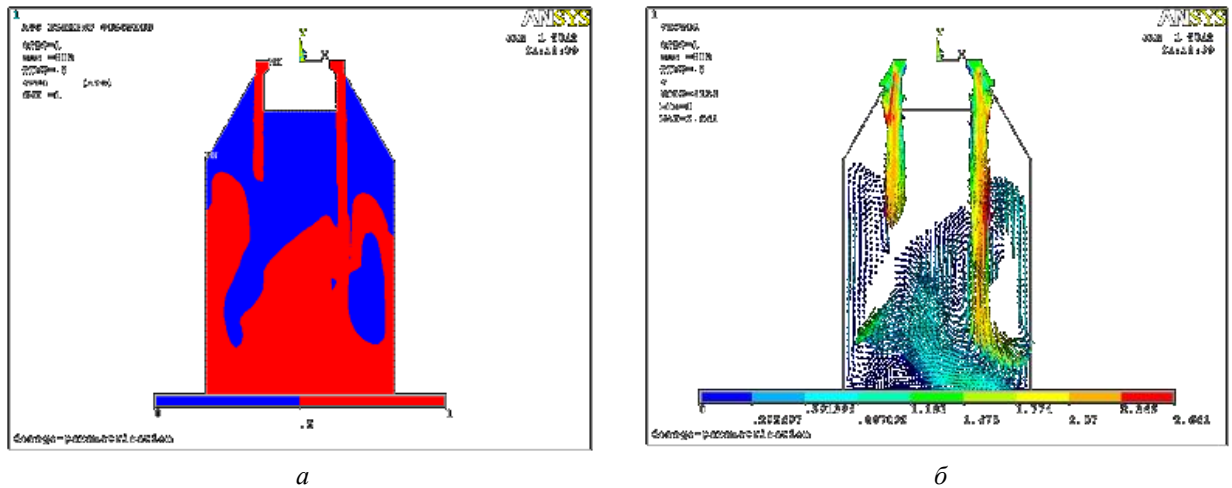


Рис. 5 Розподіл об'ємної фракції рідини (а) та розподіл поля швидкостей (б) рідини у банці в момент часу $t=0,8\text{c}$

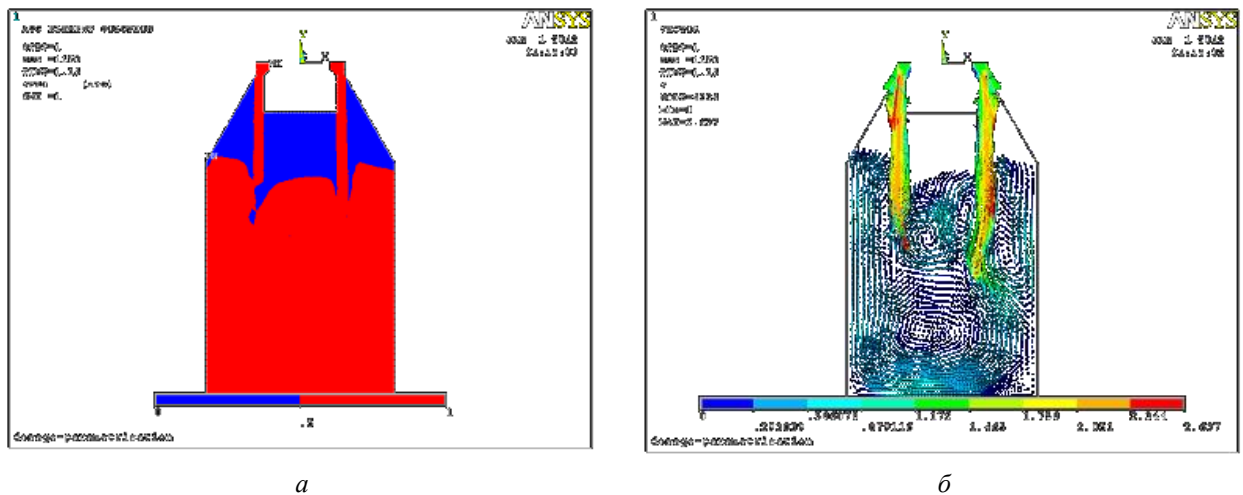


Рис. 6 Розподіл об'ємної фракції рідини (а) та розподіл поля швидкостей (б) рідини у банці в момент часу $t=1,15\text{c}$

З рисунків 3-6 випливає, що рідина, стікаючи по верхній крайці скляної банки, захоплює за собою повітря, насичується ним і падає на дно склянки. Надалі, при виділенні бульбашок повітря з рідини, обсяг її зменшується.

Важливим параметром, що визначає продуктивність розливної пристрою, є час заповнення банки рідиною до зазначеного рівня, який суттєво залежить від абсолютної величини швидкості витікання рідини, площі живого перерізу зазору між направляючою та ущільнюючою манжетою, через який рідина попадає у банку, геометричних параметрів конструктивних елементів, а також від фізико-хімічних властивостей харчової рідини, яка розливається (в'язкості, густини, теплопровідності, теплоємності). Варіюючи кут нахилу та геометричні розміри направляючої можна досягти максимальної продуктивності при фасуванні певного виду харчової рідини.

3 Результати експериментальних досліджень процесу розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня

Шляхом проведення повнофакторного експерименту встановлено залежність продуктивності пристрою для розливу (Y) та точності процесу розливу (Z), від кута нахилу направляючої $X_1 = \alpha$, град; висоти підйому манжети відносно направляючої $X_2 = h$, мм; висоти стовпа рідини в пристрої для розливу $X_3 = H$, м.

В результаті реалізації повнофакторного експерименту було отримано регресивні моделі:

$$Y = 10,788 + 0,726 X_1 + 1,180 X_2 + 0,392 X_3 - 0,036 X_1^2 - 0,082 X_2^2 + 0,035 X_3^2 \quad (1)$$

$$Z = -0,304 - 0,322 X_1 - 0,508 X_2 + 1,107 X_3 + 0,004 X_1 X_2 + 0,004 X_2 X_3 - 0,733 X_1^2 - 0,2667 X_2^2 + 0,12 X_3^2 \quad (2)$$

Аналіз результатів повнофакторного експерименту, представлених у вигляді рівнянь регресії (1) та (2) дають можливість побачити вплив на параметри оптимізації всіх незалежних факторів.

Для визначення впливу кута нахилу направляючої на продуктивність пристрою для розливу та точність процесу розливу, було проведено експериментальні дослідження, а також отримані регресивні залежності представлені на рис. 7.

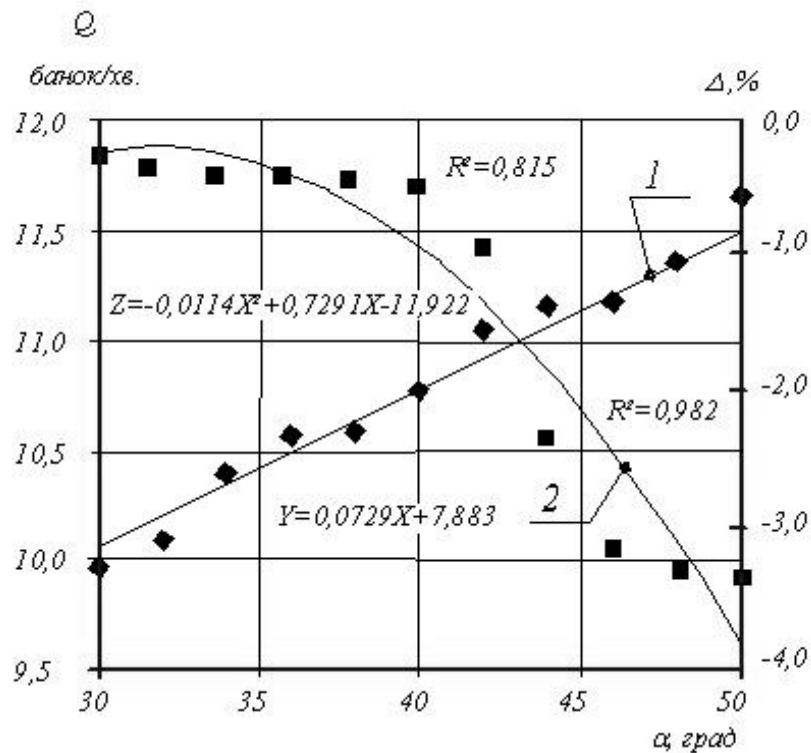


Рис. 7. Залежність продуктивності пристрою для розливу та точності процесу розливу від кута нахилу направляючої при $H=0,4\text{м}$, $h = 0,013\text{м}$
1 – крива залежності продуктивності від кута нахилу направляючої;

2 – крива залежності точності процесу розливу від кута нахилу направляючої

При фіксованому значенні фактору X_2 на його оптимальному значенні 13 мм, продуктивність пристрою для розливу зростає. При збільшенні кута нахилу направляючої, більше оптимального значення 30° , зменшується точність процесу розливу, оскільки змінюється траєкторія руху рідини в гідравлічному каналі і рідина попадає на дно банки, що призводить до турбулізації рідини в каналі та збільшення піноутворення. Зі збільшенням кута нахилу направляючої до 47° отримуємо неякісне наповнення тари, точність процесу розливу зменшується до $-3,15\%$, при цьому продуктивність становить 11,179 банок/хв. При куті нахилу 30° продуктивність пристрою для розливу 9,963 банок/хв., точність процесу розливу $-0,3\%$.

На рис. 8 наведено графіки залежностей продуктивності та точності процесу розливу від висоти підйому манжети відносно направляючої, при фіксованих значеннях факторів.

Аналіз кривих дозволяє зробити висновок, що при збільшенні висоти підйому манжети відносно направляючої, продуктивність пристрою для розливу зростає, при досягненні оптимального значення продуктивність веде себе таким самим чином, як і на графічній залежності (рис. 7) від кута нахилу направляючої.

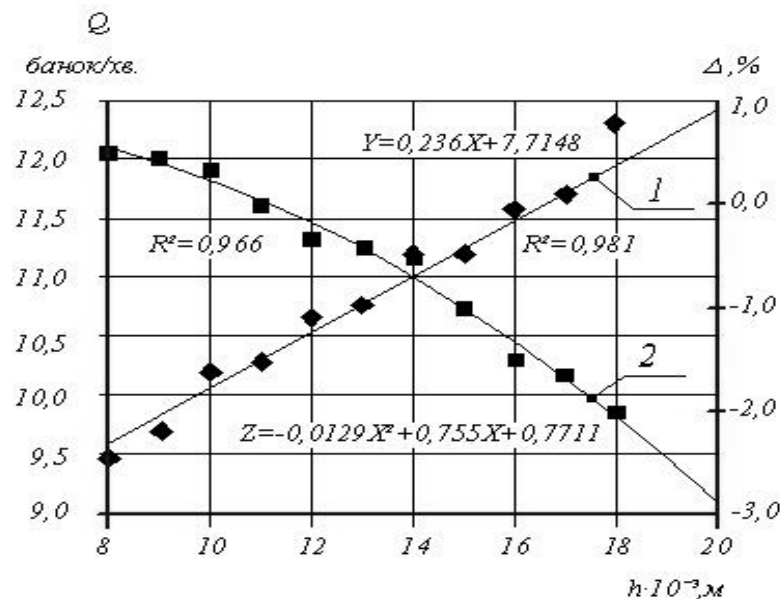


Рис. 6. Залежність продуктивності пристрою для розливу та точності процесу розливу від висоти підйому манжети відносно направляючої при

$$H=0,4\text{м}, \alpha = 40 \text{ град}$$

- 1 – крива залежності продуктивності від висоти підйому манжети відносно направляючої;
- 2 – крива залежності точності процесу розливу від висоти підйому манжети відносно направляючої

Висота підйому манжети відносно направляючої впливає на точність процесу розливу таким чином: при зміні висоти вихідної щілини від 8 до 18 мм змінюється ширина вихідного каналу, кут нахилу направляючої відносно

кута дотичної до стінки банки зсувається відносно оптимального значення 30° , що призводить до зменшення точності процесу розливу, оскільки, як і в попередньому випадку, змінюється траєкторія руху рідини в гідравлічному каналі і рідина потрапляє на дно банки, що призводить до турбулізації рідини в каналі та збільшення піноутворення.

При висоті вихідної щілини в межах 8...11 мм продуктивність пристрою для розливу становить від 9,475 до 10,662 банок/хв., збільшення висоти підйому направляючої призводить до зниження точності процесу розливу, та складає від $-0,33\%$ до -2% .

Результати експериментальних досліджень залежностей продуктивності пристрою для розливу та точності процесу від висоти стовпа рідини в пристрої для розливу зображено на відповідних графічних залежностях рис. 7.

Найбільше значення продуктивності пристрою для розливу спостерігається при висоті стовпа рідини $H = 0,5$ м, при цій же висоті має місце максимальне відхилення від точності процесу розливу $2,75\%$, оскільки дана висота стовпа рідини спричиняє більшу швидкість витікання рідини. При висоті стовпа рідини $H = 0,3$ м відхилення від точності процесу розливу складають $-3,25\%$, оскільки висота стовпа рідини напряму впливає на швидкість витікання.

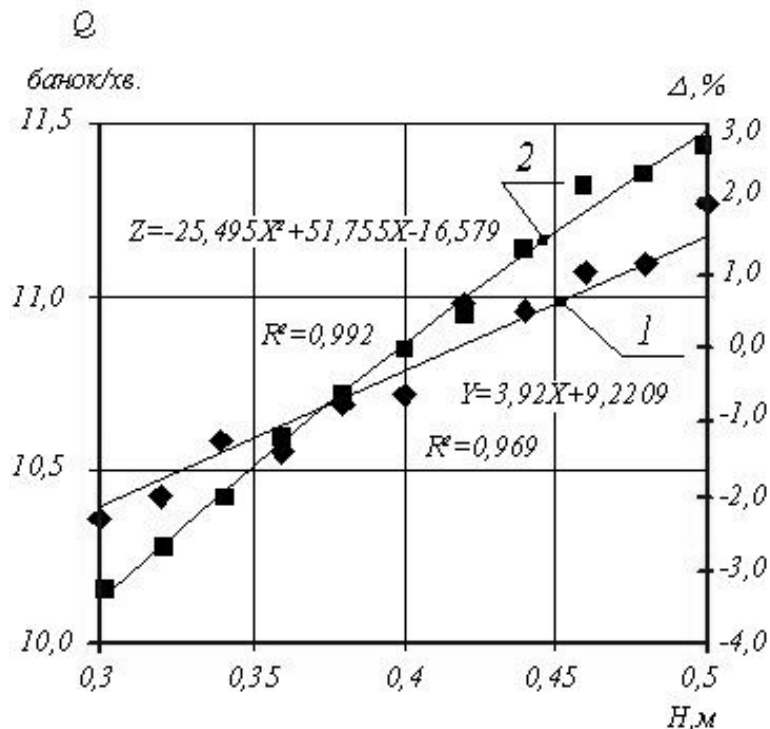


Рис. 7. Залежність продуктивності пристрою для розливу та точності процесу розливу від висоти стовпа рідини при $h=0,013$ м, $\alpha = 40$ град

- 1 – крива залежності продуктивності від висоти стовпа рідини;
2 – крива залежності точності процесу розливу від висоти стовпа рідини

ВИСНОВКИ

1. На підставі проведеного аналізу науково-технічної і патентної літератури встановлено, що на процес розливу харчової рідини впливає продуктивність та точність процесу розливу, а також зазначено, що збільшення продуктивності та точності дозування фасувального обладнання досягається шляхом оптимізації технологічних і конструктивних параметрів.

2. Побудована математична модель процесу розливу харчової рідини в скляну тару та проведено аналіз її гідродинамічної поведінки шляхом чисельного моделювання з використанням програмного комплексу *ANSYS*.

3. Встановлено на підставі математичного моделювання та аналітичного дослідження процесу розливу харчових рідин до зазначеного рівня, що оптимальними параметрами для зменшення турбулізації рідини в каналі пристрою для розливу та зменшення піноутворення є висота підйому манжети відносно направляючої $h = 13$ мм та кут нахилу направляючої $\alpha = 30^\circ$.

4. Одержані та експериментально підтверджені залежності, що пов'язують технологічні особливості процесу розливу освітленого яблучного соку з технологічними параметрами роботи пристрою для розливу.

5. Досліджено вплив висоти підйому манжети відносно направляючої на режими роботи та конструктивні параметри обладнання для розливу освітленого яблучного соку, визначено, що раціональними значеннями висоти підйому манжети відносно направляючої є значення в межах від 8 мм до 13 мм.

6. Встановлено що раціональним параметром роботи пристрою для розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня є висота стовпа рідини в пристрої не більше 0,4 м.

7. Визначено раціональні параметри кута нахилу направляючої, які знаходяться в інтервалі від 30 до 45 град, та перевірено його вплив на продуктивність та точність процесу розливу.

8. Розроблено рекомендації для розрахунку конструктивних параметрів і запропоновано промисловий зразок пристрою для розливу освітленого яблучного соку до зазначеного рівня, технічна документація яка передана до товариства з обмеженою відповідальністю НПО "Укрхімпроммаш" (м. Мелітополь, Запорізької області) для впровадження у виробництво. Порівняльна характеристика найбільш перспективних дозувально - наповнювальних автоматів типу ДН1 показує, що розроблений промисловий зразок має продуктивність у 1,5 рази більшу при тих самих енерговитратах.

9. Спроектований промисловий зразок пристрою для розливу пройшов апробацію та впровадження у виробництво в товаристві з обмеженою відповідальністю "ТРИНА" (с. Тамбовка, Мелітопольського району, Запорізької області) у 2013-2014 рр. Об'єм переробленої сировини за цей період становив 10000 тон. При цьому отриманий прибуток 250000 грн. або 25 грн/т. Розрахунок економічної ефективності підтверджує необхідність впровадження спроектованого пристрою для розливу дозувально – наповнювального ав-

томату типу ДН1, оскільки річний прибуток на переробному підприємстві становить 108408 грн., а термін окупності капітальних вкладень – 0,39 р.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Гвоздєв О.В. Обґрунтування конструкції запорного клапану дозатора – наповнювача рідких продуктів. / О.В. Гвоздєв, І.М. Ялоха¹ // Праці Таврійської державної агротехнічної академії – Мелітополь: ТДАТА. – 2001. – Вип. 1. – Т.23. – С. 40 – 44.
2. Змеєва І.М. Обґрунтування впливу основних факторів на процес розливу харчових рідин. / І.М. Змеєва // Праці Таврійської державної агротехнічної академії – Мелітополь: ТДАТА. – 2004. – Вип. 18. – С. 119 – 123.
3. Змеєва І.М. Обґрунтування методу визначення коефіцієнту витрат при розливі харчових рідин. / І.М. Змеєва // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА. – 2004. – Вип. 20. – С. 100 – 106.
4. Ялпачик Ф.Ю. Вплив гідравлічної системи на продуктивність дозуючого пристрою. / Ф.Ю. Ялпачик, І.М. Змеєва // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА. – 2005. – Вип. 25. – С. 48 – 54.
5. Змеєва І.М. Тенденції розвитку ринку соку України. / І.М. Змеєва // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету – Мелітополь: ТДАТА. – 2008. – Вип. 8. – Т.7 – С. 218 – 224.
6. Ялпачик Ф.Ю. Обґрунтування методу визначення коефіцієнту витікання з урахуванням числа Рейнольдса. / Ф.Ю. Ялпачик, І.М. Змеєва // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. – 2010. – Вип. 10. – Т.3. – С. 209 – 214.
7. Ялпачик Ф.Ю. Обґрунтування впливу основних факторів на дозуючі пристрої. / Ф.Ю. Ялпачик, І.М. Змеєва // Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНУЕТ. – 2011. – Вип. 26. – С. 281 – 288.
8. Ялпачик Ф.Ю. Методика проведення експериментальних досліджень процесу розливу харчових рідин. / Ф.Ю. Ялпачик, І.М. Змеєва // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. – 2011. – Вип. 11. – Т.6. – С. 317-321.
9. Кюрчев С.В. Чисельне моделювання процесу наповнення скляної тари харчовою рідиною / С.В. Кюрчев, І.М. Змеєва // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса: ОНАХТ. – 2012 – Вип. 41. – Т.1. – С. 182 – 187.
10. Кюрчев С.В. Моделювання гідродинамічної поведінки струменя при паданні його на дно банки / С.В. Кюрчев, І.М. Змеєва // Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНУЕТ. – 2013. – Вип. 30. – С. 281 – 288.
11. Кюрчев С.В. Визначення оптимальних параметрів окремих вузлів дозатора / С.В. Кюрчев, І.М. Змеєва // Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНУЕТ. – 2013. – Вип. 31. – С. 212 – 220.
12. Кюрчев С.В. Гидродинамическое поведение пищевой жидкости / С.В. Кюрчев, И.Н. Змеєва // Сборник статей IX Международной научно –

практической конференции «Актуальные проблемы научно – технического прогресса в АПК» – Ставрополь: СГУ. – 2013.– С. 111 – 117.

13. Змеєва І.М. Вплив коефіцієнтів місцевих опорів розливної системи на продуктивність дозуючого пристрою / І.М. Змеєва С.В. Кюрчев, Ф.Ю. Ялпачик, М.І. Стручаєв // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. – 2013. – Вип. 13. – Т.7. – С. 21 – 27.

14. Кюрчев С.В. Математичне обґрунтування факторів, які впливають на процес розливу харчових рідин / С.В. Кюрчев, І.М. Змеєва // Сборник научных трудов SWorld. – Вип. 1, Т. 8. – Иваново: МАРКОВА АД. – 2014. – С. 84 – 88. (Стаття входить до російської наукометричної бази РИНЦ).

Деклараційний патент:

15. Деклараційний патент на винахід 64321 А Україна, МПК В67С3/16. Пристрій для розливу рідини / Ф.Ю. Ялпачик, О.В. Гвоздев, І.М. Змеєва; заявник та патентовласник ТДАТА (Україна). – №2003054252; заявл. 12.05.2003; опубл. 16.02.2004, Бюл.№2. – 5 с.

Тези і матеріали наукових конференцій:

16. Змеєва І.М. Вплив параметрів гідравлічного тракту дозуючого пристрою на основні критерії оптимізації / І.М. Змеєва // «Молодежь и сельскохозяйственная техника В XXI веке»: мат. V-го Международного форума молодежи. – Харьков. – 2009. – С. 230.

17. Змеєва І.М. Дозатори - наповнювачі рідких продуктів / І.М. Змеєва, Ф.Ю. Ялпачик // «Проблеми харчових технологій і харчування. Сучасні виклики і перспективи розвитку»: тези доповідей VII Міжнародної наук.-практ. конф., 7-9 вересня 2011 р., м. Святогірськ. – 2011. – С. 203-205.

18. Ялпачик Ф.Ю. Визначення оптимальних параметрів дозатора з використанням програмного комплексу ANSYS/ Ф.Ю. Ялпачик, І.М. Змеєва // Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг: тези доп. Міжнар. наук.-практ. конф. – Харків. – 2012. – Ч. 1. – С. 397 – 398.

19. Кюрчев С.В. Продуктивність дозуючого пристрою як основний критерій оптимізації / С.В. Кюрчев, І.М. Змеєва // «Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг»: тези доп. Міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 75-річчю з дня народження ректора університету (1988-1991рр.), д.т.н., проф., член-кореспондента ВАСГНІЛ Беляєва М.І., 19 листопада 2013 р., м. Харків. – 2013. – Ч. I. – С.348 – 349.

20. Кюрчев С.В. Вплив конструктивних параметрів дозатора на продуктивність / С.В. Кюрчев, І.М. Змеєва // Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: мат. IX – ї Міжнар. наук.-практ. конф. – Кіровоград.– 2013. – Вип. 1. – С. 99 – 100.

21. Змеєва І.М. Вплив коефіцієнтів місцевих опорів на продуктивність дозуючого пристрою / І.М. Змеєва, С.В. Кюрчев // «Інноваційні технології ро-

звітку у сфері харчових виробництв, готельно – ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: наукові пошуки молоді»: тези допов. Всеукр. наук.-практ. конф. мол.учен. і студ., 26 березня 2014 р., м. Харків. – 2014. – Ч. I. – С. 321.