

УДК 637.2
№ держреєстрації
0116U002729
Інв. №

Міністерство освіти і науки України
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного
(ТДАТУ)


ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
д.т.н., професор
Анатолій ПАНЧЕНКО

**ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ**

Програма 2

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І
ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ І ПЕРЕРОБКИ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ**

(проміжний)

Директор НДІ АТЕ
д.т.н., професор



Олеся ПРИСС

Науковий керівник
д.т.н., професор



Кирило САМОЙЧУК

2023

Рукопис закінчено 11 грудня 2023 р.
Результати цієї роботи розглянуто Науково-технічною радою
Науково-дослідного інституту «Агротехнологій та екології»
протокол № 4 від 27 грудня 2023 р.

Список виконавців

- | | | |
|----|--|--------------------------------------|
| 1 | Керівник підпрограми 6,
д.т.н., професор, завідувач кафедри
ОПХВ ім. проф. Ф.Ю. Ялпачика | Самойчук К.О.
(розділ 1, 2, 3, 6) |
| 2 | к.т.н, ст викл. | Ковальов О.О.
(розділ 1) |
| 3 | к.т.н., доц. | Паляничка Н.О.
(розділ 2) |
| 4 | ст. викл. | В'юнiк О.В.
(розділ 3) |
| 5 | к.т.н., доц. | Ломейко О.П.
(розділ 4) |
| 6 | д.т.н., проф. | Кюрчев С.В.
(розділ 5) |
| 7 | к.т.н., доц. | Верхоланцева В.О.
(розділ 5) |
| 8 | аспірант | Самохвал В.А.
(розділ 6) |
| 9 | ст. викл. | Фучаджи Н.О.
(розділ 7) |
| 10 | д.т.н., проф. | Журавель Д.П.
(розділ 8) |
| 11 | аспірант | Ганзін В.Ю.
(розділ 4) |

РЕФЕРАТ

Звіт з НДР: 84 стор, 38 рисунків, 133 посилання.

Об'єкти дослідження – технологічні процеси для переробки і зберігання сільськогосподарської продукції та процесів і обладнання харчових виробництв.

Мета роботи – підвищення ефективності технологічних процесів переробки і зберігання сільськогосподарської продукції та процесів і обладнання харчових виробництв.

Методи дослідження – теоретично-експериментальні методи, лабораторні випробування, перевірка гіпотез і обробка експериментальних даних виконані за стандартними програмами. Експериментальні дослідження проводилися в лабораторіях ТДАТУ відповідно до прийнятих методик та галузевих стандартів.

У даному звіті пропонуються:

- методологія дослідження параметрів струминних гомогенізаторів молока;
- дослідження ефективності використання імпульсного гомогенізатора в технологічній лінії переробки молока;
- оптимізація параметрів струминного змішування напоїв;
- обґрунтування параметрів і режимів вакуумного охолодження плодів черешні та їх короткотривалого зберігання;
- дослідження холоду при зберіганні ягід;
- дослідження ефективності роботи системи охолодження при виготовленні паливних брикетів;
- обґрунтування конструктивних параметрів луцильного пристрою ударної дії;
- обґрунтування технологічних режимів та конструктивних параметрів обладнання для обрушення насіння рицини.

ГОМОГЕНІЗАЦІЯ МОЛОКА, ПРОТИТЕЧІЙНО-СТРУМИННИЙ ЗМІШУВАЧ, ПЛІВКОВИЙ ОХОЛОДЖУВАЧ НАПОЇВ, ВАКУУМНЕ ОХОЛОДЖЕННЯ, ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ, КЛЕЙКОВИНА, ДОЗА ІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ, ТОВЩИНА ШАРУ ЗЕРНА, ВОЛОГІСТЬ СОЛОДУ, КРАТНІСТЬ ПОВІТРООБМІНУ

ЗМІСТ

	Вступ	5
1	МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТРУМИННИХ ГОМОГЕНІЗАТОРІВ МОЛОКА	7
2	ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ІМПУЛЬСНОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА В ТЕХНОЛОГІЧНІЙ ЛІНІЇ ПЕРЕРОБКИ МОЛОКА	22
3	ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ СТРУМИННОГО ЗМІШУВАННЯ НАПОЇВ	31
4	ОБҀРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ ВАКУУМНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ПЛЮДІВ ЧЕРЕШНІ ТА ЇХ КОРОТКОТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ	44
5	ДОСЛІДЖЕННЯ ХОЛОДУ ПРИ ЗБЕРІГАННІ ЯГІД	50
6	ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ	59
7	ОБҀРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛУЩИЛЬНОГО ПРИСТОЮ УДАРНОЇ ДІЇ	69
8	ОБҀРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ТА КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОБРУШЕННЯ НАСІННЯ РИЦІНИ	75

ВСТУП

Дослідження гомогенізації в сучасних конструкціях, які забезпечують високу енергоефективність диспергування характеризується складністю візуального спостереження за їх деформацією та подальшим руйнуванням. Результати останніх досліджень дозволяють виділити в якості основного чинника, що спричинює деформацію та руйнування жирових кульок критерій Вебера. Його значення зростає при збільшенні швидкості ковзання жирових кульок відносно молочної плазми. Відтак створення енергоефективних конструкцій гомогенізаторів має ґрунтуватись на створенні максимальної різниці між швидкостями руху знежиреного молока та вершків. Одночасно зі створенням сприятливих умов для руйнування жирових кульок при цьому використовується принцип роздільної подачі вершків, що дозволяє знизити енергетичні витрати процесу на 40–60%.

Диспергування жирової емульсії шляхом гомогенізації є одним із найважливіших технологічних процесів в лінії переробки молока та виробництва молочної продукції. Від якості гомогенізації напряму залежать харчова цінність молока та продуктів його переробки, смакові властивості та засвоюваність його організмом людини. Тож до гомогенізаторів, які використовуються на підприємствах висуваються підвищені вимоги щодо якості кінцевого продукту. Окрім якості важливу роль в підборі обладнання відіграє показник питомих затрат енергії на процес.

Технологічне призначення перемішування рідин різноманітне. Цей процес застосовують у харчовій промисловості для інтенсифікації хімічних, теплових і масообмінних процесів, а також для приготування емульсій, суспензій та розчинів. При виготовленні безалкогольних напоїв одним з основних процесів є перемішування купажного сиропу або концентрату з підготовленою водою, тобто перемішування рідких компонентів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій у світі свідчить, що технологія вакуумного охолодження сільськогосподарської продукції є надзвичайно швидким методом випарного охолодження, висока ефективність якого досягається за рахунок скорочення часу технологічного процесу. Теплота з продукту видаляється завдяки випаровуванню певної кількості води безпосередньо з середини продукту під зниженим тиском. Швидкість та ефективність є головними особливостями вакуумного охолодження, які важко досягнути традиційними методами охолодження. Комбіноване використання метода вакуумного охолодження та холодильного зберігання дозволяє значно розширити термін зберігання швидкопсувної рослинної продукції.

Для того щоб зберегти ягоди в презентабельному, з погляду споживача, вигляді, необхідно створити оптимальні умови зберігання ягід, за яких припиняться або сильно сповільняться процеси гниття і псування. Тому, щоб створити правильні умови для зберігання ягідної продукції, необхідно застосовувати відповідну технологію. Інакше кажучи, десь можна обійтися просто приміщенням з хорошою професійною вентиляцією, а десь потрібна холодильна камера з регульованою атмосферою і системою мікробіологічного знезараження.

На сьогоднішній день при постійному здороженню енергоносіїв, виготовлення паливних брикетів є дуже перспективне направлення, яке стрімко розвивається в багатьох країнах. Так як Україна є аграрною країною з досить непогано розвинутим сільським господарством та вирощує в великих обсягах такі рослини як соняшник, соя, рапс, льон та коріандр що гарно підходять для виготовлення паливних брикетів, так як мають вміст олій, який забезпечує високу тепловіддачу при згоранні. Найбільш підходять для переробки даної сировини шнекові прес – екструдери, так як їх конструкція дає можливість з регульованим відсотком, віджимати технічні олії під час виготовлення брикету та забезпечувати доволі гарні показники по якості готової продукції.

Проблема вдосконалення луцильного обладнання і створення комплексних технологічних ліній малої потужності набуває для України великого народногосподарського значення та актуальності, оскільки сучасні способи й технологічні засоби відокремлення оболонки зерна у сільськогосподарському виробництві є недостатньо ефективними і потребують подальшого дослідження та вдосконалення. Проведено дослідження роботи луцильного пристрою ударної дії, конструкція якого дозволяє вилучити операцію попереднього сортування на фракції та скоротити кількість пропусків гречки.

Підвищити ж ефективність процесу післязбиральної обробки рицини в кожній технологічній операції можна шляхом застосування в такій технології спеціальних машин з обов'язковим врахуванням фізико-механічних властивостей компонентів рицини. Підвищення якості процесів обрушення та сепарації при переробці насіння рицини на касторову олію по-перше, збільшує пропускну здатність переробного обладнання, по-друге, поліпшує якість розмелу на вальцьових верстатах, що сприяє зниженню олійності макухи та, отже, зменшення втрат олії у виробництві, по-третє, поліпшує якість жмиху й олії, крім того, лузга рицини може бути використана як тверде біопаливо.

РОЗДІЛ 1

МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТРУМИННИХ ГОМОГЕНІЗАТОРІВ МОЛОКА

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є процес струминно-щілинної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків.

Предметом дослідження є закономірності впливу технологічних, конструктивних та гідравлічних параметрів струминно-щілинного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків на його якісні та енергетичні показники.

Метою дослідження є розробка методології дослідження параметрів струминних гомогенізаторів молока.

Методи досліджень. Поставлені задачі вирішувались з використанням теоретичного інструментарію, серед якого: теорії граничного шару Шліхтінга, затоплених струменів, залежності класичної гідродинаміки, локальної ізотропної турбулентності Колмогорова-Обухова, моделювання процесу в програмному комплексі кінцево-елементного аналізу ANSYS з попереднім створенням геометричної моделі камери в програмі Solid Works.

Основні результати досліджень: було запропоновано методологію дослідження параметрів струминних гомогенізаторів молока. Розроблено та наведено структурну схему проведення досліджень параметрів гомогенізаторів молока струминного типу. Наведено деталізований опис програми теоретичних досліджень та стадій її розробки. Представлено етапи розробки програми проведення експериментальних досліджень, що включають комплекс дій від обрання змінних факторів до визначення оптимальних величин цих параметрів та залежностей, що пов'язують їх з показниками якості та енергетичних витрат гомогенізатора. Наведена методологічна основа розробки методики обчислення параметрів промислового зразку та оцінки ефективності його впровадження в умовах реального виробництва.

МЕТОДОЛОГІЯ, ПАРАМЕТРИ, ДИСПЕРГУВАННЯ, КАНАЛ ПОДАЧІ, ВЕРШКИ, СТРУМИННИЙ ГОМОГЕНІЗАТОР, МОЛОКО

ВСТУП

Диспергування за рахунок зменшення середнього діаметру жирових кульок забезпечує рівномірний розподіл вершків в молочній плазмі. Її метою є зменшення середнього діаметру жирових кульок з 3–4 мкм до 0,75–0,85 мкм в готовому продукті, такі показники дисперсності знаходяться на рівні вимог нормативної документації, що регулює показники якості молочних виробів після переробки. Між тим, найбільш поширені в промисловості клапанні гомогенізатори, що забезпечують СЖК на рівні 0,75–0,80 мкм мають надто високі питомі витрати електричної енергії, що сягають близько 7–8 кВт·год/т переробленого молока]. Відсоток енергетичних витрат на диспергування складає близько 30–40% в загальних технологіях переробки

молока та молочних продуктів. Отже, зниження енергоемності процесу являє собою актуальну та важливу задачу для спеціалістів переробної галузі та науковців за фахом.

Дослідження гомогенізації в сучасних конструкціях, які забезпечують високу енергоефективність диспергування характеризується складністю візуального спостереження за їх деформацією та подальшим руйнуванням. Це пояснюється високими швидкостями руху молока (що для клапанного гомогенізатора перевищують 100 м/с), низьким ступенем прозорості молочної емульсії та мікроскопічними показниками середнього діаметру жирових кульок, що складають близько 1 мкм. Сукупна дія цих чинників обумовила відсутність єдиної теорії диспергування та дозволила дослідникам процесу висунути близько 10 гіпотез, що мають суперечності та частково спростовують одна іншу. Створені на базі цих гіпотез конструкції або відрізняються високими значеннями питомих витрат енергії (мікрофлюїдизатори, клапанні), або не забезпечують зменшення СЖК до 0,75–0,85 мкм (вібраційні, електрогідрравлічні, вакуумні).

Результати останніх досліджень дозволяють виділити в якості основного чинника, що спричинює деформацію та руйнування жирових кульок критерій Вебера. Його значення зростає при збільшенні швидкості ковзання жирових кульок відносно молочної плазми. Відтак створення енергоефективних конструкцій гомогенізаторів має ґрунтуватись на створенні максимальної різниці між швидкостями руху знежиреного молока та вершків. Одночасно зі створенням сприятливих умов для руйнування жирових кульок при цьому використовується принцип роздільної подачі вершків, що дозволяє знизити енергетичні витрати процесу на 40–60%. Цим вимогам відповідає група струминних гомогенізаторів молока. Їх використання забезпечує зменшення середнього діаметру жирових кульок до 0,75–1,20 мкм, при цьому питомі енерговитрати таких конструкцій не перевищують 0,9–1,8 кВт·год/т. Однак незважаючи на перспективність розробки енергоефективних конструкцій цієї групи гомогенізаторів на теренах Інтернету відсутня узагальнююча інформація щодо методології проведення їх досліджень. Цей факт пригальмовує подальші дослідження та розробку енергоефективних конструкцій диспергаторів цієї групи.

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Поставлені задачі вирішувались з використанням теоретичного інструментарію, серед якого: залежності класичної гідродинаміки, теорії затоплених струменів, граничного шару Шліхтінга, локальної ізотропної турбулентності Колмогорова-Обухова, моделювання процесу в програмному комплексі кінцево-елементного аналізу ANSYS з попереднім створенням геометричної моделі камери в програмі Solid Works. Отримані в ході проведення аналітичних досліджень залежності свідчать про наявність зв'язку між формою внутрішніх поверхонь кільцевої щілини якістю та енерговитратами гомогенізації. Таким чином метою досліджень є обґрунтування оптимальної форми профілю внутрішніх поверхонь конфузору та кільцевої щілини струминно-щілинного гомогенізатора молока.

Програмою досліджень передбачено:

Для досягнення поставленої мети вирішувалось наступні задачі:

- розробка структурної схеми проведення досліджень струминного гомогенізатора молока;
- розробка програми теоретичних досліджень, метою яких є обґрунтування параметрів та режимів роботи лабораторного зразку гомогенізатора для отримання дисперсності молочної емульсії, на рівні технологічних вимог при мінімальних енерговитратах процесу;
- розробка програми експериментальних досліджень, головною метою яких є перевірка адекватності отриманих аналітичних залежностей лабораторного зразку струминного гомогенізатора молока, встановлення реальних значень введених коефіцієнтів, перевірка та при необхідності уточнення значення критерію Вебера;
- розробка методики обчислення параметрів та конструкції промислового зразка гомогенізатора.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналіз літературних джерел дозволив визначити, що проведення досліджень руйнування жирових кульок в струминних гомогенізаторах являє найбільш перспективний напрямок підвищення енергоефективності диспергування в технологічних процесах переробної промисловості. До групи струминних гомогенізаторів молока належать: струминний в об'ємі, струминно-ударний, струминний із зустрічною подачею вершків, протитечійно-струминний (ПСГМ), струминний з роздільною подачею вершків (СГРПВ) та струминно-щілинний диспергатори молока (СЩГМ). Останні 3 конструкції були розроблені на базі кафедри ОПХВ імені професора Ф. Ю. Ялпачика (ТДАТУ імені Дмитра Моторного).

Диспергування жирової фази в ПСГМ здійснюється при зіткненні струменів молока, що подаються крізь дві співвісно розташовані форсунки. Конструктивні особливості будови гомогенізатора дозволяють створити високу швидкість ковзання жирової кульки по відношенню до молочної плазми. Це призводить до підвищення значень гідродинамічного критерію Вебера, що обумовлює ефективне руйнування часток жирової фази. Згідно результатів досліджень при переробці молока в ПСГМ середнього діаметру жирових кульок складає близько 0,75–0,85 мкм, при цьому його питомі енерговитрати не перевищують 1,6–1,8кВт·год/т.

В СГРПВ після попередньої сепарації знежирене молоко та вершки подаються окремо, до швидкісного потоку знежиреного молока подається струмінь вершків. Завдяки використанню тонких каналів подачі вершків та малого діаметру струменю забезпечується висока швидкість ковзання жирових кульок. Збільшення гідродинамічного критерію Вебера обумовлює зниження середнього діаметру жирових кульок при використанні гомогенізаторів цього типу до 0,80–0,90 мкм. Використання принципу роздільної подачі вершків забезпечує зниження питомих енерговитрат таких конструкцій до 0,85–0,90кВт·год/т.

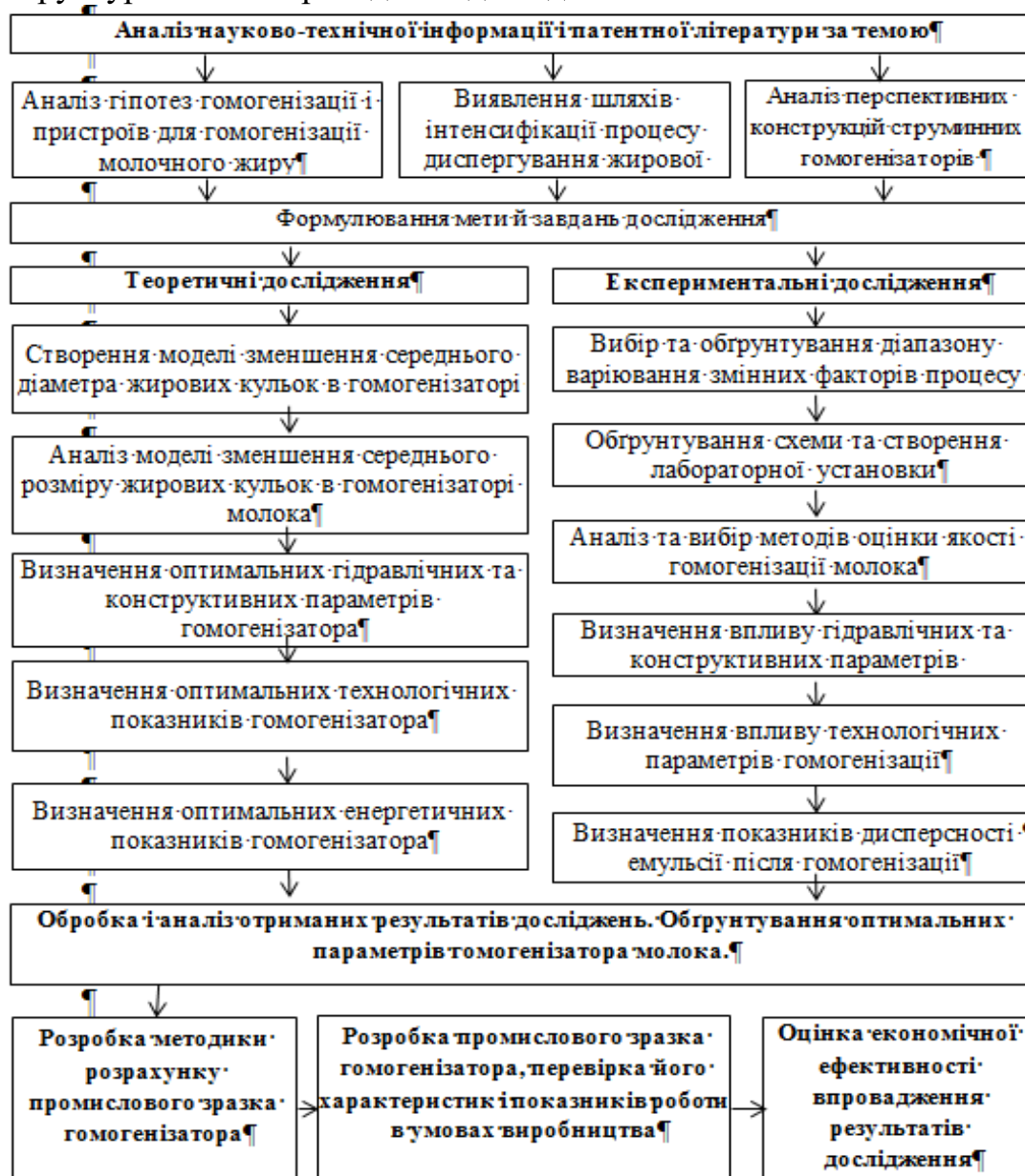
В СЩГМ дисперсна фаза подається до швидкісного потоку знежиреного молока, що пройшло попередню сепарацію, крізь вузьку кільцеву щілину.

Згідно результатів проведених досліджень при його використанні можливо отримати жирові кульки середнім діаметром 0,8–0,9 мкм. При цьому питомі енергетичні витрати гомогенізатора не будуть перевищувати 0,7–0,8 кВт·год/т гомогенізованої емульсії.

В ході подальших досліджень необхідно розробити структурну схему досліджень, загальний вигляд якої наведено в табл.1.

Таблиця 1

Структурна схема проведення досліджень



Як бачимо зі структурної схеми досліджень (табл.1) теоретичні дослідження потрібно починати зі створення моделі зменшення середнього діаметра жирових кульок в гомогенізаторі. Вона включає дослідження сил, які діють на жирову кульку при її русі відносно молочної плазми, що необхідно для визначення чинників руйнування. Після складання рівняння руху жирової кульки, слід визначити основні механізми, за якими відбувається диспергування жирової фази молочної емульсії. На цьому етапі

перевіряються і другорядні чинники, які можуть відігравати важливу роль в процесі диспергування (кавітація, турбулентні пульсації, подрібнення за відсутності вдару).

Визначення раціональних та оптимальних значень конструктивних, гідравлічних та технологічних параметрів з точки зору зменшення подальшої кількості пошукових експериментів та загального обсягу досліджень доцільно починати з проведення моделювання. Серед програм, які використовуються для моделювання гідродинамічних процесів COSMOS, AutoCAD, Solid Works. Програмний комплекс кінцево-елементного аналізу ANSYS було обрано завдяки наявності таких переваг, як висока точність програми; можливість оперування великою кількістю параметрів процесу, забезпечення при використанні програми значень густини, в'язкості знежиреного молока та вершків, які є найбільш наближеними до їх реальних значень. Спочатку авторами в програмному комплексі Solid Works було створено геометрично параметризовану модель камери, струменю вершків та потоку знежиреного молока, які згодом було інтегровано до програмного комплексу ANSYS.

Після обрання програмного комплексу проводиться обґрунтування межі варіювання значень параметрів, які будуть досліджуватись. Для СГМ ними можуть бути, наприклад відстань між форсунками, тиск диспергування, для СГРПВ відповідно тиск подачі знежиреного молока та діаметр каналів подачі вершків, для СЦГМ окрім тиску подачі дисперсійної фази (Δp_{zn}), ширина кільцевої щілини (h) (рис.1).

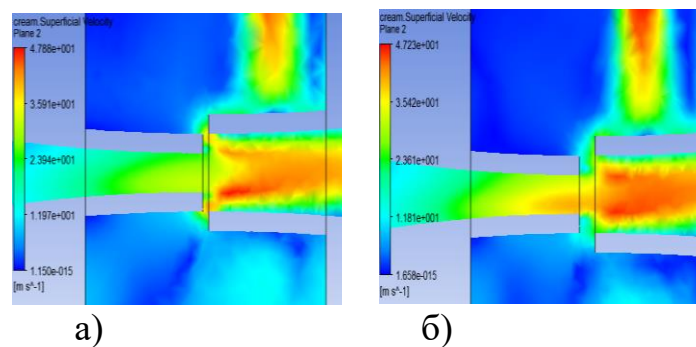


Рисунок 1. Поля швидкостей при тиску подачі знежиреного молока $\Delta p_{zn}=8$ МПа та ширині кільцевої щілини h : а) $h=0,4$ мм; б) $h=1,2$ мм

На етапі проведення аналітичних досліджень важко оцінити вплив деяких факторів на показники якості процесу диспергування. Тому для оцінки значення реальних величин можна використовувати неявні залежності (коефіцієнти) впливу параметрів, у СГРПВ каналів подачі вершків, у СЦГМ, відповідно параметрів кільцевої щілини. Цей коефіцієнт ($k_{щ}$) у випадку СЦГМ уточнював вплив жирності вершків, ширини кільцевої щілини та швидкості подачі вершків на показники якості диспергування в СЦГМ.

Наступним кроком є знаходження залежностей, що пов'язують конструктивні, технологічні та гідравлічні параметри досліджуваного гомогенізатора з середнім діаметром жирових кульок (d_{cp}) після диспергування. Поставлені задачі вирішувались з використанням теоретичного інструментарію, серед якого: залежності класичної

гідродинаміки, теорії затоплених струменів, граничного шару Шліхтінга, локальної ізотропної турбулентності Колмогорова-Обухова. Наприклад, для СГПРВ така залежність має вигляд (1)

$$d_{cp} = \frac{We_{\kappa} \sigma_{ж-п} \epsilon_{\kappa}^2 s^2}{2 \rho_{пл} k_c^2 Q_{зн}^2} \quad (1)$$

де We_{κ} – критичне значення критерію Вебера;
 k_c – коефіцієнт струминної гомогенізації;
 $\sigma_{ж-п}$ – поверхневий натяг на межі розділу жиру та плазми, Н/м;
 ϵ_{κ} – коефіцієнт стиснення для центральної частини камери, який залежить від форми профілю внутрішніх поверхонь камери;
 s – площа каналів подачі вершків, м²;
 $Q_{зн}$, – подача знежиреного молока, м³/с;
 $\rho_{пл}$ – густина молочної плазми, кг/м³.

Отримана формула (1) може бути представлена в вигляді графічних залежностей, що дає змогу визначити раціональні величини параметрів процесу диспергування з точки зору мінімізації середнього діаметру жирових кульок. На підставі отриманої залежності (1) можна виразити до яких значень мають прямувати параметри процесу диспергування для забезпечення мінімально можливих величин середнього діаметру жирових кульок після диспергування (2) [3]

$$(We_{\kappa}, \sigma_{ж-п}, \epsilon_{\kappa}, d_{\kappa}) \rightarrow \min; (k_{щ}, Q_{зн}) \rightarrow \max.. \quad (2)$$

Наступним кроком є аналітичне знаходження залежностей, які пов'язують конструктивні, гідравлічні та технологічні параметри гомогенізатора з потужностями для його приводу (від гідроциліндру у випадку ПСГМ та від насосів подачі знежиреного молока та вершків у випадку СГПРВ та СЦГМ) та питомими енерговитратами диспергування. Така залежність може мати вигляд, подібний до формули, що пов'язує параметри гомогенізатора та питомі витрати енергії для СЦГМ (3)

$$E_{num} = \frac{Q_{зн}^2 \left(\frac{8 \cdot \rho_{зн}}{\mu_{\kappa}^2 \cdot d_{\kappa}^4} + \left(\frac{Ж_{н} - Ж_{зн}}{Ж_{в} - Ж_{н}} \right)^3 \cdot \frac{\rho_{в}}{2 \cdot d_{\kappa}^2 \cdot h^2 \cdot \mu_{щ}^2} \right)}{\pi^2 \cdot \rho_{м} \cdot \left(\frac{Ж_{в} - Ж_{зн}}{Ж_{в} - Ж_{н}} \right)} \quad (3)$$

де $\rho_{м}$ – густина молочної плазми, кг/м³;
 d_{κ} – діаметр конфузору в місці найбільшого звуження, м;
 $\rho_{в}$ – густина вершків, кг/м³;
 h – ширина кільцевої щілини, м;
 $Ж_{зн}$, $Ж_{в}$, $Ж_{н}$ – жирності відповідно знежиреного молока, вершків та нормалізованої емульсії, %;

$\mu_k, \mu_{щ}$ – коефіцієнти витрат відповідно конфузора та кільцевої щілини, які враховують гідродинамічні умови на ділянці надходження вершків до потоку знежиреного молока.

Отримана формула (3) може бути представлена в вигляді графічних залежностей, що дає змогу визначити раціональні величини параметрів процесу диспергування з точки зору мінімізації питомих витрат енергії. Залежність (3) дає змогу виразити до яких значень мають прямувати параметри процесу диспергування для забезпечення мінімально можливих величин питомих витрат енергії (4).

$$\begin{aligned} (\mu_k, \mu_{\text{щ}}, h, \mathcal{J}_e) &\rightarrow \max \\ (Q_{\text{зн}}, \mathcal{J}_n) &\rightarrow \min \end{aligned} \quad (4)$$

Отриманих даних достатньо для проведення оптимізації. Процес диспергування молока в має забезпечувати зменшення середнього діаметра жирових кульок до рівня 0,75–0,80 мкм при мінімальних енергетичних витратах. Гідравлічні, конструктивні і технологічні параметри гомогенізатора, які відповідають таким вимогам, будемо вважати оптимальними. Для визначення оптимальних параметрів гомогенізатора молока необхідно побудувати лінії рівної дисперсності на графіках залежностей питомих витрат енергії $E_{\text{пит}}$ при різних величинах раціональних значень довжини кільцевої щілини $l_{\text{щ}}$ (8,4–9,4) і різних формах профілю внутрішніх поверхонь конфузору, визначених при проведенні аналітичних досліджень струминно-щілинного гомогенізатора. Після цього за даними, визначеними з експериментальних графіків на рівні, необхідному для забезпечення середнього діаметра жирових кульок на рівні вимог нормативної документації проводиться лінія рівної дисперсності, позначена на обох графіках суцільною лінією. На перетині лінії рівної дисперсності, що має значення 0,8 мкм з кожною з кривих у легенді, знаходимо відповідні значення питомих витрат енергії. Нанесемо знайдені значення питомих витрат енергії на попередньо побудовані графіки залежності питомих витрат енергії гомогенізатора від довжини кільцевої щілини при різних типах внутрішнього профілю конфузору.

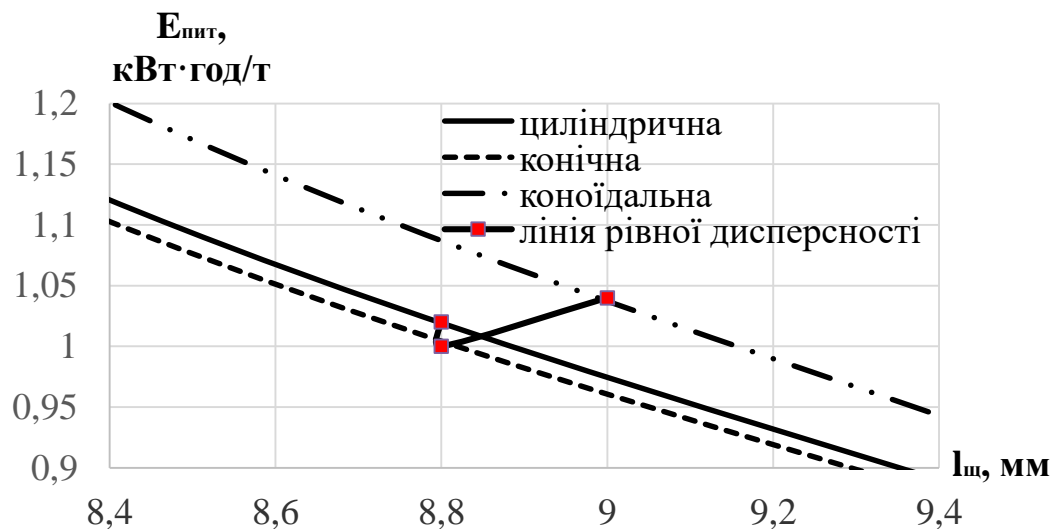


Рисунок 2. Оптимізація форми внутрішніх поверхонь камери та діаметра конфузору в місці найбільшого звуження камери струминно-щілинного гомогенізатора молока (при $J_{3H}=0,05\%$; $J_H=3,5\%$; $J_B=40\%$; $h=0,5$ мм; $\mu_B=0,1$; $Q_T=1000$ кг/год)

Перед проведенням експериментальних досліджень визначаються сталі та обираються змінні фактори процесу, як показано на рис.3 для СЩГМ.

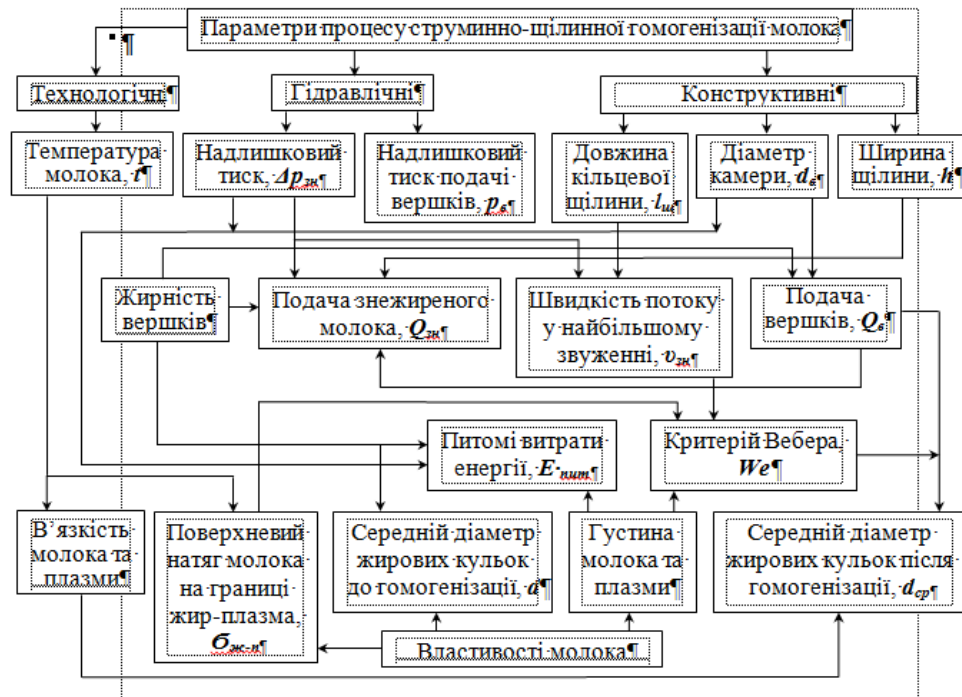


Рисунок 3. Блок-схема взаємозв'язку основних факторів, вихідних параметрів та критеріїв оптимізації в струминно-щілинному гомогенізаторі молока

Наприклад у випадку з СГПРВ ними були швидкості подачі знежиреного молока, вершків, жирність вершків, площа каналів подачі вершків тощо. Після цього здійснювалось обґрунтування діапазону варіювання кожного зі змінних факторів процесу. Наприклад жирність характеризує відсоткову кількість жирової фази в загальному об'ємі вершків. При використанні вершків жирністю нижче за 10% спостерігається суттєве зростання питомих енерговитрат. Це пов'язано з необхідністю подачі жирової фази з більшою швидкістю для забезпечення необхідної жирності нормалізованого продукту. Також не рекомендовано використовувати вершки, жирність яких перевищує 50%. Це пов'язано зі значним зростанням витрат енергії, що необхідні для проведення додаткової гомогенізації при використанні вершків високої жирності.

Отриманих даних досліджень достатньо для здійснення обґрунтування схеми лабораторного зразку гомогенізатору та створення його в металі. Наступним кроком є планування експерименту за рівнями варіювання факторів та обґрунтування вибору засобів контролю параметрів при проведенні експериментальних досліджень. На цьому ж етапі відбувається

обґрунтування методів контролю якості гомогенізації. Обраний метод мікрофотографування дозволяє не тільки визначати середній діаметр жирових кульок, а й оцінити їх розподіл за розмірними групами. Дисперсний склад жирових кульок після гомогенізації визначався за допомогою оптичного мікроскопу Микромед Р-1-LED загальною кратністю збільшення 1500 крат. До нього приєднувалась цифрова камера Mustek Wcam 300 з роздільною здатністю 640x480.

З отриманих при проведенні експериментальних досліджень даних були складені матриці, які оброблялися на персональному комп'ютері за допомогою програм Mathcad та Microsoft Office Excel 2010 за обраною методикою. Розраховувались дисперсії достовірності, однорідність дисперсії за критерієм Кохрена). Перевірку значущості коефіцієнтів отриманих рівнянь регресії проводили за критерієм Стьюдента, а похибку апроксимації дослідних даних—за критерієм Фішера. Рівень значущості приймали рівним 0,05.

Отримані дані заносились до спеціальних таблиць, згідно розмірних класів, де до кожного класу належала група жирових кульок певного розміру. За визначальний розмір класу приймався максимальний розмір жирової кульки даної групи. У полі зору мікроскопа підраховувались кількість жирових кульок та їх діаметр. Шляхом оцінки максимальних коливань діапазону значень результатів дослідів виключалися грубі помилки вимірів. Внаслідок обробки було отримано розподіл розмірів жирових кульок в інтервалі класу за їх кількістю шляхом обробки сукупності одиниць, відібраних для контролю з партії. Обчислення основних параметрів вибірки, виконувалось за допомогою програми Microsoft Office Excel 2010.

Отримані результати можуть бути представлені в вигляді графічних залежностей, що дає змогу визначити раціональні та оптимальні величини параметрів процесу диспергування з точки зору отримання продукту з мінімальними значеннями середнього діаметра жирових кульок СЦГМ (рис.4) або мінімізації питомих витрат енергії.

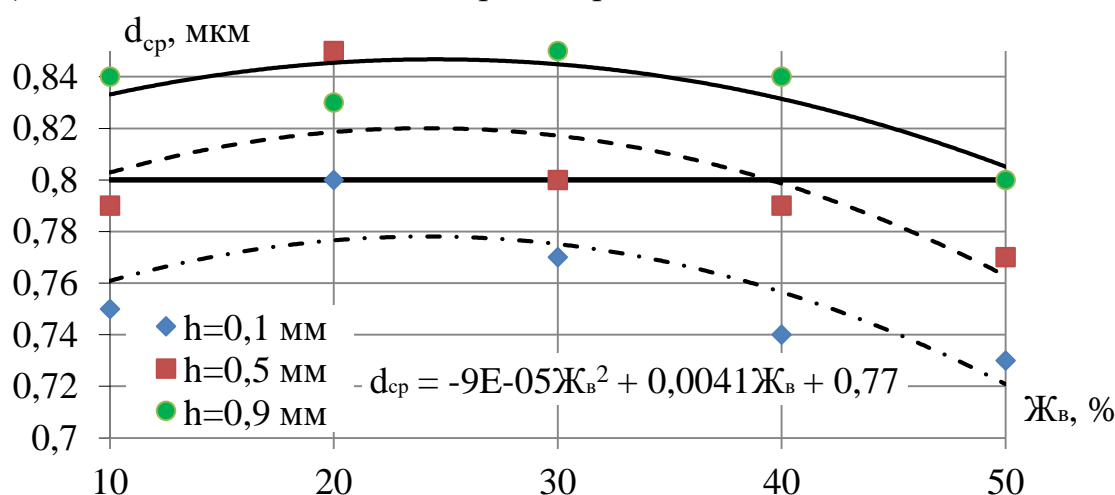


Рисунок 4. Графік залежності середнього діаметра жирових кульок $d_{ср}$ від жирності вершків $Ж_в$, та ширини щілини камери гомогенізації в місці найбільшого звуження h при $Ж_н=3,5$ %, $d_к=3$ мм, $v_{зН}=60$ м/с

Для знайдених раціональних параметрів гомогенізатора, після аналізу мікрофотографій будувалась гістограма розподілу середнього діаметра жирових кульок по розмірних групах, визначалась дисперсія та коефіцієнт варіації, як для СЦГМ (рис.5)

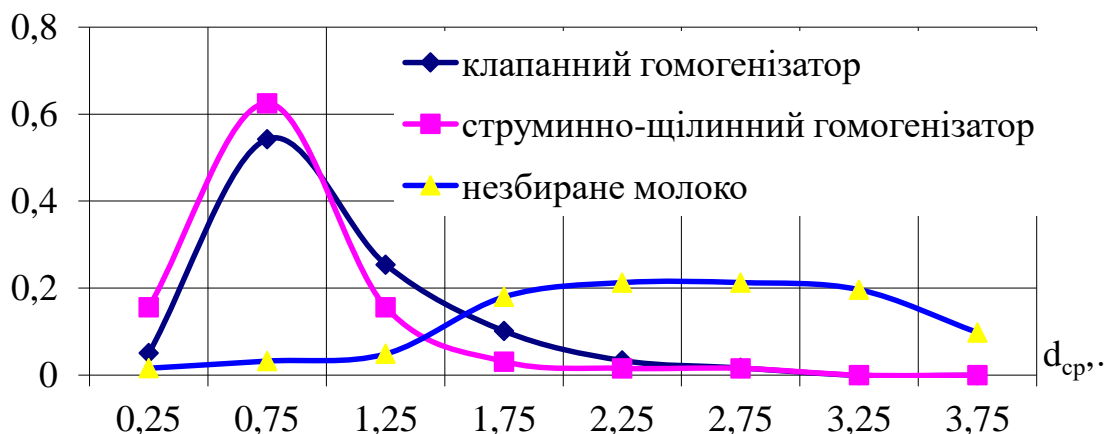


Рисунок 5. Гістограма розподілу середнього діаметру жирових кульок за розмірними групами: *a* – після струминно-щілинної гомогенізації; *б* – після струминної гомогенізації з роздільним подаванням жирової фази; *в* – необробленого молока

Оскільки на етапі аналітичних досліджень для уточнення впливу параметрів каналу подачі вершків у СГПРВ та кільцевої щілини у СЦГМ вводились коефіцієнти, наприкінці експериментальних досліджень проводилось визначення реального значення цих величин. Проведене на основі отриманих емпіричних даних прогнозування, виконане методом екстраполяції експериментальних даних, дозволило знайти уточнене критичне значення критерію Вебера для диспергування молока, яке складає 29. Знайдене значення необхідне для розробки математичних моделей процесу диспергування молочного жиру та дослідження більш ефективних конструкцій гомогенізаторів молока.

Наступним етапом було проведення розробки методики розрахунку параметрів промислового зразку гомогенізатора. В ньому враховуються уточнені значення коефіцієнтів впливу параметрів відповідно каналу подачі вершків для СГПРВ та кільцевої щілини для СЦГМ та критерію Вебера. Вихідними технологічними даними для розрахунку параметрів СГПРВ з використанням нормалізації за жирністю були:

- необхідний середній діаметр жирових кульок молока $d_{ср}$ після гомогенізації;
- загальна продуктивність струминного агрегату, мінімальні значення якої для промислового зразку складають 1000 кг/год, або $2,8 \cdot 10^{-4}$ кг/с;
- жирність знежиреного молока, що для процесів нормалізації знаходиться на рівні 0,05%;
- жирність вершків, що задана технологічними вимогами проведення процесу та згідно результатів аналітичних досліджень для отримання високого ступеню дисперсності має дорівнювати 30–50%.

З вихідних даних послідовно розраховуються середній діаметр жирових кульок після диспергування, необхідна кількість знежиреного молока та вершків для отримання нормалізованої емульсії з заданим відсотком жирності. Визначався діаметр камери в місці найбільшого звуження, діаметр та необхідна кількість каналів подачі вершків, надлишкові тиски та швидкості подачі знежиреного молока та вершків. Після цього обчислювались необхідні потужності приводів насосів подачі знежиреного молока та вершків з врахуванням ККД насосів, редукторів і передач між насосами та обчислювались питомі витрати енергії в діапазоні продуктивності промислових гомогенізаторів 1-10 т/год. Отримані дані зводились до таблиці, загальний вигляд якої для СГПРВ наведено в табл.2

Таблиця 2

Розрахункові дані типорозмірів СГПРВ

Продуктивність, Q_T , т/ГОД	Діаметр камери $d_{кам}$, мм	Діаметр каналу вершків d_v , мм	Кількість каналів N	Потужність насосу вершків, P_v , кВт	Потужність насосу знежир. молока, P_{zn} , кВт	Сумарна потужність, P , кВт	Питоме енергоспоживання, $E_{пит}$ кВт·год/т
1,0	2,2	1,4	2	0,10	0,7	0,8	0,8
2,5	3,6	2,2	2	0,18	1,8	2,0	0,8
5,0	5,0	3,0	2	0,35	3,6	4,0	0,8
10,0	4,4	2,8	2	0,72	7,2	7,9	0,8

Отримані результати дали необхідну інформацію для розробки рішення промислового зразку, обрання необхідних технологічних ємностей, камери гомогенізації, насосів, двигунів, редукторів, з'єднувальної арматури та контрольно-регулюючої апаратури. Розроблені та втілені в металі промислові зразки гомогенізатора проходили випробування та перевірку показників роботи в умовах масложирового комбінату «Південний». Отримані при випробуванні техніко-економічні показники використовувались для оцінки економічної ефективності впровадження результатів досліджень в якості заміни найбільш енерговитратним конструкціям клапанних гомогенізаторів. Обчислення економічної ефективності проводилось за загальноприйнятою методикою з визначенням річного економічного ефекту, ступеню зниження енерговитрат, терміну окупності тощо.

ВИСНОВКИ

Необхідність розробки методології досліджень параметрів струминних гомогенізаторів молока обумовлена відсутністю узагальнюючої інформації, що полегшує проведення досліджень нових типів енергоефективних гомогенізаторів цієї групи. Розроблена структурна схема проведення досліджень структурує послідовність дій, які повинен виконати науковець

для перевірки робочої гіпотези досліджень.

Детальний опис етапів програми аналітичних досліджень та стадій її розробки дозволяє скоротити час, який раніше витрачався на планування етапів проведення досліджень. Надана послідовність розробки та реалізації програми проведення експериментальних досліджень дозволяє скоротити обсяг досліджень до необхідної та достатньої кількості для перевірки адекватності залежностей, отриманих аналітичним шляхом.

Рекомендації відносно розробки методики обчислення параметрів та розробки промислового зразка узагальнюють інформацію, здобуту авторами при проведенні досліджень створених на базі кафедри ОПХВ новітніх конструкцій енергоефективних гомогенізаторів молока. Матеріали статті можуть бути використані при проведенні досліджень перспективних та малодосліджених конструкцій диспергаторів, наприклад струминного гомогенізатора молока з зустрічною подачею вершків.

Дослідження виконано в рамках науково-технічної роботи "Розроблення технології переробки молочних продуктів з використанням нових типів гомогенізаторів", яка фінансується МОН за договором № ДЗ/132 - 2022.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. K. Samoichuk, A. Kovalyov, V. Oleksiienko, N. Palianychka, D. Dmytrevskyi, V. Chervonyi, D. Horielkov, I. Zolotukhina, A. Slashcheva. Determination of fat milk dispersion quality in the jet-slot type milk homogenizer. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. № 5/11 (107). pp 16–24.

2. Дейниченко Г.В., Самойчук К.О., Ковальов О.О., Пацький І.Ю. Дослідження діаметру каналу подавання вершків струминного гомогенізатору молока // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2017. Вип. 17. –Т.1. – С. 195 – 205.

3. Самойчук К.О. Механізми руйнування жирових кульок в струминному гомогенізаторі молока/ К.О. Самойчук, О.О. Ковальов // Наукові праці ОНАХТ: Одеса. – 2016. – Т.80, Вип.1. – С. 103–107.

4. Дейниченко Г.В., Самойчук К.О., Ковальов О.О. Конструкції струминних диспергаторів жирової фази молока // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2016. Вип. 16. –Т.1. – С. 219 – 227. (РИНЦ)

5. Kovalyov A., Samoichuk K., Palyanichka N., Verholantseva V., Yanakov V. Experimental investigations of the parameters of the jet milk homogenizer with separate cream supply// Technology audit and production reserves, Poltava State Agrarian Academy: Poltava. – 2017. №2/3 (34). – P. 33–38.

6. Самойчук К.О. О.О.Ковальов, І. В. Борохов, Н.О. Паляничка Аналітичні дослідження енергетичних показників і параметрів якості струминно-щільового гомогенізатора молока. / Праці ТДАТУ, ТДАТУ імені Дмитра Моторного – Мелітополь: 2019. – Вип19. – Том1.С 3 – 18.

7. Самойчук К.О. О.О.Ковальов, Н.О. Паляничка, О. С. Колодій, М. Р. Лебідь Експериментальні дослідження параметрів струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків щільового типу / Праці

ТДАТУ, ТДАТУ імені Дмитра Моторного – Мелітополь: 2019. – Вип19. – Том2. С 117 – 129.

8. Самойчук К.О. Ковальов О. О., Лубко Д.В. Моделювання параметрів струминного гомогенізатора молока щілинного типу / Праці Таврійського державного агротехнологічного університету, 2018. Вип 18, т. 2. С. 286–294.

9. Самойчук К. О., О. О. Ковальов., О. С. Колодій., І. О. Серий. Оптимізація експериментальних параметрів та визначення експериментального значення критерію Вебера струминно-щілинного гомогенізатора молока/ Праці ТДАТУ, ТДАТУ імені Дмитра Моторного – Мелітополь: 2019. – Вип19. – Том3. С 78-85.

10. Samoichuk, A. Kovalyov, V. Oleksiienko, N. Palianychka, D. Dmytrevskiy, V. Chervonyi, D. Horielkov, I. Zolotukhina, A. Slashcheva. Elaboration of the research method for milk dispersion in the jet slot type homogenizer. EUREKA: Life Sciences». 2020. No. 5. 51–59 pp.

11. Самойчук К. О., Серий І. С., Ковальов О. О. Розробка промислового зразку та оцінка економічної ефективності впровадження струминно-щілинного гомогенізатора молока //Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : наукове фахове видання / ТДАТУ, гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев.- Мелітополь: ТДАТУ, 2020. - Вип. 20, т. 1. с. 15-25.

12. Kiurchev S., Samoichuk K., Kovalyov O., Leshchij R. Method of calculation of an industrial model of jet-slot milk homogenizer. ТЕКА. Quarterly journal of agri-food industry. – 2020, Vol. 19, No. 4, p. 23–30.

13. Леженкін О. М., Самойчук К.О., Ковальов О.О., Паляничка Н.О., Верхоланцева В.О. Визначення шляху змішування та дотичних напружень в струминному гомогенізаторі молока. Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС. 2017. Вип. 5. 129–142 с.

14. Ковальов О. О. Обґрунтування параметрів струминно-щілинного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. ТДАТУ. Мелітополь, 2021. -20 с.

15. Bratishko V, Kovalov O. Economical efficiency of using a dispergator jet-slot type. Проблеми та перспективи розвитку агропромислового комплексу України: матеріали ІІ Всеукраїн. наук.-практ. Інтернет-конференції / ТДАТУ: ред. кол. С. В. Кюрчев, О.В. Пеньов, Е. К. Посвятенко [та ін.]. - Мелітополь: ТДАТУ, 2021. – 113– 115 с.

16. Самойчук К. О., Ковальов О. О. Шляхи підвищення якості диспергування в клапанних гомогенізаторах молока // Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: друга міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 23 листопада 2021 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2021. С. 26-28.

17. Ковальов О. О. Аналіз конструкцій гомогенізаторів молока. Праці ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 20, т. 4. С. 264-272.

18. Ковальов О. О., Самойчук К.О., Паляничка Н.О. Оцінка впливу турбулентних пульсацій та квазістатичного руйнування жирових кульок в струминному гомогенізаторі молока Інтеграційні та інноваційні напрями

розвитку харчової індустрії: Матеріали шостої міжнародної науково-практичної конференції (3-4 листопада 2022 року). Черкаси: ЧДТУ, 2022. С. 100-103.

19. Ковальов О.О., Самойчук К.О., Паляничка Н.О. Зниження енергоємності при використанні роздільного способу диспергування молока. Сучасна інженерія агропромислових і харчових виробництв: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції (24-25 листопада 2022 року). Харків: ДБТУ, 2022. С. 164-165.

20. Palianychka N, Samoichuk K, Kovalyov A. Application of computer simulation for researching the process of milk emulsion dispersion. Інтеграційні та інноваційні напрями розвитку харчової індустрії: Матеріали шостої міжнародної науково-практичної конференції (3-4 листопада 2022 року). Черкаси: ЧДТУ, 2022. С. 110-115.

21. Самойчук К.О., Ковальов О.О. Перспективні шляхи підвищення енергоефективності диспергування. Сучасна інженерія агропромислових і харчових виробництв: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції (24-25 листопада 2022 року). Харків: ДБТУ, 2022. С. 156-157.

22. Самойчук К.О., Ковальов О.О., Паляничка Н.О. Перспективний напрямок зниження енерговитрат диспергування. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі» (01-25 листопада 2022 р.), с.108-111.

23. Tkach V, Kovalov O. Principles of jet-slit homogenizer of milk with separate supply of cream. Проблеми та перспективи розвитку агропромислового комплексу України: матеріали II Всеукраїн. наук.-практ. Інтернет-конференції / ТДАТУ: ред. кол. С. В. Кюрчев, О.В. Пеньов, Е. К. Посвятенко [та ін.]. - Мелітополь: ТДАТУ, 2021. – 125– 127 с.

24. Ковальов О. О. Підвищення засвоюваності коров'ячого молока при годуванні дитини. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали III Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 01-26 листопада 2021 р.) / ТДАТУ: ред. кол. В. М. Кюрчев, В. Т. Надикто, О. Г. Скляр [та ін.]. - Мелітополь: ТДАТУ, 2021. - 391-394 с.

25. Ковальов О. О., Самойчук К. О., Тарасенко В. Г. Процеси, які відбуваються в зоні граничного шару струминно – щілинного гомогенізатора молока // Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: друга міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 23 листопада 2021 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2021. С. 48-51.

26. Самойчук К. О., Ломейко О. П., Ковальов О. О. Визначення розмірних критеріїв гомогенізації жирових кульок молока // Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: друга міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 23 листопада 2021 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2021. С. 117-119.

27. A. Kovalev Determination of the coefficient of the injector-slot milk homogeneity of milk with separate giving of cream // Інноваційні технології в

агропромислового комплексу: матеріали I Всеукраїн. Наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 01-30 вересня 2020 р.) / ТДАТУ: ред. кол. В.М. Кюрчев, В.Т. Надикто. – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – С. 63-65.

28. Samoichuk, K.; Kovalyov, A.; Fuchadzhy, N.; Hutsol, T.; Jurczyk, M.; Rajak, T.; Banaś, M.; Bezalychna, O.; Shevtsova, A. Energy Costs Reduction for Dispersion Using a Jet-Slot Type Milk Homogenizer. *Energies* 2023, 16, 2211.

29. Ковальов О. О., Самойчук К. О., Фучаджи Н.О., Паляничка Н.О. Оцінка перспектив розвитку молочних автоматів і економічної ефективності їх оснащення гомогенізаторами. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання / ТДАТУ, 2022. – Вип. 12, том 3. (12)

30. Ковальов О.О. Самойчук К.О. Паляничка Н.О. Оптимізація форми внутрішніх поверхонь кільцевої щілини струминного гомогенізатора молока. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання /. Запоріжжя: ТДАТУ. – 2022. Вип. 12, том 4.

31. Самойчук К.О., Ковальов О.О. Фучаджи Н.О. Методика розрахунку параметрів промислового зразка струминно-щілинного гомогенізатора молока. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання/. Запоріжжя: ТДАТУ – 2022. Вип. 12, том 4.

32. Паляничка Н. О., Верхоланцева В. О., Червоткіна О. О., Ковальов О. О. Обґрунтування розробки лабораторної установки імпульсного гомогенізатора Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. – Мелітополь: ТДАТУ, 2023. – Вип. 13, том

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ІМПУЛЬСНОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА В ТЕХНОЛОГІЧНІЙ ЛІНІЇ ПЕРЕРОБКИ МОЛОКА

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є процес імпульсної гомогенізації молока.

Предметом дослідження є закономірності впливу технологічних, конструктивних та гідравлічних параметрів імпульсного гомогенізатора на його якісні та енергетичні показники.

Метою дослідження є зниження енергетичних витрат процесу при забезпеченні високої якості гомогенізації молока шляхом обґрунтування ефективності диспергування молочного жиру в імпульсному гомогенізаторі та впровадженню промислового зразка в технологічну лінію переробки молока.

Методи дослідження. Поставлені задачі вирішувались з використанням теоретичного інструментарію, серед якого: класичні залежності гідродинаміки та прикладного програмування AnsysWorkbench, фізико-хімічних методів, методів математичної статистики при використанні мікроскопу з веб-камерою та персонального комп'ютера з використанням табличного процесора Microsoft Excel та програмного забезпечення Mathcad.

Основні результати досліджень: на основі теоретичних досліджень було визначено, що найбільш перспективний тип гомогенізатора – імпульсний, який дозволяє отримати високу ступінь диспергування емульсії, при невисоких енерговитратах на процес. Було розроблено дослідний зразок імпульсного гомогенізатора для промислового використання, який в подальшому пройшов виробничі випробування в технологічній лінії виробництва питного пастеризованого молока. Випробування промислового зразка гомогенізатора у виробничих умовах в лінії виробництва питного пастеризованого молока показали, що використання імпульсного гомогенізатора дозволяють отримати високу ступінь диспергування молочного жиру $N_m = 4...5$ та знизити потужність на привід з 18,5 кВт до 2 кВт.

ДИСПЕРГУВАННЯ ЕМУЛЬСІЙ, ГОМОГЕНІЗАЦІЯ, ІМПУЛЬСНИЙ ГОМОГЕНІЗАТОР, ЯКІСТЬ, ЕНЕРГОЗАТРАТИ, ТЕХНОЛОГІЧНА ЛІНІЯ, ЖИРОВА ЕМУЛЬСІЯ, СТУПІНЬ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ.

ВСТУП

Диспергування жирової емульсії шляхом гомогенізації є одним із найважливіших технологічних процесів в лінії переробки молока та виробництва молочної продукції. Від якості гомогенізації напряму залежать харчова цінність молока та продуктів його переробки, смакові властивості та засвоюваність його організмом людини. Тож до гомогенізаторів, які використовуються на підприємствах висувуються підвищені вимоги щодо якості кінцевого продукту. Окрім якості важливу роль в підборі обладнання відіграє показник питомих затрат енергії на процес. Так склалося, що найбільш розповсюджений тип гомогенізаторів є дуже енергозатратним.

Дана стаття присвячена дослідженню ефективності диспергування жирової емульсії в імпульсному гомогенізаторі та впровадженню промислового зразка в технологічну лінію переробки молока.

Диспергування жирової емульсії шляхом гомогенізації є невід'ємним та одним із найважливіших технологічних процесів в лінії переробки молока та виробництві молочної продукції. Завдяки даній технологічній операції молочний жир, який міститься в молоці, подрібнюється до мікроскопічних розмірів, що в свою чергу значним чином підвищує харчову цінність молока та продуктів його переробки та покращує його сенсорно-смакові властивості. Молоко після гомогенізації значно краще засвоюється організмом людини, набуває більш однорідного кольору, смаку, жирності, зменшується прояв жирової плівки при кип'ятінні та знижуються втрати молочного жиру при транспортуванню під час його переробки на підприємстві.

Тож до технологічного обладнання для гомогенізації пред'являються підвищені вимоги щодо якості кінцевого продукту. В умовах реалій сьогодення при виборі технологічного обладнання для диспергування молочного жиру звертають увагу не лише на якість гомогенізації, а й на питомі енергозатрати на процес, оскільки від цього напряму залежить собівартість готового продукту. Так склалося, що найбільш розповсюдженим типом гомогенізаторів, які на сьогоднішній день поставляються промисловістю є клапанні гомогенізатори. Вони забезпечують високу ступінь гомогенізації молочного жиру, однак при цьому споживають велику кількість електроенергії. Тому пошук та впровадження нових типів обладнання для диспергування молочного жиру в технологічну лінію переробки молока є дуже актуальним питанням.

Методи і програма досліджень

Поставлені задачі реалізовувались з використанням класичних законів гідродинаміки та комп'ютерного моделювання з застосуванням програми Autodesk 3ds Max та універсальної програмної системи кінцево-елементного аналізу AnsysWorkbench.

Експериментальні дані оброблювали за допомогою методів математичної статистики та персонального комп'ютера з використанням табличного процесора Microsoft Excel та програмного забезпечення Mathcad.

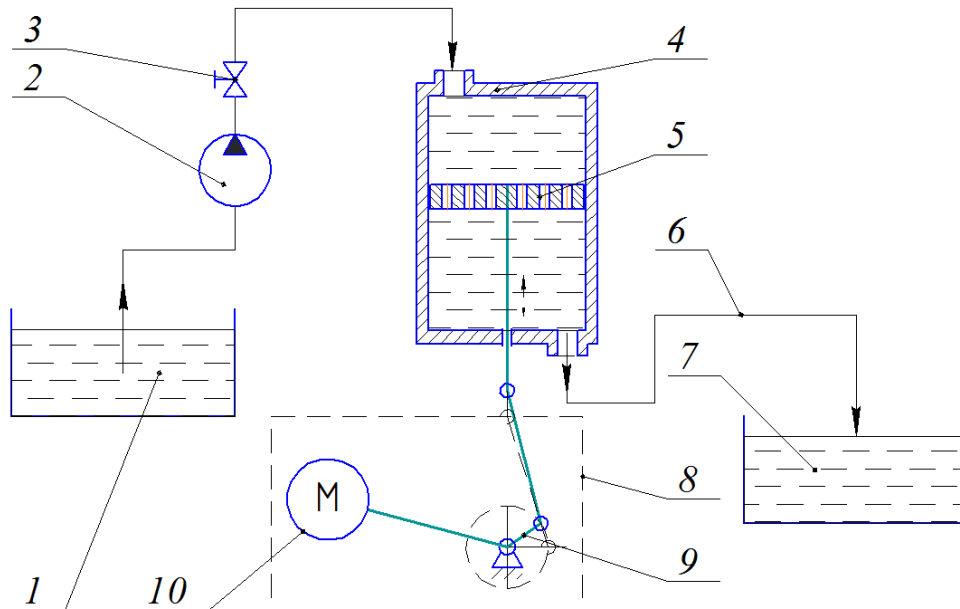
Дослідження проводили в лабораторних умовах за традиційними та розробленими методиками.

Програмою досліджень передбачено:

- комп'ютерне моделювання процесу імпульсної гомогенізації;
- розробка промислового зразка імпульсного гомогенізатора молока;
- проведення експериментальних досліджень ефективності використання імпульсного гомогенізатора молока в технологічній лінії переробки молока;
- визначення витрати енергії на процес гомогенізації молока в імпульсному гомогенізаторі;
- проведення лабораторного дослідження якості готового продукту після використання імпульсного гомогенізатора молока.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проведений аналіз останніх досліджень, дозволив виділити з поміж багатьох апаратів імпульсний гомогенізатор, як найбільш перспективний для отримання високого ступеня гомогенізації молока при низьких затратах енергії. Для проведення подальших досліджень на кафедрі обладнання переробних і харчових виробництв імені професора Ф.Ю. Ялпачика було розроблено експериментальну модель імпульсного гомогенізатора (рис.1).



1, 7 – технологічні ємності відповідно для подачі та збирання молока; 2 – насос; 3 – вентиль; 4 – робоча камера гомогенізатора; 5 – поршень; 6 – трубопроводи; 8 – привід руху робочого органу; 9 – кривошипний механізм з регулятором амплітуди; 10 – електродвигун з електричним регулятором частоти обертання валу.

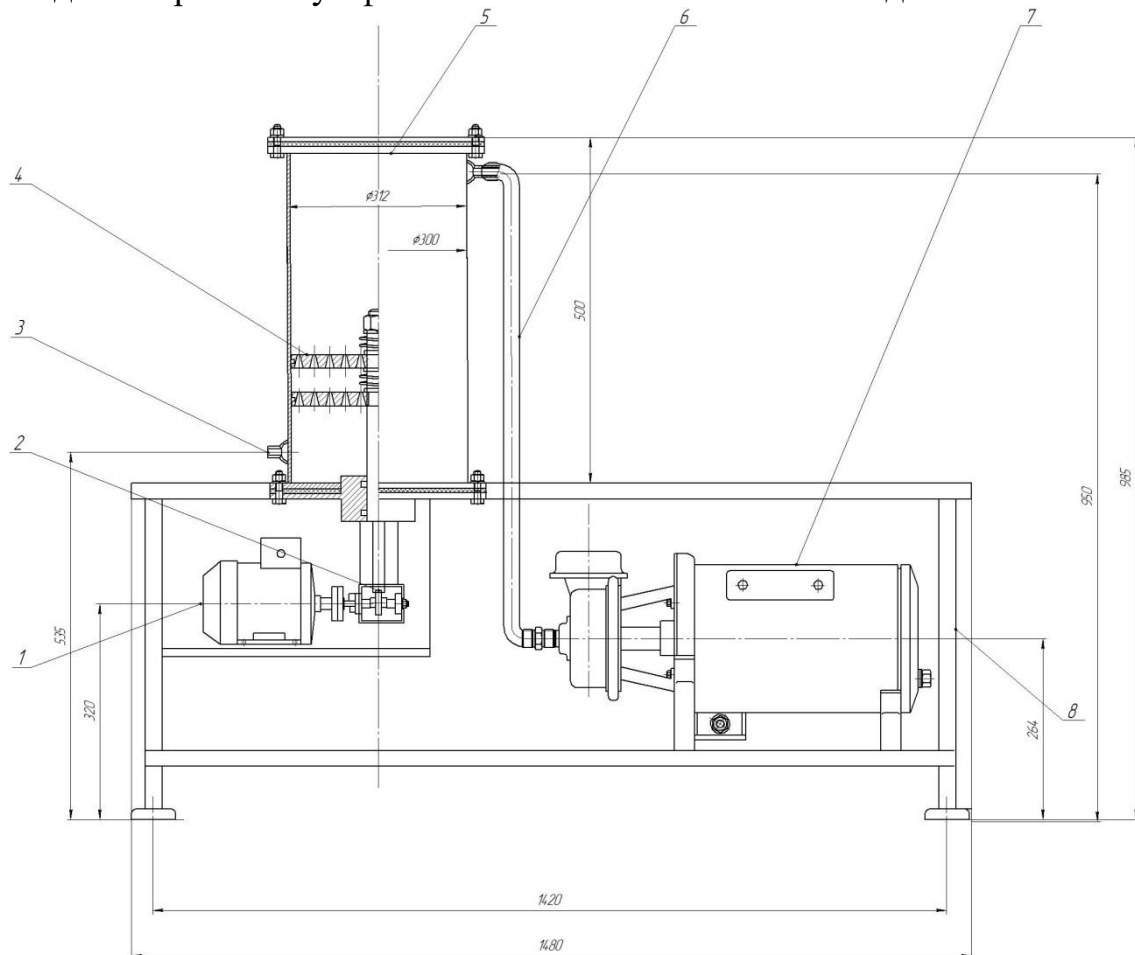
Рисунок 1. Схема експериментальної установки для дослідження імпульсної гомогенізації молока

Пристрій складається з ємностей для подачі молока у гомогенізатор 1 і накопичення обробленого молока 7, насосу подачі молока 2, вентилля 3 і робочої циліндричної прозорої камери імпульсного гомогенізатора 4, всередині якої розташований поршень 5 з отворами. Поршень приводиться в коливальні рухи приводом 8, який складається з електродвигуна 10 з електричним регулятором частоти обертання валу та кривошипного механізму 9 з можливістю регулювання радіусу кривошипу.

Диспергування жирових кульок молока в імпульсному типі гомогенізатора відбувається за рахунок утворення градієнту швидкості потоку емульсії, який виникає завдяки імпульсному колюванню поршня-ударника. Це призводить до подрібнення жирової емульсії молока і при цьому не потребує великих затрат енергії.

В результаті проведеного дослідження було визначено, що ступінь гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі становить $N_m = 4...5$, а

енерговитрати на процес при цьому складають 0,82 Дж/кг, а це в свою чергу свідчить про високу ефективність технологічного обладнання.



- 1 – електродвигун; 2 – кривошип; 3 – робоча камера гомогенізатора;
 4 – шток з поршнями-ударниками; 5 – трубопровід для подачі
 молока в камеру; 6 – ємність для сировини;
 7 – насос; 8 – зварний каркас; 9 – ємність для готового продукту.

Рисунок 2. Промисловий зразок імпульсного гомогенізатора молока

З метою перевірки працездатності запропонованої конструкції імпульсного гомогенізатора в промислових умовах було розроблено дослідний зразок імпульсного гомогенізатора, який в подальшому пройшов виробничі випробування в технологічній лінії виробництва питного пастеризованого молока.

В якості насоса для імпульсного гомогенізатора було запропоновано використовувати відцентровий насос марки ОНЦ 1,5/15 ГОСТ 15150-69. Ці насоси досить універсальні і найчастіше застосовуються саме в молочній промисловості. Даний насос забезпечує подачу молока до 3500 л/год при частоті обертання 3000 об/хв. Кавітаційний запас насоса складає 1,5 м, коефіцієнт корисної дії – 38%.

Варіант конструктивного рішення імпульсного гомогенізатора з насосом ОНЦ 1,5/15 представлений на рисунку 2.

Машина представляє собою зварний каркас 8, в нижній частині якого знаходиться ємність для готового продукту 9, а у верхній частині – робоча камера гомогенізатора 3, ємність для сировини 6, під якою змонтований

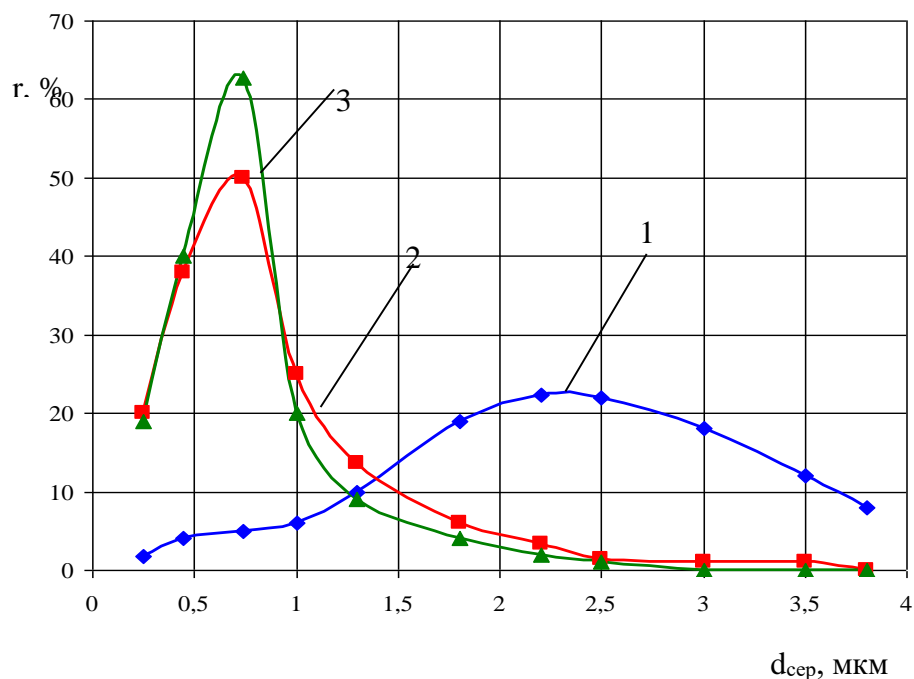
насос 7. Робоча камера являє собою циліндр, в середині якого знаходиться шток з поршнями-ударниками 4, який приводиться в дію кривошипним механізмом 2 і електродвигуном 1.

При проведенні дослідження технологія виробництва питного молока залишилася не змінною, крім режимів роботи імпульсного гомогенізатора. Рациональною температурою молока для імпульсної гомогенізації було встановлено 65...70 °С; частота і амплітуда коливання поршнів-ударників імпульсного гомогенізатора становила відповідно 55...59 Гц та 10...12 мм, а подача молока складала 1800...2000 кг/год.

Випробування показали, що використання імпульсного гомогенізатора дозволило знизити потужність на привід з 18,5 кВт до 2 кВт.

Крім цього було досліджено зміни у фракційному складі жирових кульок за розмірами після гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі в порівнянні з клапанною гомогенізацією, результати яких показані на рисунку 3.

До гомогенізації молоко (жирністю 2,5%) характеризується такими параметрами: середній діаметр жирових кульок $d_{сер} = 2,48$ мкм, дисперсія $\sigma = 1,66$, коефіцієнт варіації (частка розсіювання признаку відносно середнього) $V = 67\%$. Після клапанної гомогенізації і відповідно імпульсної гомогенізації ці показники становлять: $d_{сер} = 0,98$ мкм та 0,80 мкм, $\sigma = 0,50$ та 0,46, $V = 51$ та 56%.



1 – необроблене молоко; 2 – після гомогенізації в клапанному гомогенізаторі при тиску 16 МПа та $t=65$ °С; 3 – після гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі при тиску 1,5 МПа та $t=65$ °С.

Рисунок 3. Диференційні розподілення жирових кульок за розмірами

Середній діаметр жирових кульок при обробці імпульсним гомогенізатором зменшився на 19 % у порівнянні з клапанним, також зменшилося значення дисперсії, що в свою чергу свідчить про те, що використання імпульсного гомогенізатора в технологічній лінії переробки молока забезпечують стабільність жирової фази готового продукту після гомогенізації.

Для перевірки якості готового пастеризованого молока після використання імпульсного гомогенізатора зразки молока були відправлені на незалежну експертизу до випробувальної лабораторії харчової продукції, продовольчої сировини та будівельних матеріалів Мелітопольської філії випробувального центру «ЗАПОРІЖЖЯСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ». Висновок лабораторії свідчить про відповідність питного пастеризованого молока, що пройшло гомогенізацію в імпульсному гомогенізаторі, вимогам ДСТУ 2661-94, які затверджені і введені в дію наказом Держстандарту України № 79 від 02.08.1999 р.

ВИСНОВКИ

Не втрачає своєї актуальності питання дослідження технологічного обладнання для диспергування молочного жиру з метою виявлення найбільш ефективного, яке дозволить отримати високу якість готового продукту при мінімальних затратах енергії на процес та впровадити промисловий зразок в технологічну лінію переробки молока.

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження показали, що перспективним в даному сенсі є імпульсний гомогенізатор молока. В результаті проведеного дослідження було визначено, що ступінь гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі становить $N_m = 4...5$, а енерговитрати на процес при цьому складають 0,82 Дж/кг, а це в свою чергу свідчить про високу ефективність технологічного обладнання.

Випробування промислового зразка гомогенізатора у виробничих умовах в лінії виробництва питного пастеризованого молока показали, що середній діаметр жирових кульок при обробці імпульсним гомогенізатором зменшився на 19 % у порівнянні з клапанним, також зменшилося значення дисперсії, що в свою чергу свідчить про те, що використання імпульсного гомогенізатора в технологічній лінії переробки молока забезпечує стабільність жирової фази готового продукту після гомогенізації.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Deynichenko G., Samoichuk K., Yudina T., Levchenko L., Palianychka N., Verkhohantseva V., Dmytrevskyi D., Chervonyi V. Parameter optimization of milk pulsation homogenizer. Journal of Hygienic Engineering and Design. 2018. Vol. 24. p. 63-67.

2. Samoichuk K. O., Palianychka N. O. Impulse milk homogenisation: Collective monograph. Modern engineering research: topical problems, challenges and modernity. Prague, Czech, Riga : Izdevnieciba "Baltija Publishing", 2020. P. 460–479.

3. Паляничка Н.О., Антонова Г.В. Експериментальні дослідження

впливу основних факторів на ступінь гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі // Праці ТДАТУ. Мелітополь, 2016. Вип. 16. Т.1. С. 21 – 28.

4. Паляничка Н.О. Визначення шляхів зниження енерговитрат процесу гомогенізації молока // Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету. Дніпропетровськ, 2016. Вип. 1(39). С. 53-56.

5. Паляничка Н.О., Петриченко С.В., Антонова Г.В., Левченко Л.В. Визначення основних залежностей ефективності імпульсної гомогенізації молока. // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2017. Вип. 17. Т.1. С. 105 – 112.

6. Паляничка Н.О. Вершков О.О., Антонова Г.В. Аналіз новітніх пристроїв для гомогенізації молока. // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2017. Вип. 17., Т.3. С. 194 – 199.

7. Паламарчук І.П., Вітенько Т.М., Паляничка Н.О., Буденко С.Ф., Вершков О.О. Визначення оптимальної геометричної форми отворів поршня-ударника імпульсного гомогенізатора молока // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2018. Вип. 18, Т.1. С. 147 – 153.

8. Самойчук К.О., Паляничка Н.О., Верхоланцева В.О., Янович В.П. Вібраційні гомогенізатори молока // Вібрації в техніці та технологіях. Вінниця: ВНАУ. №1 (88). 2018. С. 77–82.

9. Паляничка Н.О. Технологічне обладнання для гомогенізації молока // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2019. Вип. 19, Т.1. С. 102 – 109.

10. Самойчук К. О., Паляничка Н. О., Циб В. Г., Антонова Г. В. Використання імпульсного гомогенізатора в молочній промисловості // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2019. Вип. 19, Т.2. С. 12 – 17.

11. Паляничка Н. О. Використання енергоефективного обладнання для диспергування емульсій // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : наукове фахове видання / ТДАТУ, гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев.- Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 20, т. 1. с. 26-34.

12. Паляничка Н.О., Верхоланцева В.О., Ковальов О.О. Визначення якості гомогенізації молока в імпульсному гомогенізаторі / Сучасні наукові дослідження на шляху до євроінтеграції: матеріали міжнародного науково-практичного форуму (21-22 червня 2019р.) Мелітополь: ФОП Однорог Т.В. 2019. Частина 1. с. 99 – 102

13. Паляничка Н.О., Циб В.Г. Визначення швидкості потоку молока в імпульсному гомогенізаторі. Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності : третя міжнародна науково-практична конференція, 4–6 вересня 2019 р . Харків : ХДУХТ, 2019. 63-64 с.

14. Паляничка Н.О., Циб В.Г. Визначення потужності імпульсного гомогенізатора молока // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність». Харків :

ХДУХТ, 2019. Ч. 1. С. 235-236.

15. Самойчук К.О., Паляничка Н.О. Підвищення ефективності діяльності молокопереробних підприємств за рахунок впровадження нових типів гомогенізаторів// Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції «Підвищення ефективності діяльності підприємств харчової та переробної галузей АПК», Київ, 17-18 листопада 2016 р.: Тези доповідей. К.: НУХТ, 2016. С. 210 – 211.

16. Самойчук К.О., Паляничка Н.О., Верхованцева В.О., Левченко Л.В. Перспективи використання вібраційних гомогенізаторів молока // Збірник тез доповідей XVI Міжнародна науково-технічна конференція 26–27 жовтня 2017 р. «Вібрації в техніці та технологіях». Вінниця : ВНТУ. 2017. С. 36–38.

17. Самойчук К.О., Паляничка Н.О. Комп'ютерне моделювання при дослідженні процесу гомогенізації молока/ Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 24 листопада 2020 р. Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 12-14.

18. Паляничка Н.О. Використання енергоефективного обладнання в технологічній лінії питного молока / Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 24 листопада 2020 р. Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 131-132.

19. Паляничка Н.О., Верхованцева В.О. Економічна ефективність від використання імпульсного гомогенізатора молока / Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 24 листопада 2020 р. Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 56-58.

20. Паляничка Н. О. Використання енергоефективного обладнання для диспергування емульсій // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 20, т. 1. с. 26-34.

21. Паляничка Н.О. Визначення продуктивності імпульсного гомогенізатора молока/ Інноваційний розвиток готельно-ресторанного господарства та харчових виробництв : матеріали I Міжнародної наук.-практ. Інтернет конф. Прага: Oktan Print s.r.o., 2020. С. 114-115.

22. Паляничка Н.О., Червоний В.М. Розрахунок основних параметрів промислового зразка імпульсного гомогенізатора // Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність : Міжнародна науково-практична конференція, 14 травня 2020 р. Харків : ХДУХТ, 2020. Ч. 1. С. 219-220.

23. Самойчук К. О., Паляничка Н. О., Верхованцева В. О. Дослідження вискоєфективного обладнання для гомогенізації дрібнодисперсних емульсій з використанням комп'ютерного моделювання // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : наукове фахове видання / ТДАТУ: гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев.- Мелітополь: ТДАТУ, 2021. – Вип. 21, т. 1.- с. 84-92.

24. Самойчук К.О., Кюрчев С.В., Паляничка Н.О., Верхованцева В.О. Впровадження вискоєфективного обладнання для диспергування емульсій в

технологічну лінію переробки молока. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету : електронне наукове фахове видання. 2022. Вип. 12. том 2.

25. Паляничка Н.О., Верхоланцева В.О., Червоткіна О.О., Ковальов О.О. Обґрунтування розробки лабораторної установки імпульсного гомогенізатора. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету : електронне наукове фахове видання. 2022. Вип. 13. том 1 (14).

РОЗДІЛ 3 ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ СТРУМИННОГО ЗМІШУВАННЯ НАПОЇВ

РЕФЕРАТ

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

Предметом дослідження є закономірності впливу технологічних, конструктивних та гідравлічних параметрів роботи струминного змішувача на його якісні та енергетичні показники.

Метою дослідження є зниження енергетичних витрат процесу при забезпеченні високої якості перемішування води та купажного сиропу на основі цукру шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних та гідравлічних параметрів струминного змішувача

Методи досліджень. Поставлені задачі вирішувалися з використанням теоретичних методів дослідження, при проведенні яких були використанні сучасні моделі процесу змішування, руху потоку по змішувачу з урахуванням елементів вищої математики, фізики дискретних середовищ, теоретичної механіки, та математичної статистики. Процес руху потоку рідини в змішувачі вивчали за допомогою програмного комплексу ANSYS з попереднім створенням геометричної моделі камери в програмі Solid Works.

Основні результати досліджень:

1. Створені комп'ютерні моделі процесу протитечійно-струминного змішування рідин у змішувачах.
2. Аналітично визначено залежності продуктивності протитечійно-струминного змішувача рідких компонентів від відстані між соплами форсунок.
3. Встановлена залежність ступеня гомогенізації молока від амплітуди та частоти коливань поршня-ударника імпульсного гомогенізатора та швидкості подачі молока в гомогенізатор та за допомогою програмного забезпечення визначені основні фактори, що впливають на процес диспергування в імпульсному гомогенізаторі.
4. Встановлена залежність між градієнтом швидкості потоку молока та енерговитратами на процес диспергування.

**ЗМІШУВАННЯ, ПРОТИТЕЧІЙНО-СТРУМИННИЙ ЗМІШУВАЧ,
ПАРАМЕТРИ, ВІДСТАНЬ МІЖ ФОРСУНКАМИ.**

ВСТУП

Технологічне призначення перемішування рідин різноманітне. Цей процес застосовують у харчовій промисловості для інтенсифікації хімічних, теплових і масообмінних процесів, а також для приготування емульсій, суспензій та розчинів. При виготовленні безалкогольних напоїв одним з основних процесів є перемішування купажного сиропу або концентрату з підготовленою водою, тобто перемішування рідких компонентів.

Сьогодні безалкогольні напої користуються дуже великим попитом, тому розробка і впровадження у виробництво змішувачів, які забезпечать якісне перемішування рідин при мінімальних витратах енергії і часу є актуальним. Змішувачі повинні бути економічними, надійними, простими у виготовленні та обслуговуванні, мати прості схеми включення в різні установки.

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

В результаті аналізу різних способів 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. Висока надійність струминних апаратів зумовлена відсутністю в них рухомих механізмів. Перемішування здійснюється за рахунок кінетичної енергії потоків рідин. Процес перемішування відбувається у відповідній камері, завдяки турбулентності потоків підведених рідин.

Дослідження струминного змішування рідин є складним процесом, зокрема проблематичним є аналітичне визначення впливу відстані між соплами форсунок на витрату рідини, а значить на продуктивність змішувача. Також визначення впливу відстані між соплами форсунок є важливим для знаходження швидкості струменів у момент зіткнення, адже саме швидкість струменів визначає якість змішування.

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

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.

Теоретичні дослідження проводились з використанням сучасних моделей 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.

Програмою досліджень передбачено:

- 1 – Комп'ютерне моделювання процесу змішування компонентів у струминному змішувачі з протитечієм способом підведення інжектваного компоненту.
- 2 – Комп'ютерне моделювання процесу змішування компонентів у

протитечійно-струминному змішувачі.

3 – Аналітичне визначення залежності продуктивності протитечійно-струминного змішувача рідких компонентів від відстані між соплами форсунок.

4 – Аналітичне визначення залежності якості змішування в протитечійно-струминному змішувачі рідких компонентів від відстані між соплами форсунок.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Струминні змішувачі відрізняються формою камер змішування. Кількістю каналів підводу інжекттованих компонентів та способом підведення інжекттованого компоненту (існують змішувачі з супутним та протитечійним способом підведення).

В ході вивчення цих процесів було визначено що використовуючи протитечійний спосіб підведення виникає додаткове змішування оскільки основний потік з великою швидкістю зустрічається з потоком інжекттованого компоненту.

Струминний змішувач з протитечійним підведенням інжекттованого компоненту

Для визначення ефективності роботи струминного змішувача було розроблено його схему та принцип дії. Проведено моделювання процесу змішування робочого потоку з інжекттованою рідиною. Здійснено дослідження якості процесу змішування робочого і інжекттованого потоків. Для дослідження було обрано протитечійний спосіб підведення інжекттованої рідини.

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

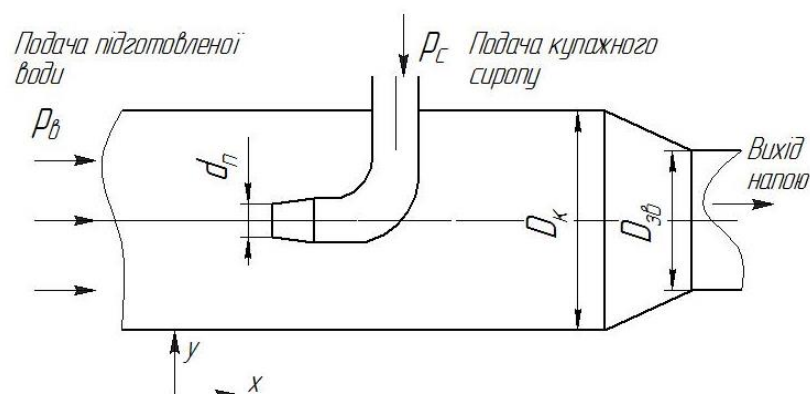


Рисунок. 1 – Схема струминного змішувача з протитечійним способом підведення інжекттованого компоненту.

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

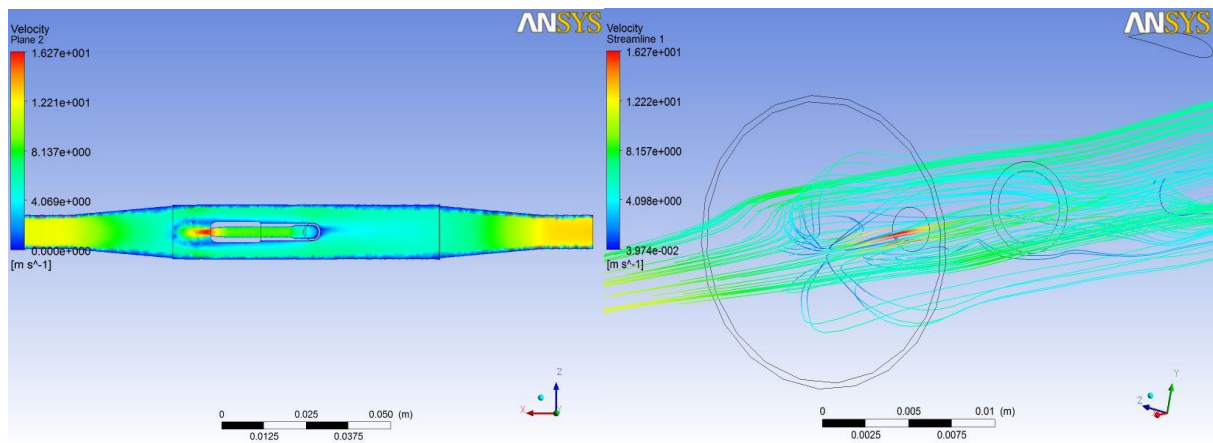
Згідно технологічній інструкції на виробництво безалкогольних напоїв і рецептурі напою «Лимонад» вихідними даними при моделюванні були:

температура підготовленої води (4°C), її щільність ($1\text{г}/\text{см}^3$); температура купаного сиропу (10°C), масова частка сухих речовин в купаному сиропі $53,5\%$, масова частка сухих речовин в готовому напої $12,5\%$. Змішування купажного сиропу з підготовленою водою проводять у співвідношенні $1:5$.

Тиск підготовленої води на вході в камеру змішування $p_в=0,2$ МПа. Діаметр камери змішування $D_к=40$ мм. Тиск подачі купаного сиропу змінювали у межах $p_с=0,2-0,3$ МПа. Діаметр патрубку підведення компоненту d_n приймали рівним $4, 6, 8$ мм.

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

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



а)

б)

Рисунок 2 – Результати моделювання в ANSYS: а) поле швидкостей камери змішування в вертикальній площині, б) подача купаного сиропу.

Відповідно до рисунку 2 швидкість руху рідин у різних зонах робочого об'єму камери змішування не однакова. При тиску купажного сиропу $p_с=0,3$ МПа вона коливається від 2 до $13\text{м}/\text{с}$, при $p_с=0,2$ МПа – $0,5-9$ м/с. Найбільших значень ($9-13$ м/с) швидкість досягає в зоні підводу основного потоку, за ввідним патрубком і на звуженні каналу в кінці камери змішування. При зміні d_n від 4 до 8 мм швидкість потоку збільшується, що призводить до збільшення довжини зони змішування і підвищення якості змішування.

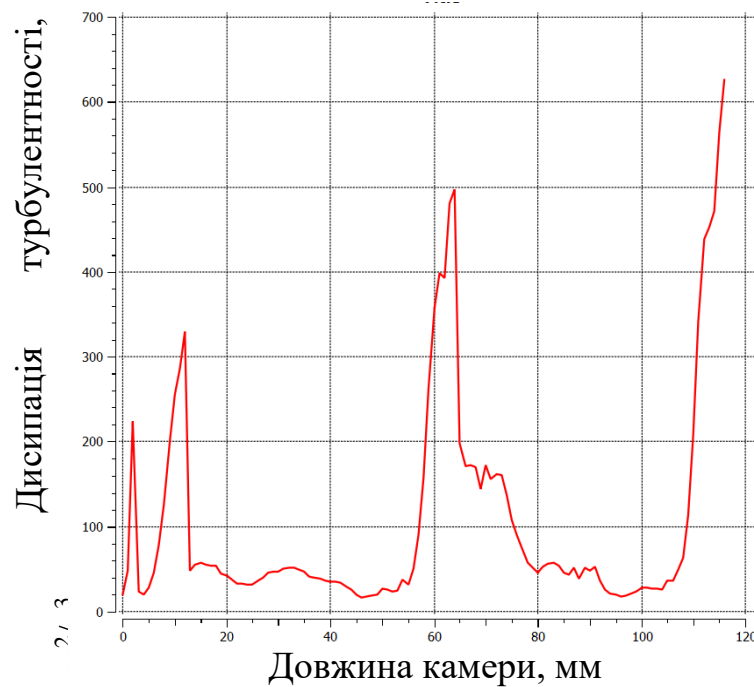


Рисунок 3 – Графік дисипації турбулентності в камері змішування.

Графік дисипації турбулентності в камері змішування має три чітких піки. Ці максимуми (як і найбільші значення швидкостей) припадають на зону підводу (зростання з $20 \text{ м}^2/\text{с}^3$ до $330 \text{ м}^2/\text{с}^3$), за ввідним патрубком ($318 \text{ м}^2/\text{с}^3$ до $500 \text{ м}^2/\text{с}^3$) і на звуження каналу в кінці камери змішування (з $30 \text{ м}^2/\text{с}^3$ до $640 \text{ м}^2/\text{с}^3$). При збільшенні d_n різниця між піками зменшувалась, що призводить до зменшення якості перемішування.

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що перемішування купажного сиропу з водою відбувається у декількох зонах змішувальної камери, а саме в зоні підводу сиропу, за ввідним патрубком (в цій зоні спостерігається розрідження від $0,2 \text{ МПа}$ до $0,1 \text{ МПа}$), а також на звуженні каналу в кінці камери змішування. Всі ефекти перемішування супроводжуються підвищенням тиску в середньому на 50% і зниженням швидкості потоку на $80-85\%$. Це пояснюється там що на цих ділянках зростає кінетична енергія турбулентності і її дисипація. Збільшення тиску та зменшення діаметру патрубка подачі купажного сиропу призводить до підвищення якості змішування.

Протитечійно-струминний змішувач.

Схему розробленої конструкції протитечійно-струминного змішувача представлено на рис. 4. Змішувач складається з двох форсунок 2, встановлених співвісно, корпусів камер вводу підмішуваного компоненту 3 і ежекторів 4. Змішування відбувається в центральній частині камери змішування 1. В результаті проникнення часток одного струменя у зустрічний досягається висока рівномірність розподілу компонентів.

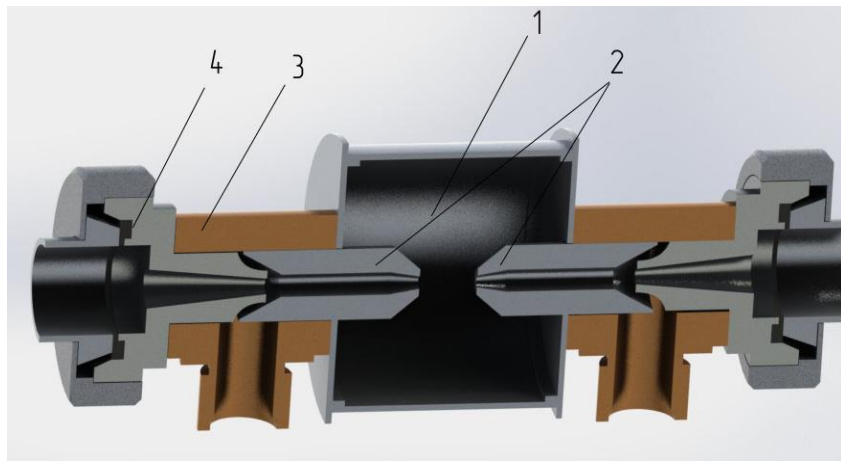


Рисунок 4. Протитечійно-струминний змішувач. 1 – камера змішування; 2 – форсунка; 3 – корпус камери вводу підмішуваного компоненту; 4 – ежектор.

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

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 робочого 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, 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 (рис. 5), з рядом припущень:

- 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;

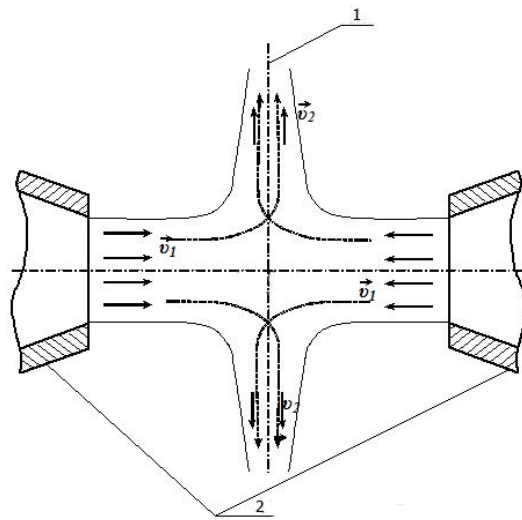


Рисунок 5. Схема зіткнення струменів рідини. 1 – лінія розділу потоків; 2 – сопла форсунок; v_1 – швидкість руху рідини при виході з сопла форсунки; v_2 – швидкість руху потоку рідини після зіткнення струменів.

– 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;

– 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. 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/м³;

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 , м², (на рис. 6 відмічена штриховою лінією) була більше за площу отворів форсунок, тобто $S_2 > 2 \frac{\pi d_c^2}{4}$.

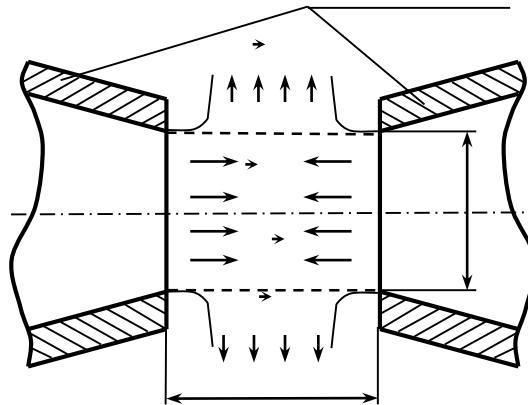


Рисунок 6. Схема визначення мінімальної відстані між соплами форсунок з умови отримання найбільшої продуктивності протитечійно-струминного змішувача.

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

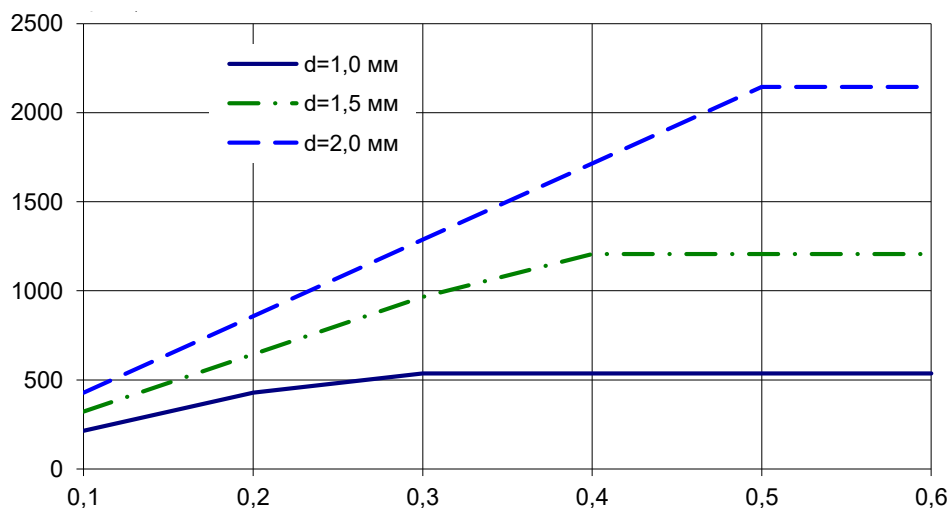


Рисунок 7. Залежність продуктивності від відстані між соплами форсунок

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) (рис. 8 а). При $a < d_c / 2$ швидкість потоку молока до зіткнення v_3 буде менше за v_1 при незмінному значенні надлишкового тиску (рис. 8 б) $v_3 < v_1$.

Остання нерівність витікає з умови нерозривності потоку:

$$\pi d_c a v_1 = 2 \frac{\pi d_c^2}{4} v_3, \text{ тобто } \frac{v_1}{v_3} = \frac{d_c}{2a}. \text{ І при умові } a < d_c / 2 \text{ отримаємо нерівність}$$

$v_3 < v_1$. Остання нерівність витікає з умови нерозривності потоку

$$\pi d_c a v_1 = 2 \frac{\pi d_c^2}{4} v_3, \text{ тобто } \frac{v_1}{v_3} = \frac{d_c}{2a}. \text{ Швидкість струменя перед зіткненням}$$

при $a < d_c / 2$ можна розрахувати як $v_3 = v_1 \frac{2a}{d_c}$.

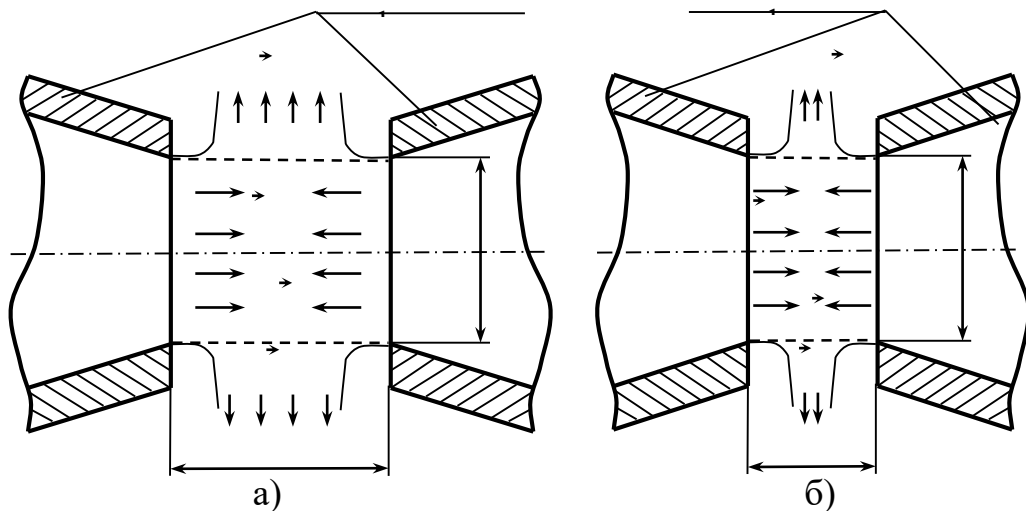


Рисунок 8. Схема зіткнення струменів а) при $a > d / 2$ і б) при $a < d / 2$.

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 1035 кг/м³ (рис. 9).

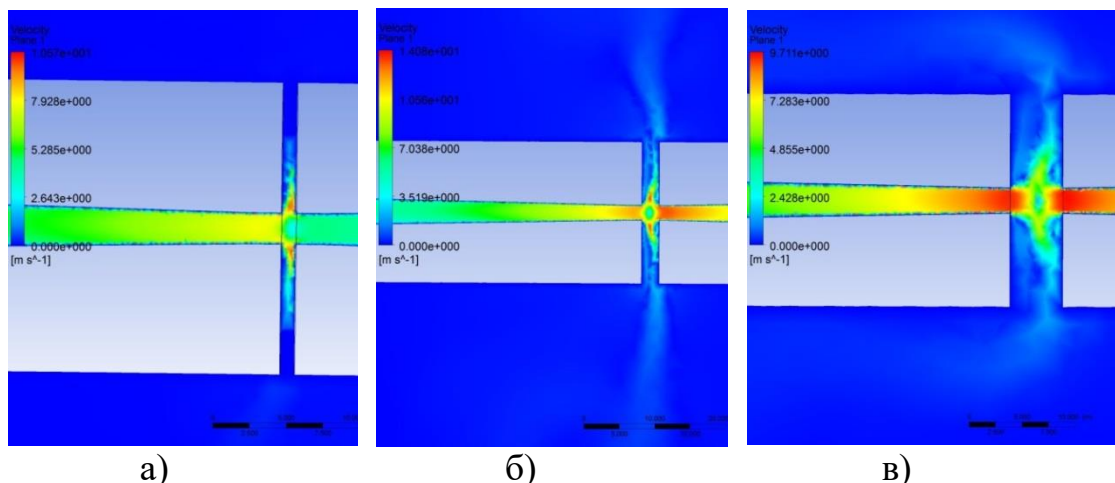


Рисунок 9. Поле швидкостей. а) при відстані між форсунками $a=0,5d_c$;

б) при відстані між форсунками $a=d_c$; в) при відстані між форсунками $a=2d_c$.

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 високого ступеня змішування рідини швидкість у момент зіткнення повинна бути максимальною. Тому максимальна якість змішування досягається при $a=d_c$.

Побудовано поле кінетичної енергії турбулентності для різних значень відстані між соплами форсунок. (рис 10)

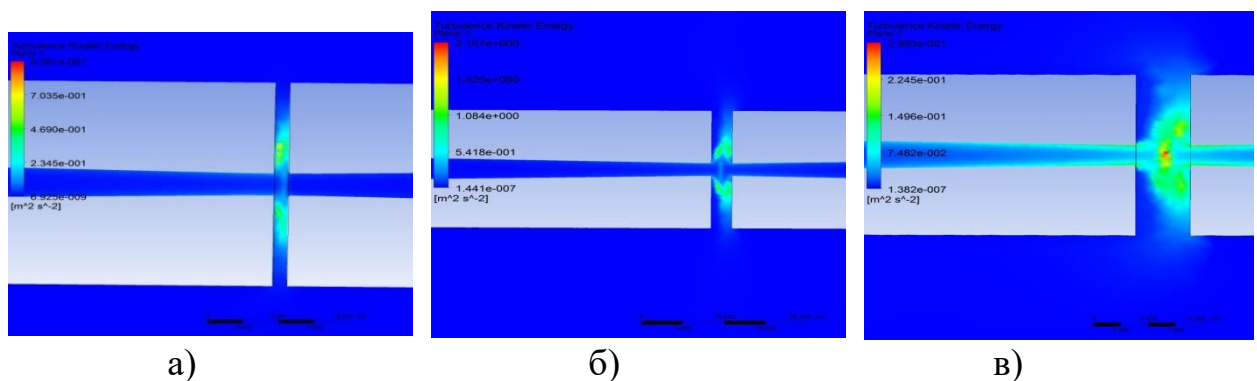


Рисунок 10. Поле кінетичної енергії турбулентності: а) при відстані між форсунками $a=0,5d_c$; б) при при відстані між форсунками $a=d_c$; в) при відстані між форсунками $a=2d_c$.

Для отримання високої якості змішування необхідно домогтися високої рівномірності розподілу енергії по площі зустрічі струменів. Таку характеристику можна отримати, розглядаючи дисипацію кінетичної енергії турбулентності(рис. 11).

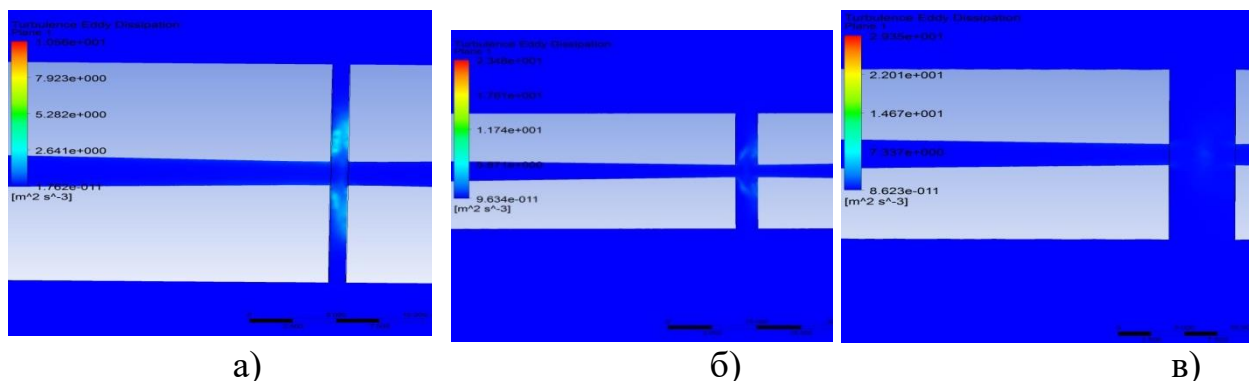


Рисунок 11. Поле дисипації кінетичної енергії турбулентності. а) при відстані між форсунками $a=0,5d_c$; б) при відстані між форсунками $a=d_c$; в) при відстані між форсунками $a=2d_c$.

Максимальна площа зон високої дисипації кінетичної енергії турбулентності спостерігається при $a=0,5d_c$ і при збільшенні відстані ця зона зміщується до центру між форсунками. Збільшення значення дисипації кінетичної енергії турбулентності відбувається при збільшенні a , але розміри цих зон стають мікроскопічними та не охоплюють всю площу змішуваних рідин.

Із збільшенням відстані з'являється і збільшується тороподібна ділянка з низьким тиском (рис.12), величина якого знижується. В цій ділянці могло б здійснюватись доволі ефективно змішування, однак зона розташована не симетрично і лише частина рідини проходить крізь цю зону, тому її впливом на процес змішування можна знехтувати.

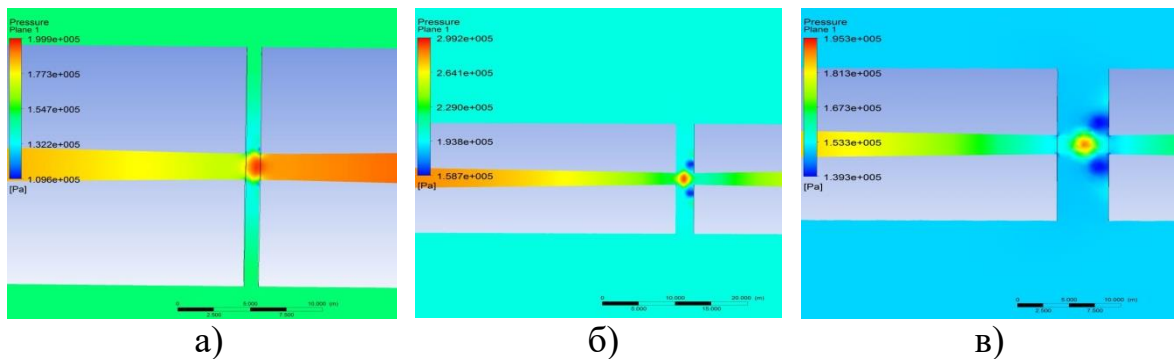
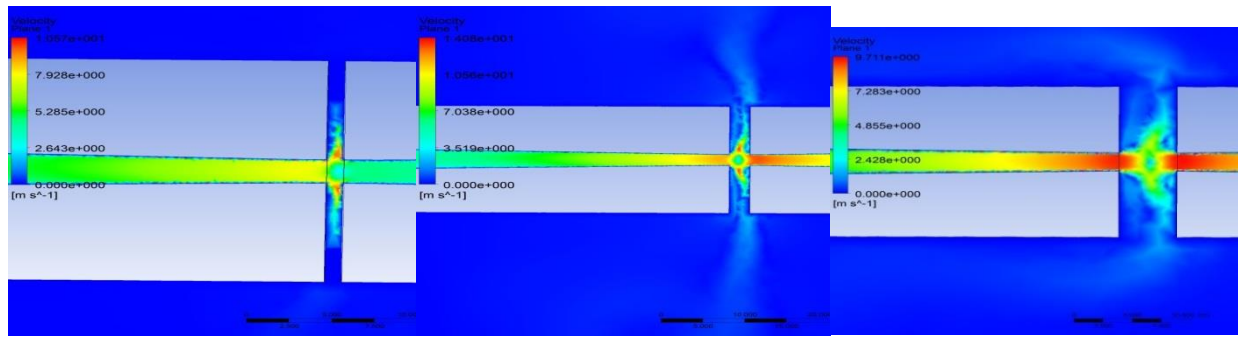


Рисунок 12. Поле давлень а) при расстоянии между форсунками $a=0,5d_c$; б) при расстоянии между форсунками $a=d_c$; в) при расстоянии между форсунками $a=2d_c$.

Зона максимального тиску очікувано знаходиться в центрі між форсунками, причому максимальне значення $3 \cdot 10^5$ Па досягається при $a=d_c$. Ця величина в 1,5 рази перевищує тиск на вході в форсунки. При збільшенні відстані a більше ніж діаметр сопла відбувається зменшення розміру зони високого тиску між форсунками, що свідчить про зменшення турбулентності потоку в зоні зустрічі струменів.

При відстані між форсунками $a=0,5d_c$ найбільшу швидкість потік рідини має після зіткнення струменів (рис.13), яка в 1,3...1,5 рази більше швидкості при виході рідини з форсунки. Максимальна швидкість в даному випадку сягає значення 10 м/с. При відстані між форсунками $a=d_c$ максимальна швидкість однакова в зоні виходу рідини з форсунки та 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 а 1,7...1,9 рази менше швидкості при виході рідини з форсунки та сягає значення 9,5 м/с.



а)

б)

в)

Рисунок 13. Поле швидкостей: а) при відстані між форсунками $a=0,5d_c$; б) при відстані між форсунками $a=d_c$; в) при відстані між форсунками $a=2d_c$.

Таким чином, із збільшенням відстані між форсунками, внаслідок збільшення швидкостей струменів в момент зіткнення, виникає кінетична енергія турбулентності, але її дисипація сягає максимального значення при відстані між форсунками $a=d_c$. Дисипація потужності застосовно до струминного змішування характеризує інтенсивність взаємодії потоків рідини, що призводить до розповсюдження молекул однієї речовини між молекулами іншої. З умови отримання високого ступеня змішування рідких компонентів, окрім високої турбулентності потоків, необхідна рівномірність розподілу кінетичної енергії, повне охоплення змішувачого потоку рідини зустрічним потоком, виключення вторинних завихрень, які тільки частково охоплюють потік. Виходячи з цих умов максимальна якість змішування досягається при $a=d_c$, що підтверджує припущення, висунуте на підставі аналізу математичних залежностей, про те, що виходячи з умов отримання найвищого ступеня змішування та максимальної продуктивності оптимальна відстань соплами форсунок повинна дорівнювати діаметру сопла форсунки.

ВИСНОВКИ

В результаті аналізу результатів комп'ютерного моделювання процесу змішування компонентів у струминному змішувачі з протитечійним способом підведення інжектваного компоненту з'ясовано, що перемішування купажного сиропу з водою відбувається у декількох зонах змішувальної камери, а саме в зоні підводу сиропу, за ввідним патрубком (в цій зоні спостерігається розрідження від 0,2 МПа до 0,1 МПа), а також на звуженні каналу в кінці камери змішування. Всі ефекти перемішування супроводжуються підвищенням тиску в середньому на 50% і зниженням швидкості потоку на 80-85%. Це пояснюється там що на цих ділянках зростає кінетична енергія турбулентності і її дисипація. Збільшення тиску та зменшення діаметру патрубка подачі купажного сиропу призводить до підвищення якості змішування.

В результаті аналітичних досліджень отримана залежність, яка дозволяє визначити мінімальне значення відстані між соплами форсунок для отримання найвищої продуктивності змішувача: $a_{min}=0,5d_c$. На підставі аналізу математичних залежностей і результатів моделювання процесу

струминного змішування у програмному комплексі **ANSYS** було визначено, що максимальна якість змішування досягається при $a=d_c$

Отримані результати можуть бути використані при розробці лабораторної установки для експериментальних досліджень процесу змішування рідин у струминних змішувачах.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Дейниченко Г.В., Самойчук К.О., Полудненко О.В. Визначення оптимальної відстані між соплами форсунок протитечійно-струминного змішувача безалкогольних напоїв Тези Міжнародної науково-практичної конференції «Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність» 19 травня 2016 р. – Харків, ХДУХТ. – 2016. – С. 276–278.

2. Самойчук К.О., Полудненко О.В., Циб В.Г. Аналіз процесу протитечійно-струминного змішування напоїв Праці ТДАТУ. – Мелітополь, ТДАТУ. – Вип. 17. Т.1 – 2017. – С. 178–183.

8. Самойчук К.О., Ялпачик В.Ф., В'юник О.В. Вплив відстані між соплами форсунок на характеристики протитечійно-струминного змішувача напоїв Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : наукове фахове видання. ТДАТУ. - Мелітополь, 2019. - Вип. 19, т. 2 - С. 3-11.

9. Самойчук К.О., В'юник О.В. Удосконалення процесу змішування рідких компонентів при виготовленні солодких безалкогольних напоїв Розвиток харчових виробництв ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність. Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, Харків, ХДУХТ, 2019. С. 249–251

10. Samoichuk K., Viunyk O. Исследование энергосберегающего способа перемешивания жидкостей при переработке сельскохозяйственной продукции. Материалы международной научно-практической конференции «Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве» Минск, БГАТУ, 2019 Ч2. С 63 – 65

12.Самойчук К.О., В'юник О.В., Ломейко О.П., Галько С.В. Теорія та практика використання струминного змішування в сільськогосподарській та харчовій галузях економіки України Праці ТДАТУ. 2020. Вип. 20, том 2. С.55-64.

РОЗДІЛ 4

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ ВАКУУМНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ПЛОДІВ ЧЕРЕШНІ ТА ЇХ КОРОТКОТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є технологічний процес вакуумного охолодження плодів черешні.

Предметом дослідження є теоретичні залежності впливу параметрів та режимів вакуумного охолодження процесу на швидкість охолодження.

Метою дослідження є розробка і обґрунтування режимів охолодження і зберігання плодів черешні, які б забезпечували максимальну швидкість охолодження для подовження термінів короткострокового зберігання плодів з високою якістю, зокрема дослідження впливу тиску на час та рівномірність охолодження плодів черешні.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження з обґрунтування параметрів вакуумного охолоджувача проводилися з використанням положень термодинаміки та методів диференційного та інтегрального числення, а оптимізацію його параметрів за методикою планування екстремального експерименту. Експериментальні дослідження проводилися в лабораторіях ТДАТУ відповідно до прийнятих методик та галузевих стандартів.

Основні результати досліджень:

1. Визначені оптимальні параметри і режими роботи вакуумного охолоджувача при вакуумному охолодженні плодів черешні.
2. Визначено раціональний спосіб зменшення втрати ваги в процесі вакуумного охолодження плодів черешні.
3. Обґрунтовано закономірності швидкості охолодження плодів черешні при вакуумному охолодженні та зберіганні.

ВАКУУМНЕ ОХОЛОДЖЕННЯ, ПЛОДИ ЧЕРЕШНІ, ВАКУУМНИЙ
ОХОЛОДЖУВАЧ, ОПТИМАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ І РЕЖИМИ РОБОТИ,
ТИСК, ШВИДКІСТЬ ОХОЛОДЖЕННЯ, ВТРАТА ВАГИ.

ВСТУП

Розробка та впровадження ефективних та екологічно безпечних технологій переробки та зберігання сільськогосподарської продукції є одним із рішень цих питань. Зниження температури рослинної продукції одразу ж після збирання врожаю сприяє значному розширенню терміну придатності та максимальному збереженню якості сировини, що в свою чергу в рази збільшує споживчий попит населення.

Черешня – одна з найбільш розповсюджених плодових культур на півдні України. Плоди черешні є цінним дієтичним продуктом харчування та джерелом біологічно активних речовин. Але незначні терміни зберігання плодів черешні в свіжому вигляді призводять до значних втрат врожаю і суттєвого зниження харчової цінності продукту. Тобто, існує необхідність знаходження ефективної технології з метою розширення термінів зберігання плодів черешні та інших видів швидкопсувної рослинної продукції, що, в свою чергу, може значно поліпшити стан розвитку сільського господарства України.

Основним завданням попереднього охолодження перед закладкою плодів черешні на короткострокове зберігання є створення умов, за яких втрати маси і поживних речовин були б мінімальними, а якість продукції залишалася б максимально наближеною до якості свіжих плодів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій у світі свідчить, що технологія вакуумного охолодження сільськогосподарської продукції є надзвичайно швидким методом випарного охолодження, висока ефективність якого досягається за рахунок скорочення часу технологічного процесу [1]. Теплота з продукту видаляється завдяки випаровуванню певної кількості води безпосередньо з середини продукту під зниженим тиском. Швидкість та ефективність є головними особливостями вакуумного охолодження, які важко досягнути традиційними методами охолодження. Комбіноване використання метода вакуумного охолодження та холодильного зберігання дозволяє значно розширити термін зберігання швидкопсувної рослинної продукції. [4]

Програмою досліджень передбачено:

1. Розробка методики досліджень
2. Експериментальні випробування вакуумного способу охолодження плодів черешні.
3. Обробка, аналіз одержаних результатів та оформлення звіту.

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводилось у 2023 на базі науково-дослідної лабораторії «Обладнання харчових і переробних виробництв» НДІ агротехнологій та екології Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.

В результаті теоретичних досліджень за комплексом показників були проведені виробничі випробування вакуумного охолодження районованих сортів черешні пізнього строку досягання, а саме Мелітопольська Чорна, Крупноплідна, Удівительна, які внесені в реєстр сортів України.[3] Товарну обробку проводили виділяючи цілі, міцні, чисті не уражені плоди 1 товарного сорту, згідно з вимогами ДСТУ 01.1-37-162:2004. Свіжозібрані плоди черешні доставлялися до вакуумного охолоджувача щоденно зранку. Температура плодів черешні протягом цього часу складала 22-25°C. Зважування плодів перед та після процесу охолодження проводилося за допомогою електронних ваг з точністю $\pm 0,01$ г.

Охолодження плодів черешні проводилося у розробленій установці для вакуумного охолодження рослинної сировини. В даному науково-дослідному експерименті з метою порівняння втрати маси та часу охолодження плодів черешні було застосоване три різних значення вакуумного тиску: 29 кПа, 44 кПа, 59 кПа. Температуру плодів черешні повинно бути знижено з 25°C (температура навколишнього середовища) до 2°C (температура зберігання). Маса плодів черешні, які завантажувалися до вакуумної камери, складала 0,6 кг (по 0,2 кг кожного сорту). Холодильне зберігання було проведене у холодильній камері при температурі 2°C.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Як можна побачити з наведених графіків (рис. 1), час охолодження плодів черешні до необхідної температури зберігання становить 40, 45 та 50 хв відповідно до значення тиску 29, 44 та 59 кПа. Тобто, при значенні вакуумного тиску 29 кПа, швидкість охолодження найменша.

Крім того розподіл температури протягом вакуумного охолодження є однорідним, тобто температура на поверхні та всередині плодів черешні знижується рівномірно. З метою порівняння процесу вакуумного охолодження зі звичайним холодильним охолодженням плоди черешні було закладено до холодильної камери з температурою 2°C. Результати показали, що температура поверхні знижається значно швидше, ніж температура всередині продукту

Загальний час охолодження поверхні складає 80 хв, середині продукту - 198 хв. Тобто, час охолодження плодів черешні при холодильному охолодженні значно більший, ніж при вакуумному охолодженні.

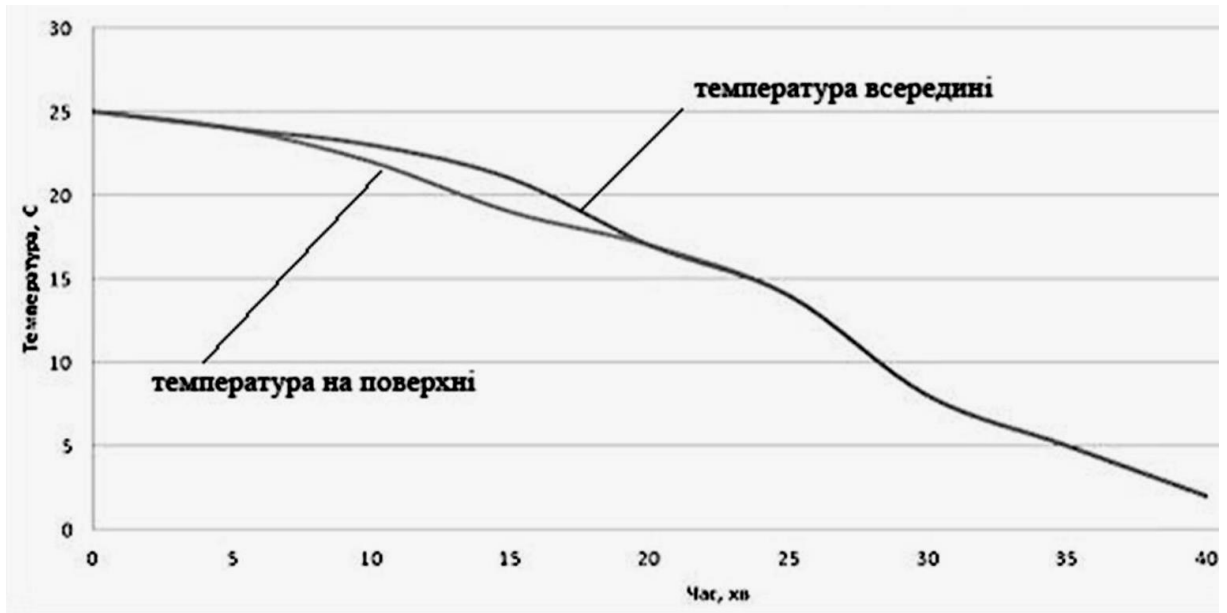


Рис. 1. Швидкість охолодження на поверхні і в середині плодів черешні методом вакуумного охолодження

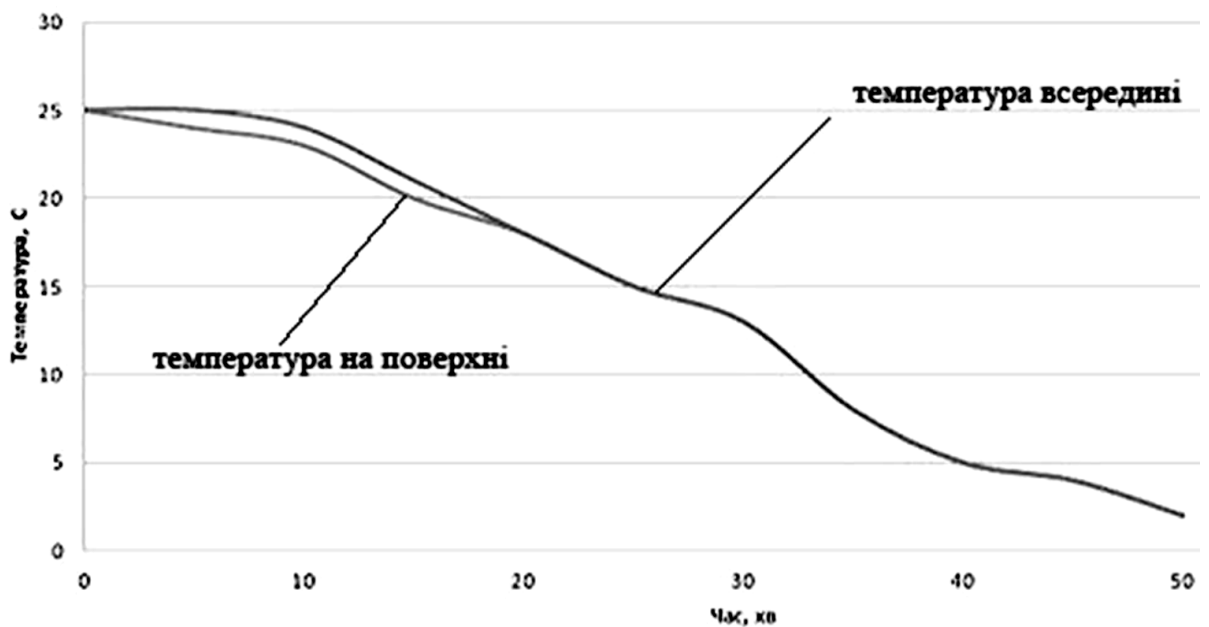


Рис.2. Швидкість охолодження на поверхні і в середині плодів черешні при холодильному охолодженні

Крім того, температура поверхні і центру плодів знижується нерівномірно. Під час процесу вакуумного охолодження відбувається втрата маси, тому що ефект охолодження безпосередньо залежить від кількості вологи, яка випаровується зсередини продукту. [4]

З метою зменшення втрати маси плодів черешні через випаровування води зсередини продукту протягом процесу вакуумного охолодження до вакуумної камери було внесено пластикові лотки з водою. Для порівняння значення втрати маси було проведено вакуумне охолодження плодів черешні як із внесенням вологи, так и без нього. Результати дослідження показано у таблиці 1.

Таблиця 1. Втрата маси плодів черешні протягом процесу вакуумного охолодження при трьох різних тисках

Вакуумний тиск, кПа	29	44	59
Початкова маса, г	200	200	200
Кінцева маса, г (без внесення води)	196,32	196,18	196,12
Втрата маси, % (без внесення води)	1,84	1,91	1,94
Кінцева маса, г (з внесенням води)	198,24	198,14	198,08
Втрата маси, % (з внесенням води)	0,88	0,93	0,96
Час охолодження, с	2400	2700	3000
Кінцева температура охолодження, °С	2	2	2

Як можна побачити з таблиці, відсотковий процент втрати маси плодів черешні при вакуумному охолодженні без внесення вологи досить високий. Він складає 1,84%, 1,91% та 1,94% для тисків 29 кПа, 44кПа та 59 кПа відповідно. Але ми також бачимо, що внесення води дозволило значно зменшити втрату маси до 0,88%, 0,93% та 0,96% відповідно для тисків 29 кПа, 44кПа та 59 кПа.

Тобто, внесення води у лотках дозволяє зменшити втрату маси плодів черешні в процесі вакуумного охолодження на 47,83%, 51,83% та 49,48% для тисків відповідно 29 кПа, 44 кПа та 59 кПа.

ВИСНОВКИ

В даному дослідженні для охолодження плодів черешні були застосовані два методи: вакуумне охолодження та звичайне холодильне охолодження. Результати показали досліджень доказали:

1. Вакуумне охолодження є швидким та ефективним методом у порівнянні зі звичайним холодильним охолодженням.
2. Значення температури протягом її зниження як на поверхні, так і в середині плодів черешні дуже схожі, тобто охолодження продукту проходить рівномірно.
3. Режим вакуумного охолодження при тиску 29 кПа дозволяє охолодити плоди черешні з 25°C до 2°C за 40 хв, що швидше, ніж при тиску 44 кПа (45хв) та 59 кПа (50 хв).
4. Втрати маси при вакуумному охолодженні плодів черешні можна значно знизити внесенням води у вакуумну камеру.
5. Відсоткова втрата маси плодів черешні при внесенні води в лотках до вакуумної камери складає 0,88%, 0,93% та 0,96% відповідно для тисків 29 кПа, 44 кПа та 59 кПа відповідно.
6. Режим вакуумного охолодження при значенні тиску 29 кПа є найоптимальнішим для охолодження плодів черешні.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ТА ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Brosnan, T., & Sun, D.W. Precooling techniques and applications for horticultural products. A re-view - International Journal of Refrigeration. - 2001. – P. 154-170.
2. Cheng Q., Sun, D.W. Factors affecting the water holding capacity of red meat products. A review of recent research advances. Critical reviews in food science and nutrition, 2008. – P. 137 – 159.
3. Jin T. Experimental investigation of the temperature variation in the vacuum chamber during vacu-um cooling. - Journal of food engineering, 2007. - P. 333-339.
4. McDonald K., & Sun D.W. Vacuum cooling technology for the food processing industry: a review. Journal of food engineering, 2000. – P. 55 -65.
5. Ломейко О. П. Теоретичне дослідження технології вакуумного охолодження при зберіганні продукції рослинництва / О. П. Ломейко, Л. В. Єфіменко. //Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2015. – №15. – С. 56–65.
6. Ломейко О. П. Використання методу вакуумного охолодження для попереднього охолодження плодів черешні / О. П. Ломейко, Л. В. Єфіменко. // Актуальні проблеми енергетики та екології. – 2016. – С. 276–279.
7. Туровцев М. І. . Районовані сорти плодових і ягідних культур селекції інституту зрошуваного садівництва / М. І. Туровцев, В. О. Туровцева. – Київ: Аграрна наука, 2002. – 218 с.
8. Lomeiko O., Yefimenko L., Tarasenko V. Vacuum Cooling Technology for Pre-Cooling of Cherry Fruits / Modern Development Paths of Agricultural Production // Trends and Innovations. – 2019. – С. 281-288.

РОЗДІЛ 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ХОЛОДУ ПРИ ЗБЕРІГАННІ ЯГІД

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є процес заморожування ягід.

Предметом дослідження є закономірності впливу технологічних, конструктивних параметрів машини для застосування охолодження.

Метою дослідження є збереження ягід під час використання процесу заморожування із застосуванням сучасних технологій.

Методи дослідження. Розробка конструкції її машини із урахуванням необхідних параметрів при зберіганні ягід..

Основні результати досліджень:

Головним питанням у цьому є довготривале збереження рослинної продукції, яка має певний термін зберігання за звичайних умов. Для цього існують спеціальні холодильні камери, які пристосовані для довготривалого зберігання ягід згідно з міжнародними вимогами та екологічними стандартами. Однією із проблем, з якою стикаються переробники при переробці малини, є зневоднення. Покупці повідомляють, що при заморожуванні рівень зневоднення швидкозамороженої малини коливається від 1% до 5%, а при статичному заморожуванні — від 4% до 10%, що значно перевищує величину втрати ваги. Завдяки морозильній камері з псевдозрідженим шаром переробники малини заощаджують до 10% урожаю та отримують більше прибутку лише за рахунок зневоднення.

Ягоди характеризуються низькою стійкістю до збудників і швидкого старіння тканин, тому визначальним моментом у встановленні режиму попереднього охолодження є швидкість. Швидкість охолодження необхідна для того, щоб швидше уповільнити процеси життєдіяльності, що протікають у ягодах, запобігти розвитку мікроорганізмів у зовнішньому середовищі та зменшити втрати вологи з продуктів. Також, важливим елементом технології попереднього охолодження є допустима тривалість часу між збиранням продукції та початком її охолодження. Для більшості ягід охолодження необхідно проводити у найкоротші терміни після збору. Охолодження безпосередньо після збору сприяє збереженню високого вмісту в плодах вітаміну С, дубильних і барвників. Це призводить до більш тривалого збереження природних смакових якостей плодів, гарного товарного вигляду та забезпечує більший вихід продукції. Попереднє охолодження особливо ефективно для крихких і ніжних ягід, призначених для далеких перевезень, а також при високій температурі зовнішнього повітря в районі зростання плодів, з якою пов'язана їх початкова температура. Остання визначається термінами збирання врожаю.

У період від збирання врожаю до продажу, ягоди зазнають різних змін. У період зростання ягоди накопичують корисні речовини, а при зберіганні їх втрачають. Тому основне завдання при зберіганні ягід – це створити такі умови, за яких втрати поживних речовин були б мінімальними і

якість продукції залишалася б такою ж, як після збирання врожаю. З розвитком культури споживання ягід в Україні та у світі, а також зі збільшенням пропозиції від виробників попит на якісну продукцію зростає. Для підтримки конкурентоспроможності та високої якості продукції виробникам потрібно впроваджувати нові технології у процесі вирощування ягід, так і в процесах післязбиральної доробки. Харчова промисловість постійно шукає ефективні технології контролю мікробної інфекції та можливості зберігання з мінімальним впливом на їх якості, такі як колір, смак та збереження властивостей ягід. Заморожування можна використовувати як метод попередньої обробки, є ще одним способом забезпечення більш тривалої наявності ягід на ринку протягом року.

ХОЛОД, ЯГОДА, ЗБЕРІГАННЯ, ТЕРМІН, ТЕМПЕРАТУРА, ПРОЦЕС, ОБРОБКА, ПРОДУКЦІЯ.

ВСТУП

Для того щоб зберегти ягоди в презентабельному, з погляду споживача, вигляді, необхідно створити оптимальні умови зберігання ягід, за яких припиняться або сильно сповільняться процеси гниття і псування. Тому, щоб створити правильні умови для зберігання ягідної продукції, необхідно застосовувати відповідну технологію. Інакше кажучи, десь можна обійтися просто приміщенням з хорошою професійною вентиляцією, а десь потрібна холодильна камера з регульованою атмосферою і системою мікробіологічного знезараження.

Швидкість охолодження залежить не тільки від часу, температури і контакту з товаром, а також залежить від застосовуваного методу охолодження ягід. Існують різні технології охолодження і мають різні можливості для відведення тепла.

Крім оптимальної температури та вологості повітря, треба враховувати фактор сумісності ягід під час зберігання. Не всі ягоди можна зберігати в одному об'ємі, тому що вони можуть впливати один на одного, виділяючи та поглинаючи речовини та запахи, які можуть вплинути на якість продукції.

Ягідний ринок в нашій країні поки що тільки формується, тому розробка або впровадження дадуть більший вигідний спосіб зберігання. Стаття присвячена питанням дослідження існуючих технологій зберігання ягід.

В Україні вирощуванням ягід здебільшого займаються дрібні фермери. Зараз урожайність ягідних культур в Україні на 7-20% нижча, ніж у Польщі. Пов'язано це з тим, що фермери не інвестують у нові високопродуктивні сорти. Але наша мета, щоб ситуація змінилась. Зараз через високу рентабельність ягідного напрямку, яка може сягати 50%, ним стали цікавитися великі виробники. Завдяки цим дослідженням дозволить визначити раціональні технології зберігання ягід, що забезпечать якісну готову продукцію на ягідному ринку. Вчені прийшли до висновку, що розвиток руйнівного поза- та внутрішньоклітинного кристалоутворення істотно гальмується у процесі заморожування клітин і тканин, а також що воно

відбувається під захистом, що допоможуть модифікації структури рідкої фази і характеру її кристалоутворення.

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Поставлені задачі вирішувались з використанням теоретичного інструментарію.

Програмою досліджень передбачено:

Потрібен системний підхід до вирішення комплексу проблем, пов'язаних з використанням існуючих та створенням нових, набагато ефективніших технологій. Досягнення поставленої мети має відбуватися за рахунок інноваційних технологій, які передбачають впровадження у виробництво новітніх досягнень науково технічного прогресу, що забезпечують різке поліпшення кінцевого результату виробництва. В нашому випадку це застосування холоду при зберіганні ягід.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Після того, як ягода зібрана, в ній тривають процеси життєдіяльності. Щоб уповільнити дихання і виділення тепла, її необхідно якомога швидше охолодити або заморозити.

Зазвичай використовують способи охолодження: повітряне, льодом, вакуумне за допомогою морозильних камер.

Уже охолоджену ягоду фасують у дерев'яні або полімерні ящики, картонні коробки, лотки, кошики.

Охолодження льодом використовують для охолодження та підтримки температури під час транспортування ягід. Тепло від продуктів поглинається льодом, змушуючи його танути. Поки контакт між льодом і плодами зберігається, охолодження відбувається інтенсивно, а лід, що розтанув, служить для підтримки високого рівня вологості в об'ємі, який продовжує зберігати свіжі овочі та фрукти. Нерівномірний розподіл льоду знижує ефективність охолодження.

Існує два типи контактних способи охолодження льодом.:

- поверхні ягід охолодити льодом ;
- пакування ягід у лід.

Охолодження льодом поверхні ягід, передбачає розміщення подрібненого льоду, який можна виробляти за допомогою льодогенератора, над верхнім шаром продукту в контейнері. Хоча це спосіб відносно недорогий, але швидкість охолодження може бути доволі повільною, оскільки лід безпосередньо впливає тільки на верхній шар плоду. З цієї причини, рекомендується, щоб цей метод охолодження льодом овочів і фруктів застосовувався після попереднього охолодження для сільськогосподарських культур з більш низькою швидкістю дихання, але не для плодів врожаю, теплої пори року. При використанні льоду слід проявляти обережність, щоб уникнути блокування вентиляції продукції. Обмеження потоку повітря, що призводить до потепління продукту в центрі

вантажу, під час транспортування ягід. Саме лід має бути підготовлений таким чином, щоб уникнути заморожування продукту.

Тому робимо висновок, що ягода - продукт дуже делікатний з обмеженим терміном життя. Таким чином, щоб зберегти її максимально довго та належного вигляду важливо:

- берегти від механічних пошкоджень. Транспортувати тільки за потреби і в придатній упаковці;
- не складувати разом з іншим типом вантажу;
- для тривалого зберігання завантажувати тільки якісні ягоди;
- температура та вологість повітря мають відповідати вимогам;
- необхідно укласти таким чином, щоб забезпечити хорошу вентиляцію.

Для перевезення та/або тривалого зберігання охолодженої чи замороженої ягоди використовують рефрижераторні контейнери. Це зручно тому що:

- встановлюється і контролюється температура, вологість і вміст CO₂;
- обладнання, щоб було просте у використанні;
- температур в діапазоні від -30 до +25°C;
- контейнер мобільний і може працювати навіть у полі за наявності дизельгенератора.

Таким чином, ми пропонуємо виділити наступні основні ж правила, які використовують при зберіганні і забезпечать отримання якісну продукцію після зберігання :

- для заморозки підходять тільки зрілі свіжі плоди;
- ягоди можна заморожувати розсіпом, після чого скласти порційно в контейнери або пакети для тривалого зберігання;
- заморожувати ягоди разом із цукром або в сиропі;

Перед заморожуванням ягоди потрібно ретельно вимити і просушити. Не допускається повторне заморожування розмороженого продукту. Термін зберігання заморожених ягід можливий не більше року в разі дотримання всіх умов зберігання і підготовки:

Приводимо наступні внутрішні та зовнішні чинники, які впливають на втрату після збирання (рис. 1).

Враховуючи втрати ягід можливо зберегти споживчу якість продукції, яка буде запропонована споживачу.

Важливий факт споживання ягід в Україні не відповідає раціональній нормі харчування, нами пропонуються пропозиції щодо зберігання ягід(рис. 2).



Рис.1. Внутрішні та зовнішні фактори впливу на післязбиральні втрати ягід



Рис. 2 Стратегічні напрями щодо вдосконалення системи зберігання ягід в Україні.

Заморожування ягід традиційними методами, що використовуються в харчовій промисловості, може призвести до значних втрат більшості біологічно активних речовин, особливо під час розморожування ягід. Це є наслідком криогенних пошкоджень рослинних клітин кристалами льоду, що утворюються при заморожуванні, які спричиняють окислення аскорбінової кислоти. Тому вдосконалення існуючих низькотемпературних технологій заморожування переробки ягід з поєднанням холоду з іншими фізико-технологічними факторами, є актуальним для виробників.

Заморожування – один із тих напрямків у ягідному секторі, який зараз розвивається найактивніше. Але цей напрям характеризується великою кількістю так званих контрольних пунктів, які необхідно відслідковувати та перевіряти упродовж усього процесу заморожування ягід. Особливо це стосується органічного ягідництва, яке потребує ще ретельніших перевірок на кожному етапі: починаючи від аналізу ґрунту, де вирощують сировину, та закінчуючи аналізом готової замороженої продукції. Способи заморожування продукції ґрунтуються на передачі теплоти продуктом завдяки явищам теплопровідності, конвекції, радіації та теплообміну при фазових перетвореннях.

Нами вивчалися поведінка ягід на прикладі малини. Було проведено дослідження динаміки величин втрат клітинного соку ягід малини, також було з'ясовано ступінь вологовіддачі ягід малини після дефростації після різних термінів зберігання (рис.3)



Рис. 3 Малина під час застосування холоду а) після застосування б)

Експериментальні дослідження проводились в умовах виробництва з глибокого заморожування ягід в Запорізькій області. Нами запропоновано інноваційний спосіб миттєвого (шокового) заморожування. Через 9 місяців зберігання в ягодах малини було визначено зміни якісних показників: загальний вміст цукрів і органічних кислот, вміст сухих розчинних речовин, кількість вітаміну С. Завдяки заморожуванню одержано сировину з мінімальними втратами маси. [3,6,9]

Факторами, котрі впливають на лежкість ягід, є: біологія сорту, стан стиглості плоду, агротехніка вирощування, погодні умови під час збору та вирощування, швидкість охолодження зібраного врожаю і технологія зберігання.

Основною задачею подальшого проведення експериментальних досліджень є: обґрунтування параметрів та режимів роботи лабораторної установки для зберігання ягід, тому що з кожним роком кількість заморожувальних комплексів для ягід в Україні збільшується. [12] Але водночас стає все більше фермерів, які починають вирощувати малину, а також людей, які збирають дикорослі ягоди та здають їх на заморожування. Відповідно, це все в комплексі спричинило нову проблему для виробників ягід – нестачу потужностей для заморожування та зберігання продукції.

ВИСНОВКИ

Таким чином, слід відмітити, що на сьогоднішній день, ринок ягідної продукції в нашій країні переживає стадію становлення: у бізнесі з вирощування ягід задіяні фермери, агрокомпанії, тому ягідний бізнес, орієнтований на експорт, є високорентабельним, та прогнозується зростання кількості учасників. Основною проблемою з якою стикаються учасників ягідного бізнесу – це якість кінцевого продукту, який би сподобався споживачам. Було проведено дослідження, яке дозволило виділити внутрішні та зовнішні чинники, які впливають на втрату після збирання та наведено пропозиції щодо зберігання ягід. Також, актуальним є вдосконалення існуючих низькотемпературних технологій заморожування переробки ягід з поєднанням холоду з іншими фізико-технологічними факторами.

Для виявлення загальних закономірностей викликають зміну фізико-хімічних, органолептичних властивостей і харчової цінності ягід при низькотемпературної обробки такі дослідження необхідно проводити в комплексі з дослідженнями теплофізичних властивостей ягід в широкому температурном діапазоні до, після, а також в процесі заморожування. Необхідно також проведення досліджень теплофізичних процесів холодильної обробки і зберігання ягід. При високій температурі відбувається прискорений обмін речовин, втрата вологи, вітамінів, органічних речовин, тому плоди швидше перезрівають і псуються. Тому вкрай важливо відразу після збирання якнайшвидше охолодити продукцію, призначену для закладення короткочасного (від кількох днів до 1-2 міс.) або для тривалого (від 2 до 10 міс.) зберігання.

Оптимальним є заморожування, тим більше що саме цей спосіб в нинішній час використовується і в харчовій промисловості, і в закладах ресторанного господарств. Тому тривале та якісне зберігання плодів ягідних культур можливе лише за умови дотримання всіх технологічних процесів, а саме технології вирощування, котра має бути спрямована на виробництво продукції з відповідними показниками якості, які забезпечать добру її лежкість, а також післязбиральної доробки, а саме сортування, пакування, охолодження, та власне самої технології зберігання.

Для розвитку вітчизняного ринку ягідної продукції та збільшення експорту ягід до ЄС, виходу на нові ринки державі доцільно впровадження технології із застосуванням холода.

Дослідження виконано в рамках науково-технічної роботи “Розробка технологій і технічних засобів для переробки і зберігання сільськогосподарської продукції та процесів і обладнання харчових виробництв” №0107U008964.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Verkholantseva V., Kiurchev S. Benefits of using berry storage technologies Збірник тез Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених "Інжиніринг технологій і технічних систем агропромислового комплексу" (1 грудня 2023 р.). Дніпро, 2023. с. 117-119.

2. Кюрчев С. В., Верхованцева В. О., Паляничка Н. О. Ефект

- зберігання ягід після застосування холоду Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання / ТДАТУ, 2023. – Вип. 13, том 1. (10)
3. Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О., Паляничка Н. О. Дослідження холоду при зберіганні ягід Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. Вип. 23, т. 2.
 4. Palianychka Nadiia, Verkholtantseva Valentyna Smart technology for drying fruit and vegetable Збірник тез доповідей XIX Міжнародної наукової конференції «Раціональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2023» (18-19 травня 2023 року). Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2023. с. 197-199.
 5. Довбня А., Верхоланцева В. О. Застосування технології заморожування ягід III Міжнар. наук.-практ. конференції молодих учених "Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі" (Запоріжжя, 30 січня-24 лютого 2023 р.) / с. 220-221
 6. Kiurchev Serhii, Verkholtantseva Valentyna, Palianychka Nadiia Fluidization for freezing berries/ Інтеграційні та інноваційні напрями розвитку харчової індустрії: Матеріали шостої міжнародної науково-практичної конференції (3-4 листопада 2022 року). Черкаси: ЧДТУ, 2022. С. 70-75.
 7. Serhii Kiurchev, Valentyna Verkholtantseva, Oksana Yeremenko, Faten Al-Nadzhar. . Research and changes in berries using technology of freezing during storage / Latvia University of Sciences and Technologies Faculty of Engineering // Jelgava, May 2020. P. 997 -1002 **SCOPUS**.
 8. Kiurchev S., Valentyna V., Kiurcheva L., Hutsol T., Semenyshyna I. Study of changes in currant during fast freezing/ International Scientific and Practical Conference on Environment. Technology. Resources, ETR 2021 Rezekne 17 June 2021 до 18 June 2021 p. 113 – DOI 10.17770/etr2021vol1.6539. **SCOPUS**.
 9. Kiurchev Serhii, Verkholtantseva Valentyna, Palianychka Nadiia/ Elevance of berry storage using cooling/ Сучасна інженерія агропромислових і харчових виробництв: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції (24-25 листопада 2022 року). Харків: ДБТУ, 2022. С. 87-89.
 10. Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О., Паляничка Н. О. Аналіз ефективності застосування технології заморожування плодів і ягід/ Інтеграційні та інноваційні напрями розвитку харчової індустрії: Матеріали шостої міжнародної науково-практичної конференції (3-4 листопада 2022 року). Черкаси: ЧДТУ, 2022. С. 51-56.
 11. Serhii Kiurchev, Valentyna Verkholtantseva, Oksana Yeremenko, Faten Al-Nadzhar. . Research and changes in berries using technology of freezing during storage / Latvia University of Sciences and Technologies Faculty of Engineering // Jelgava, May 2020. P. 997 -1002 **SCOPUS**.
 12. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О., Паляничка Н. О. Застосування процесу флюїдизації для заморожування ягід/ Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання. Мелітополь: ТДАТУ, 2022. Вип. 12, т. 2. с. 165-172.

13. Кюрчев С.В., Верхованцева В.О. Продовольча безпека є запорукою розвитку економіки країни/ Глобалізація та розвиток інноваційних систем: тенденції, виклики, перспективи [Електронне видання]: матеріали І Міжнар. наук.-практ. конф., 3- 4 листопада 2022 р. / Держ. біотехнологічний ун-т. – Харків, 2022. с220-222.

14. Кюрчев С. Перспективний процес зберігання зерна із застосуванням охолодження у зернохосовищі / С. Кюрчев, Л. Кюрчева, В. Верхованцева // Сучасні проблеми землеробської механіки : XVIII Міжнародної наукової конференції присвяченої 117-річниці від дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка, 16-18 жовтня 2017р.: [тези] – м.Кам'янець-Подільський,2017. – С. 141 – 143.

15. Оптимізація технології заморожування плодоовочевої продукції: Монографія / В.Ф.Ялпачик, Н.П. Загорко, С.В. Кюрчев, В.Г. Тарасенко, Л.М. Кюрчева, С.Ф. Буденко, О.В.,Григоренко, М.І. Стручаєв, В.О. Верхованцева. – Мелітополь: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2018. – 198 с. Патент на корисну модель № 134348 Україна, В07В1/28(2006.01). Семіфлюїдизаційний пристрій для швидкого заморожування харчових продуктів. Заявл. 04.01.2019, Опубл. 25.65.2019, Бюл. №12/2019.

16. Кюрчев С. В., Верхованцева В. О., Паляничка Н. О. Ефективність застосування холоду для ягідної продукції // Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: друга міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 23 листопада 2021 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2021. С. 41-43.

17. Кюрчев С. В., Верхованцева В. О. Обґрунтування ефективності використання семіфлюїдизаційного пристрою для швидкого заморожування плодово-ягідної продукції // Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: друга міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 23 листопада 2021 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2021. С. 9-11.

18. Верхованцева В. О. Перспективи застосування холодильної технології // Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: друга міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 23 листопада 2021 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2021. С. 67-68.

19. Malkina Vira, Kiurchev Serhii, Verkholantseva Valentyna, Dubik Viktor Multicollinearity in the regression analysis of the wheat gluten indicator during its storage / Latvia University of Sciences and Technologies Faculty of Engineering // Jelgava, May 2020. P. 985 -990 **SCOPUS**.

20. Кюрчев С. В., Верхованцева В. О., Кюрчева Л. М., Самойчук К. О. Використання технології заморожування ягід // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : наукове фахове видання / ТДАТУ ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев.- Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – Вип. 20, т. 2. с. 115-123.

РОЗДІЛ 6

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження дослідження системи охолодження при виготовленні паливних брикетів.

Предметом дослідження являються технологічні, конструктивні параметри системи контролю температури на обладнанні для виготовлення паливних брикетів з рослинної сировини.

Метою дослідження є аналіз процесу виготовлення паливних брикетів з рослинної сировини та виготовлення і задіяння органів обладнаних системою охолодження робочих органів.

Методи досліджень. Поставлені задачі вирішувались з використанням теоретичних методів та практичних методів дослідження процесу виготовлення паливних брикетів з рослинної сировини.

Основні результати досліджень:

1. Проведено аналіз роботи існуючого відомого шнекового обладнання.
2. Встановлено залежність роботи різного обладнання від походження сировини та температури робочих органів.
3. Розроблено прес з здатністю контролю температури камер та пристрою остаточного формування брикету, та отримано патенти на корисну модель та на винахід.

СИРОВИНА, СИСТЕМА ОХОЛОДЖЕННЯ, БРИКЕТУВАННЯ, ПРЕС, ТЕМПЕРАТУРА, ЩІЛЬНІСТЬ.

ВСТУП

На сьогоднішній день при постійному здороженню енергоносіїв, виготовлення паливних брикетів є дуже перспективне направлення, яке стрімко розвивається в багатьох країнах. Так як Україна є аграрною країною з досить непогано розвинутим сільським господарством та вирощує в великих обсягах такі рослини як соняшник, соя, рапс, льон та коріандр що гарно підходять для виготовлення паливних брикетів, так як мають вміст олій, який забезпечує високу тепловіддачу при згоранні. Найбільш підходять для переробки даної сировини шнекові прес – екструдери, так як їх конструкція дає можливість з регульованим відсотком, віджимати технічні олії під час виготовлення брикету та забезпечувати доволі гарні показники по якості готової продукції.

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводилися протягом 2021-2023 рр. на базі кафедри ОПХВ імені професора Ф. Ю. Ялпачика Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.

Метою роботи є експериментальне підтвердження досліджень.

Програмою досліджень передбачено:

1. Удосконалення конструкції пресового обладнання для виготовлення паливних брикетів.
2. Визначення оптимальних критеріїв температур робочих органів пресу та розширення спектру сировини рослинного походження.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Процес виготовлення паливних брикетів з рослинної сировини, складається з:

- провіювання сировини з розділенням її на фракції;
- дозована подача в пресуючу камеру де відбувається стискання та розтирання сировини, що приводить до нагрівання;
- подача в камеру дожиму, де вона піддається додатковому стисненню;
- стиск та транспортування дожимним шнеком в формуючу матрицю та остаточне формування брикету.

При цьому з сировини відтискається певний відсоток технічної олії, від кількості якої в брикеті залежить якість продукції та її екологічні показники. В більшості випадків, при виготовленні паливних брикетів в літній період та при роботі з пересушеною сировиною з невеликим вмістом олій, більшість виробників стикаються з проблемою перегріву пресового обладнання, що в свою чергу призводить до погіршення якості як паливних брикетів так і технічних олій. При цьому зменшується ресурс самого пресового обладнання та збільшуються витрати на обслуговування обладнання. На сьогоднішній день в світі існує безліч технологій та конструкцій пресового обладнання здатного працювати з різними видами сировини окремо. Але практично відсутнє обладнання, яке б могло працювати з широким спектром оліємісткої сировини, здатного поєднати всі процеси в одному пресі та забезпечити гарну якість як паливних брикетів так і технічних олій. Для пресування даного типу сировини найбільше підходять преса екструдерного типу. Відмінністю даного типу пресового обладнання від інших є те, що вони гарно себе зарекомендували при роботі з оліємісткими культурами, та легко дообладнується додатковим пристроєм кінцевого формування з системою відбору технічних олій та з системою охолодження. Все частіше використовуються преса як одно- та і багатошнекові. Дане пресове обладнання все більше набирає популярності завдяки невеликій собівартості та низьким витратам на обслуговування. Конструкція даного пресового обладнання дозволяє легко переобладнувати його під різні види сировини, та включає в себе заміну шнеків, камер та формуючих пристроїв.

На даний час головною метою при розробці нового пресового обладнання є розробка та виготовлення найбільш універсального преса, здатного працювати з різними типами оліємісткої сировини й при цьому забезпечувати стабільну регульовану температуру обладнання та сировини на всіх етапах формування брикету при мінімальних затратах електроенергії. Обладнання повинно забезпечити регульований віджим технічних олій забезпечивши високу які брикету. На сьогоднішній день існує безліч видів та

пропозицій удосконалення шнекового пресового обладнання. Деякі з пропозиції, передбачають модернізацію або заміну окремих частин обладнання, а деякі – додавання цілих агрегатів. При стрімкому розвитку галузі до обладнання постійно підвищуються вимоги, так як зростає конкуренція. Шнекове обладнання постійно вдосконалюють, а також вдосконалюється і сам технологічний процес шляхом одночасної дії різних фізико–механічних факторів впливу на сировину.

Більшість наукових досліджень з напрямку виготовлення паливних брикетів з рослинної оліємісткої сировини, зосереджені на аналіз та вивчення процесів які відбуваються під час підготовки та пресування її з технологічними особливостями самого пресового обладнання різного типу. В основу більшості досліджень покладено завдання удосконалення відомого обладнання та розробка нового більш досконалого. Напрямок – виготовлення паливних брикетів з відходів рослинництва є дуже перспективним, так як має постійний потенціал поповнення сировиною, та відноситься до відновлюваних джерел енергії і не несе забруднення навколишньому середовищу. На сьогоднішній день напрямок швидко розвивається, а тому, потребує постійного розвитку та удосконалення обладнання, яке використовується в галузі. Найбільш перспективним на сьогоднішній день є використання оліємісткої сировини, так як їх в нашій країні велика кількість. До них відносять відходи соняшника, сої, льону, коріандру. При цьому останнім часом дослідженню пресуванню рослинних матеріалів вчені приділяють все більше уваги. Процес утворення паливних брикетів з окремих частинок оліємісткої сировини розглядається вченими як зближення їх до початку прояву сил механічної взаємодії. При цьому досить значущу частину тут займають фракції частинок та їхнє взаємне переплетення з подальшим їх з'єднанням даних під дією сил міжмолекулярного зчеплення. Зближення частинок супроводжується подоланням сировиною сил пружності просторових структур матеріалу, руйнуванням скелета сировини, видаленням газової складової, адгезійними та іншими явищами. Все частіше дослідження опираються на досвід виробників та операторів пресового обладнання, який направляють на вдосконалення та розробку більш інноваційного пресового обладнання здатного поєднувати в собі все більше операцій, при цьому знижувати собівартість готової продукції.

Хоча шнекове обладнання задіяне в різних сферах вже багато років, але в напрямку виготовлення паливних брикетів з оліємісткої сировини існує недостатня кількість розробок, спроможних працювати з широким спектром оліємісткої сировини та забезпечувати стабільну роботу, при цьому поєднувати всі потрібні характеристики в одному пресі.

Якість готової продукції при виготовленні паливних брикетів з оліємістких відходів має велику залежність від багатьох факторів: вологість, температура, однорідність сировини. Сировина таких рослин як соняшник, льон, соя, рапс повинна мати вологість в межах від 5 до 12%. У разі перевищення в значній мірі зазначених вимог по вологості, паливний брикет розпадається на довільні шматки через виділення вологи, що виходить у вигляді пари з брикету, та погано відділяються технічні олії. Температура в

формуючій камері повинна бути від 60 до 80°C. При виході за цей діапазон різко падають показники якості так як починається пароутворення, що призводить до збільшення навантаження на пресове обладнання, та зменшує ресурс самого обладнання.

При процесі формування паливних брикетів з оліємісткої сировини потрібно приділити велику увагу часу перебування сировини в формуючому пристрої. При збільшенні часу обробки сировина формується більш якісно, при цьому найкраще зарекомендував себе багатосекційний пристрій остаточного формування, який дає змогу відрегулювати потрібний тиск та час при формуванні сировини в паливний брикет та відділити потрібну кількість технічних олій на потрібному нам етапі формування.

З аналізу літератури, патентів та наукових праць, можна виділити те, що для підвищення якості при виготовлення паливних брикетів з сировини, яка містить певний відсоток залишкової олії, часто в лінію включають додатково маслопрес для відділення олії а потім вже знежирену сировину подають на брикетування. Це в свою чергу значно здорожує собівартість лінії по виготовленню брикетів та збільшує витрати електричної енергії, а відповідно, і кінцева вартість виробу на такому обладнанні буде сильно завищеною.

Для визначення сучасного напрямку розвитку та вдосконалення відомих конструкцій робочих органів і вузлів шнекового обладнання було здійснено аналіз сучасних наукових праць та патентів, спираючись на досвід операторів пресового обладнання. Метою даної роботи було розробити власну більш інноваційну розробку пресового обладнання, здатну працювати з всіма видами оліємісткої сировини та поєднати всі процеси по виготовленню готової продукції, без втрати якості в одному пресі, при цьому зберегти низькі витрати на обслуговування.

Всі експериментальні дослідження проводились на шнековому прес-екструдері для виготовлення паливних брикетів. Прес обладаний системою контролю температури робочих органів. Даний універсальний прес-екструдер здатний працювати з оліємісткою сировиною та забезпечувати при виготовленні брикетів одночасний контрольований віджим технічної олії. Всі експериментальні дослідження проводились в умовах максимальної завантаженості обладнання. При виконанні дослідів досліджувалася система контролю температури та її взаємодія з пристроєм остаточного формування брикету та її вплив на якість готової продукції та витрати електроенергії. При експериментальних дослідах в якості сировини використовували відходи соняшника з однорідною структурою та вмістом зернової частини не менше 20%, вологість якої складала 9%. За умов температури навколишнього середовища від +25 до +35°C. Під час експерименту сировина подавалася в прес рівномірним, постійним потоком за допомогою дозатора, а саме обладнання заздалегідь було виведене на робочий режим роботи.

Основна технічна характеристика серійного прес-екструдера який використовувався при дослідженнях приведена в таблиці 1.

Всі досліди проводилися в декілька етапів. Перший етап включав в себе виведення пресового обладнання на робочий режим, та налаштування всіх робочих органів. Під час другого етапу дослідів вивчалася залежність якості паливних брикетів та технічної олії від температури в камері дожиму та

температури всіх секцій пристрою остаточного формування паливного брикету, та виходу на максимальний показник по відбору технічної олії з паливного брикету. Було поставлено завдання дослідити розроблені камеру дожиму з системою охолодження та пристрій остаточного формування з системою охолодження, які одразу повинні були вирішити частину проблем з якими стикаються виробники паливних брикетів з оліємісткої сировини.

Таблиця 1

Технічна характеристика прес-екструдера для виготовлення паливних брикетів.

Показник	Величина
Продуктивність (по відходах соняшника), кг/год	120-150
Встановлена потужність, кВт	до 7,5
Споживана потужність, кВт/т	55
Потужність електродвигуна, кВт	11
Температура нагріву корпусів (залежно від сировини), °С	Від 60...80
Частота обертання валів, об/хв	70-85
Об'єм охолоджуючої рідини, л.	25
Потужність насоса для прокачки охолоджуючої рідини, кВт.	0,15

Розроблений прес-екструдер для виготовлення паливних брикетів з оліємісткої сировини працює таким чином. Сировина, за допомогою дозатора, рівномірним потоком подається в завантажувальний бункер 3, який розташований на загрузочній камері преса 1, при цьому сировина захоплюється шнеком 20. В рух який приводить привод 19 та вал приводу 2. Під час обертання шнеків сировина переміщується в зазорі між витками шнека і стінками пресуючої камери 21, щоб сировина не оберталася на витках шнеку а переміщалася та стискалася камера обладнана змінними направляючими ребрами 24. При цьому сировина розтирається та стискається, завдяки чому відбувається її нагрів, та через конічні отвори 22 які заходять в пресуючій камері 21 частково починає виділяється рідка фракція сировини – технічна олія. Тиск з яким шнек діє на сировину регулюється за допомогою зміни зазору між торцевою поверхнею пресуючого шнека 20, що значно розширює можливості даного пресового обладнання, та вхідною частиною дожимної камери 6, яка за допомогою накидної гайки має можливість осьового зсуву та фіксується фіксатором 4 який не дає камері переміщуватися в процесі роботи. Потім вже підготовлена сировина під великим тиском протискається через зазор між торцевою поверхнею пресуючого шнека 20 і вхідною частиною стінки дожимної камери 6 що забезпечує додаткове стискання сировини, проходячи між витками дожимного шнека 5 і дожимної камери 6 без провертання, що забезпечується ребрами 28. Щільність сировини стає граничною що сприяє зростанню температури. Для того щоб температура не перевищувала граничну використовується охолоджувальний пристрій 7, який знижує

температуру в зоні дожимання сировини та формування брикету. Він потрібний для унеможливлення пароутворення в середині брикету, що значно поліпшує якість готового виробу. Тиск на виході з дожимної камери можливо змінювати в залежності від сировини, за допомогою матриці 8, осьовим переміщенням за рукоятку 27 за рахунок різьбового з'єднання 25. В процесі проходження матриці сировина набуває форми матриці та подається в пристрій пристрій остаточного формування 9, який представляє собою трубу 23, просовуючись через кожну секцію труб 11, 15, 17. При проходженні кожної нової секції зростає ступінь ущільнення брикетів, а рідка фракція сировини виділяється через зазори між секціями труб. Секції труб (а отже і брикети) охолоджуються за допомогою проходження охолоджуючої рідини через системи охолодження секцій труб 12, 16, 18.

Конструкція робочих органів зображено на (рис. 1).

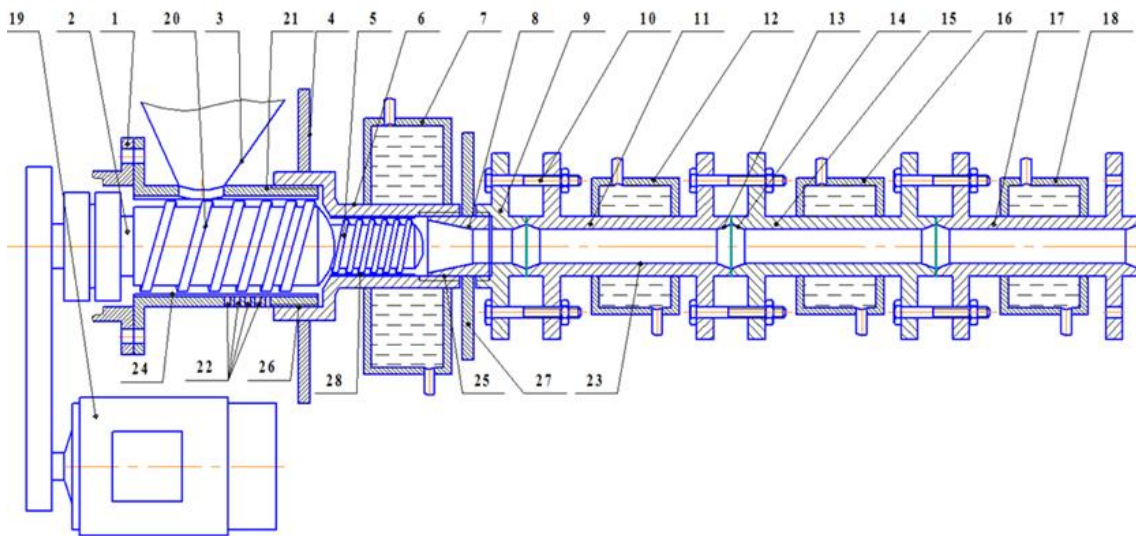


Рис. 1. Схема шнекового прес-екструдера для отримання паливних брикетів з пристроєм остаточного формування: 1 – підшипниковий вузол; 2 – вал приводу; 3 – бункер; 4 – фіксатор; 5, 20 – шнек; 6 – камера дожиму; 7, 12, 16, 18 – сорочка охолодження; 8 – матриця; 9 – пристрій остаточного формування; 10 – болт; 11, 15, 17 – секції труб; 13, 14 – масло згінні фаски; 19 – електродвигун; 21 – пресуюча камера; 22 – отвори для відводу масла; 23 – труба; 24, 28 внутрішні ребра; 25, 26 – різьбове з'єднання; 27 – рукоятка.

Під час проведення дослідів температуру робочих органів пресового обладнання вимірювали інфрачервоним пірометром GM320. Силу струму на кожній з фаз заміряли кліщами струмовимірювальними UNI-T UT-204. Заміри проводилися як з задіяною системою охолодження так і без. За допомогою системи охолодження плавно змінювали температурні показники на камері дожиму та на пристрої остаточного формування брикету, при цьому робили заміри виходу технічних олій, продуктивності по брикету та сили струму яку використовує обладнання. Температуру охолодження регулювали за рахунок зміни потоку охолоджуючої рідини через робочі органи та радіатор охолоджувач.

Конструкція робочих органів з системою охолодження зображено на (рис. 2).



Рис. 2. Фрагмент робочих органів, до складу якого увійшли розроблені камера дожиму та орган остаточного формування брикету з системою контролю температури та відбору технічних олій;

Для підвищення точності, всі заміри робилися на завчасно прогрітому пресі та повторювалися по 5 разів та бралось середнє значення величин. Час для всіх замірів складав 30 хв. Готова продукція збиралася в окремі ємкості а потім проходила зважування на електронних вагах. Для дослідів в якості сировини використовували відходи провіювання соняшника. Під час дослідів було задіяно сім секцій пристрою остаточного формування, з яких три секції були обладнані системою охолодження. Вся система охолодження побудована таким чином, що частини пресу, які піддаються найбільшому нагріву, тобто камера дожиму та перші три секції пристрою остаточного формування, завдяки системі охолодження, мають однакову регульовану температуру, так як мають послідовне з'єднання вхідних та вихідних патрубків. Вся система охолоджується за допомогою прокачки охолоджуючої рідини через радіатор з вентилятором. Довжина пристрою остаточного формування становила 1,67м.

З дослідів ми бачимо що при занадто низькій температурі робочих органів пресу різко зменшується відділення технічних олій та збільшується навантаження на електродвигун. А при високих температурах відбувається пароутворення та закипання олій . З даних занесених в (табл. 2). ми бачимо що оптимальною температурою при роботі з відходами соняшника є температура від 65 до 80°C.

Вихід олії вираховували на основі рівняння:

$$V_o = \frac{m_m}{m_o} \cdot 100, \quad (1)$$

де V_o - вихід олії, %;

m_o – маса віджатої олії, кг;
 m_m – маса паливних брикетів, кг

Таблиця 2

Кількісні показники

Температура робочих органів °С	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Кількість технічної олії при виготовленні 100кг. брикету, кг	1,9	3,2	4,1	4,5	4,9	5,1	5,2	5,6	5,2
Сила струму на фазу А	20,0	18,5	17,9	17,4	17,0	16,6	16,5	16,0	16,5

З отриманих даних ми бачимо, що основними технологічними і конструктивними параметрами які мають великий вплив на ефективну роботу прес-екструдера для виготовлення паливних брикетів з оліємісткої сировини, є величини: температури нагріву робочої зони, зазору в матриці, часу перебування сировини в пристрої остаточного формування та частоти обертання шнеку. З метою отримання найбільшого результату були проведені поетапні дослідження при різних значеннях цих величинах.

ВИСНОВКИ

На підставі досліджень фізико-механічних і теплофізичних властивостей відходів соняшнику можна зробити такий висновок. Відносна вологість для виготовлення паливних брикетів з одночасним відтисканням технічних олій є 5 - 12 % а температура пресування 65...80°C є оптимальною. З аналізу принципів дії та конструкцій відомого пресового обладнання та його роботи з різними видами сировини розширили пізнання технічних особливостей різних видів шнекового обладнання. Розробили своє нове пресове обладнання та провели експериментальні дослідження, якими підтвердили що температура робочих органів на пряму впливає на якість готової продукції та на вихід олії з оліємістких відходів, та витрат електричної енергії. Експериментальним шляхом підтверджено що при правильно підбраному температурному режиму робочих органів та при поетапному відборі олії за допомогою пристрої остаточного формування можливо працювати з сировинами з високим вмістом олій та отримувати високоякісний брикет та технічні олії. Розроблене обладнання має на увазі направлення на регіони де вирощують в великих об'ємах такі культури як соняшник, льон, рапс, сою. Дане обладнання забезпечує стабільну роботу та гарну якість готової продукції не залежно від температури навколишнього середовища, та дає можливість отримати додатковий дохід від технічних

олій. З отриманих результатів досліджень ми бачимо обладнання показало доволі гарний результат та має сенс на впровадження в серійне виробництво.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Самойчук К. О., Самохвал В. А. Розробка міні-лінії для виготовлення паливних брикетів // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : наукове фахове видання / ТДАТУ: гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев.- Мелітополь: ТДАТУ, 2021. – Вип. 21, т. 1.- с.152-159.

2. Самойчук К. О., Самохвал В. А. Обладнання для виготовлення паливних брикетів та їх недоліки // Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: друга міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 23 листопада 2021 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2021. С. 34-35

3. Самойчук К.О., Самохвал В.А. Перспективи використання біопалива з рослинної сировини. Матеріали шостої міжнародної науково-практичної конференції «Інтеграційні та інноваційні напрями розвитку харчової індустрії» (3-4 листопада 2022 р). — вид. ФОП Гордієнко Є.І., Черкаси, 2022 С. 158 -161.

4. Samoichuk K. O., Samohval V. A. Equipment for production of solid biofuel from vegetable raw materials. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасна інженерія агропромислових і хачових виробництв» (24-25 листопада 2022 р.) – Харків, 2022. – С

5. Самойчук К.О., Самохвал В.А. Характеристики використання брикетування в переробній промисловості / Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 24 листопада 2020 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 182-184.

6. Самойчук К. О., Самохвал В. А. Теплотворна здатність палива для переробних виробництв // Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: друга міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 23 листопада 2021 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2021. С. 58-60.

7. Патент. 147538, Україна, МПК (2021.01) Шнековий прес-екструдер для отримання брикетів / Самохвал В.А.: заявник і патентовласник Самохвал Віталій Анатолійович – u 202007250: заявл. 13.11.2020: опубл. 19.05.2021, Бюл.№ 20

8. Патент а 202007249 Україна, МПК (2006): В30В.11/00,В30В 9/00,В27N 5/00 Шнековий прес-екструдер для отримання брикетів / Самохвал В.А.: заявник і патентовласник Самохвал Віталій Анатолійович – u 202007249: заявл. 13.11.2020: опубл. 18.05.2022, Бюл. №20

9. Самойчук К.О., Самохвал В.А. Перспективи використання біопалива з рослинної сировини. Матеріали шостої міжнародної науково-практичної конференції «Інтеграційні та інноваційні напрями розвитку

харчової індустрії» (3-4 листопада 2022 р). — вид. ФОП Гордієнко Є.І., Черкаси, 2022 С. 158 -161.

10. Samoichuk K. O., Samohval V. A. Equipment for production of solid biofuel from vegetable raw materials. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасна інженерія агропромислових і хачових виробництв» (24-25 листопада 2022 р.) Харків, 2022. С. 150-152. (ТЕЗИ)

11 Самохвал В.А., Самойчук К. О. Виготовлення паливних брикетів на пресі екструдерного типу. III Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі» (24 лютого 2023). ТДАТУ, 2023. 11. http://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/samohval_23.pdf

12. Самойчук К. О., Самохвал В.А. Підвищення ефективності виробництва паливних брикетів з оліємістких сировин в шнекових прес-екструдерах. Збірник тез доповідей XIX Міжнародної наукової конференції «Раціональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2023» (18-19 травня 2023 року). Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2023. С. 56-59. (ТЕЗИ)

13. Самохвал В. А., Самойчук К. О. Дослідження ефективності роботи обладнання для інтенсифікації відтискання технічних олій в гвинтових прес-екструдерах для виготовлення паливних брикетів. Вип. 13. Т.1. 16. DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1 -16

14. Самохвал В. А., Самойчук К. О., Червоткіна О.О. Дослідження ефективності роботи системи охолодження при інтенсифікації відтискання технічних олій в гвинтових прес-екструдерах для виготовлення паливних брикетів. // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : наукове фахове видання / ТДАТУ: гол. ред. д.т.н., проф. В. М.Кюрчев.- Мелітополь: ТДАТУ, 2023. – Вип. 23, т. 2.- с.33-45.

15. Червоткіна О.О., Фучаджи Н.О., Паляничка Н.О., Самохвал В.А. Вплив різних параметрів на процес гранулювання рослинної сировини та якість гранул. // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : наукове фахове видання / ТДАТУ: гол. ред. д.т.н., проф. В. М.Кюрчев.- Мелітополь: ТДАТУ, 2023. – Вип. 23, т. 2.- с.103-123.

16. Самохвал В.А., Самойчук К.О., Дослідження роботи пристрою остаточного формування брикету з здатністю відбору олій при виготовленні паливних брикетів на гвинтових прес-екструдерах. (прийнято на публікацію)

РОЗДІЛ 7

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛУЩИЛЬНОГО ПРИСТОЮ УДАРНОЇ ДІЇ

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є процес лушення власнокруп'яних культур ударом.

Предметом дослідження являються закономірності впливу технологічних та кінематичних параметрів процесу лушення власнокруп'яних культур прямим ударом на його якісні показники.

Метою дослідження є аналіз процесу лушення власнокруп'яних культур на лущильному пристрої ударної дії.

Методи досліджень. Поставлені задачі вирішувались з використанням теоретичних методів дослідження і експериментальним шляхом в лабораторних умовах за традиційними та розробленими методиками.

Основні результати досліджень: знайдено та експериментально підтверджено відповідність отриманої залежності для визначення оптимальної кількості струн лущильного пристрою ударної дії. При аналізі процесу лушення було проаналізовано не лише коефіцієнт ефективності лушення, а й його складники окремо. Це було зумовлено тим, що узагальнена оцінка процесу не дає змоги оцінити окремий вплив технологічної та технічної ефективності. В результаті експериментальних досліджень лише при одноразовому пропусканні гречки були отримані наступні показники: коефіцієнт цілісності ядра в межах 69,8 - 71,2%, коефіцієнт лушення – 49,6 – 50, 0 %, ефективність лушення – 32 – 35 %. Отримані результати відповідають, показнику частоти обертання струн, що становить 15,8-16,9 об/с.

КІЛЬКІСТЬ СТРУН, КОЕФІЦІЄНТ ЦІЛІСНОСТІ ЯДРА, КОЕФІЦІЄНТ ЛУЩЕННЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ ЛУЩЕННЯ, ЛУЩИЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ УДАРНОЇ ДІЇ.

ВСТУП

Резервом подальшого розвитку сільськогосподарського виробництва, укріплення та економічного становлення індивідуальних і колективних фермерських господарств є впровадження повного циклу операцій від зрощування сировини до виробництва готової продукції. Розширення функціональних можливостей аграрного комплексу шляхом організації переробних підприємств та цехів потребує розробки малогабаритного, високоефективного технологічного обладнання.

Проблема вдосконалення лущильного обладнання і створення комплексних технологічних ліній малої потужності набуває для України великого народногосподарського значення та актуальності, оскільки сучасні способи й технологічні засоби відокремлення оболонки зерна у сільськогосподарському виробництві є недостатньо ефективними і потребують подальшого дослідження та вдосконалення. Проведено

дослідження роботи луцильного пристрою ударної дії, конструкція якого дозволяє вилучити операцію попереднього сортування на фракції та скоротити кількість пропусків гречки.

Проведені теоретичні дослідження дозволили визначити закономірність між фізико-механічними характеристиками гречки та критичною лінійною швидкістю удару, необхідною для руйнування оболонки, що дозволить визначити частоту обертання струни при якій відбуватиметься руйнування оболонки при збереженні цілісності ядра.

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводилися на базі кафедри ОПХВ імені професора Ф. Ю. Ялпачика Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.

Метою експериментальних досліджень є перевірка справедливості теоретичних досліджень, конкретизація математичного опису взаємозв'язку технологічної ефективності з технологічними показниками роботи. Ефективність процесу луцення – критерій значення і характер зміни якого можна визначити лише експериментальним шляхом.

Програмою досліджень передбачено:

1. встановлення залежності між технологічною ефективністю процесу луцення власнокруп'яних культур ударом та його технологічними параметрами;
2. порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних результатів.

Для досліджень ефективності луцення було виготовлено луцильний пристрій ударної дії зі зміною частотою обертання, подачею та кількістю струн. На рис 1 показано зовнішній вигляд пристрою. Луцильний пристрій ударної дії складається з наступних основних функціональних блоків: живильного вузлу, луцильної камери та приводу.

Функціональна схема луцильного пристрою ударної дії показана на рис.1.

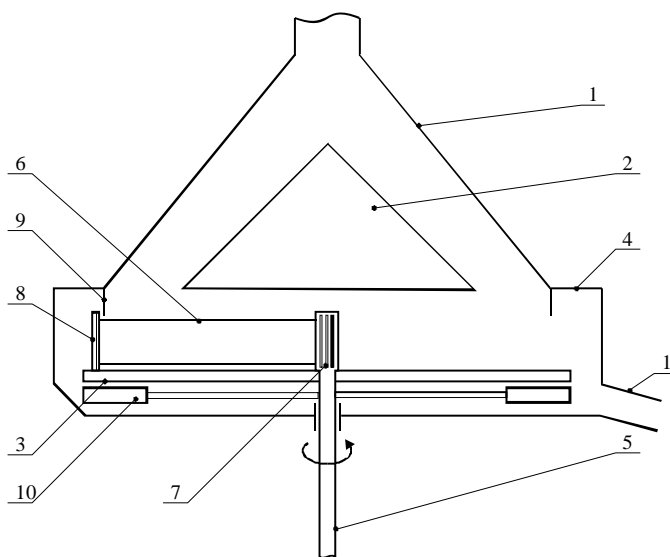


Рис. 1. Схема пристрою для луцення за допомогою удару:

1 – живильний бункер; 2 – розподільчий конус; 3 – диск; 4 – корпус; 5 – вал; 6 – струни; 7 – струнорозподільник; 8 – струнотримач; 9 –

перегородка; 10 – крильчатка; 11 – вихідний патрубок.

Пристрій для луцення зерна містить живильний вузол, який складається з живильного бункера 1 та напрямного конуса 2 зверненого основою до диска 3. Диск 3 розташовано в порожнині корпусу 4 та жорстко закріплено в горизонтальному положенні на валу 5. Над диском 3 встановлені струни 6, одним кінцем радіально закріплені у струнорозподільнику 7, який прилаштовано до валу 5, а іншим — у струнотримачі 8. Струнорозподільник 7 виконано у вигляді циліндру з наскрізними отворами рівномірно розташованими по колу на одній висоті, у яких фіксуються струни. У порожнині під диском встановлена крильчатка 10, яка сприяє прискоренню видалення продуктів луцення до вихідного патрубку 11.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою реалізації процесу луцення власнокруп'яних культур ударом є руйнування оболонки власнокруп'яних культур при умові збереження цілісності ядра. Оскільки ефективність луцення залежить від цілого ряду параметрів процесу та фізико-механічних властивостей сировини, то за допомогою теоретичних досліджень її визначити неможливо.

В задачу досліджень входило: відбирання факторів, що впливають на якість луцення, проведення експериментів по описанню процесу луцення власнокруп'яної сировини рівнянням регресії, отримання оптимальних технологічних показників для ефективного реалізації процесу луцення власнокруп'яних культур ударом.

При теоретичному дослідженні, апріорному вивченні та проведенні параметризації процесу луцення власнокруп'яних культур ударом було виявлено фактори, що у найбільшій мірі впливають на ефективність луцення та енергетичні витрати технологічної операції: частота обертання струн; подача; відстань від осі обертання струни до точки її співударення з зернівкою; кількість встановлених струн.

Дослідження умови одноразовості удару

При подаванні зерна у робочу камеру відбувається його рівномірне розподілення вздовж усієї нижньої поверхні напрямного конуса, тобто, можна припустити, що у кожний сектор робочої зони надходить однакова кількість сировини. При цьому, через невелику відстань між струнами та велику частоту обертання, можна вважати, що зернівки не встигають пролетіти між струнами, неотримавши удару. Однак зернівка має отримати лише один удар, оскільки повторне зіткнення із струною може призвести до дроблення, що негативно вплине на ефективність луцення. Тобто зернівка після удару має вийти з зони луцення та при цьому не зустрітися з наступною струною.

Секундна подача зернівок,

$$N = \frac{q}{m_z} \quad (1)$$

де q – секундна подача зерна кг/с;
 m_3 – маса однієї зернівки, кг.

Кількість зернівок, що стикаються зі струнами за період можна визначити з рівняння

$$n_0 = N \cdot T = \frac{N}{n} \quad (2)$$

де n – частота обертання струни, с^{-1}

Виходячи з вище викладеного, можна зробити висновок, що

$$n'_0 = \frac{n_0}{z} \quad (3)$$

де z – кількість струн, шт.

Маса однієї зернівки складає

$$m_3 = \frac{M_{1000}}{1000} \quad (4)$$

де M_{1000} – маса тисячі зернівок, кг.

Враховуючи це, отримаємо рівняння для визначення подачі

$$q = n \cdot n'_0 \cdot z \cdot \frac{M_{1000}}{1000} \quad (5)$$

Звідси, кількість струн дорівнює

$$z = \frac{1000 \cdot q}{M_{1000} \cdot n \cdot n'_0} \quad (6)$$

Час між ударами по зернівкам однією струною за повний період складе

$$\Delta\tau = \frac{T}{n'_0} \quad (7)$$

де T – час контакту струни із зернівкою у момент удару, с.

Виходячи з рис. 2 можна визначити цей час враховуючи критичні умови, при яких контакт зернівки зі струною відбудеться у найвіддаленішій від зовнішнього контуру робочої зони точці.

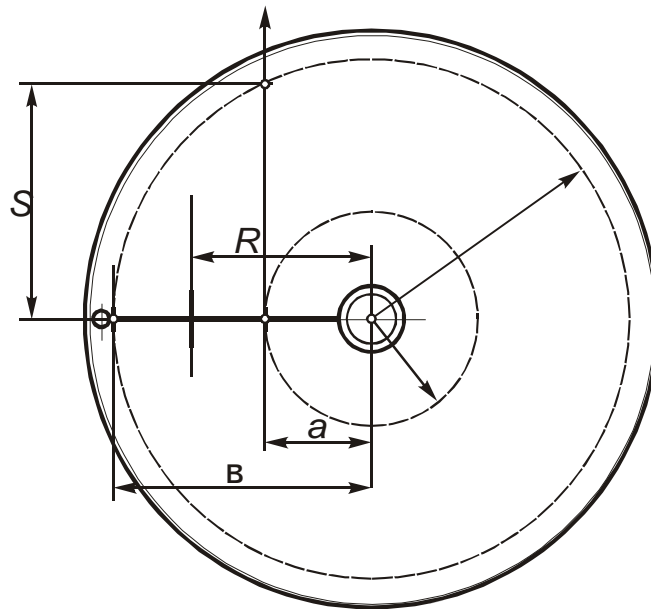


Рис. 2. Схема до розрахунку максимально припустимої кількості струн.

Тобто відстань, яку має перетнути зернівка та не зустрітися із наступною струною буде найбільшою.

$$\Delta\tau = \frac{S}{v_i} \quad (8)$$

де S – найдовший шлях, що має перетнути зернівка для виходу з робочої зони, не отримавши другого удару, м;
 v_i – лінійна швидкість струни у точці контакту, м/с.

$$S = \sqrt{b^2 - a^2} \quad (9)$$

де a – внутрішній радіус робочої зони, м;
 b – зовнішній радіус робочої зони, м.

$$v_i = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot R_i \quad (10)$$

де R_i – i -те значення відстані від осі обертання струни до точки співударяння струни з зернівкою, м.

Виходячи з (6), (7), (8), (9) та (10), отримаємо остаточний вираз для визначення максимальної кількості струн

$$z = \frac{500 \cdot q \cdot \sqrt{b^2 - a^2}}{M_{1000} \cdot \pi \cdot n^2 \cdot R_i \cdot T} \quad (11)$$

Отримана формула дозволяє з урахуванням конструктивних та кінематичних параметрів процесу лушення ударом, а також фізико-механічних властивостей зерна визначити найбільшу кількість струн, що задовольняє умові роботи пристрою без перенавантажень у робочій зоні та збереження постійності одноразового удару.

ВИСНОВКИ

1. Технологічний процес лушення ударом слід розглядати як періодичне співударяння струн із рівномірно розподіленим вздовж усієї нижньої поверхні напрямного конуса потоком зернівок. Продуктивність процесу залежить від його технологічних параметрів, а також фізико-механічних властивостей продукту, що лущиться.

2. Встановлено, що фактори, які впливають на ефективність лушення та питому енергоємність технологічного процесу у луцильному пристрої ударної дії, можуть бути розподілені на три основні групи: конструктивні, та кінематичні параметри процесу лушення власнокруп'яних культур і властивості продукту.

3. Значний вплив на ефективність процесу лушення ударом здійснює критична кількість струн, що задовольняє умові роботи пристрою без перенавантажень у робочій зоні та збереження постійності одноразового удару. Отримано рівняння розрахунку критичної кількості струн в залежності від основних параметрів процесу ударної обробки сировини.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Фучаджи Н.О. Вдосконалення процесу лушення круп'яної сировини за допомогою удару // Збірник матеріалів четвертої міжвузівської науково-практичної конференції аспірантів "Сучасна аграрна наука: Напрями досліджень, стан і перспективи". – Вінниця: ВДАУ, 2004. – С.218 – 219.
2. Фучаджи Н.О. Визначення конструктивних параметрів луцильного пристрою ударної дії // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип.25. – Мелітополь: ТДАТА, 2005 – С.66 – 69.
3. Фучаджи Н.О. Визначення факторів, що впливають на процес лушення ударом // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип.18. – Мелітополь: ТДАТА, 2004. – С.106 – 113.
4. Фучаджи Н.О. Критерії оцінки технологічної ефективності процесу лушення круп'яної сировини // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип.20. – Мелітополь: ТДАТА, 2004– С.87 – 90.
5. Ялпачик Ф.Ю. Фучаджи Н.О. Обґрунтування конструкційних параметрів луцильного пристрою Вісник аграрної науки Причорномор'я. – Вип. 4(24). – Миколаїв: МДАУ, 2003.– С.195 – 204.
6. Ялпачик Ф.Ю., Фучаджи Н.О. Визначення кінематичних параметрів луцильного пристрою ударної дії Вісник Львівського державного аграрного університету. – Вип.8. – Львів: ЛДАУ, 2004. – С.248 – 252.
7. Ялпачик Ф.Ю., Фучаджи Н.О. Луцильний пристрій ударної дії // Техніка АПК. – 2004. – №12. – С. 27 – 28

РОЗДІЛ 8

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ТА КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОБРУШЕННЯ НАСІННЯ РИЦИНИ

РЕФЕРАТ

Об'єкт досліджень є фізико-механічні процеси при переробці насіння рицини.

Предмет дослідження є закономірності впливу фізико-механічних властивостей насіння рицини на процес її переробки.

Метою дослідження є розробка математичної моделі процесу обрушення насіння рицини при її переробці.

Методи досліджень. Експериментальні дослідження проводились у лабораторних умовах відповідно до прийнятої методики та галузевих стандартів з використанням статистичної обробки результатів досліджень та з використанням табличного процесора Microsoft Excel.

Основні результати досліджень:

1. Встановлено, що частота обертання вальців для обрушення насіння рицини значно впливає на якість даного процесу. В результаті збільшення частоти обертання вальців зростає не тільки продуктивність обладнання, але і кількість січки насіння.

2. Встановлено, що кут розташування валків відносно горизонту значно впливає на якість рушанки, а саме відсоток січки у бік збільшення та на відсоток цілого насіння у бік зменшення.

ВСТУП

Створення переробного комплексу здатного виробляти касторове масло необхідної якості й потрібної номенклатури вимагає нових підходів і, за рахунок імпорту технологічного встаткування, без розробки нових машин, на нашу думку, не може бути успішно вирішена. Саме тому, розробка технології й технологічного устаткування глибокої переробки рицини на касторове масло за ДСТ 6757-73 (технічне), за ДСТ 18102-72 (медичне), по ТУУ (електротехнічне) і рицинову макуху, придатну для згодовування тваринам і птахам сьогодні вирішується науковцями нашого університету.

Для виробництва різних олив, у тому числі моторних, як основний компонент використовують касторове масло. Таким чином, рицина це одна з сільськогосподарських культур, ефективне виробництво та переробка якої може вирішити проблему дефіциту нафтопродуктів для мобільної енергетики АПК шляхом їхньої заміни паливо-мастильними матеріалами рослинного походження. З огляду на існуючу економічну ситуацію в країні для відродження виробництва рицини насамперед необхідно створити умови її механізованого збирання та переробки [1-3,6-8].

У структурі собівартості тваринницької продукції більше 50% становить собівартість кормів. Нестача високопротеїнових добавок

призводить до перевитрати кормів і погіршення якості тваринницької продукції. Продукти переробки насіння олійних культур є основним постачальником тваринництву шротів і макухи. Однією з перспективних культур є рицина. Насіння рицини містить близько 50% олії і 18% білка. Унікальна по своєму складу касторова олія, в якій рицинолевої кислоти припадає на частку 90% всіх жирних кислот, є важливою промисловою сировиною. Макуху, що залишилася після виділення з насіння олії, не можна використовувати на корм худобі, тому що вона містить ряд токсичних елементів. Проте, якщо ступінчасто детоксикувати шкідливі речовини макухи рицини можна успішно використовувати при згодовуванні ВРХ, свиням та птиці так як вона містить високий відсоток білків та жирів. Допоміжними є рослинні залишки від збирального вороху, лушпиння та відходи переробки, з яких можна виробляти біогаз та тверде біопаливо. Підвищити ж ефективність процесу післязбиральної обробки рицини в кожній технологічній операції можна шляхом застосування в такій технології спеціальних машин з обов'язковим врахуванням фізико-механічних властивостей компонентів рицини. Підвищення якості процесів обрушення та сепарації при переробці насіння рицини на касторову олію по-перше, збільшує пропускну здатність переробного обладнання, по-друге, поліпшує якість розмелу на вальцьових верстатах, що сприяє зниженню олійності макухи та, отже, зменшення втрат олії у виробництві, по-третє, поліпшує якість жмиху й олії, крім того, лузга рицини може бути використана як тверде біопаливо.

МЕТОДИ, ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Експериментальні дослідження проводились у лабораторних умовах відповідно до прийнятої методики та галузевих стандартів з використанням статистичної обробки результатів досліджень та з використанням програми MathCad.

Програмою досліджень передбачено встановлення технологічних режимів та конструктивних параметрів обладнання для обрушення насіння рицини.

З метою технологічних вимог до процесу обрушення насіння рицини розроблено схему процесу, яка представлена на рис.1, що враховує розбіжність розмірних характеристик та поєднує дві операції – калібрування насіння та обрушення. На основі чого складено удосконалену схему технологічного процесу.

До установки для обрушення насіння рицини, з точки зору раціональності роботи, висувається ряд вимог: швидкість руху поверхні валків, величина зазору, що створює зусилля притискання (руйнування), а також висота падіння рушанки до щілини між валками, так як додаткове руйнування пошкоджує фракційний склад рушанки.

В існуючому обладнанні для обрушення насіння рицини [4,5,11,12] регулювання зазору не відбувалось з кількох причин: по – перше, валки для обрушення мали розміри такі ж як і валки для розмелу м'ятки, і встановлення додаткової пари підвищувало габарити та металоємність машини; по – друге,

якщо калібрувати насіння перед обрушенням, то необхідні значні площі для пофракційного зберігання насіння. Зміна величини зазору впливає на процес обрушення наступним чином: збільшення приводить до значної кількості недообрушеного та цілого насіння в рушанці, а зменшення – до підвищення кількості важко відокремлюваної дрібної січки та олійного пилю, що погіршує якість рушанки при її розділенні, тобто поділ насіння на фракції та їх окреме обрушення підвищує продуктивність обладнання та якість рушанки. Вище зазначене свідчить, що необхідно експериментальне дослідження процесу стосовно визначення зазорів між парами обрушуючих валків.

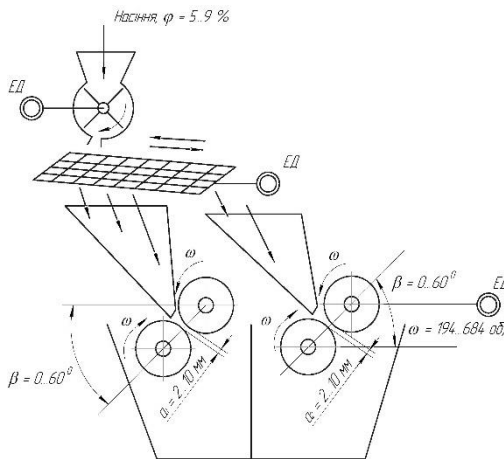


Рис. 1 Технологічна схема процесу обрушення насіння рицини



Рис. 2 Загальний вигляд експериментальної установки

В результаті пошукових дослідів також встановлено, що частота обертання валків, що обрушують, значно впливає на якість обрушення. З її збільшенням зростає не тільки продуктивність обладнання, але кількість січки насіння. Аналізуючи отримані в ході досліджень дані, додатково встановлено, що кут розташування валків відносно горизонту значно впливає на якість рушанки, а саме відсоток січки у бік збільшення та на відсоток цілого насіння у бік зменшення.

Таким чином, можна визначити, що основними конструктивними параметрами, що впливають на процес обрушення насіння рицини, є:

- зазори між парами робочих органів a_1, a_2 ,
- швидкості пар робочих органів ω ,
- кут розташування валків відносно горизонту β .

Крім перерахованих конструктивних параметрів, які допускають можливість керування, на процес також впливає вологість насіння φ .

Кожний з розглянутих факторів, що змінюють повноту обрушення або фракційний склад рушанки не зв'язаний між собою. Ця умова вказує на можливість проведення багатфакторного експерименту і його оцінки на основі регресійного аналізу.

У загальному вигляді, проведення експериментальних досліджень проводиться в наступній послідовності [9]:

- вибір й обґрунтування критерію оптимізації, факторів і рівнів їхнього варіювання;
- вибір методики й плану проведення експерименту;
- проведення експерименту в лабораторних умовах;
- аналіз результатів експерименту й оцінка отриманої математичної моделі за допомогою критерію Фішера.

Для насіння рицини немає нормативної бази по визначенню складу рушанки, оскільки в процесі обрушення вона відрізняється від рушанок інших олійних культур наявністю більшої кількості роздавненого ядра. При стискуванні насіння в процесі обрушення імовірно як отримання цілого ядра так і подрібнення ядра з утворенням часток, які при подальшому транспортуванні розсипаються в січку, замащуючи при цьому лузгу.

При якісному обрушенні кількість ядра в рушанці наближається до кількості ядра в насінні тобто коефіцієнт обрушення K_o наближується до 100%. При наявності проміжних фракцій доля ядра в рушанці зменшується та коефіцієнт обрушення розраховується за формулою [10]:

$$K_o = \frac{Я - (M + C + aЦ + \epsilon H)}{Я} \cdot 100 \quad (1)$$

де: M - вміст олійного пилу в рушанці, %; C - вміст січки в рушанці, %; a - вміст ядра в насінні; $Ц$ - вміст цілого насіння в рушанці, %; ϵ - вміст ядра в недорушці; H - вміст недоруша в рушанці, %.

Таким чином, для оцінки якості процесу обрушення насіння рицини можемо використовувати коефіцієнт обрушення K_o , що розраховується за формулою (1), та в наступних дослідженнях приймаємо його за параметр відгуку y .

Для складання плану наступних досліджень визначені параметри приведемо до вигляду:

для зменшення кількості експериментів зазори між парами робочих органів a_1, a_2 (мм) приводимо до безрозмірного відношення між зазором та середнім розміром насіння фракцій λ ;

для подальшого встановлення залежності якості процесу від продуктивності в подальших дослідженнях замість швидкості пар робочих органів ω (об/хв) будемо розглядати окружну лінійну швидкість v (м/с).

Оскільки параметрів багато і деякі мають не лінійний характер приймаємо математичну модель другого порядку (центральний рототабельний композиційний план).

Математична модель другого порядку в загальному вигляді [9]:

$$\bar{y} = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i,j=1}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2 \quad (2)$$

де b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} - коефіцієнти регресії факторів;

x_i - значення параметра оптимізації в i -ому досліді;

x_{ij} - кодоване значення i -го фактора в j -ому досліді;

n - кількість досвідів у матриці;

N- кількість дослідів.

Для проведення дослідів розроблено та виготовлено експериментальну установку (рис.2). Для обраних факторів визначено область їх зміни. Не керовані параметри приймаємо сталими (Таблиця 1).

Таблиця 1 - Рівні та інтервали зміни факторів

Фактори	Умовні позначення	Основний рівень, X_{i0}	Δ Інтервал зміни,	Верхній рівень, $X_{i\delta}$	Нижній рівень, $X_{i\eta}$	Зіркова точка, + Δ	Зіркова точка, - Δ
Окружна лінійна швидкість ν , м/с,	x_1	0,35	0,1	0,45	0,25	0,55	0,15
Кут розташування валків відносно горизонту β , градуси,	x_2	30	15	45	15	60	0
Відношення між зазором та середнім розміром насіння фракцій λ ,	x_3	0,5	0,15	0,65	0,35	0,8	0,2
Вологість насіння φ , %	x_4	7	2	9	5	11	3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У результаті обробки експериментальних даних були знайдені коефіцієнти регресії і отримане рівняння регресії другого порядку в закодованому вигляді:

$$y = 78,47 - 1,376X_1 - 1,071X_1X_2 - 3,843X_2X_4 + 3,265X_1^2 + 3,015X_2^2 - 6,11X_3^2 - 5,86X_4^2 \quad (3)$$

Розкодована математична модель має вигляд:

$$y = -41,73 - 220,81\nu + 0,342\beta + 271,6\lambda + 24,353\varphi - 0,714\nu\beta - 0,128\beta\varphi + 326,5\nu^2 + 0,0134\beta^2 - 271,56\lambda^2 - 1,47\varphi^2 \quad (4)$$

Перевірка гіпотези про адекватність отриманої математичної моделі проводилася за критерієм Фішера. Розрахунки показали, що модель адекватна на 95% рівні довірчої ймовірності [9].

Після перевірки на адекватність математичної моделі другого порядку визначаємо координати оптимуму й вивчаємо властивості поверхні відгуку на границях цього оптимуму. Вивчення поверхні відгуку проводимо за допомогою двовимірних перетинів.

На ЕОМ, за допомогою програми MathCad, для отриманої математичної моделі, що описує процес обрушення насіння рицини, була отримана екстремальна крапка, у якій показник обрушення має максимальне значення $y_s = 75,51$ [9].

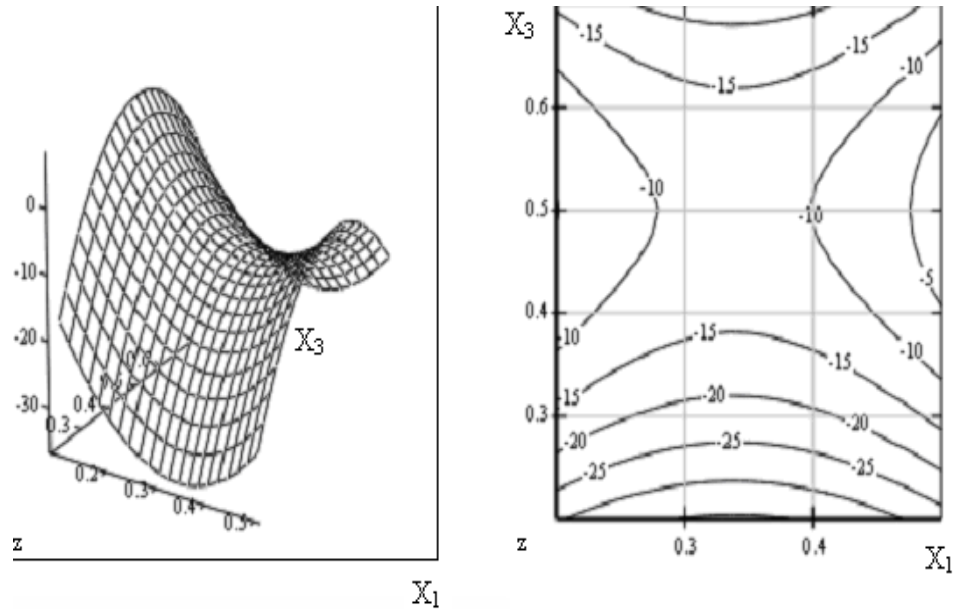


Рис. 3 Графік и контурні криві факторів X_1 , X_3

Двовимірний перетин поверхні відгуку та контурні криві, що характеризують взаємодію факторів X_1 (окружна лінійна швидкість) і X_3 (відношення між зазором та середнім розміром насіння) наведені на рис 3. Коефіцієнти мають різні знаки, контурні криві будуть гіперболами. Центр поверхні відгуку буде представляти "сідло" або "мінімакс". Витягнуте сідло по осі X_3 - відношенні між зазором та середнім розміром насіння. В зоні оптимуму окружна лінійна швидкість становить від 0,27 до 0,4 м/с, відношення між зазором та середнім розміром насіння – 0,5.

Двовимірний перетин поверхні відгуку та контурні криві, що характеризують взаємодію факторів X_3 (відношення між зазором та середнім розміром насіння) і X_4 (вологість насіння) наведені на рис 3. Тому що один з коефіцієнтів близький до нуля та центр знаходиться на безкінечності, поверхня відгуку являє собою "стаціонарний гребінь", точки оптимуму немає.

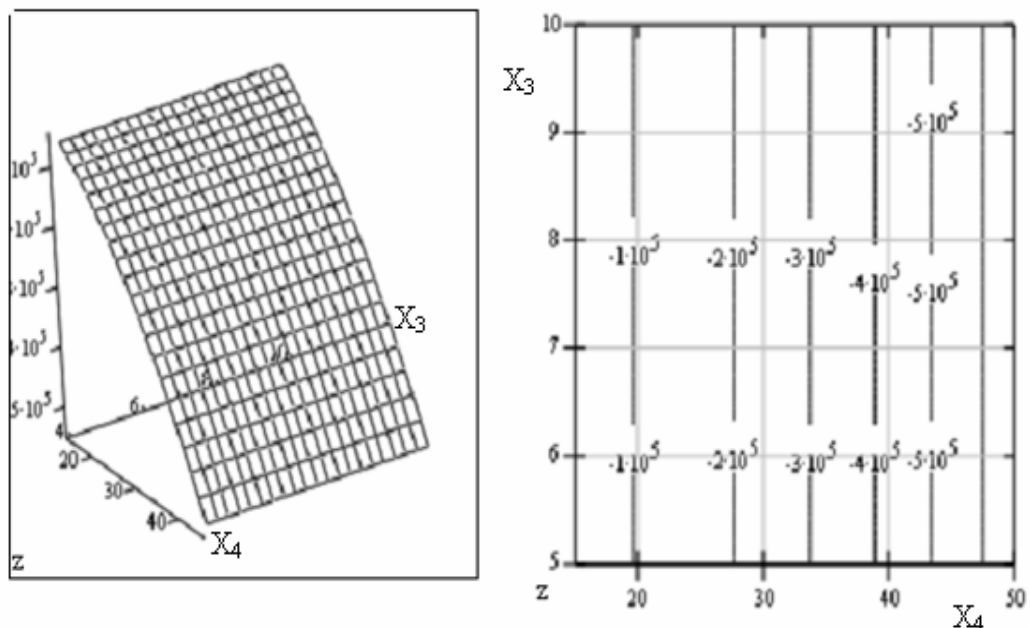
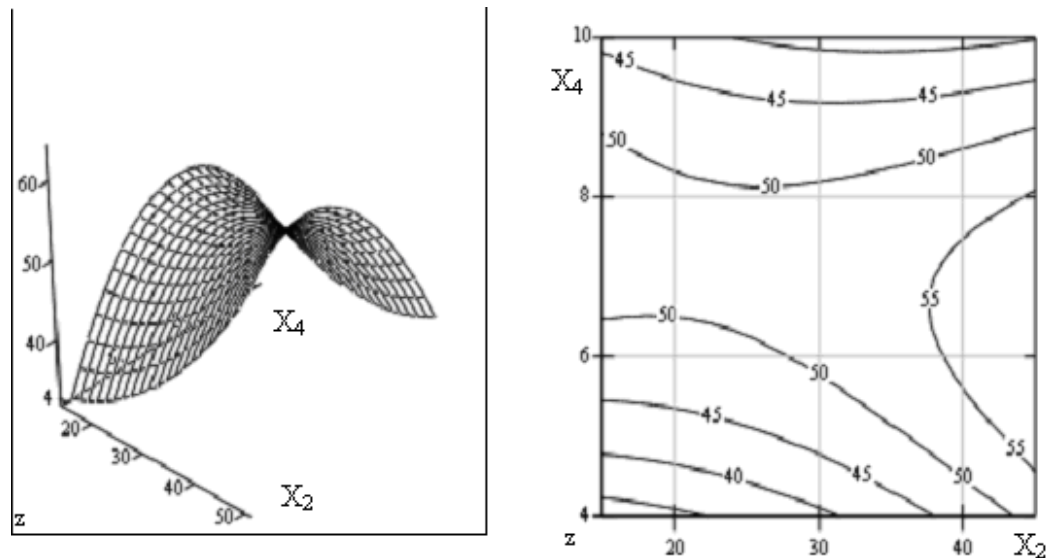
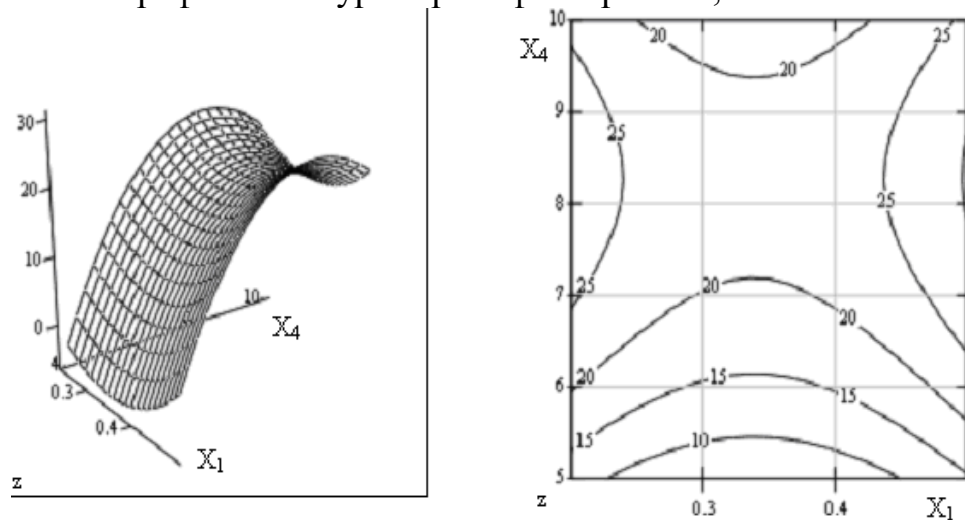


Рис. 3 Графік і контурні криві факторів X_3 , X_4

Двовимірний перетин поверхні відгуку та контурні криві, що характеризують взаємодію факторів X_2 (кут розташування валків відносно горизонту) і X_4 (вологість насіння) наведені на рис 4. Коефіцієнти мають різні знаки, контурні криві будуть гіперболами. Центр поверхні відгуку буде представляти "сідло" або "мінімакс". Витягнуте сідло по осі X_4 коефіцієнт обрешення в зоні оптимуму становить 50 – 55% при вологості насіння від 6,4% до 8,1, та при куті розташування валків відносно горизонту від 20 до 40 градусів.

Рис. 4 Графік и контурні криві факторів X_2 , X_4 Рис. 6 Графік і контурні криві факторів X_1 , X_4

Двовимірний перетин поверхні відгуку та контурні криві, що характеризують взаємодію факторів X_1 (окружна лінійна швидкість) і X_4 (вологість насіння) наведені на рис 6. Коефіцієнти мають різні знаки, поверхня відгуку являє собою контурні гіперболи, центр - витягнуте "сідло" або мінімакс. В зоні оптимуму окружна лінійна швидкість дорівнює від 0,25 до 0,41 м/с, вологість насіння від 7 до 9%.

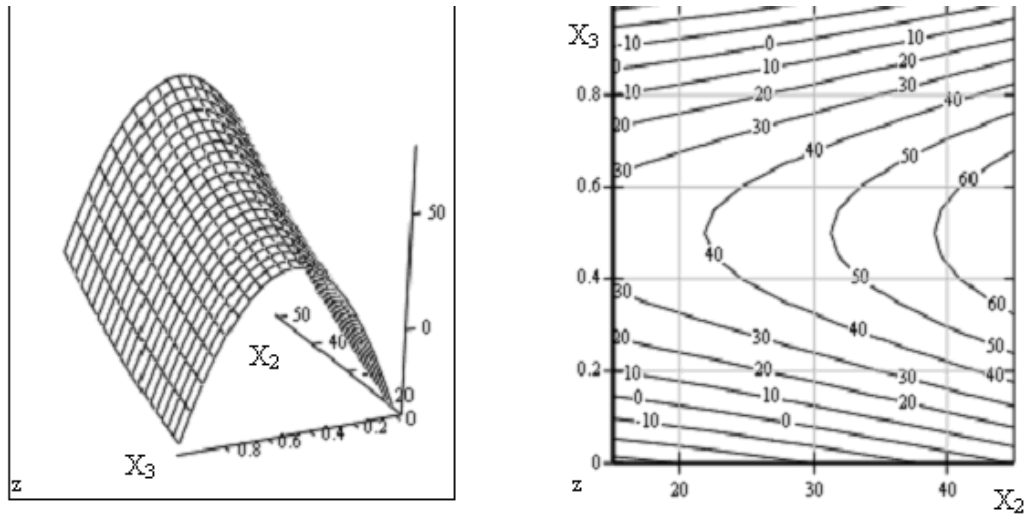


Рис. 7 Графік і контурні криві факторів X_2 , X_3

Двовимірний перетин поверхні відгуку та контурні криві, що характеризують взаємодію факторів X_2 (кут розташування валків відносно горизонту) і X_3 (середнім розміром насіння) наведені на рис 7. Тому що один з коефіцієнтів близький до нуля, то центр перебуває на нескінченності. Поверхня відгуку являє собою зростаюче піднесення "гребінь". Коефіцієнт обрушення в зоні оптимуму становить 50 – 60% при куті розташування валків відносно горизонту від 30 до 45 градусів та при відношення між зазором та середнім розміром насіння 0,5.

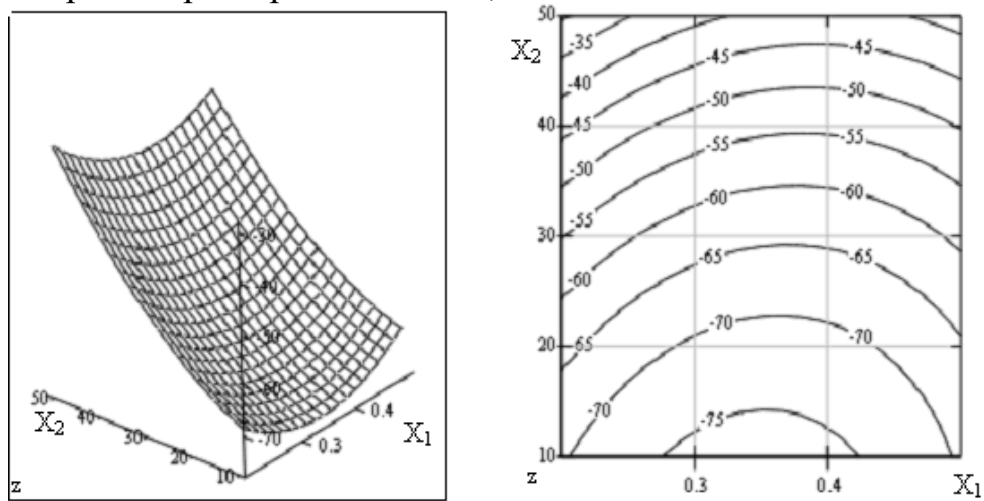


Рис. 8 Графік і контурні криві факторів X_1 , X_2

Двовимірний перетин поверхні відгуку та контурні криві, що характеризують взаємодію факторів X_1 (окружну лінійну швидкість) і X_2 (кут розташування валків відносно горизонту) наведені на рис 8. Тому що один з коефіцієнтів близький до нуля, то центр перебуває на нескінченності. Поверхня відгуку являє собою стаціонарне піднесення. В зоні оптимуму окружна лінійна швидкість від 0,3 до 0,4 м/с.

Розкодований центр оптимуму відповідає значенням: $v = 0,37$, $\beta = 30,48$, $\lambda = 0,5$, $\varphi = 6,98$, $K_0 = 75,51\%$.

ВИСНОВКИ

В ході досліджень отримано рівняння математичної моделі процесу обрушення насіння рицини, модель перевірена на адекватність. Аналіз математичної моделі за методом двовимірних перетинів можливість отримання рушанки з коефіцієнтом обрушення 75,51 % при наступних параметрах: лінійна швидкість валків – 0,37 м/с, кут розташування – 30,48 градусів, відношення між зазором та середнім розміром насіння фракцій – 0,5, насіння з вологістю – 6,98%. При виконанні плану експериментальних досліджень виявлений основний недолік розробленої схеми, а саме при калібруванні в склад дрібної фракції потрапляє повністю обрушене ядро, яке в між валковому зазорі руйнується, погіршуючи якість рушанки. Тому потрібно удосконалити схему, попереднім відділенням обрушеного ядра, яке міститься в складі насіння, що йде на переробку.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Журавель Д. П., Чебанов А. Б., Верещага О. Л. Вимоги до підготовчих операцій при пресуванні мезги насіння рицини. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Мелітополь, 2-27 листопада 2020 р.) / ТДАТУ. Мелітополь, 2020. С. 673-678.

2. Журавель Д. П., Чебанов А. Б., Верещага О. Л. Аналіз способів отримання олійних матеріалів із насіння рицини. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф. (м. Мелітополь, 2-27 листопада 2020 р.) / ТДАТУ. Мелітополь, 2020. С. 77-82.

3. Nadikto V., Zhuravel D., Chebanov A., Verechaga O. Improving the efficiency of pressing the male of castor seeds in the screw press. Norwegian Journal of development of the international Science. 2021. Vol. 59, № 1. pp. 48-53. DOI: 10.24412/3453-9875-2021-59-1-48-53.

4. Журавель Д. П., Чебанов А. Б. Обґрунтування аеродинамічних властивостей вороху рицини. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: Наукове фахове видання. – Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 21, т. 2. С. 42-50. DOI: 10.31388/2078-0877-2021-21-2-42-50.

5. Журавель Д. П. Обґрунтування геометричних характеристик вороху рицини для процесів кормовиробництва. XI Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормо виробництві». НУБІП України, «ІМААВ НААН України, м. Київ, м. Глеваха, 3–22 жовтня 2022 року. С. 33-35.

6. Журавель Д. П. Технології переробки насіння рицини дворазовим пресуванням. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі» ТДАТУ, м. Запоріжжя, 01-25 листопада 2022 р. С.93-96.

7. Журавель Д. П., Бондар А. М. Обґрунтування технологій отримання

рицинової олії. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі» ТДАТУ, м. Запоріжжя, 01-25 листопада 2022 р. С.77-79.

8. Журавель Д. П. Використання відновлюваної біосировини в енергетичних цілях. Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві: X Міжнародна науково-технічна конференція, 4-23 жовтня 2021 року: матеріали конференції. Глеваха-Київ. 2021. С. 28-30.

9. Журавель Д. П. Дослідження аеродинамічних властивостей компонентів насіння рицини. Сучасна інженерія агропромислових і харчових виробництв: Матеріали МНПК. Харків: ДБТУ, 2021. С. 411-413.

10. Дідур В. А., Зубкова К. В. Спосіб отримання безлузгового ядра насіння рицини. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Вип.33, Мелітополь: ТДАТА, 2005. С.19-23.

11. Дідур В. В., Журавель Д. П., Шокарев О. М., В'юник О. В., Комар А. С. Аналіз технологій отримання олії з олійних культур. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Мелітополь: ТДАТУ, 2022. Вип. 12, том 3. 10 с. DOI: 10.31388/2220-8674-2022-3-18.

12. Zhuravel D. Determination of linear dimensions of boxes and thirds of individual castor varieties. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. Вип. 23, т. 1. С63-76. DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-1-63-76.

13. Журавель Д. П. Обґрунтування технологічного процесу обрушення насіння рицини для потреб кормовиробництва. Матеріали XII-ї Науково-технічної конференції «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві», смт Глеваха Київської області – м. Київ, Україна, 2-20 жовтня 2023 року: матеріали конференції. Глеваха-Київ. 2023. С.69-71.