

УДК 637.2

№ держреєстрації 0121U110201

Інв. №

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного 69600, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 66, тел. +38 099 6148302


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

ЗВІТ
про науково-дослідну роботу
(проміжний)

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І
ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ І ПЕРЕРОБКИ СІЛЬСЬ-
КОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

Директор НДІ АТЕ
д.т.н., проф.



О.П. Прісс

Науковий керівник
д.т.н., проф.



К.О. Самойчук

2024

Рукопис закінчено 7 грудня 2024 р.

Результати цієї роботи розглянуто Науково-технічною радою
Науково-дослідного інституту «Агротехнологій та екології»
протокол № 2 від 23 грудня 2024 р.

РЕФЕРАТ

Звіт з НДР: 91 стор, 34 рисунка, 154 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:

- визначення кількісних показників віджиму технічних олій при використанні пристрою остаточного формування паливного брикета;
- дослідження процесу диспергування молочного жиру в імпульсному гомогенізаторі;
- визначення енергетики процесу луцення ударом в луцильному пристрої ударної дії;
- підвищення ефективності пресування мезги насіння ріпаци у шнековому пресі;
- зниження енерговитрат диспергування в пульсаційному гомогенізаторі рідких продуктів;
- підвищення ефективності процесу гранулювання вторинної сировини сокового виробництва;
- обґрунтування параметрів і режимів вакуумного охолодження плодів черешні та їх короткотривалого зберігання;
- оптимізація параметрів струминного змішування напоїв
- Обґрунтування параметрів і режимів роботи установки для вакуумного охолодження плодів черешні

ЗМІСТ

	Вступ	5
1	ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ВІДЖИМУ ТЕХНІЧНИХ ОЛІЙ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПРИСТРОЮ ОСТАТОЧНОГО ФОРМУВАННЯ ПАЛИВНОГО БРИКЕТУ	7
2	ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДИСПЕРГУВАННЯ МОЛОЧНОГО ЖИРУ В ІМПУЛЬСНОМУ ГОМОГЕНІЗАТОРІ	15
3	ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИКИ ПРОЦЕСУ ЛУЩЕННЯ УДАРОМ В ЛУЩИЛЬНОМУ ПРИСТРОЇ УДАРНОЇ ДІЇ	27
4	ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРЕСУВАННЯ МЕЗГИ НАСІННЯ РИЦИНИ У ШНЕКОВОМУ ПРЕСІ	37
5	ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ДИСПЕРГУВАННЯ В ПУЛЬСАЦІЙНОМУ ГОМОГЕНІЗАТОРІ РІДКИХ ПРОДУКТІВ	45
6	ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ГРАНУЛЮВАННЯ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ СОКОВОГО ВИРОБНИЦТВА	54
7	ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ ВАКУУМНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ПЛОДІВ ЧЕРЕШНІ ТА ЇХ КОРОТКОТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ	63
8	ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ СТРУМИННОГО ЗМІШУВАННЯ НАПОЇВ	72
9	ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВАКУУМНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ПЛОДІВ ЧЕРЕШНІ	86

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 напряду 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.

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, деś можна обійтися просто приміщенням з хорошою професійною вентиляцією, а деś потрібна холодильна камера з регульованою атмосферою і системою мікробіологічного знезараження.

На сьогоднішній день при постійному здороженню енергоносіїв, виго-

товлення 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 оболонок 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 вальцових 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

ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ВІДЖИМУ ТЕХНІЧНИХ ОЛІЙ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПРИСТРОЮ ОСТАТОЧНОГО ФОРМУВАННЯ ПАЛИВНОГО БРИКЕТУ

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є процес виготовлення паливних брикетів із відходів соняшнику з використанням пристрою остаточного формування, який має систему відбору технічних олій.

Предметом дослідження являються технологічні та конструктивні параметри обладнання для виготовлення паливних брикетів із рослинної сировини.

Метою дослідження є аналіз процесу виготовлення паливних брикетів із відходів соняшнику з використанням пристрою остаточного формування.

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

Основні результати досліджень:

1. Проведено аналіз роботи широко-використовуваного сучасного обладнання для виготовлення паливних брикетів та його здатність роботи з відходами провіювання соняшник, сої та льону.

2. Встановлено залежність роботи різного обладнання від походження сировини та вмісту в ній олій.

3. Розроблено пристрій, який здатний працювати в парі з шнековим прес екструдером при використанні в якості сировини відходів провіювання соняшнику, сої та льону.

СИРОВИНА, ТЕХНОЛОГІЯ, БРИКЕТУВАННЯ, ПРЕС, ТЕМПЕРАТУРА, ЩІЛЬНІСТЬ..

ВСТУП

Тверде біопаливо різного походження використовується людиною з давніх часів. Зі стрімким розвитком технологій значно розширилися як методи його застосування, так і напрями використання, а також збільшилася кількість рослинних матеріалів, що підходять для виготовлення паливних брикетів. Постійне зростання цін на енергоносії стимулює активніше застосування альтернативних джерел енергії. Унаслідок цього, виробництво паливних брикетів із відновлюваної сировини, набуває дедалі більшої популярності.

Сільське господарство забезпечує найбільший вибір сировини для цього виробництва. Для переробної промисловості основним завданням залишається зниження енергетичних витрат, що є особливо актуальним на тлі постійного здорожчання енергоносіїв. У багатьох країнах світу вартість енергоносіїв досягла рекордних показників, через що, дедалі більше підприємств та домогосподарств переходять на опалення з меншою собівартістю. Альтернативою стають дешевші відновлювані джерела енергії, такі як паливні брикети.

Серед рослинної сировини для виготовлення паливних брикетів активно використовуються відходи провіювання соняшнику, сої, льону. Викорис-

тання брикетів із даного виду сировини має великий потенціал, адже такі брикети відзначаються високою щільністю та калорійністю. Низька собівартість сировини та великий попит сприяли активному розвитку галузі.

Останніми роками з'являється все більше домогосподарств та підприємств які перейшли на біопаливо, що стимулює до більш детального вивчення даного напрямку та виготовлення більш конкурентоспроможного обладнання. Такий тренд спостерігається у багатьох країнах світу.

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводилися протягом 2021-2024 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 кількісних показників по відбору технічних олій при виготовленні паливних брикетів з відходів провіювання соняшнику.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Процес виготовлення паливних брикетів із рослинної сировини складається з кількох основних етапів, кожен з яких відіграє важливу роль у забезпеченні якості кінцевого продукту:

1. Провіювання сировини – це початковий етап, на якому сировина проходить очищення та розділення на фракції, щоб забезпечити однорідність матеріалу.
2. Дозована подача в пресуючу камеру – на цьому етапі сировина рівномірно надходить у прес, де здійснюється стискання та розтирання. У результаті цього процесу матеріал нагрівається, що сприяє його підготовці до наступних етапів.
3. Камера дожиму – тут сировина піддається додатковому стисненню, що дозволяє покращити її структуру та підготувати до формування брикетів.
4. Стискання та транспортування дожимним шнеком – цей етап завершується проходженням сировини через формуючу матрицю, де відбувається остаточне формування паливного брикету.

Під час цього процесу із сировини відтискається частина технічної олії, кількість якої безпосередньо впливає на якість готового продукту. Надмірний вміст олії у брикетах може погіршувати їхні паливні властивості, а також ускладнювати роботу пресового обладнання. Зазвичай така ситуація виникає при роботі з оліємісткою сировиною. Через це обладнання може працювати нестабільно, що збільшує витрати на його обслуговування та ремонт. На сьогоднішній день існує безліч різноманітних технологій і конструкцій пресів, які спеціалізуються на роботі з окремими видами сировини. Однак рідко зустрічається обладнання, здатне ефективно працювати з широ-

ким спектром оліємісткої сировини, забезпечуючи високі показники якості паливних брикетів і технічної олії в межах одного пристрою.

Найкращим вибором для такого типу сировини є шнекові преси. Вони мають кілька важливих переваг, таких як - ефективна робота з оліємісткими культурами та можливість оснащення додатковими пристроями для кінцевого формування зі здатністю відбору технічної олії. Шнекові преси здобувають дедалі більшу популярність завдяки своїй універсальності, низьким витратам на обслуговування та економічності. Їх конструкція дозволяє легко адаптувати обладнання під різні типи сировини шляхом заміни шнеків, камер і формуючих елементів. Це робить їх незамінним вибором для виробників, які працюють із широким асортиментом матеріалів. Таким чином, шнекові преси не лише забезпечують стабільну роботу, але й дозволяють отримувати продукцію високої якості з мінімальними витратами.

Основним завданням досліджень є вдосконалення існуючого устаткування та розробка нових, більш ефективних технологій. Виробництво паливних брикетів є перспективним напрямком, оскільки воно забезпечується постійним джерелом сировини, належить до відновлюваних енергоресурсів. Ця галузь швидко розвивається, що створює необхідність постійного вдосконалення технологій та обладнання. Особливий інтерес викликає використання олієвмісної сировини, зокрема відходів соняшника, сої, льону які широко доступні в нашій країні. Процес формування паливних брикетів із частинок олієвмісної сировини розглядається як процес зближення частинок до моменту, коли проявляються сили механічної взаємодії. Значну роль у цьому відіграють розміри частинок, їхнє переплетення та об'єднання під дією міжмолекулярних сил зчеплення. Зближення частинок супроводжується подоланням пружності матеріалу, руйнуванням його структурної сітки. Нове обладнання, яке розробляється, здатне поєднувати кілька операцій і водночас знижувати собівартість готової продукції.

Якість паливних брикетів, виготовлених з відходів провіювання соняшнику, значною мірою залежить від численних факторів, таких як вологість, температура та однорідність сировини. Оптимальна вологість сировини має залишатися в межах 4–14%. Перевищення цього діапазону негативно впливає на виділення технічних олій. Під час формування паливних брикетів з оліємісткої сировини важливо приділити увагу тривалості перебування матеріалу в формувальному пристрої. Збільшення часу сировини в стиснутому стані сприяє покращенню якості брикетів. Найефективнішим у цьому процесі є саме багатосекційний пристрій остаточного формування з здатністю відбору технічних олій. Він дозволяє точно налаштувати тиск і час обробки, забезпечуючи оптимальне відділення технічних олій на відповідному етапі виробництва.

Метою цієї роботи було розробити пристрій остаточного формування, який гарно себе зарекомендував при роботі з оліємісткими сировинами, та забезпечити максимальний час перебування сировини в стиснутому стані та контрольований відбір технічних олій, при цьому забезпечивши низькі витрати на обслуговування.

Всі експериментальні дослідження пристрою остаточного формування брикету проводилися в парі з шнековим прес-екструдером. Всі дослідження

проводилися за умов максимально наближених до промислових.

У процесі експериментів вивчалися - відбір технічних олій з використанням пристрою остаточного формування брикету та його вплив на якість готової продукції й витрати електроенергії. Для досліджень використовувались відходи провіювання соняшника, сої, льону з однорідною структурою та вмістом олійної частини не менше 20%, вологість сировини складала 8%. Температура навколишнього середовища коливалась в межах від +20 до +32°C. Під час експерименту сировина подавалась в прес за допомогою дозатора рівномірним потоком, а обладнання було попередньо виведене на робочий режим.

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

Таблиця 1

Технічні характеристики прес-екструдера

Показник	Величина
Продуктивність (по відходах оліє містких культур), кг/год	120-150
Встановлена потужність, кВт	до 7,5
Споживана потужність, кВт/т	55...60
Потужність електродвигуна, кВт	11
Вологість сировини до, %	15

Під час роботи, в даному напрямку, було прийнято рішення розробити пристрій, який поєднає в собі формування брикету, віджим технічних олій та контрольоване охолодження сировини. Пристрій при цьому повинен бути простий в обслуговуванні та мати високий ресурс роботи. Розроблений пристрій показаний на рис. 1.

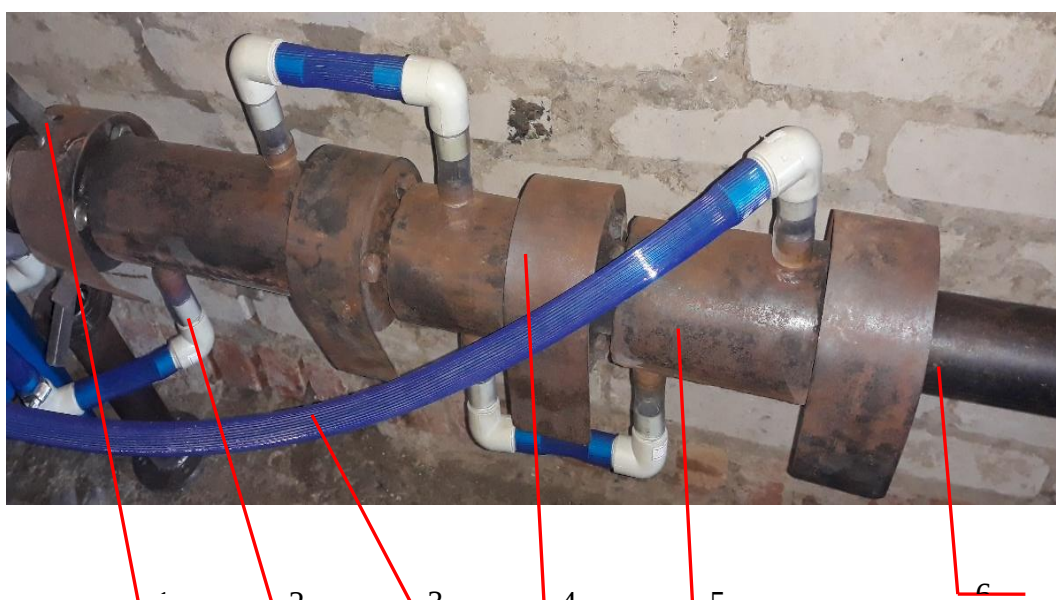


Рис. 1. Фрагмент робочих органів, до складу якого увійшов розроблений пристрій остаточного формування: 1 – регулятор тиску камери дожиму;

2 –патрубок подачі охолоджуючої рідини; 3 – патрубок відводу охолоджуючої рідини ; 4 – система відбору олій з захисним кожум ; 5 – секція з охолодженням; 6 –секція без охолодження.

Всі експерименти проводилися в кілька етапів. Перший етап включав виведення пресового обладнання на робочий режим і налаштування всіх робочих органів. Другий етап був спрямований на вивчення залежності якості паливних брикетів від кількості відібраних технічних олій. Завданням було дослідити нову камеру дожиму з системою охолодження та пристрій остаточного формування з такою ж системою, які повинні були вирішити частину проблем, з якими стикаються виробники паливних брикетів з оліє місткої сировини. Під час експериментів отриману продукцію зважували на цифрових вагах Nokasonic Nk-50. Всі отримані дані були занесені до таблиці 2. У ході досліджень було задіяно вісім секцій пристрою остаточного формування. Однак, як показав досвід, при роботі з відходами сої можна використовувати більшу кількість секцій, оскільки структура цієї культури є більш м'якою. Водночас, при роботі з відходами льону достатньо шести секцій.

Таблиця 2

Кількісні показники роботи пресу								
Кількість секцій	1	2	3	4	5	6	7	8
Довжина пристрою, мм	245	445	690	935	1180	1425	1670	1915
Маса олії при виготовленні 100 кг брикету з відходів соняшника	0,8	1,9	2,8	3,5	4,1	4,8	5,1	5,5
Маса олії при виготовленні 100 кг брикету з відходів сої	0,4	0,8	1	1,2	1,9	2,1	2,6	2,8
Маса олії при виготовленні 100 кг брикету з відходів льону	0,6	1,2	1,8	3	3,5	4,1	5	5,4

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

З дослідів ми бачимо, що зі збільшенням кількості секцій пристрою, збільшується кількість віджатих технічних олій та щільність брикету, а основними технологічними і конструктивними параметрами, які мають великий вплив на ефективну роботу прес-екструдера для виготовлення паливних брикетів з оліє місткої сировини, є величини: температури нагріву робочої зони, зазору в матриці, часу перебування сировини в пристрої остаточного форму-

вання та частоти обертання шнеку. З метою отримання найбільшого результату були проведені поетапні дослідження при різних значеннях цих величин.

ВИСНОВКИ

За результатами досліджень можна зробити висновок, що використання секційного пристрою остаточного формування брикету, значно підвищує ефективність відбору технічних олій з готового продукту вже на етапі його формування. Завдяки унікальній конструкції пристрій легко поєднується з більшістю типів шнекових пресів, а його конструктивні особливості дозволяють контролювати відбір олій на різних етапах формування, що сприяє підвищенню якості брикету. Дана конструкція та технологія сприяє збільшенню робочого ресурсу обладнання.

З економічної точки зору, застосування розробленого пристрою значно знижує собівартість готової продукції та дозволяє розширити спектр сировини, яку можна використовувати в процесі виготовлення паливних брикетів.

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 харчових 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 конфере-

нції] / 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 – у 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 – у 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)

17. Самохвал В. А., Самойчук К. О., Червоткіна О.О. Багатосекційний універсальний пристрій остаточного формування паливних брикетів. Збірник тез та доповідей Міжнародна науково-практична конференція Пріоритетні напрямки розвитку науки, освіти, технологій та інновації діяльності в Україні. (Полтава 12 квітня 2024р), 71с.

18. . Самохвал В. А., Самойчук К. О., Камера дожиму з системою контролю температури шнекового прес екструдера для виготовлення паливних брикетів: Міжнародна науково-практична конференція Технічний прогрес в АПВ – Харків: 498с.

19. Самохвал В. А., Самойчук К. О. Визначення кількосних показників віджиму технічних олій при використанні пристрою остаточного формування паливного брикету. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Запоріжжя: ТДАТУ, 2024. Вип. 24, т. 2. 313 с.

20. Самохвал В. А., Самойчук К. О. Дослідження процесу формування паливних брикетів з відходів соняшнику. VIII Міжнародна наукова конференція «Здобутки та досягнення прикладних та фундаментальних наук XXI століття » (22 листопада 2024 року) Біла Церква, 2024. С. 277-280..

21. Самохвал В. А., Самойчук К. О. Дослідження процесу виготовлення паливних брикетів з відходів провіювання соняшнику. Збірник тез III Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції молодих вчених 15 листопада 2024 р. Дніпро: ДДАЕУ, 2024.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДИСПЕРГУВАННЯ МОЛОЧНОГО ЖИРУ В ІМПУЛЬСНОМУ ГОМОГЕНІЗАТОРІ

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 дослідження процесу диспергування молочного жиру в імпульсному гомогенізаторі молока, з метою впровадження даного типу обладнання у технологічну лінію виробництва молочної продукції на молокопереробних підприємствах.

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: в результаті проведених теоретичних досліджень встановлено найбільш перспективний тип гомогенізатора – імпульсний, який дозволяє отримати високу ступінь диспергування емульсії, при невисоких енерговитратах на процес. Було запропоновано методологію дослідження параметрів імпульсних гомогенізаторів молока. Розроблено та наведено структурну схему проведення досліджень параметрів гомогенізаторів молока імпульсного 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.

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

ВСТУП

Процес отримання дрібнодисперсних емульсій шляхом гомогенізації широко використовується в сільському господарстві, хімічній, фармацевтичній, переробній та інших галузях промисловості. У сільському господарстві, наприклад, диспергування є невід'ємною частиною виробництва масляних і концентрованих емульсій пестицидів. У фармацевтичній промисловості процеси диспергування особливо важливі у виробництві інгаляційних препаратів, внутрішньовенних емульсій і лізатів (клітинних екстрактів бактерій,

дріжджів і водоростей). У косметичній та парфумерній промисловості гомогенізатори використовуються для приготування ароматичних композицій з олій, які дуже важко піддаються змішуванню. Проблема надвисоких енерговитрат на процес диспергування найбільш гостро виявлена у харчовій та переробній галузях. У харчовій промисловості гомогенізація допомагає запобігти розшаруванню при зберіганні таких продуктів, як яєчний меланж і суміші на його основі, згущене молоко зі складним складом, суміші для морозива (приготування сумішей молочної основи і рослинного жиру), майонез, маргарин і кетчуп.

Однак найбільш гостро проблема надвисоких енерговитрат постає у молочній промисловості, де процес гомогенізації молока є визначальним в технологічній лінії переробки молока та виробництва питного ультрапастеризованого, непастеризованого молока, сквашених молочних продуктів, сирів та молочних консервів.

Тому встановлення більш енергоефективних способів гомогенізації та відповідного обладнання для отримання дрібнодисперсних емульсій має високу актуальність.

Аналіз літературних джерел показав, що для диспергування емульсій (гомогенізації) наразі використовуються такі типи гомогенізаторів: клапанні, гвинтові, фільтерні, відцентрові, вакуумні, ультразвукові, вихрові, роторні, однак найбільшого розповсюдження набули клапанні гомогенізатори. Але останній тип обладнання, який дозволяє отримати високу якість диспергування емульсій, характеризується універсальністю та високою продуктивністю, має суттєві недоліки. Для створення достатнього тиску гомогенізації витрачається в середньому 7–8 кВт·год/т прероблюваної продукції, що є дуже високим показником. Другі за розповсюдженістю – роторні та вакуумні гомогенізатори не дозволяють отримати середній діаметр емульсії менше ніж 2,0 мкм, що є неприйнятним для багатьох видів продукції. Інші види гомогенізаторів, такі як, ультразвукові, гвинтові, філ'єрні, відцентрові та вихрові мають значно нижчі витрати енергії на процес, однак не дозволяють отримати високу ступінь диспергування. Таким чином сучасні гомогенізатори мають дві проблеми: або надвисокі енерговитрати, або низьку якість (ступінь) гомогенізації.

Аналіз наукових публікацій, дозволив зробити висновок, що найбільш перспективними гомогенізаторами, які дозволяють досягти високого ступеня дисперсності емульсій при низьких енерговитратах, є імпульсні гомогенізатори. Принцип роботи таких гомогенізаторів полягає в тому, що емульсія проходить через канали ударного поршня, що здійснює зворотно-поступальні рухи. Основними змінними параметрами пристрою є можливість регулювання інтенсивності руху ударного поршня (його частоти та амплітуди коливань). Ці параметри впливають на гідродинамічні показники в зоні диспергування (швидкість та тиск емульсії) і визначають якість гомогенізації.

Методи і програма досліджень

Поставлені задачі вирішувались з використанням теоретичного інструментарію, серед якого: залежності класичної гідродинаміки, 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:

- проведення комп'ютерного моделювання гідродинамічних процесів в імпульсному гомогенізаторі;
- 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;
- розробка промислового зразка імпульсного гомогенізатора молока;

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проведений попередній аналіз теоретичних досліджень показав, що імпульсний тип гомогенізатора має складатися з технологічних ємностей для подачі молока та збирання готового продукту, перепускних клапанів, робочої камери, всередині якої знаходиться поршень-ударник, приводу машини та насоса. Для проведення подальших досліджень, виходячи із результатів аналізу було побудовано модель робочої камери імпульсного гомогенізатора за допомогою системи автоматизації проектних робіт в трьох вимірах Solidworks, схема якої представлена на рис. 1.

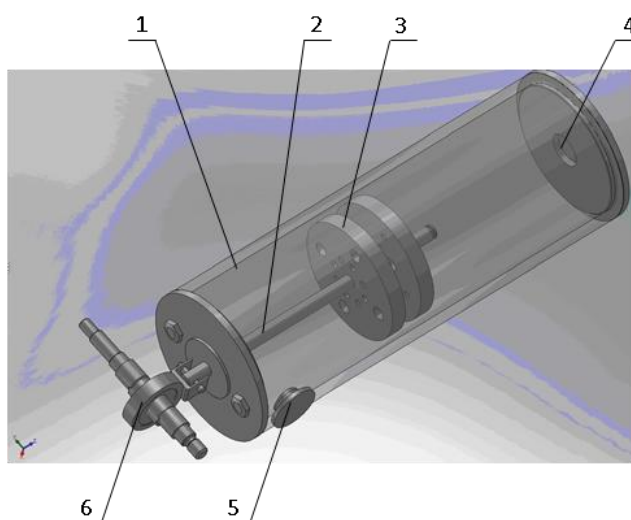


Рис. 1. Модель робочої камери імпульсного гомогенізатора виконана в Solidworks: 1 – циліндр; 2 – шток; 3 – поршні-ударники; 4 – патрубок підведення вихідного молока; 5 – патрубок відведення гомогенізованого молока; 6 – кривошипний механізм.

На базі кафедри ОПХВ імені професора Ф. Ю. Ялпачика (ТДАТУ імені Дмитра Моторного) було розроблено експериментальний зразок імпульсного гомогенізатора, який показано на рис. 2.

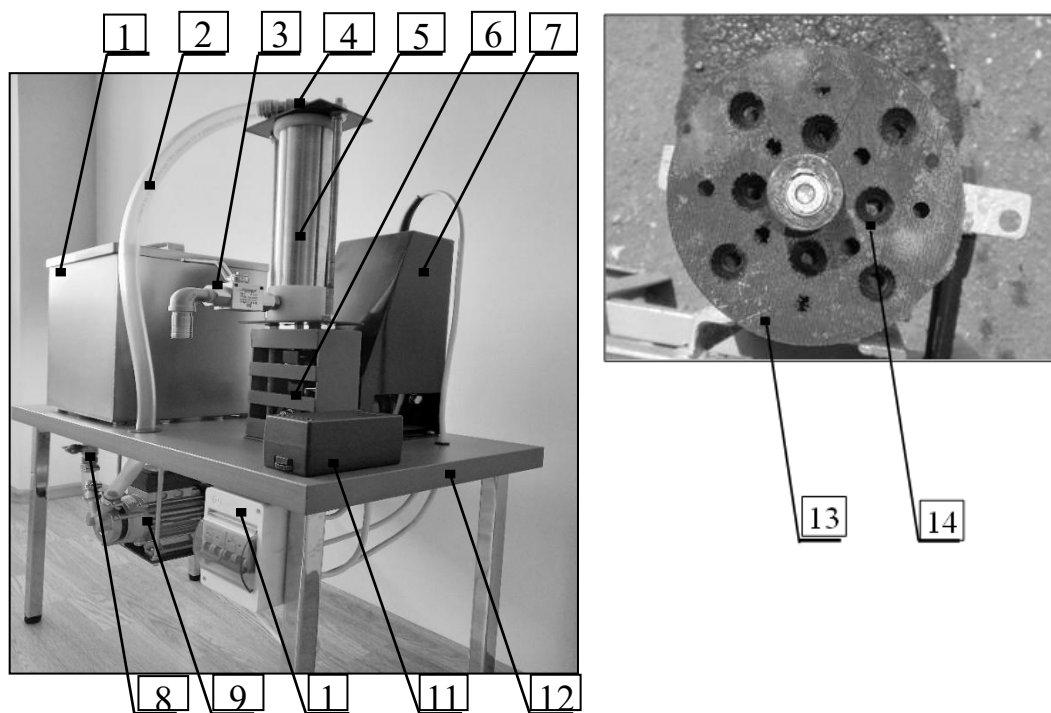


Рис. 2 – Фото експериментального зразка імпульсного гомогенізатора:

1 – приймальна ємність; 2 – патрубок подачі продукту в камеру; 3 – випускний вентиль; 4 – перепускний вентиль; 5 – робоча камера; 6 – кривошипний механізм; 7 – електродвигун приводу обертання кривошипу; 8 – перепускний вентиль; 9 – насос; 10 – електричний вимикач; 11 – пульт керування; 12 – станина; 13 – ударний поршень; 14 – отвори ударного поршня.

Пристрій складається з робочої камери гомогенізатора з поршневыми ударними елементами, які приводяться в коливальний рух імпульсним приводом через кривошипний механізм з регулятором амплітуди. Основний поршень ударника жорстко закріплений на штоку, а другий ударний поршень з'єднаний з першим поршнем за допомогою пружинного елемента.

Дослідження ефективності роботи імпульсного гомогенізатора проводилось на прикладі молока (жирові кульки – дисперсна фаза емульсії, а молочні плазма - дисперсійна), але може бути використано для будь-яких інших дрібнодисперсних емульсій.

На першому етапі моделювання були проведені стаціонарні розрахунки з використанням методу «замороженого» ротору. Це дало змогу здійснити попередню оцінку значення швидкості та тиску у всій робочій частині камери гомогенізатора. Також значення, які були отримані під час розрахунку дозволили зробити висновок, що найбільш придатною частотою коливань ударного поршня для імпульсних гомогенізаторів є 55 Гц. При менших амплітудах швидкість потоку молока дуже низька, тому гомогенізація буде відбуватись неефективно. Зі збільшенням частоти коливань ударних поршнів гомогенізатора швидкість проходження потоку емульсії збільшується незначно, але енерговитрати зростають суттєво (в 1,5 рази).

Проведення розрахунку нестационарного потоку молочної емульсії здійснювалось в діапазоні амплітудних коливань - 12 мм. Даний діапазон в подальшому було розподілено на шість частин. Похибки, які було отримано в процесі розрахунку становили не більше 10^{-5} для більшості рівнянь. Дана погрішність вважається допустимою при розрахунках гідродинаміки потоку емульсії.

Результатом проведеного комп'ютерного моделювання та розрахунів стали 3D графіки значень швидкості і тиску під час гомогенізації при проходженні потоку молока через отвір між ударними поршнями і робочою камерою пристрою та через канали в ударних поршнях при різних значеннях амплітуди пульсації (рис. 3).

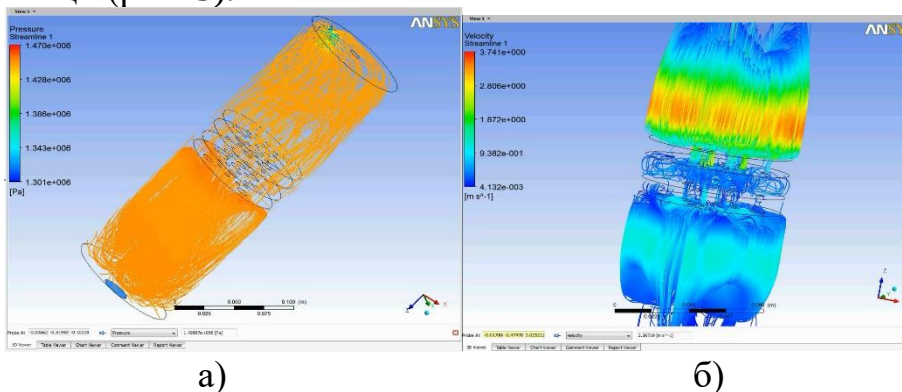


Рис. 3 3D графік ліній розподілу, створений в Ansys Workbench: а) тиск, б) швидкість потоку молока через канали в ударному поршні та отвір між ударними поршнями та робочою камерою пристрою.

Молоко в робочій камері імпульсного гомогенізатора проходить через канали в ударних поршнях та через отвір між поршнями та робочою камерою пристрою. Отвори ударного поршня є конічними з кутом 45° та виконані по колу в прямому та зворотньому порядку по відношенню до попереднього каналу. Таким чином, швидкість потоку залежить від того, чи молоко витікає з прямого або перевернутого усіченого конуса.

Частина потоку молока буде проходити через отвір між ударним поршнем та робочою камерою пристрою. Дані, які були отримані при розрахунку Ansys Workbench були використані для побудови графіку залежності значення швидкості гомогенізації при проходженні потоку емульсії молока через отвір між ударними поршнями та робочою камерою пристрою від амплітуди пульсації ударних поршнів під час гомогенізації (рис. 4).

Як видно з графіку, швидкість потоку молока при проходженні крізь зазор між ударним поршнем і циліндром робочої камери імпульсного гомогенізатора зростає з підвищенням амплітуди коливання, а отже можна припустити, що і ступінь гомогенізації буде відповідно зростати. Однак тиск, який утворюється під час імпульсної гомогенізації, теж зростає відповідно з підвищенням амплітуди коливання, а отже і збільшуються енергетичні витрати на процес гомогенізації. Тому в подальшому для проведення розрахунків вирішено було прийняти оптимальні дані, а саме частоту пульсації f - 55 Гц та амплітуду пульсації ударних поршнів h - 10 мм.

Наступним етапом досліджень було визначення швидкості потоку молока на виході з отворів першого та другого ударних поршнів.

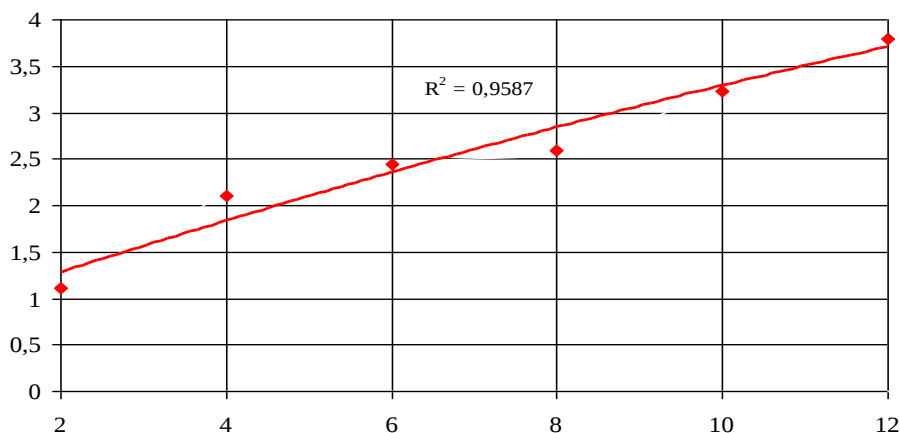


Рис. 4.

Графік залежності значення швидкості гомогенізації при проходженні потоку емульсії молока через отвір між ударними поршнями та робочою камерою пристрою від амплітуди пульсації ударних поршнів під час гомогенізації

Розрахунки в Ansys Workbench дозволили побудувати графік залежності значення швидкості потоку молока на виході з першого і другого поршнів від амплітуди пульсації ударних поршнів гомогенізатора (рис.5)

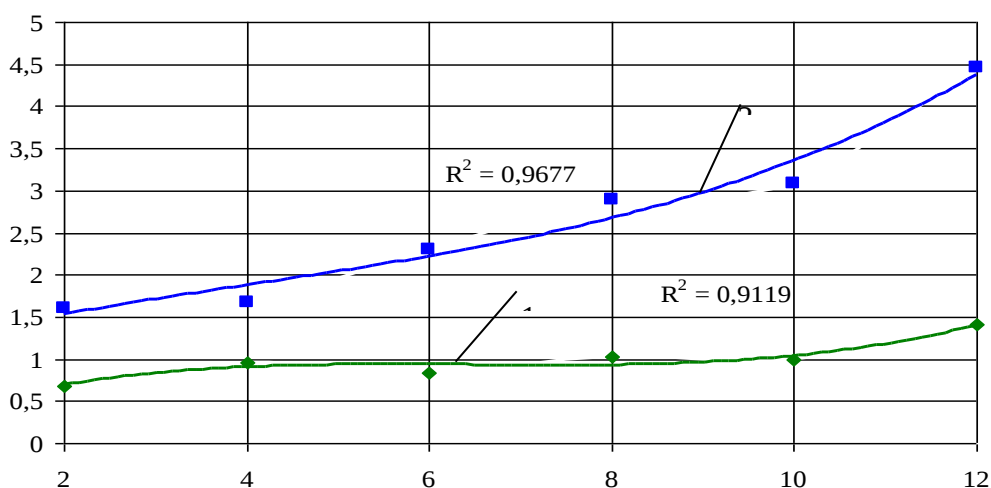


Рис. 5 Графік залежності швидкості потоку молока на виході з ударних поршнів пристрою від амплітуди пульсації ударних поршнів гомогенізатора: 1 – на виході з першого ударного поршня; 2 – на виході з другого ударного поршня.

З отриманого графіку можна зробити висновок, що найбільше значення швидкості потоку в імпульсному гомогенізаторі утворюється при виході з отворів другого ударного поршня, таким чином підтверджується доцільність встановлення додаткового поршня для покращення якості отримання готового продукту.

Таким чином, результати досліджень дозволяють зробити наступний висновок, що максимальне значення швидкості при проходженні потоку емульсії через канали другого ударного поршня буде становити 3,4 - 4,5 м/с; при проходженні через отвір між ударними поршнями та робочою камерою

пристрою – 3,2 - 3,8 м/с, при цьому значення амплітуди пульсації складає 10 - 12 мм, та тиску, що утворюється в середині гомогенізатора - 1,44 - 1,49 МПа.

Рівняння апроксимації залежності ступеня гомогенізації має такий вигляд

$$Hm = -0,0435h^2 + 1,0653h - 1,63. \quad (1)$$

$$Hm = -0,0085 f^2 + 1,0869 f - 29,724. \quad (2)$$

$$Hm = -10,012Q^2 + 38,363Q - 31,814. \quad (3)$$

Для перевірки отриманих аналітично даних було проведено експериментальні дослідження процесу імпульсної гомогенізації для визначення ступеня диспергування молочного жиру. Отримані дані порівнювали з даними гомогенізації в клапанному гомогенізаторі. На рис. 6 представлено диференційні розподілення діаметрів часток жиру отриманих в результаті диспергування в імпульсному гомогенізаторі та відповідно клапанному гомогенізаторі.

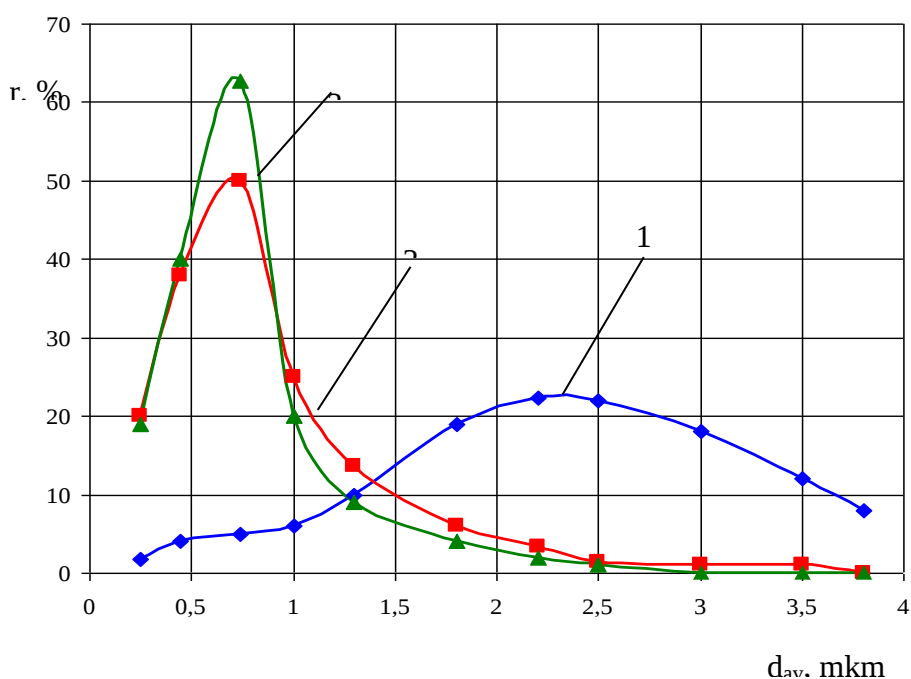


Рис. 6. Диференціальний розподіл діаметрів часток жиру за розмірами: 1 – необроблене молоко; 2 – дисперговане в клапанному гомогенізаторі, з тиском 16 МПа та температурою - 65 °С; 3 – дисперговане в імпульсному гомогенізаторі, з тиском 1,5 МПа та температурою - 65 °С.

Результати показують, що діаметр часток жиру молочної емульсії менше при використанні імпульсної гомогенізації ($d_{av} = 0,98$ мкм проти 0,80 мкм.). Тобто якість гомогенізації у дослідному гомогенізаторі стала вище на 19 % у порівнянні з результатами досліджень приведених в роботі. При цьому рівномірність фракційного складу після обробки в дослідному гомогенізаторі не менше ніж у еталонного – клапанного гомогенізатора.

Наступним етапом було проведення розробки методики розрахунку параметрів промислового зразку гомогенізатора. Основні режими роботи імпульсного гомогенізатора для практичних розрахунків визначалися згідно рівняння

$$0,88 + 0,694h + 0,602f - 0,588Q + 0,2h \cdot f + \\ + 0,426h^2 - 0,663f^2 - 0,459Q^2 = 0 \quad (3)$$

Діаметр робочої камери гомогенізатора визначався згідно формули

$$D = \frac{Q}{\pi \cdot \delta \cdot v_{\delta} \cdot \varepsilon_1 \cdot \varphi_1}, \quad (4)$$

де Q – продуктивність імпульсного гомогенізатора, кг/год;

δ – зазор між циліндром і поршнем, м;

v_{δ} – швидкість руху гомогенізуючого продукту у зазорі між циліндром і поршнем, м/с;

ε_1, φ_1 – коефіцієнти відповідно звуження і швидкості для плоскої щілини.

Довжина камери імпульсного гомогенізатора визначалась по формулі

$$L = 4 \frac{Q}{\pi \cdot D^2 \cdot f}, \quad (5)$$

де f – частота коливання поршня-ударника, Гц.

Оптимальним діаметром отворів поршнів-ударників є: $d_{\text{вхл}} = 0,008$ м; $d_{\text{вих}} = 0,002$ м. Кількість отворів повинна бути максимальною з умов характеристики міцності робочого органу гомогенізатора.

Діаметр поршнів-ударників визначався за формулою

$$d_{\text{пор}} = D - 2\delta. \quad (6)$$

Товщина поршнів-ударників імпульсного гомогенізатора визначається як

$$S_{\text{пор}} = 2 \dots 6 \cdot d_{\text{отв}}, \quad (7)$$

де $d_{\text{отв}}$ – діаметр отворів поршнів-ударників, м.

Потужність гомогенізатора визначається по формулі

$$N = \frac{c \cdot \rho_m \cdot v^3 \cdot S}{2 \cdot \eta_n \cdot \eta_e}, \quad (8)$$

де c – коефіцієнт опору, для круглої пластини, $c=1,1 \dots 1,15$ [135];

S – площа поршня, м²;

v – швидкість руху поршня-ударника (подача), м/с;

η_n – коефіцієнт корисної дії насоса;

η_e – коефіцієнт корисної дії електродвигуна.

Теоретичний розрахунок основних конструктивних параметрів гомогенізатора виконувався по залежностях (3–8) значення яких зведені в таблицю 1.

Таблиця 1 – Параметри імпульсного гомогенізатора

Продуктивність гомогенізатора Q , кг/год	Максимальне значення тиску імпульсів, МПа	Довжина робочої камери гомогенізатора, м	Діаметр робочої камери гомогенізатора, м	Потужність гомогенізатора, N , кВт
1800	1,5	0,5	0,3	2

З метою перевірки працездатності запропонованої конструкції імпульсного гомогенізатора в промислових умовах було розроблено дослідний зразок імпульсного гомогенізатора, який пройшов виробничі випробування на базі приватного підприємства "Молокозавод-ОЛКОМ" (м. Мелітополь Запорізької області).

В якості насосу 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 насосу складає 1,5 м, коефіцієнт корисної дії – 38%.

Аналіз отриманих експериментальних даних дозволяє зробити висновок, що в імпульсному гомогенізаторі можна отримати високу якість готової емульсії, якщо створити наступні умови процесу: амплітуда пульсації становить 10 - 12 мм, тиск, що утворюється в середині гомогенізатора – 1,44 - 1,49 МПа. Ці результати добре корелюють з результатами проведеного комп'ютерного моделювання. І свідчать про те, що використання імпульсного гомогенізатора з двома поршнями в технологічній лінії переробки молока дозволять забезпечити стабільну дисперсійність готового продукту отриманого в результаті гомогенізації.

ВИСНОВКИ

Дослідження технологічного обладнання для диспергування дрібнодисперсних емульсій дозволили виділити перспективний та ефективний тип гомогенізатора – імпульсний з двома поршнями. Комп'ютерне моделювання процесу імпульсної гомогенізації в ANSYS Workbench свідчить про те, що максимальне значення швидкості при проходженні потоку емульсії через канали другого ударного поршня буде становити 3,4 - 4,5 м/с; при проходженні через отвір між ударними поршнями та робочою камерою пристрою – 3,2 - 3,8 м/с, при цьому значення амплітуди пульсації складає 10 - 12 мм, та тиску, що утворюється в середині гомогенізатора - 1,44 - 1,49 МПа. Ці параметри

свідчать про створення гідродинамічних умов, достатніх для отримання високого ступеня диспергування.

Проведені експериментальні дослідження показали, що середній діаметр жирових кульок молока становить 0,80 мкм. При цьому рівномірність фракційного складу після обробки в дослідному гомогенізаторі не менше ніж у еталонного – клапанного гомогенізатора.

Проведені дослідження доводять, що дослідний імпульсний гомогенізатор з двома поршнями за параметром якості гомогенізації не поступається еталонному – клапанному гомогенізатору. Таким чином дослідний гомогенізатор є перспективним для заміни клапанних гомогенізаторів в технологічних лініях переробки молока.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Kyrylo Samoichuk, Valentyna Verkholtantseva, Nadiia Palianychka, Alexandr Kovalyov, Dmytro Dmytrevskyi, Dmytro Horielkov, Vitalii Chervonyi, Voitsekhivskyi Volodymyr (2024) Analysis of the hypotheses of milk fat phase dispersion and structural features of homogenizers. Food Technology Progressive Solutions, pp. 47–92.
2. Deynichenko G., Samoichuk K., Yudina T., Levchenko L., Palianychka N., Verkholtantseva V., Dmytrevskyi D., Chervonyi V. Parameter optimization of milk pulsation homogenizer. Journal of Hygienic Engineering and Design. 2018. Vol. 24. p. 63-67.
3. 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.
4. 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.
5. Паляничка Н.О. Визначення шляхів зниження енерговитрат процесу гомогенізації молока// Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету. Дніпропетровськ, 2016. Вип. 1(39). С. 53-56.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Самойчук К.О., Паляничка Н.О., Верхоланцева В.О., Янович В.П. Вібраційні гомогенізатори молока // Вібрації в техніці та технологіях. Вінни-

ця: ВНАУ. №1 (88). 2018. С. 77–82.

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

11. 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.

12. 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.

13. Паляничка Н.О., Верхованцева 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

14. 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.

15. 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.

16. 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.

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

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

22. 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.

23. 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.

24. Самойчук К. О., Паляничка Н. О., Верхованцева В. О. Дослідження високоефективного 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.

25. Самойчук К.О., Кюрчев С.В., Паляничка Н.О., Верхованцева В.О. Впровадження високоефективного обладнання для диспергування емульсій в технологічну лінію переробки молока. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету : електронне наукове фахове видання. 2022. Вип. 12. том 2.

26. Паляничка Н.О., Верхованцева 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).

27. Кюрчев С. В., Самойчук К. О., Ковальов О. О., Паляничка Н. О., В'юник О. В. Підвищення енергоефективності диспергування в пульсаційному гомогенізаторі рідких продуктів. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Запоріжжя: ТДАТУ, 2024. Випуск 24, том 3. С. 7-17.

28. Паляничка Н. О., Верхованцева В. О., Червоткіна О. О., Ковальов О.О., Ялпачик В. Ф. Дослідження процесу диспергування молочного жиру в імпульсному гомогенізаторі. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Запоріжжя: ТДАТУ, 2024. Випуск 24, том 3. с. 72-81.

РОЗДІЛ 3

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИКИ ПРОЦЕСУ ЛУЩЕННЯ УДАРОМ В ЛУЩИЛЬНОМУ ПРИСТРОЇ 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 енергетики процесу лушення у лущильному пристрої ударної дії. Отримане рівняння для визначення питомої енергоємності процесу лушення у лущильному пристрої ударної дії дозволяє визначити цей показник урахуванням основних технологічних параметрів пристрою, режимних показників та фізико-механічних властивостей сировини. 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 %.

ЕНЕРГОЄМНІСТЬ ПРОЦЕСУ ЛУЩЕННЯ, КОЕФІЦІЄНТ ЦІЛІСНОСТІ ЯДРА, КОЕФІЦІЄНТ ЛУЩЕННЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ ЛУЩЕННЯ, ЛУЩИЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ УДАРНОЇ ДІЇ.

ВСТУП

Визначення напрямків розвитку наукового потенціалу галузі переробки зерна належить вітчизняним ученим, якими створені наукові школи по рішенню практичних і теоретичних проблем удосконалення технологій виробництва продовольчих товарів. Визначення напрямків розвитку наукового потенціалу галузі переробки зерна належить вченим, якими створені наукові школи по рішенню практичних і теоретичних проблем удосконалення технологій виробництва круп. Відповідно до результатів цих розробок, спрямованих на рішення наукових та практичних проблем створення та удосконалення енерго- і ресурсозберігаючих технологій переробки зерна розроблено Державні стандарти на зерно, Правила організації та ведення технологічних процесів на зернопереробних підприємствах, Державні стандарти на хлібопродукти

та продовольчі товари і інша нормативно-технічна та технологічна документація для зернопереробної галузі..

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 оболонок 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 питомою енергоємністю процесу луцення у луцильному пристрої ударної дії та його конструктивними і кінематичними параметрами, та фізико-механічними характеристиками зернівки.

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 та питомих витрат електричної енергії процесу було виготовлено луцильний пристрій ударної дії зі зміною частотою обертання та подачею. На рис 1 показано зовнішній вигляд пристрою. Луцильний пристрій ударної дії складається з наступних основних функціональних блоків: живильного вузлу, луцильної камери та приводу.

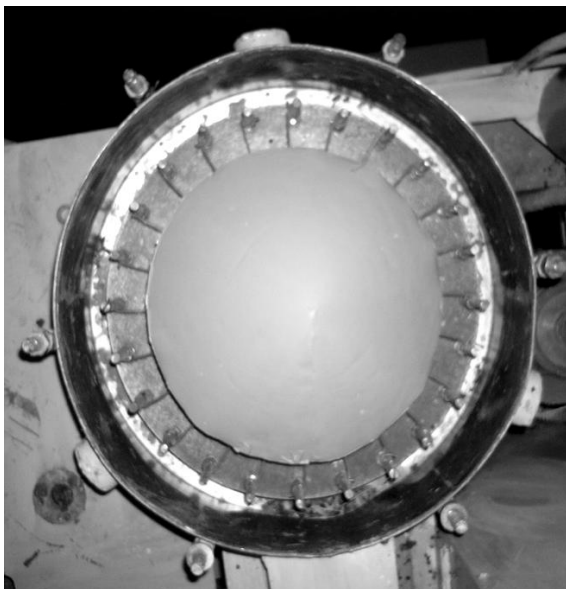
Пристрій для луцення зерна містить живильний вузол, який складається з живильного бункера 1 та напрямного конуса 2 зверненого основою до диска 3. Диск 3 розташований в порожнині корпусу 4 та жорстко закріплено в горизонтальному положенні на валу 5. Над диском 3 встановлені струни 6, одним кінцем радіально закріплені у струнорозподільнику 7, який прилаштовано до вала 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.

Струнотримачі 8 розташовано на периферії диска 3 та відокремлено від корпусу 4 перегородкою 9, яка перешкоджає виникненню ефекту «молоткової дробарки». Продукти луцення видаляються з поверхні диска за рахунок відцентрової сили. У порожнині під диском встановлена крильчатка 10, яка сприяє прискоренню видалення продуктів луцення до вихідно-

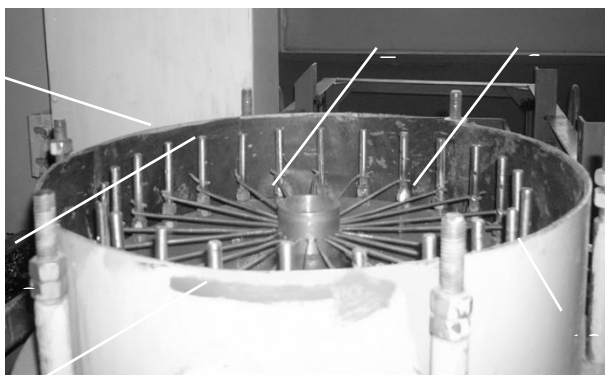
го патрубку 11.

Попередньо очищене зерно без сортування на фракції за розміром надходило до живильного бункера 1 та, проходячи по каналу, створеному корпусом 4 та напрямним конусом 2, надходить до робочої зони, яка створюється диском 3, закріпленим жорстко в горизонтальній площині на валу 5, та корпусом 2. Таке подавання забезпечує надходження зерна до периферії диска 2, тим самим реалізується одноразовий прямий удар, при якому на зернівку діє однакова руйнівна сила. В площині перпендикулярній площині падіння зерна обертаються струни 5, що забезпечує постійність прямого удару.

а)



б)



в)

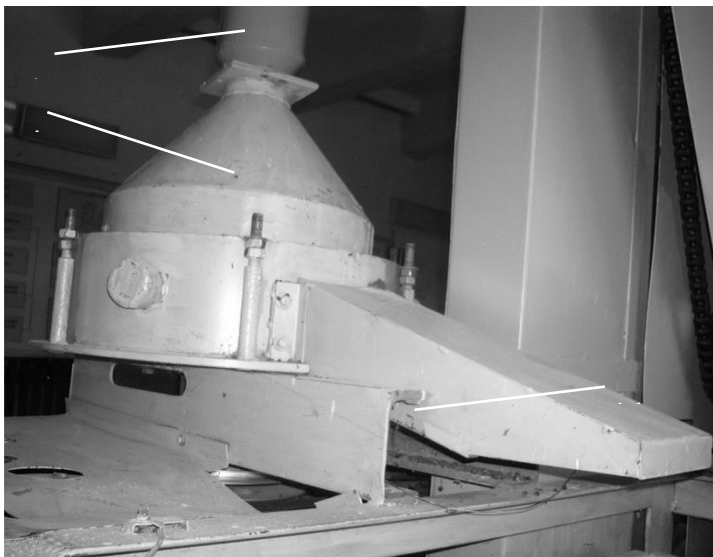


Рис. 1. Лушильний пристрій ударної дії

Запропонована конструкція струнорозподільника 7 та струнотримача 8 дозволяє встановлювати необхідну для технологічного процесу кількість струн на будь-якому рівні вздовж струнотримача. Для забезпечення відсутності дроблення зерна струнотримач 8 розташований на периферії диска 3 та відокремлено від корпусу 4 перегородкою 9. Далі продуктам лушення за рахунок відцентрового прискорення, яке виникає при обертанні диска 3, надається кінетична енергія, яку спрямовують на їх видалення з зони лушення. Потім продукти лушення просипаються у зазор, який створюється диском 3 та корпусом 4, після чого попадають до порожнини під диском 3, та за допомогою крильчатки 10 надходять до вихідного патрубку 11 та направляються на подальшу переробку.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою реалізації процесу лушення власнокруп'яних культур ударом є руйнування оболонок власнокруп'яних культур при умові збереження цілісності ядра. Оскільки ефективність лушення 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 лушення, проведення експериментів по описанню процесу лушення власнокруп'яної сировини рівнянням регресії, отримання оптимальних технологічних показників для ефективної реалізації процесу лушення власнокруп'яних культур ударом.

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

Удар струни о зернівку є квазіупругим, оскільки частина енергії, що

виникає при ударі, переходить до залишкової деформації та нагріву тіл.

Кінетична енергія, що втрачається при ударі струни о зернівку визначається рівнянням

$$W_0 - W_1 = \frac{1-k}{1+k} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot M_c \cdot (v_c - u_c)^2 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_z - u_z)^2 \right], \quad (1)$$

де W_0 – кінетична енергія системи до удару, Дж;

W_1 – кінетична енергія системи після удару, Дж;

M_c – маса системи, кг;

m – маса зернівки, кг;

v_c – швидкість системи до удару, м/с;

u_c – швидкість системи після удару, м/с;

v_z – швидкість зернівки до удару, м/с;

u_z – швидкість зернівки після удару, м/с.

Оскільки лінійна швидкість струни у момент зіткнення значно перевищує лінійну швидкість зернівки, то доцільним є припустити, що $v_z = 0$.

Тоді

$$W_1 = \frac{M_c}{M_c + m} \cdot W_0 \quad (2)$$

У нашому випадку маса зернівки значно менша за масу системи, яка здійснює удар, тобто $M_c + m \approx M_c$, а відповідно й $W_1 \approx W_0$. Виходячи з цього, хоча удар й є непружним, втрат енергії при ударі практично не відбувається, та зернівка отримує енергію майже без втрат.

Швидкість точок твердого тіла при сферичному русі в кожний момент часу можна розглядати як обертання навколо миттєвої осі обертання. При цьому величина моменту інерції неоднакова у різних точках системи оскільки змінюється й відстань від осі системи до точки, що розглядається. Цьому кінетична енергія тіла, що здійснює сферичний рух у даний момент, визначається за формулою

$$W_i = J_{zi} \cdot \frac{\omega_i^2}{2}, \quad (3)$$

де J_{zi} – момент інерції системи у i -тій точці, кг·м²;

ω_i – кутова швидкість обертання струни у i -тій точці, с⁻¹.

Відповідно до формули Ейлера

$$\omega_i = \frac{v_i}{R_i}, \quad (4)$$

де v_i – лінійна швидкість обертання струни у i -тій точці робочої зони, м/с;

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

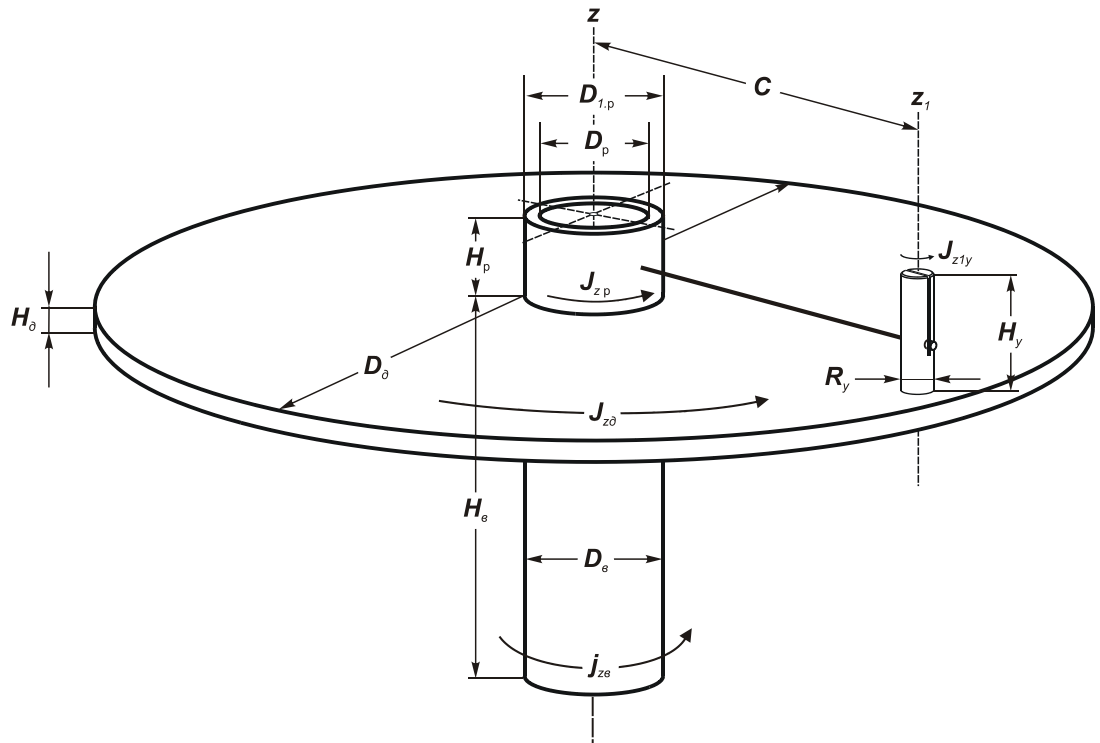


Рис. 3.3. Схема розрахунку моменту інерції системи.

Виходячи з (3) та (4) рівнянь отримаємо вираз

$$W_i = J_z \cdot \frac{v_i^2}{2 \cdot R_i^2} \quad (5)$$

Момент інерції системи у i -тій точці відносно центральної осі системи z складається з суми моментів інерції усіх складових цієї системи у цієї ж точці відносно осі z .

$$J_i = \sum J_j. \quad (6)$$

Для нашого випадку: вал (враховується частина вала від підшипникового вузлу та вище), струнорозподільник; диск; струни та струнотримачі.

$$J_z = J_{z0} + J_{z0} + J_{z0} + z \cdot (J_{zc} + J_{z0}), \quad (7)$$

де J_{z0} – момент інерції вала, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

J_{z0} – момент інерції диска, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

J_{zp} – момент інерції струнорозподільника, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

J_{zc} – момент інерції струни, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

J_{zy} – момент інерції струнотримача, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

z – кількість струн, а, відповідно, й струнотримачів, шт.

Для визначення моментів інерції частин системи скористаємося методикою визначення моментів інерції однорідних тіл відносно їх власних центральних осей. Власні центральні осі вала, диска та струнорозподільника співпадають з центральною віссю системи, а власні центральні осі струни та струнотримача знаходяться на деякій відстані від неї.

Момент інерції вала відносно центральної осі системи визначається за формулою

$$J_{ze} = \frac{m_e \cdot R_e^2}{2}, \quad (8)$$

де m_e – маса вала, кг;
 R_e – радіус вала, м.

$$m_e = \pi \cdot \rho_e \cdot H_e \cdot R_e^2, \quad (9)$$

де ρ_e – щільність матеріалу, з якого виготовлено вал, кг/м³;
 H_e – висота вала від центру підшипникового вузлу до диска, м.

Виходячи з (8) та (9), отримаємо вираз для визначення моменту інерції вала відносно осі z

$$J_{ze} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \rho_e \cdot H_e \cdot R_e^4. \quad (10)$$

Рівняння для визначення моменту інерції диска відносно центральної осі системи має вигляд

$$J_{zd} = \frac{m_d \cdot R_d^2}{2}, \quad (11)$$

де m_d – маса диска, кг;
 R_d – радіус диска, м.

$$m_d = \pi \cdot \rho_d \cdot H_d \cdot R_d^2, \quad (12)$$

де ρ_d – щільність матеріалу, з якого виготовлено диск, кг/м³;
 H_d – товщина диска, м.

Враховуючи вище викладені вирази (11) та (12) отримаємо

$$J_{zd} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \rho_d \cdot H_d \cdot R_d^4. \quad (13)$$

Момент інерції струнорозподільника відносно центральної осі буде дорівнювати

$$J_{zd} = \frac{m_\delta \cdot (R_{1\delta}^2 - R_{2\delta}^2)}{2}, \quad (14)$$

де m_δ – маса струнорозподільника, кг;
 $R_{1\delta}$ – зовнішній радіус струнорозподільника, м;
 $R_{2\delta}$ – внутрішній радіус струнорозподільника, м.

$$m_\delta = \pi \cdot \rho_\delta \cdot H_\delta \cdot (R_{1\delta}^2 - R_{2\delta}^2), \quad (15)$$

де ρ_δ – щільність матеріалу, з якого виготовлено струнорозподільник, кг/м³;
 H_δ – висота струнорозподільника, м.

Зважаючи на вирази (14) та (15) отримаємо рівняння

$$J_{zd} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \rho_\delta \cdot H_\delta \cdot (R_{1\delta}^4 - R_{2\delta}^4) \quad (16)$$

Зважаючи на геометричні розміри та вагу струн доцільним є знехтувати її моментом інерції, тобто прийняти, що

$$J_{zc} = 0. \quad (17)$$

Оскільки відомо, що момент інерції твердого тіла відносно деякої осі дорівнює моменту інерції тіла відносно паралельної вісі, що проходить через його центр мас, доданому до добутку маси тіла на квадрат відстані між осями, то момент інерції струнотримача відносно головної осі системи дорівнює

$$J_{zy} = J_{z_1y} + m_y \cdot c^2, \quad (18)$$

де J_{z_1y} – момент інерції відносно власної центральної осі z_1 , $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

m_y – маса струнотримача, кг ;

c – відстань від власної центральної осі z_1 до центральної осі системи z , м.

Відносно власної центральної осі момент інерції струнотримача визначається за формулою

$$J_{z_1y} = \frac{m_y \cdot R_y^2}{2}, \quad (19)$$

де R_c – радіус струнотримача, м.

$$m_y = \pi \cdot \rho_y \cdot H_y \cdot R_y^2, \quad (20)$$

де ρ_y – щільність матеріалу, з якого виготовлено струнотримач, $\text{кг}/\text{м}^3$;

H_c – висота струнотримача, м.

Отримаємо вираз

$$J_{z_1y} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \rho_y \cdot H_y \cdot R_y^4. \quad (21)$$

Одержимо рівняння для визначення моменту інерції струнотримача відносно центральної осі системи

$$J_{z_1y} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \rho_y \cdot H_y \cdot R_y^4 + \pi \cdot \rho_y \cdot H_y \cdot R_y^2 \cdot c^2 \quad (22)$$

Після перетворень, одержимо вираз для визначення моменту інерції системи відносно центральної осі

$$J_z = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \rho \cdot H_a \cdot R_a^4 + \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \rho \cdot H_\delta \cdot (R_{1\delta}^4 - R_{2\delta}^4) + \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \rho \cdot H_a \cdot R_a^4 + \\ + \frac{1}{2} \cdot z \cdot \pi \cdot \rho \cdot H_\delta \cdot R_\delta^4 + z \cdot \pi \cdot \rho \cdot H_\delta \cdot R_\delta^2 \cdot \tilde{n}^2 \quad (23)$$

Враховуючи вирази (22) та (23), отримаємо рівняння, що дозволить визначити кінетичну енергію системи у будь-якій її точці

$$W_3 = \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot v_i^2}{R_3^2} \cdot \left(\rho_{\hat{a}} \cdot H_{\hat{a}} \cdot R_{\hat{a}}^4 + \rho_{\delta} \cdot H_{\delta} \cdot (R_{1\delta}^4 - R_{2\delta}^4) + \rho_{\hat{a}} \cdot H_{\hat{a}} \cdot R_{\hat{a}}^4 + \right. \\ \left. + z \cdot \rho \cdot H_{\delta} \cdot R_{\delta}^4 + \frac{1}{2} z \cdot \pi \cdot \rho_{\delta} \cdot H_{\delta} \cdot R_{\delta}^2 \cdot \tilde{n}^2 \right) \quad (24)$$

Маса зернівки значно менша за масу системи, а відповідно й кінетична енергія зернівки значно менша за кінетичну енергію системи, яку вона має у будь-якій точці у робочій зоні вздовж струни. Враховуючи вище викладене доцільним є припущення, що під час удару зернівці надається енергія, що дорівнює кінетичній енергії системи у точці удару.

Оскільки подача q визначає секундне завантаження луцильного пристрою, тоді кількість зернівок, які співударяються зі струнами складе

$$n_0 = \frac{1000 \cdot q}{M_{1000} \cdot n}, \quad (25)$$

де q – подача луцильного пристрою, кг/с;

M_{1000} – маса 1000 зерен, кг;

n – частота обертання струн, с⁻¹.

Зважаючи на вище викладене рівняння для визначення енергії, що витрачається привідним двигуном на лущення зерна, матиме наступний остаточний вид

$$\Delta W_i = \frac{250 \cdot \pi \cdot V_i^2 q \cdot z}{R_i^2 \cdot M_{1000}} \left(\rho_{\epsilon} \cdot H_{\epsilon} \cdot R_{\epsilon}^4 + \rho_{\epsilon,2\epsilon} \cdot H_{\epsilon,2\epsilon} (R_{1\epsilon,2\epsilon}^4 - R_{2\epsilon,2\epsilon}^4) + \rho_{\delta} \cdot H_{\delta} \cdot R_{\delta}^4 \right. \\ \left. + z \cdot \rho \cdot H_y \cdot R_y^4 + \frac{1}{2} z \cdot \pi \cdot \rho_y \cdot H_y \cdot R_y^2 \cdot c^2 \right) \quad (26)$$

де z – кількість струн, шт.

Отримане рівняння для визначення питомої енергоємності процесу лущення у луцильному пристрої ударної дії дозволяє визначити цей показник урахуванням основних технологічних параметрів пристрою, режимних показників та фізико-механічних властивостей сировини.

ВИСНОВКИ

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

2. Основний вплив на ефективність процесу лущення ударом здійснює швидкість за якої відбувається зіткнення струни із зернівкою. Отримано рівняння розрахунку критичної швидкості в залежності від основних параметрів процесу ударної обробки сировини.

3. Теоретичні дослідження процесу лушення ударом дозволили отримати функціональне рівняння для визначення його основних технологічних параметрів.

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 4

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРЕСУВАННЯ МЕЗГИ НАСІННЯ РИЦИНИ У ШНЕКОВОМУ ПРЕСІ

РЕФЕРАТ

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

Метою дослідження є підвищення ефективності процесу віджимання олії із насіння рицини шляхом визначення оптимальних конструктивних параметрів пресу з урахуванням його продуктивності.

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. Запропоновано виконувати розрахунок конструктивних параметрів шнекових пресів різної продуктивності при пресуванні мезги насіння рицини через експериментально установлений закон її стиснення. Такий закон забезпечує розрахунок вільних об'ємів між конкретними номерами пресувальних витків.

2. Встановлено ефективність пресування мезги насіння рицини кожного пресувального витка, за рахунок чого обґрунтовано потрібну кількість пресувальних витків пресу.

ВСТУП

Попереднє пресування олійних культур (форпресування) дозволяє за допомогою попередньо проведеної волого-теплової обробки їх м'ятки та невеликого тиску при пресуванні отримати з мезги до 85% олії без застосування спеціального розчинника [1,14]. Продуктом переробки рицини є рицинова олія, яка застосовується у військовій, хімічній, електротехнічній, медичній, косметичній, лакофарбовій промисловості [2-4,15-18], а також в сільському господарстві при виготовленні біопаливах [5-8,19-22]. Рицина за своїми фізико-механічними властивостями відрізняється від інших олійних культур [9,23,24], із-за цього застосування існуючих нині пресів для віджиму рицинової олії є неефективним. Створення ж якогось спеціального пресу для віджимання рицинової олії не зможе задовольнити всіх виробників продукції, так як кожний із них орієнтується на певну продуктивність цього обладнання.

Тому, виникає проблема установлення закону стиснення насіння рицини, використання якого дозволить розрахувати конструктивні параметри пресу і забезпечити збільшення виходу рицинової олії.

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.

В роботах [23-24] викладено методику експериментальних досліджень окремо для кожного пресувального витка шнекового пресу та проведено обробку результатів досліджень за методикою багатфакторного експерименту. При проведенні таких експериментальних досліджень використовували метод розгорнутого каналу. Функцією відгуку встановлено відносну масу ріцинової олії. Найвпливовішими факторами, що впливали на процес пресування мезги насіння ріцини, прийнято наступні: а) ступінь стиснення мезги ε , відносних одиниць (в.о.), що визначався відношенням першопочаткового об'єму мезги, яку завантажували до розгорнутого каналу, до кінцевого об'єму матеріалу, що обумовлений визначеним тиском при стисненні; б) температура мезги всередині каналу t , °C; в) зазор у зеєрних пластинах розгорнутого каналу δ , мм.

Обробку експериментальних досліджень виконували згідно з відомими методиками.

В результаті проведених досліджень отримано наступне: на першому пресувальному витку ступінь стиснення складає $\varepsilon=1,42$; на другому – $\varepsilon=1,79$, на третьому – $\varepsilon=2,09$; на четвертому – $\varepsilon=4,67$; на п'ятому – $\varepsilon=5,35$; на шостому – $\varepsilon=6,21$; на сьомому – $\varepsilon=7,29$; на восьмому – $\varepsilon=9,29$ (рис. 1); зазор у зеєрних пластинах з першого по четвертий пресувальний виток $\delta=1,5$ мм, з п'ятого по восьмий – $\delta=1,0$ мм; температура мезги під час пресування $t=105$ °C.

В якості показника ефективності, в.о., при віджиманні мезги насіння ріцини приймали відносну масу олії, яка не залежала від продуктивності [23]:

$$\mu = \frac{m_o}{m_{\text{зад}}} \rightarrow \max; \quad (1)$$

де m_o – маса олії після пресування мезги у розгорненому каналі, г.; $m_{\text{зад}}$ – маса мезги перед пресуванням, г.

Після проведення експериментальних досліджень та оптимізації даних отримано критерій оптимізації на рівні: на першому пресувальному витку відносна маса олії складає $\mu=0,0812$; на другому – $\mu=0,272$; на третьому – $\mu=0,368$; на четвертому – $\mu=0,409$; на п'ятому – $\mu=0,454$; на шостому – $\mu=0,47$; на сьомому – $\mu=0,489$; на восьмому – $\mu=0,496$ (рис. 1)

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Враховуючи дослідження [10-11], побудуємо загальну залежність номеру витку шнекового пресу n від оптимізованого ступеню стиснення, що отримано на конкретному пресувальному витку (рис. 1).

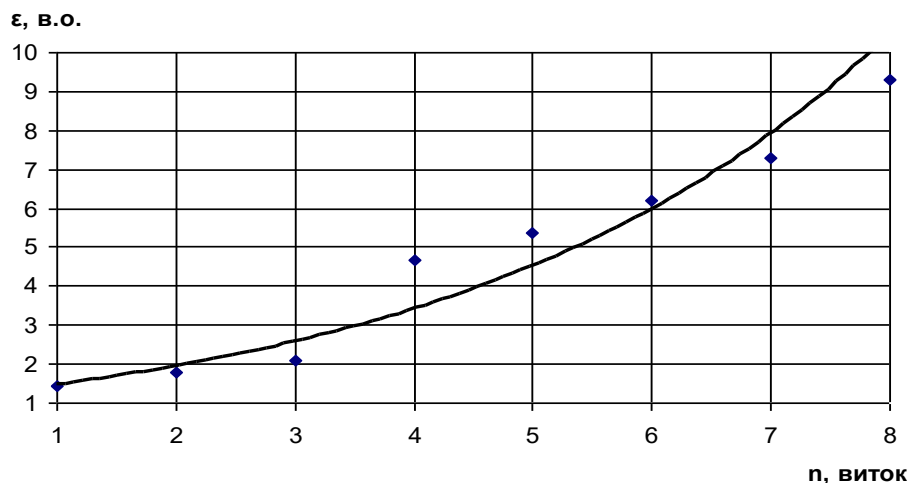


Рисунок 1 – Залежність ступеня стиснення від номера пресувального витка

Застосувавши обробку залежності (рис. 1) в EXCEL, отримали закономірність впливу номера пресувального витка (n) на ступінь стиснення мезги рицини:

$$\varepsilon = 1,109e^{0,281 \cdot n} . \quad (2)$$

Якщо врахувати те, що ступінь стиснення мезги окремо на кожному пресувальному витку витку шнекового пресу – це відношення її об'єму на першому витку до об'єму у кожному наступному витку відповідно, вільні об'єми між пресувальними витками можна визначити за формулою:

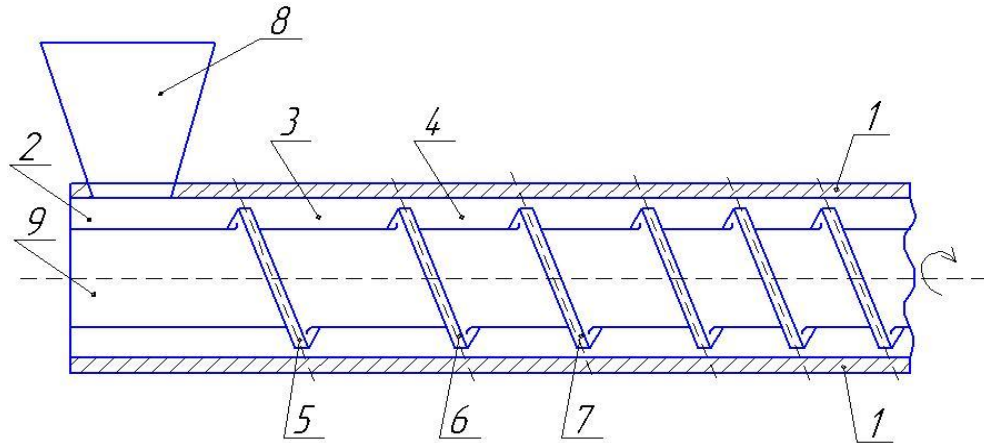
$$V_n = \frac{V_1}{1,109e^{0,281 \cdot n}} , \quad (3)$$

де V_1 - об'єм мезги, що завантажується у перший пресувальний виток шнекового пресу, м^3 ; V_n - об'єм мезги, що може знаходитися у n -ному пресувальному витку шнекового пресу, м^3 .

Конструктивно змінити вільний об'єм пресувальних витків за довжиною шнекового вала можна за допомогою відповідного конструктивного виконання робочих органів (зеєрного циліндру та шнекового вала з пресувальними витками). Конструктивні зміни у цих робочих органах можна здійснити наступним чином: змінити відстань (крок гвинта) між пресувальними витками; змінити діаметр робочої камери; змінити висоту пресувальних витків; змінити діаметр робочої камери та змінити крок гвинта [14].

Проведемо обґрунтування застосування отриманого закону стиснення (2) при початковому розрахунку конструктивних параметрів пресу у варіанті зі змінним кроком гвинта (рис. 2). Вільний об'єм (поз. 2 рис. 2) мезги першого пресувального витка (поз. 5, рис. 2) визначає подальшу продуктивність шнекового пресу, необхідну для задоволення потреб виробника продукції. Знаючи такий об'єм (поз. 5, рис. 2) і номер пресувального ви-

тка, можна визначити всі інші вільні об'єми (поз. 3, 4, і т.д. рис. 2) між іншими пресувальними витками (поз. 6, 7, і т.д. рис. 2). Далі, не змінюючи встановлені вільні об'єми між пресувальними витками, розрахувати всі інші конструктивні параметри такого шнекового пресу з урахуванням його відповідної продуктивності.



1 – зєєрний циліндр; 2 – вільний об'єм першого пресувального витка ; 3, 4 - вільні об'єми інших пресувальних витків; 5 – перший пресувальний виток; 6, 7 – інші пресувальні витки; 8 – завантажувальний бункер; 9 – шнековий вал

Рисунок 2 – Конструктивне виконання шнекового пресу у варіанті зі змінними кроком гвинта

Наприклад, виробник бажає отримати продуктивність шнекового пресу за рициною 15 тон на добу. За восьмичасового робочого дня, така продуктивність буде становити $15 \div 8 = 1,875 \text{ т/год}$ або 1875 кг/год. При середньому часі перебування мезги у шнекових пресах близько 1,5 хвилини (0,025 години), вільний об'єм першого пресувального витка повинен бути таким, щоб помістити 47 кг ($1875 \cdot 0,025 \approx 47$ кг) мезги насіння рицини. Після встановлення конструктивних параметрів вільного об'єму першого пресувального витка, всі інші – розраховуються за рівнянням (3).

При встановленому ступені стиснення кожного пресувального витка, визначено відносну кількість олії, що отримується на n-му пресувальному витку для заданної маси мезги m_0 (рис. 3). Як бачимо, найбільший вихід олії відбувається на другому витку. На восьмому пресувальному витку вихід олії практично знижується до нуля. Звідси випливає, що збільшення кількості витків більше восьми призведе лише до зростання тиску в шнековому пресі та збільшення витрат потужності на пресування. Саме тому при пресуванні мезги насіння рицини достатня кількість пресувальних витків не повинна перевищувати 8.

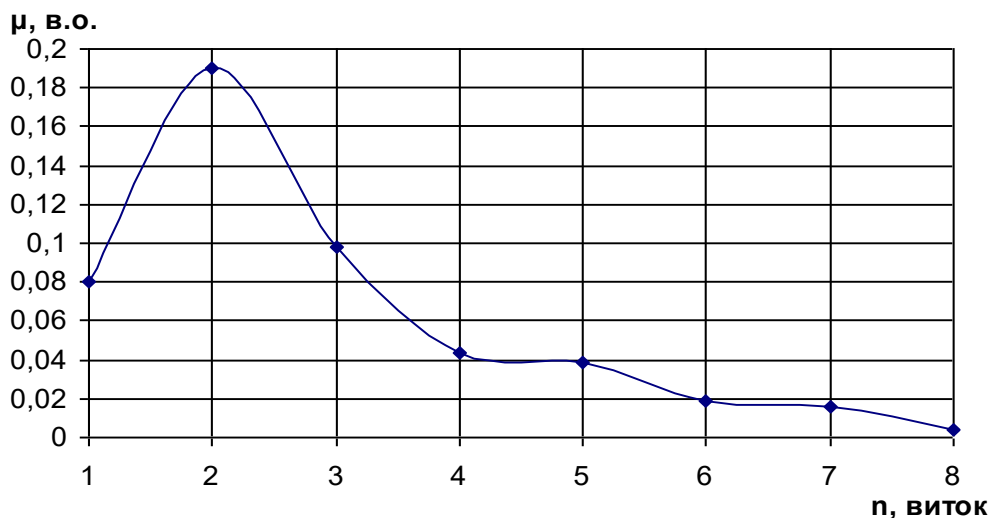


Рисунок 3 – Залежність відносної маси олії від номеру витка

Якщо використати залежність ступеня стиснення мезги від номера пресувального витка (рис. 1), отримаємо залежність відносної маси олії, що отримується на кожному ступені стиснення шнекових пресів (рис. 4). Із її аналізу випливає, що максимальний вихід рицинової олії має місце за ступеню стиснення мезги на рівні 1,42. За подальшого збільшення цього показника, ефективність віджиму рицинової олії різко зменшується. За позначки $\varepsilon = 9,4$ цей процес практично припиняється. З огляду на це, виготовлення витків пресу із параметрами, які забезпечують умови $\varepsilon > 9,4$, є недоцільним.

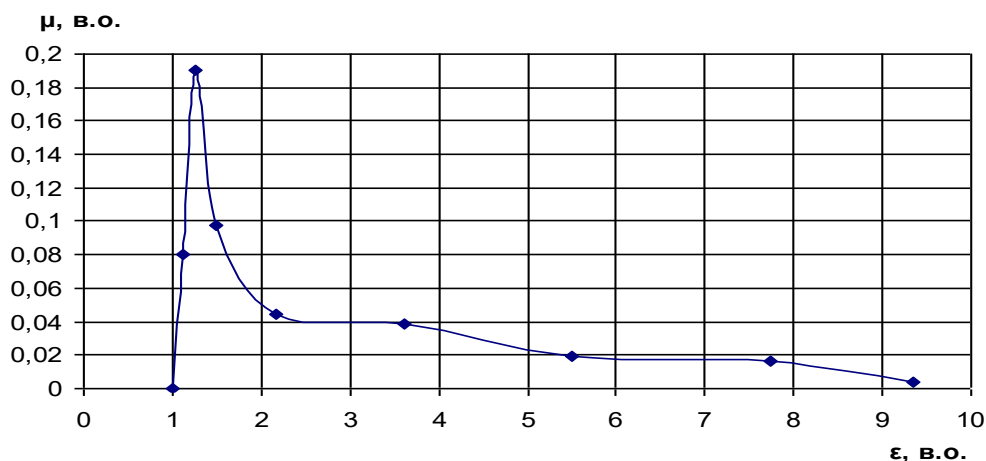


Рисунок 4 – Залежність відносної маси олії від ступеня стиснення мезги

З урахуванням даних рис. 3 та рис. 4, загальна відносна маса олії що отримана після пресування на восьми витках шнекового пресу, складає $\mu = 0,496$. Так як максимальна ж олійність насіння рицини складає 55% [15] або можна записати як $\mu_{\max} = 0,55$. Відповідно, кількість олії після пресування, що залишилася у матеріалі буде визначено як:

$$\Delta\mu = \mu_{\max} - \mu = 0,55 - 0,496 = 0,054.$$

Якщо це значення помножити на 100 %, то отримаємо остаточну олійність макухи, яка складає 5,4%. У відповідності з [16], після першого пресування, остаточна олійність макухи ріцини повинна становити 8,5%. А це означає, що завдяки оптимізації конструктивних параметрів – вільних об'ємів між пресувальними витками шнекових пресів, показник олійності макухи ріцини вдалося зменшити додатково на $8,5 - 5,4 = 3,1\%$

Також потрібно зазначити, що на ефективність пресування, окрім встановлених вільних об'ємів між пресувальними витками шнекових пресів буде впливати і вибір відповідного конструктивного виконання їх робочих органів (крок гвинта; діаметр робочої камери, висота пресувальних витків та їх поєднання), що є предметом подальших досліджень.

ВИСНОВКИ

Встановлено закон стиснення мезги ріцини для шнекових пресів, за допомогою якого для кожного порядкового номера пресувального витка шнекового пресу визначаються вільні об'єми при різній продуктивності по насінню ріцини із забезпеченням максимальної ефективності процесу. Розрахунок всіх інших конструктивних параметрів шнекового пресу може бути здійсненим із дотриманням розрахункових значень згідно цього закону стиснення. Достатня кількість пресувальних витків складає вісім. Шляхом оптимізації конструктивно-технологічних параметрів шнекових пресів, показник олійності макухи додатково знижується на 3,1%.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Журавель Д. П., Чебанов А. Б., Верещага О. Л. Вимоги до підготовчих операцій при пресуванні мезги насіння ріцини. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Між-нар. 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 ріцини. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Між-нар. 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.
14. Гудзенко М. М. Різновиди конструкцій пресів для віджимання олії // Пропозиція. 2013. № 3. С. 146-149.
15. Barnes, D. J., Baldwin, B. S., & Braasch, D. A. (2009). Degradation of ricin in castor seed meal by temperature and chemical treatment. *Industrial Crops and Products*, 29(2-3), 509-515.

16. Mutlu, H., & Meier, M. A. (2010). Castor oil as a renewable resource for the chemical industry. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112(1), 10-30.
17. Malajowicz, J., & Kusmirek, S. (2016). Characteristics and possibilities of industrial use of castor oil. *Przemysl Chemiczny*, 95(9), 1756-1760.
18. Deb, A., Ferdous, J., Ferdous, K., Uddin, M. R., Khan, M. R., & Rahman, M. W. (2017). Prospect of castor oil biodiesel in Bangladesh: Process development and optimization study. *International Journal of Green Energy*, 14(12), 1063-1072.
19. Zhu, Q. L., Gu, H., & Ke, Z. (2018). Congeneration biodiesel, ricinine and nontoxic meal from castor seed. *Renewable Energy*, 120, 51-59.
20. Hadiyanto, H., Yuliandaru, I., & Hapsari, R. (2018). Production of Biodiesel from Mixed Waste Cooking and Castor Oil. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 156, p. 03056). EDP Sciences.
21. Conejero, M. A., César, A. D. S., & Batista, A. P. (2017). The organizational arrangement of castor bean family farmers promoted by the Brazilian Biodiesel Program: A competitiveness analysis. *Energy Policy*, 110, 461-470.
22. Дідур В. А. Зубкова К. В. Аналіз дослідження фізико-механічних властивостей насіння рицини // *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. Мелітополь, 2004. Вип. 19. С. 22-28.
23. Дідур В. В., Чебанов А. Б., Дідур В. А., Назарова О. П., Верещага О. Л. Оптимізація конструктивно-технологічних параметрів шнекового преса для віджимання мезги насіння рицини (на прикладі одного витка шнекового вала) // *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 2(33). С. 34-43.
24. Дідур В.В., Чебанов А.Б., Дідур В.А., Назарова О.П., Верещага О.Л. Оптимізація конструктивно-технологічних параметрів шнекового преса для віджимання мезги насіння рицини *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2019. Вип. 19. Том 4. С. 21-32.

РОЗДІЛ 5

ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ДИСПЕРГУВАННЯ В ПУЛЬСАЦІЙНОМУ ГОМОГЕНІЗАТОРІ РІДКИХ ПРОДУКТІВ

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є процес гомогенізації молока в пульсаційному гомогенізаторі.

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

Метою дослідження є дослідження можливості подальшого зниження енергетичних витрат диспергування. Додатково досліджувалась можливість підвищення продуктивності пульсаційного гомогенізатора молока..

Методи досліджень. Поставлені задачі вирішувались з використанням теоретичного інструментарію, серед якого: теорії граничного шару Шліхтінга, залежності класичної гідродинаміки, локальної ізотропної турбулентності Колмогорова-Обухова,.

Основні результати досліджень: проаналізовано конструкції пульсаційних гомогенізаторів рідких продуктів. Результати аналізу дозволяють стверджувати, що для забезпечення якості продукту згідно вимог технологічної документації конструктивні особливості прототипу та аналогу передбачають багаторазову обробку продукту протягом однієї операції. Це призводить до підвищення енергетичних витрат диспергування та зниження продуктивності гомогенізаторів. Запропоновано корисну модель, в якій обґрунтовано доцільність використання 3...5 поршнів-ударників, замість одного. Доведено, що впровадження вдосконалення забезпечить зниження енергетичних витрат диспергування за рахунок підвищення інтенсивності впливу поршнів на продукт протягом одного циклу. Обґрунтовано, що за рахунок збільшення кількості поршнів-ударників можливо досягти підвищення продуктивності обладнання, що досягається за рахунок зниження кратності обробки емульсії в гомогенізаторі.

ПУЛЬСАЦІЙНИЙ, КРАТНІСТЬ ОБРОБКИ, ПОРШЕНЬ, АМПЛІТУДА, ШТОК, ЗНЕЖИРЕНЕ МОЛОКО, ДИСПЕРГУВАННЯ, ВЕРШКИ

ВСТУП

Питання енергетичної ефективності переробки продуктів харчування в молокопереробній галузі безпосередньо корелює з конкурентоздатністю продукції на внутрішньому та зовнішньому ринках України. Окрім високої якості, яка має забезпечуватись на кожному етапі переробки сировини, задля відповідності вимогам нормативної документації та міжнародних стандартів, важливо забезпечити мінімальні витрати енергії на кожному з етапів технологічного процесу. Однією з нормативних операцій, на виконання якої витрачається суттєвий відсоток витрат енергії в відсотковому відношенні до

загальних енерговитрат технологічного процесу є диспергування молочного жиру (гомогенізація). Метою її проведення є 3-4 разове зменшення середнього діаметра жирових кульок, внаслідок чого забезпечується рівномірний розподіл дисперсної фази (вершків) в об'ємі молочної плазми (дисперсійна фаза). Здійснення гомогенізації попереджає розшарування молочних продуктів та втрату цінного молочного жиру на стінках обладнання та тари, сприяє покращення смакових якостей та засвоюваності продукту.

До характерних особливостей процесу диспергування молочного жиру належать високі значення питомих витрат електроенергії, які для найбільш поширених в галузі клапанних гомогенізаторів складають більше 7 кВт·год/т переробленого продукту. Цей тип диспергаторів забезпечує отримання продукту, середній діаметр жирових кульок в якому знаходиться на рівні вимог технологічної документації та складає 0,75-0,80 мкм. Численні спроби зниження надмірних витрат клапанних гомогенізаторів дозволили дослідникам висунути близько 10 гіпотез процесу. Між тим, жодна з них повною мірою не пояснює процеси, які відбуваються в області клапанної щілини. Протиріччя в гіпотезах пояснюються як складністю проведення досліджень, що пов'язано з мікроскопічними розмірами часток дисперсної фази та швидкостями руху рідини, що перевищують 100 м/с, так і парадоксами гідродинаміки. Конструкції, які були створені на базі відомих гіпотез або мають високі значення енергетичних витрат диспергування (мікрофлюїдизатори, клапанні), або не забезпечують відповідність продуктів вимогам нормативної документації (вакуумні, вібраційні, електрогідравлічні).

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Поставлені задачі вирішувались з використанням теоретичного інструментарію, серед якого: теорії граничного шару Шліхтінга, залежності класичної гідродинаміки, локальної ізотропної турбулентності Колмогорова-Обухова,. Метою даної статті є дослідження можливості подальшого зниження енергетичних витрат диспергування. Додатково досліджувалась можливість підвищення продуктивності пульсаційного гомогенізатора молока.

Програмою досліджень передбачено:

Для досягнення поставленої мети вирішувалось наступні задачі:

- проводився аналіз конструктивного рішення, принципу роботи, переваг та недоліків прототипу та аналогу;
- здійснювалось обґрунтування конструктивного рішення пульсаційного гомогенізатора молока, в якому за рахунок збільшення кількості поршнів-ударників скорочується кратність обробки продукту, що дозволить прогнозовано досягти зниження енергетичних витрат процесу та забезпечити підвищення продуктивності пульсаційного гомогенізатора молока.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження наукових основ процесу диспергування дозволило вченим стверджувати, що підвищення енергоефективності диспергування можливе за реалізації одного з таких принципів, як:

- пошук оптимальної форми камери гомогенізації;

- вдосконалення конструкцій ромбічної, Т-подібного та П-подібного міні-міксерів;
- зміні гідродинамічних параметрів потоку, або застосуванням додаткових елементів, які мають забезпечувати інтенсифікацію процесу руйнування жирових кульок.

Одним з можливих шляхів було названо дослідження та впровадження конструкцій, принцип дії яких засновано на створенні максимальної різниці швидкостей (або прискорень) між знежиреним молоком та вершками, як окремими фазами процесу диспергування. До конструкцій такого типу належить пульсаційний гомогенізатор молока, в якому на молочну емульсію, що знаходиться в камері гомогенізації здійснюються інтенсивні впливи імпульсів, які виникають внаслідок зворотно-поступового руху робочих органів. Поршень-ударник, що закріплений на вертикальному штоці забезпечує зворотно-поступальний рух поршня вниз та вгору. Знежирена фаза молока при руху поршня вниз або вгору має певну швидкість відносного руху, внаслідок чого вона захоплює жирові кульки, які рухаються в протилежному до руху знежиреного молока напрямку, що пояснюється дією сил інерції. Такий механізм створює необхідні гідродинамічні передумови для руйнування часток жирової фази. Проведені аналітичні дослідження, дані яких підтверджені пошуковими експериментами дозволяють стверджувати, що використання диспергатора імпульсного типу здатне забезпечити зменшення середнього діаметра жирових кульок до верхньої межі технологічно обумовлених значень (0,8 мкм). Питомі витрати енергії при дослідженнях лабораторного зразку гомогенізатора цього типу складають близько 1,5 кВт·год/т переробленого продукту. Це свідчить про те, що при забезпеченні необхідної якості переробки молочної сировини, використання пульсаційних гомогенізаторів здатне забезпечити майже 6 кратне енергозбереження відносно конструкцій клапанного типу.

В якості аналогу розглядалась конструкція пульсаційного гомогенізатора молока, яка використовується для переробки рідких продуктів, зокрема в молокопереробній галузі. Основу цього диспергатора складає циліндр, в якому встановлюється поршень-ударник, що здійснює зворотно-поступові рухи за рахунок імпульсів від штоку. Конструктивні особливості поршня, передбачають наявність в ньому наскрізних отворів, які мають форму дифузорів та основа яких критичним перерізом розташовується на глибині, що дорівнює половині товщини поршня-ударника. В верхній та нижній частинах циліндра обладнаний патрубками підведення сировини та відведення гомогенізованої емульсії. Також конструкцію оснащено насосом, який забезпечує нагнітання продукту з пульсацією, частота яких співпадає з частотою коливань поршня-ударнику.

Сировина для обробки за допомогою насоса з пульсацією крізь патрубок подачі під тиском подається до циліндру. Проходячи крізь наскрізні отвори, що виконані в поршні-ударнику, емульсія прямує до нижньої частини циліндру. При певних значеннях частот пульсації насоса та коливань поршня-ударнику, що обумовлене імпульсами від штоку виникають резонансні коливання рідини, що в свою чергу призводить до ковання жирових кульок молока відносно молочної плазми, а відтак-до руйнування жирових кульок за

рахунок створення максимальної різниці швидкостей фаз. Готовий продукт у вигляді гомогенізованої емульсії відводиться крізь відповідний патрубок.

Результати аналітичних досліджень описаного диспергатора, підтверджені проведенням експериментальних досліджень, свідчать, що мінімально достатня для досягнення необхідної якості вихідного продукту кратність проходження продукту крізь наскрізні отвори в поршні-ударнику складає 12 разів. Таким чином багатократна обробка продукту при здійсненні однієї операції технологічного процесу призводить до зниження продуктивності диспергатора, а використання одного поршня-ударника обумовлює підвищення енергетичних витрат диспергування.

В якості прототипу вдосконалення розглянемо гомогенізатор для рідких продуктів, який складається з циліндру, в якому передбачені патрубки підведення сировини та відведення готової продукції та встановлено поршень-ударник, який здійснює зворотно-поступальні рухи в вертикальному напрямку за рахунок імпульсних рухів штока. Характерною особливістю поршня-ударнику, є наявність в ньому наскрізних отворів, виконаних у вигляді дифузорів з кутом конусності $45-55^\circ$ та основа яких розташовується критичним перерізом на глибині, що дорівнює половині товщини поршня-ударника.

Молочна сировина, що піддається гомогенізації надходить до верхньої порожнини циліндру крізь патрубок подачі. В подальшому, прямуючи крізь отвори дифузорів та зазор між циліндром і поршнем-ударником, жирова фаза емульсії зазнає впливу швидкісних струменів емульсії, що утворюються в місцях виходу з наскрізних отворів дифузорів у поршні-ударнику. Максимальна швидкість струменів, яка забезпечує підвищення якості диспергування жирової фази забезпечується при виконанні дифузорів з кутом конусності $45-55^\circ$.

До недоліків наведеного пристрою належить низька продуктивність, що пояснюється наявністю в конструкції лише одного поршня-ударника. Крім того, виходячи з вимог технологічної документації та міжнародних стандартів, задля забезпечення не тільки високої дисперсності, а й необхідної рівномірності складу, емульсія має пройти крізь отвори в поршні-ударнику, щонайменше 12 разів, що обумовлює підвищення енергетичних витрат диспергування при впровадженні даної корисної моделі.

Пропоноване вдосконалення розглянутих вище конструкцій полягає у встановленні до циліндру додаткових поршнів-ударників, що прогнозовано призведе до зниження енергетичних витрат диспергування та дозволить підвищити продуктивність пульсаційного гомогенізатора рідких продуктів. Для вирішення поставленого завдання в циліндр, що складається з циліндру з патрубками підведення та відведення молока та встановлений на штоці поршень-ударник, який має наскрізні отвори відповідно до запропонованої корисної моделі додатково обладнується поршнями-ударниками в кількості 3...5.

Встановлення додаткових поршнів-ударників забезпечує підвищення рівномірності впливу робочих поверхонь отворів дифузорів в поршні-ударнику на емульсію, що в свою чергу обумовлює підвищення продуктивності пульсаційного гомогенізатора за рахунок скорочення кількості циклів обробки продукту протягом однієї технологічної операції. Отримання прогнозованого ефекту підвищення продуктивності підтверджує аналітична залежність для

пульсаційного гомогенізатора (1)

$$Q = \frac{\pi D^2 S n N}{2K} \quad (1)$$

де Q- продуктивність гомогенізатора, м³/с;

D- діаметр поршня, м;

S- амплітуда коливань поршня, м;

n- частота коливання поршня с⁻¹;

N– кількість поршнів, шт;

K-кратність обробки емульсії.

Збільшення кількості поршнів-ударників призводить до підвищення потужності, що витрачається для роботи гомогенізатора. Результати проведених досліджень, наведені в дозволяють стверджувати, що мінімальні значення енергетичних витрат диспергування досягаються при використанні конструкції, що містить 3...5 поршнів-ударників.

Запропонований пульсаційний гомогенізатор для рідких продуктів (рис.1) складається з насоса 1, що забезпечує подачу сировини, циліндру 2, патрубку підведення 3, штоку 4, поршнів-ударників 5 з наскрізними отворами 6 в формі дифузорів та патрубку відведення гомогенізованої емульсії 7.

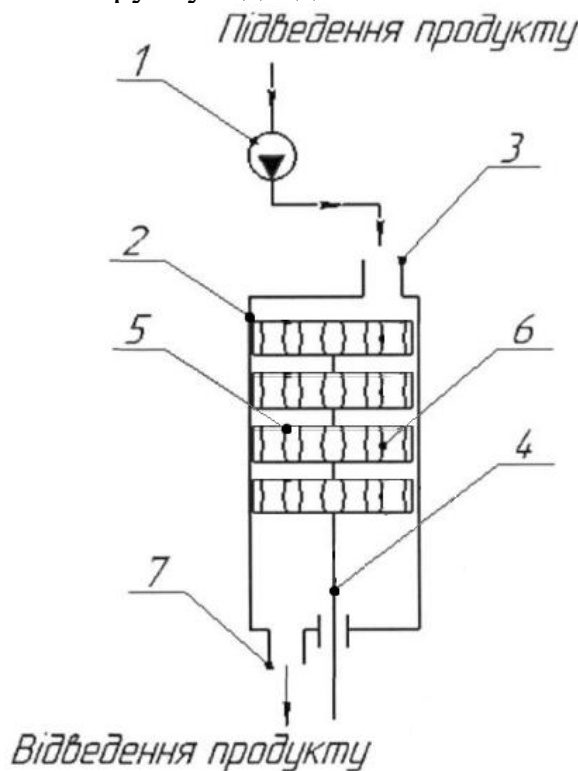


Рисунок 1. Пульсаційний гомогенізатор для рідких продуктів

1–насос- для подачі сировини; 2–циліндр; 3–патрубок підведення сировини; 4–шток; 5–поршні-ударники; 6–наскрізні отвори; 7–патрубок відведення гомогенізованої емульсії

При роботі пристрою насос 1 забезпечує подачу сировини через патрубок подачі 3 до верхньої частини циліндра 2. В подальшому емульсія через наскрізні отвори 6 у поршнях-ударниках 5 прямує до нижньої порожнини

циліндру. Зменшення середнього діаметру часток дисперсної фази відбувається в результаті коливань рідини, що обумовлюється імпульсним рухом штока 4, що здійснює зворотно-поступові переміщення в вертикальному напрямку. Гомогенізована емульсія відводиться крізь патрубок 7.

Молочні продукти, які переробляються з використанням пульсаційного гомогенізатора для рідких продуктів задовольняють вимогам споживачів, нормативних документів та міжнародних стандартів якості як за середнім діаметром жирових кульок так і за рівномірністю дисперсності продукту.

ВИСНОВКИ

Низька енергоефективність диспергування все ще залишається суттєвою проблемою для науковців та фахівців молокопереробної галузі. Тому з метою зниження енергетичних витрат процесу диспергування при одночасному забезпеченні високої якості за показниками середнього діаметра жирових кульок та рівномірності їх розподілу був проведений аналіз конструкцій пульсаційних гомогенізаторів для рідких продуктів.

Результати проведеного аналізу свідчать, що конструкції прототипу та аналогу характеризуються високими значеннями енергетичних витрат, що пояснюється використанням одного поршня-ударника. Крім цього в розглянутих конструкціях досягається гомогенізація, як операція по зменшенню середнього діаметра жирових кульок, але для забезпечення рівномірності дисперсного складу продукту на рівні вимог нормативної документації та потенційних покупців, продукт має зазнавати багаторазового впливу в межах однієї операції технологічного процесу, що знижує продуктивність диспергаторів цього типу.

Запропоновано корисну модель, в якій рекомендовано встановити 3...5 поршнів-ударників. Рекомендована межа кількості поршнів обумовлена мінімізацією енергетичних витрат диспергування при отриманні продукту на рівні вимог технологічної документації. Збільшення кількості поршнів-ударників забезпечить підвищення продуктивності за рахунок зниження тривалості обробки продукту протягом однієї технологічної операції. Однак основним ефектом вдосконалення буде зниження енергетичних витрат на проведення диспергування, що пояснюється зниженням кратності обробки продукту, що досягається за рахунок більш інтенсивного впливу поршнів-ударників. Таким чином, впровадження запропонованого вдосконалення дозволить отримати продукт з високими показниками дисперсності та рівномірності розподілу за умови підвищення продуктивності та зниження енергетичних витрат диспергування.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. K. Samoichuk, A. Kovalyov, V. Oleksienko, 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 щільного 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-щільного гомогенізатора молока/ Праці ТДАТУ, ТДАТУ імені Дмитра Моторного – Мелітополь: 2019. – Вип19. – Том3. С 78-85.
10. Samoichuk, A. Kovalyov, V. Oleksienko, N. Palianychka, D. Dmytrevskyi, 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-щільного 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., Верховланцева 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 II Всеукраїн. наук.-практ. Інтернет-конференції / ТДАТУ: ред. кол. С. В. Кюрчев, О.В. Пеншов, 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. Пеншов, 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 агропромисловому комплексі: 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.; Fuchadzhly, N.; Hutsol, T.; Jurczyk, M.; Pajak, 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., Верхованцева 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 6

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ГРАНУЛЮВАННЯ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ СОКОВОГО ВИРОБНИЦТВА

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є процес грануляції відходів сокового виробництва.

Предметом дослідження технологічні, конструктивні та кінематичні параметри гранулятора у взаємозв'язку з енергетичними та якісними показниками

Метою дослідження є експериментальне та аналітичне визначення коефіцієнта тертя спокою та тертя руху гранул з відходів (жому), одержаного в результаті виготовлення морквяного соку.

Методи дослідження. Експериментальні дослідження проводилися у лабораторних у лабораторних умовах відповідно до прийнятої методики та галузевих стандартів з використанням статистичної обробки результатів

Основні результати досліджень:

1. Розроблено і виготовлено трибометр з електричною сигналізацією початку зсуву дослідного зразка
2. Модернізовано конструкцію приладу для дослідження коефіцієнту руху.

ГРАНУЛЯЦІЯ, ВІДХОДИ СОКОВОГО ВИРОБНИЦТВА, КОЕФІЦІЄНТ ТЕРТЯ, КОЕФІЄНТ СПОКОЮ.

ВСТУП

Використання вторинних сировинних ресурсів сокового виробництва, як-то вичавків, пюре-відходів, що не втратили своєї харчової цінності є, безумовно, актуальним і перспективним напрямком в розвитку переробної та харчової промисловості.

Як відомо, останнім часом, для реалізації вказаної проблеми широко застосовують процес гранулювання, який складається з ряду послідовних етапів: стиснення, витримки під тиском, зняття тиску, релаксації напружень, витримки без тиску, випресовування і пружного розширення гранули після її вивільнення з камери. Ефективність процесу залежить ступеню досконалості виконання кожного з названих етапів, однак основне значення має перший етап – операцію стиснення порції сировини до потрібної щільності.

На процес стиснення суттєво впливають пружні, в'язкі і фрикційні властивості матеріалу, який піддається гранулюванню. Таким чином ефективність процесу гранулювання переважно залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу, що пресується. Це, насамперед, модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона, коефіцієнти в'язкості і тертя. Багато дослідників відмічають такі властивості, як порозність, співвідношення компонентів у суміші (тверда речовина, рідина і газова фаза), точка адсорбції води на поверхні часток, критична щільність та ін.

Серед названих фізико-механічних властивостей особливе місце займає коефіцієнт тертя від значення якого залежать не тільки умови і зусилля пресування, а також і спроможність готового гранульованого продукту взаємоді-

яти з елементами технологічного обладнання, зокрема транспортуючих та фасувальних машин і механізмів.

Методи і програма досліджень

Для дослідження коефіцієнтів тертя спокою (при $v = 0$) на кафедрі „Обладнання переробних і харчових виробництв“ ТДАТУ був розроблений і виготовлений трибометр (рисунок 1) з електричною сигналізацією початку зсуву дослідного зразка, а для досліджень коефіцієнта руху (при $v > 0$) модернізовану відому конструкцію приладу І.В Крагельського [1] (рисунок 2).

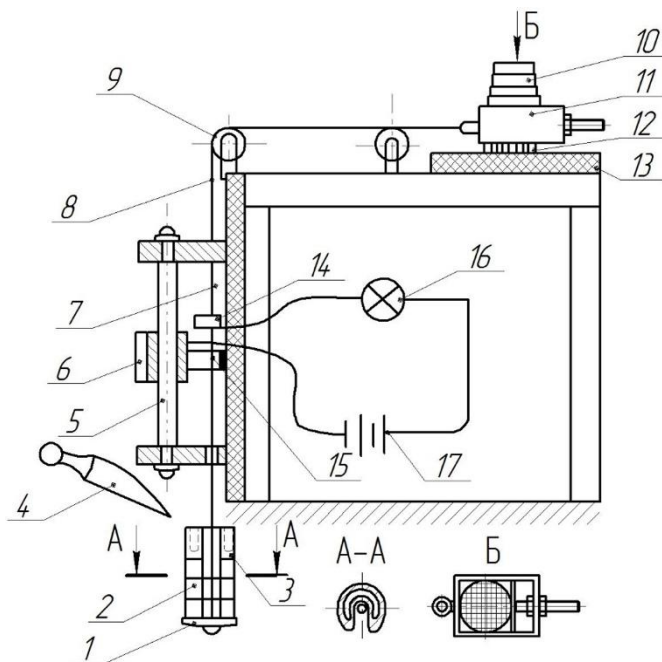
Програмою досліджень передбачено визначити коефіцієнт тертя руху гранульованої моркви по гумі при різних швидкостях ковзання і різних номінальних навантаженнях.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

На лабораторній установці (рисунок 1) можна визначати коефіцієнт тертя спокою (f_c) як цілих плодів, так і зразків (фрагментів). Для кріплення зразків крихких матеріалів та матеріалів з підвищеною пластичністю 12 передбачалися спеціальні оправки 11.

Для імітування різних матеріалів поверхонь тертя трибометр комплектували знімними пластинами 13 з металу, дерева, гуми.

Об'єкт досліджень навантажувався до потрібного нормального зусилля F_N важками (гирями) 10.



6. Електричний ланцюг з лампою 16 і батареєю 17 замикався.

Рис. 1 – Схема дослідного трибометра

1 - підвіска; 2 - гирі; 3 - короб; 4 - совок; 5 - напрямна; 6 - повзун; 7 - рама; 8 - нитка; 9 - блок; 10 - важки; 11 - оправка; 12 - зразок; 13 - пластина; 14, 15 - контакти; 16 - лампа; 17 - батарея.

Положення повзуна з контактом 15 на напрямній 5 фіксувалося силами

Потім об'єкт зсувався силою F_T , яка утворювалась гирями 2 і масою піску, що плавно висипався із совка 4 у короб 3.

Гирі з коробом встановлювалися на підвіску 1, яка була з'єднана ниткою 8, перекинutoю через блоки 9, з оправкою 11. Як тільки зусилля F_T перевищувало максимальне значення сили тертя починався рух оправки або плоду, що досліджувався.

При цьому рухомий контакт 14 закріплений на нитці, опускаючись, торкався контакту 15, встановленого на повзуні

тертя, яка утворювалася діями сил пружності пластинчастої пружини. Перед початком досліду зазор між контактами становив 2...3 мм.

Зусилля F_T визначалося як сума сил ваги гир, підвіски і короба з піском. Зважування здійснювалося на вагах ВЕЛ-200.

Коефіцієнт тертя визначався за залежністю:

$$f = F_T / F_N, \quad (1)$$

Плавне збільшення зусилля на дослідний зразок завдяки повільному поданню піску до короба і точному визначенню початку руху об'єкта за допомогою світлового сигналу забезпечили високу точність визначення зусилля F_T , про що говорить незначне розсіювання значень результатів повторних дослідів.

Для підвищення стабільності показань і спрощення керування приладом І.В. Крагельського, на якому проводилося визначення коефіцієнта тертя руху, клиноремінний варіатор приладу був замінений відповідною клиноременною передачею з постійним передаточним числом.

Плавне ж регулювання частоти обертання диска здійснюється за рахунок застосування електродвигуна постійного струму, підключеного за реостатною схемою через випрямляч до звичайної однофазної електричної мережі. Регулювання частоти обертання диска у широких межах (від 200 до 1800 об/хв.) досягається шляхом змінення напруги в обмотці якоря двигуна.

Схема приладу показана на рисунку 2.

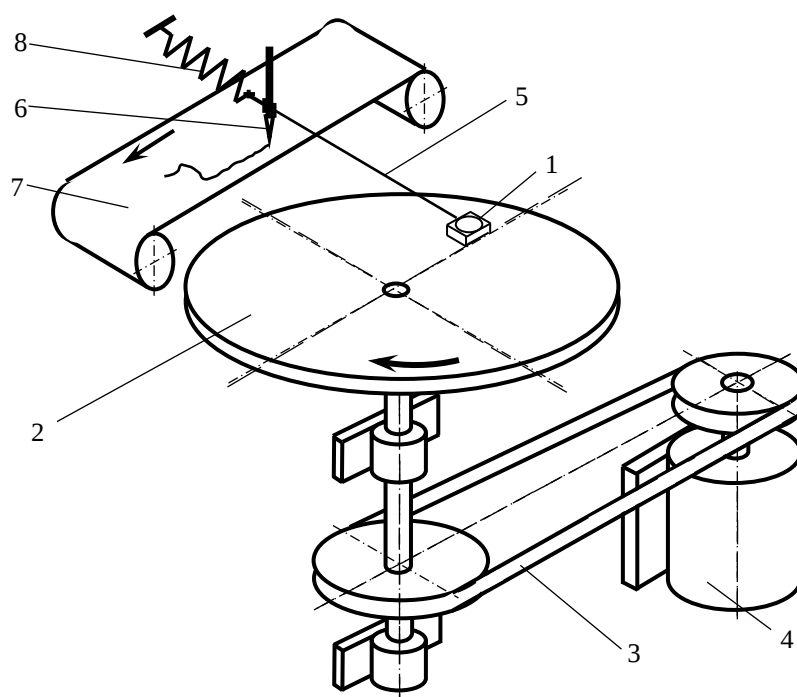


Рис. 2 – Прилад для дослідження коефіцієнта тертя руху

1 - об'єкт випробувань; 2 - диск; 3 - клинопасова передача; 4 - електродвигун постійного струму; 5 - нитка; 6 - перо самописця; 7 - вимірювальна пружина; 8 - стрічка самописця; 9 - привод самописця

Об'єкт випробування (гранула, закріплена в спеціальній оправці) 1 укладається на поверхню диска 2, який обертається навколо вертикальної площини через клинопасову передачу 3 від електродвигуна постійного струму 4. Об'єкт за допомогою нитки 5 з'єднаний з пером самописця 6, яке переміщається по стрічці 7 на відстань, обумовлену деформацією тарованої вимірювальної пружини 8. Як і у попередній серії дослідів навантаження зразка проводилося за допомогою гирі, які встановлювались на зразок, закріплений в оправці.

Диск приладу має пристрої для швидкої заміни і кріплення його покриття, що імітує різні види поверхонь тертя, зокрема дерево, метал (сталь) і гума.

Запис зусилля тертя проводиться на стрічку з міліметрового паперу шириною 50 мм. Привод самописця теж має безступінчасте регулювання переміщення стрічки. Це дає можливість узгодження швидкостей диска і паперу, а також одержання достовірної інформації про динаміку змінення зусилля тертя.

Досліди по визначенню коефіцієнта тертя проводились з п'ятикратною повторністю, розсіювання результатів складало не більш 4...8%.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

На рисунку 3 наведені графіки побудовані за результатами визначення коефіцієнта тертя спокою.

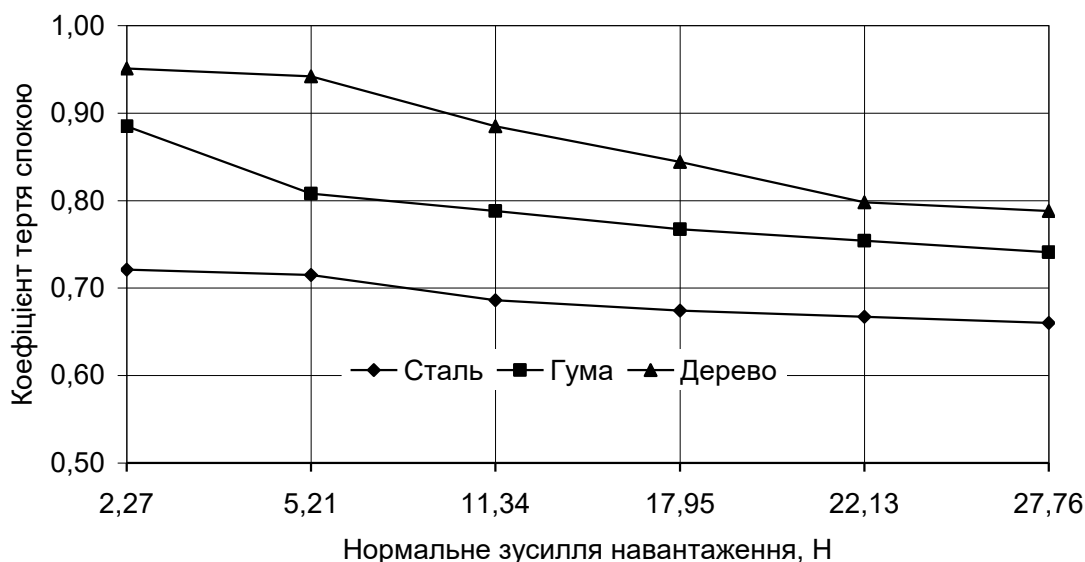


Рис. 3 – Залежність коефіцієнта тертя спокою від нормального зусилля на зразок

Змінення коефіцієнтів тертя спокою зумовлені характером проведення дослідів можна пояснити впливом різної шорсткості поверхонь пластин трибометра та податливістю поверхні контакту, зміненнями адгезійних сил – сил молекулярного зчеплення. Вплив останніх визначається залежністю f_c від величини нормального тиску. Збільшення нормальної сили тиску супроводжується тенденцією зниження коефіцієнту тертя (рисунок 3), що можна пояснити аналізом двочленного закону тертя Кулона [2].

$$F_T = F_A + F_N \cdot \mu = F_N \left(\frac{F_A}{F_N} + \mu \right) = F_N \cdot f. \quad (2)$$

Збільшення нормальної сили приводить до зниження питомого зусилля F_A/F_N (тут F_A - сумарна сила молекулярного зчеплення; μ - коефіцієнт тертя за законом Кулона; f - коефіцієнт тертя за законом Амонтона).

Коефіцієнт тертя руху f_p визначався за формулою Амонтона при тих же значеннях нормальної сили, що й для визначення коефіцієнту тертя спокою. Досліди проводились для широкого діапазону колових швидкостей від 2,5 м/с до 22,5 м/с. Результати дослідів показані на діаграмах рисунку 4.

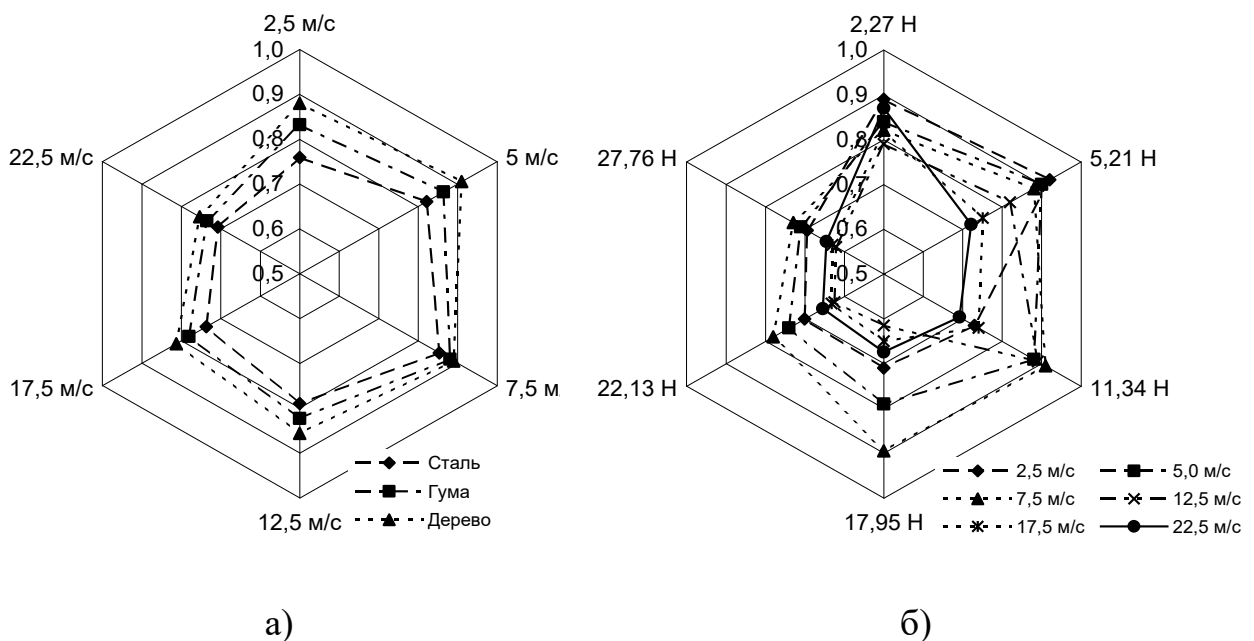


Рис. 4 – Залежності коефіцієнту тертя руху від: а) швидкості руху і б) нормального зусилля навантаження

Як видно з графіків, мінімальні значення коефіцієнта одержані при терті по сталі максимальні – по дереву. Як і значення коефіцієнту тертя спокою зі збільшенням нормального зусилля тиску коефіцієнт руху зменшується. З аналізу графіка б) видно, що зі збільшенням швидкості руху коефіцієнт також дещо зменшується. Змінення коефіцієнта руху f_p від змінень нормального тиску F_N та швидкості ковзання не набули стабільного характеру.

Коефіцієнт граничного тертя найчастіше виражений такою емпіричною залежністю від швидкості відносно руху поверхонь, що труться :

$$f_v = f_o + f_1 v + f_2 v^2 + f_3 v^3, \quad (3)$$

де f_o - коефіцієнт тертя при $v=0$; f_1, f_2, f_3 - експериментальні коефіцієнти, які можуть як позитивними, так і від'ємними.

Склавши для даних трьох швидкостей v_1, v_2, v_3 систему з трьох рівнянь (3) і, розв'язавши їх, знайдемо що:

$$f_1 = \frac{(f_{v1} - f_o)(v_2^2 v_3^3 - v_3^2 v_2^3) + (f_{v2} - f_o)(v_3^2 v_1^3 - v_1^2 v_3^3) + (f_{v3} - f_o)(v_1^2 v_2^3 - v_2^2 v_1^3)}{v_1(v_2^2 v_3^3 - v_3^2 v_2^3) + v_2(v_3^2 v_1^3 - v_1^2 v_3^3) + v_3(v_1^2 v_2^3 - v_2^2 v_1^3)} \quad (4)$$

$$f_2 = \frac{(f_{v2} - f_o)(v_1^2 v_3^3 - v_3^2 v_1^3) + (f_{v1} - f_o)(v_2^3 v_3 - v_2^2 v_3^3) + (f_{v3} - f_o)(v_1^3 v_2 - v_1^2 v_2^3)}{v_1(v_2^2 v_3^3 - v_3^2 v_2^3) + v_2(v_3^2 v_1^3 - v_1^2 v_3^3) + v_3(v_1^2 v_2^3 - v_2^2 v_1^3)} \quad (5)$$

$$f_3 = \frac{(f_{v3} - f_o)(v_1 v_2^2 - v_2 v_1^2) + (f_{v2} - f_o)(v_1^2 v_3 - v_1 v_3^2) + (f_{v1} - f_o)(v_2 v_3^2 - v_3 v_2^2)}{v_1(v_2^2 v_3^3 - v_3^2 v_2^3) + v_2(v_3^2 v_1^3 - v_1^2 v_3^3) + v_3(v_1^2 v_2^3 - v_2^2 v_1^3)} \quad (6)$$

Числові значення f_1, f_2, f_3 , обчислені за залежностями (4), (5), (6) і експериментальними значеннями f_{vi} при швидкостях v_1, v_2, v_3 наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Експериментальні і розрахункові значення коефіцієнтів тертя
руху гранульованої моркви по гумі при різних швидкостях ковзання
і різних нормальних навантаженнях

f_N , Н	Експериментальні значення				Розрахункові значення			Значення f_{v4} при $v_4 = 7,5$ м/с			Значення f_{v5} при $v_5 = 17,5$ м/с		
	f_o	Значення f_i при швидкості			f_1	f_2	f_3	Експеримент	Розрахунок	Похибка, %	Експеримент	Розрахунок	Похибка, %
		2,5 м/с	12,5 м/с	22,5 м/с									
2,27	0,885	0,89	0,79	0,871	0,0006 2	0,000 4	- 0,0000 6	0,821	0,884	7,12	0,820	0,796	2,9 3
5,21	0,808	0,92	0,82	0,721	0,044	- 0,007 5	0,0001 9	0,880	0,798	10,3	0,750	0,774	3,2 0

11,3 4	0,788	0,73	0,89	0,692				0,910			0,741		
17,9 5	0,767	0,71	0,615	0,674	- 0,0034	0,000 3	- 0,0000 4	0,895	0,732	18,2	0,652	0,641	1,7 2
22,1 3	0,754	0,70	0,625	0,654				0,780			0,632		
27,7 6	0,741	0,694	0,621	0,645	- 0,0087	0,001 1	0,0000 1	0,723	0,741	2,43	0,630	0,617	2,0 6

Тут же наведені значення f_{vi} при швидкостях v_4 і v_5 , обчисленими за залежністю (3), а також знайдені експериментальним шляхом. Розрахункові значення задовільно збігаються з експериментальними.

ВИСНОВКИ

Зазначені вище змінення коефіцієнтів тертя руху можна пояснити сукупним впливом вказаних раніше факторів (шорсткість поверхонь, піддатливість зразка, його деформація, сили молекулярного зчеплення, тощо), також додаткових факторів, як-то вплив продуктів зносу, вологості та ін.

Наведені вище результати досліджень коефіцієнтів тертя можна використовувати для розрахунку і проектування прес-грануляторів, транспортуючих машин та іншого технологічного обладнання

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Червоткіна О. О., Олексієнко В. О. Гранулювання порошкоподібних овочів // 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. 73-75.

2. Червоткіна О. О., Тарасенко В. Г. Гранулювання вторинних продуктів переробки рослинної сировини // 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. 174-175.

3. Червоткіна О. О., Бойко В. С. Виробництво кормів методом екструдвання, поєднаного з гранулюванням // 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. 182-183.

4. Червоткіна О. О., Стручаєв М. І., Тарасенко В. Г. Дослідження процесу гранулювання овочевих відходів за допомогою прес-гранулятора з плоскою матрицею // 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. 160-168.

5. Червоткіна О.О., Тарасенко В.Г. Використання в'язучих речовин при виробництві гранульованих овочів / 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. 161-163.

6. Червоткіна О.О. Обґрунтування параметрів робочого органу гранулятора для отримання гранул на основі овочевої сировини / О.О.Червоткіна, В.О. Олексієнко, Н.О. Фучаджи // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2013. – Вип. 13, Т.7. – С. 57-622

7. Бойко В. С., Самойчук К. О., Тарасенко В. Г., Верхованцева В. О., Паляничка Н. О., Михайлов Є. В., Червоткіна О. О. Процеси і апарати. Механічні та гідромеханічні процеси. Київ: ПрофКнига, 2021. 468 с.

8. 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. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. Вип. 23, т. 2.

9. Червоткіна О. О., Фучаджи Н. О., Ковальов О. О., Паляничка Н. О., Матвійшин П. В. Аналіз методів отримання гранул і засобів для їх реалізації. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету : електронне наукове фахове видання. Запоріжжя : ТДАТУ. 2023. Вип. 13, том 2. С. 143-150

10. Самохвал В.А., Самойчук К.О., Червоткіна О.О. Дослідження роботи остаточного формування брикету з здатністю відбору олій при виготовленні паливних брикетів на гвинтових прес-екструдерах. Збірник тез доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі (01-24 листопада 2023 р.). Запоріжжя, 2023р. с. 159-162.

11. Червоткіна О.О., Тарасенко В.Г. Використання в'язучих речовин при виробництві гранульованих овочів / 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. 161-163.

12. Ялпачик В.Ф., Буденко С. Ф., Олексієнко В.О., Червоткіна О.О. Дослідження коефіцієнта тертя гранульованого жому моркви // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2018. Вип.18. Том.1. С. 112-118.
13. Бойко В. С., Самойчук К. О., Тарасенко В. Г., Верхоланцева В. О., Паляничка Н. О., Михайлов Є. В., Червоткіна О. О. Процеси і апарати. Механічні та гідромеханічні процеси. Київ: ПрофКнига, 2021. 468 с.
14. Червоткіна, О., Прокопенко, О., Паляничка, Н. (2024). КОМПЛЕКСНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ПЛОДООВОЧЕВГО ВИРОБНИЦТВА ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ДОБРИВ. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*, 14(2)
15. Червоткіна О.О., Прокопенко О.П., Грінько Є.О. Дослідження та розробка інноваційних способів утилізації відходів, що утворюються при переробці фруктів і овочів. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі» (01-25 листопада 2024 р.)

РОЗДІЛ 7

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 виступають теоретичні залежності впливу параметрів і режимів вакуумного охолодження на швидкість охолодження.

Метою дослідження полягає в розробці й обґрунтуванні режимів охолодження та зберігання плодів черешні, які забезпечують максимальну швидкість охолодження для продовження термінів короткострокового зберігання плодів із високою якістю. Зокрема, досліджується вплив тиску на тривалість і рівномірність охолодження плодів.

Методи досліджень. Теоретичне обґрунтування параметрів вакуумного охолоджувача проводилося на основі положень термодинаміки, методів диференційного та інтегрального числення, а також оптимізації параметрів за методикою планування екстремального експерименту. Експериментальні дослідження виконувалися в лабораторіях ТДАТУ відповідно до загальноприйнятих методик і галузевих стандартів.

Основні результати досліджень:

1. Встановлено оптимальні параметри та режими роботи вакуумного охолоджувача під час охолодження плодів черешні.
2. Розроблено раціональний спосіб зменшення втрати маси плодів у процесі вакуумного охолодження.
3. Обґрунтовано закономірності впливу параметрів на швидкість охолодження черешні під час вакуумного охолодження та зберігання.

ВАКУУМНЕ ОХОЛОДЖЕННЯ, ПЛОДИ ЧЕРЕШНІ, ВАКУУМНИЙ ОХОЛОДЖУВАЧ, ОПТИМАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ І РЕЖИМИ РОБОТИ, ТИСК, ШВИДКІСТЬ ОХОЛОДЖЕННЯ, ВТРАТА ВАГИ, РІВНОМІРНІСТЬ ОХОЛОДЖЕННЯ, КОРОТКОСТРОКОВЕ ЗБЕРІГАННЯ, ТЕРМОДИНАМІКА, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.

ВСТУП

Розробка інноваційних та екологічно безпечних технологій для зберігання і переробки сільськогосподарської продукції є ключовим напрямом у забезпеченні продовольчої безпеки та зменшенні втрат врожаю. Впровадження інноваційних та екологічно безпечних технологій зберігання і переробки сільськогосподарської продукції є невід'ємною складовою сучасного

аграрного сектору. Ці технології мають вирішальне значення для мінімізації втрат врожаю, підвищення ефективності використання ресурсів та забезпечення споживачів високоякісними продуктами. Особливу роль відіграє швидке охолодження продукції після збору, оскільки температура значно впливає на швидкість біохімічних процесів, які зумовлюють псування продукції. Зниження температури дозволяє продовжити термін зберігання, зберігаючи смакові, поживні та естетичні характеристики сировини. Це сприяє підвищенню конкурентоспроможності продукції на внутрішньому та зовнішньому ринках.

Черешня є однією з найважливіших плодових культур півдня України, яка має високу споживчу та економічну цінність. Її плоди багаті на біологічно активні речовини, вітаміни та мікроелементи, що робить її цінним дієтичним продуктом. Проте черешня належить до категорії швидкопсувних продуктів, що обмежує можливості її тривалого зберігання та транспортування. Короткий термін придатності свіжих плодів призводить до значних втрат урожаю, що негативно позначається на економіці аграрного сектора. Тому надзвичайно важливо знайти ефективні технологічні рішення, які дозволять зберегти якість черешні та інших швидкопсувних продуктів протягом тривалого часу.

Вакуумне охолодження є одним із перспективних методів, який пропонує інноваційний підхід до зберігання сільськогосподарської продукції. Ця технологія базується на швидкому видаленні тепла шляхом випаровування вологи з поверхні та середини продукту за умов низького тиску. Основною перевагою вакуумного охолодження є його швидкість, яка значно перевищує традиційні методи охолодження. Завдяки цьому знижується ризик псування продукції, зменшуються втрати ваги, і якість плодів залишається максимально близькою до свіжозібраної.

Додатково вакуумне охолодження дозволяє досягти рівномірності температури всередині плодів, що важливо для продукції з високою вологістю, такої як черешня. Ця технологія особливо ефективна при інтеграції з традиційними методами холодного зберігання, адже швидке первинне охолодження створює оптимальні умови для подальшого зберігання в холодильниках.

Екологічна безпека цієї технології також є її суттєвою перевагою. Вакуумне охолодження не вимагає використання хімічних речовин для консервації чи захисту продукції. Це відповідає сучасним вимогам щодо екологічності виробництва та дозволяє отримати продукт, який є безпечним для споживачів.

Мета досліджень:

1. Розробити ефективні методики для впровадження вакуумного охолодження в аграрній галузі України.
2. Провести експериментальні випробування охолодження черешні для визначення оптимальних параметрів і режимів роботи обладнання.
3. Дослідити вплив вакуумного охолодження на якість, вагу та поживні властивості черешні.
4. Надати практичні рекомендації щодо впровадження цієї технології для аграрних господарств.

Очікувані результати:

- Подовження терміну зберігання черешні до 2–3 разів у порівнянні з традиційними методами.
- Зменшення втрат ваги плодів у процесі зберігання.
- Забезпечення високої якості продукції при транспортуванні до віддалених ринків.

Таким чином, вакуумне охолодження не лише вирішує проблему втрат продукції, а й відкриває нові можливості для розвитку експортного потенціалу України. Впровадження таких інновацій сприятиме зміцненню позицій країни на світовому ринку сільськогосподарської продукції. Консервуючи харчові продукти, можна припинити, або сповільнити діяльність мікроорганізмів, а також зруйнувати ферментну систему й у такий спосіб запобігти небажаній зміні продуктів. Проаналізувавши способи і методи консервування було встановлено, що найбільш доцільно використовувати швидке охолодження або заморожування, основані на принципі анабіозу, тому що ці способи дозволяють зберігати продукт тривалий час практично не змінюючи його фізичних, хімічних і якісних властивостей. Але найбільш універсальним для рослинної сировини є охолодження, найбільш перспективним видом якого є вакуумне охолодження.

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження, проведене в 2023 році на базі науково-дослідної лабораторії «Обладнання харчових і переробних виробництв» Науково-дослідного інституту агротехнологій та екології Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного, було спрямоване на вдосконалення технологій охолодження плодів черешні з використанням інноваційних методів, таких як вакуумне охолодження. Це дослідження стало важливим етапом у розвитку сучасних технологій обробки та зберігання сільськогосподарської продукції, оскільки зберігання плодів черешні при оптимальних температурах є ключовим фактором для збереження їх товарних властивостей, таких як смакові характеристики, зовнішній вигляд та харчова цінність.

У рамках експерименту були обрані пізньостиглі сорти черешні, що добре зарекомендували себе в агротехнічних умовах України, а саме Мелітопольська Чорна, Крупноплідна і Удівительна. Ці сорти є типовими представниками черешні, яка вирощується в південних регіонах країни, де влітку температура часто перевищує 30°C, що ускладнює зберігання і транспортування плодів. Тому, застосування технології вакуумного охолодження для цих сортів є особливо актуальним, оскільки вона дозволяє значно зменшити втрату вологи, що сприяє збереженню маси плодів і підвищенню їх якості.

Важливим аспектом дослідження було те, що для товарної обробки були відібрані лише плоди першого товарного сорту, що відповідали стандартам ДСТУ 01.1-37-162:2004, зокрема, плоди мали бути цілими, без пошкоджень і ознак захворювань. Це дозволяло виключити будь-які фактори, що могли б вплинути на достовірність результатів експерименту. Плоди черешні

після збору зберігались при температурі 22-25°C, що є типовою температурою для плодів черешні на етапі їх транспортування до місця обробки. Оскільки плоди черешні є дуже чутливими до змін температури, процес їх охолодження має бути максимально ефективним і швидким.

Вакуумне охолодження, яке застосовувалось у цьому дослідженні, є сучасною технологією, що дозволяє знизити температуру продуктів до необхідних значень за короткий час без значних втрат вологи. Цей процес має кілька переваг: по-перше, він дозволяє швидко знизити температуру плода, що запобігає утворенню конденсату на поверхні і, як результат, розвитку гниття чи плісняви; по-друге, вакуумне охолодження сприяє збереженню текстури і смакових якостей плодів. Для порівняння були використані три різних рівні вакуумного тиску — 29 кПа, 44 кПа і 59 кПа, що дозволяло з'ясувати, як саме рівень вакууму впливає на час охолодження і втрату маси плодів.

Плоди черешні, що були завантажені у вакуумну камеру, мали масу 0,6 кг (по 0,2 кг для кожного сорту). Важливим аспектом дослідження було також визначення ефективності охолодження залежно від тиску вакууму, що дозволяло зібрати дані про найоптимальніші умови для кожного з сортів. Охолодження проводилося до температури 2°C, що є оптимальною температурою для зберігання плодів черешні без втрати їх якості протягом тривалого часу.

Після процесу вакуумного охолодження плоди черешні були переміщені до холодильних камер, де підтримувалась температура 2°C для подальшого зберігання. Це дозволяло не тільки контролювати температуру зберігання, але й дослідити, як довготривале зберігання при низьких температурах впливає на якість плодів черешні.

Завдяки цьому дослідженню було встановлено, що вакуумне охолодження є ефективним методом збереження якості черешні, зокрема, значно зменшується втрата маси плоду і зберігається його товарний вигляд при тривалому зберіганні. Це дослідження має важливе практичне значення, оскільки воно може бути використане для оптимізації процесів обробки та зберігання черешні в умовах сучасного агропромислового виробництва.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Як видно з наведених графіків (рис. 1), час охолодження плодів черешні до необхідної температури зберігання становить 40, 45 та 50 хвилин при вакуумному тиску 29, 44 та 59 кПа відповідно. Це свідчить про чітку залежність між рівнем вакуумного тиску та часом, необхідним для досягнення цільової температури зберігання. Зокрема, при вакуумному тиску 29 кПа час охолодження є найбільшим, що вказує на меншу швидкість охолодження порівняно з іншими рівнями вакууму. Однак цей результат також має важливе значення для оптимізації процесів охолодження, оскільки може бути корисним для вирішення проблеми надмірної втрати маси при високих значеннях вакуумного тиску.

Іншим важливим моментом є те, що процес вакуумного охолодження черешні відзначається однорідним розподілом температури. Це означає, що

температура на поверхні та всередині плодів черешні знижується практично одночасно, без великих коливань або затримок у зниженні температури на різних рівнях плода. Така рівномірність охолодження є однією з основних переваг вакуумної технології, оскільки вона знижує ризик утворення температурних перепадів, що можуть негативно впливати на якість плодів, зокрема, спричиняти утворення конденсату, що веде до пошкодження або гниття.

З метою порівняння ефективності вакуумного охолодження з традиційним холодильним охолодженням, було проведено додаткове дослідження. Плоди черешні було поміщено до холодильної камери, де температура складала 2°C, що є оптимальним режимом для зберігання плодів після збору. Результати цього експерименту показали значну різницю в швидкості зниження температури між поверхнею плоду та його внутрішньою частиною. Зокрема, температура на поверхні плодів черешні знизилася значно швидше, ніж температура всередині плоду. Загальний час охолодження поверхні плоду становив 80 хвилин, що свідчить про значну швидкість цього процесу, тоді як температура в середині плоду знижувалася протягом 198 хвилин, що є значно повільнішим процесом.

Цей факт можна пояснити тим, що під час холодильного охолодження на поверхні плоду починає утворюватися охолоджувальний шар, який не дозволяє теплу зсередини плоду швидко передаватися в навколишнє середовище, що значно уповільнює процес охолодження внутрішніх тканин. Крім того, в холодильних камерах температура охолодження розподіляється не так рівномірно, що також може призвести до більш тривалого часу досягнення бажаних температур.

Таким чином, результати показали, що процес охолодження при використанні вакуумного охолодження є значно швидшим і ефективнішим порівняно з традиційним холодильним охолодженням. Вакуумне охолодження забезпечує рівномірне і швидке зниження температури не тільки на поверхні, але й в середині плоду, що в кінцевому підсумку дозволяє значно зменшити час обробки та зберегти якість продукту. Це має важливе значення для індустрії зберігання та транспортування плодів, адже швидше охолодження дозволяє зменшити кількість пошкоджень і втрат, зберігаючи товарний вигляд і харчову цінність плодів на більш тривалий час. Під час вакуумного охолодження температурний розподіл по поверхні та всередині плодів черешні виявляється нерівномірним. Це пов'язано з тим, що охолодження, хоча й ефективно знижує температуру плоду, проте відбувається з певним дисбалансом між поверхнею і центром плода. Особливо важливим є той факт, що при вакуумному охолодженні спостерігається втрата маси плодів. Ця втрата обумовлена процесом випаровування вологи з серединної частини продукту, що є наслідком того, що охолодження за допомогою вакууму сприяє активному випаровуванню води з плодів. Залежно від кількості вологи, яка випаровується, змінюється ефективність процесу охолодження. Тобто, чим більше вологи виводиться з плоду, тим більше зменшується його маса, що, в свою чергу, може вплинути на якість плодів, зокрема їх зовнішній вигляд і товарні властивості.

З метою зменшення втрати маси через випаровування води, в процесі вакуумного охолодження було застосовано додаткову техніку, яка передба-

чала введення пластикових лотків з водою до вакуумної камери. Вода, що знаходилась в лотках, забезпечувала певний рівень вологості в камері, що дозволяло значно зменшити інтенсивність випаровування води з плодів черешні, тим самим мінімізуючи втрату маси. Цей метод дозволив створити більш контрольовані умови для охолодження, зберігаючи більше вологи всередині плодів і, відповідно, зменшуючи загальну втрату маси.

Для порівняння було проведено два серії випробувань: одна з внесенням води в лотках, а інша — без цього додаткового елементу. Результати цих експериментів показані в таблиці 1. Завдяки цій порівняльній методиці можна чітко оцінити вплив додаткової вологи на загальні показники втрати маси, що дозволяє зробити висновок про ефективність застосованої техніки для зменшення негативних наслідків випаровування води під час вакуумного охолодження.

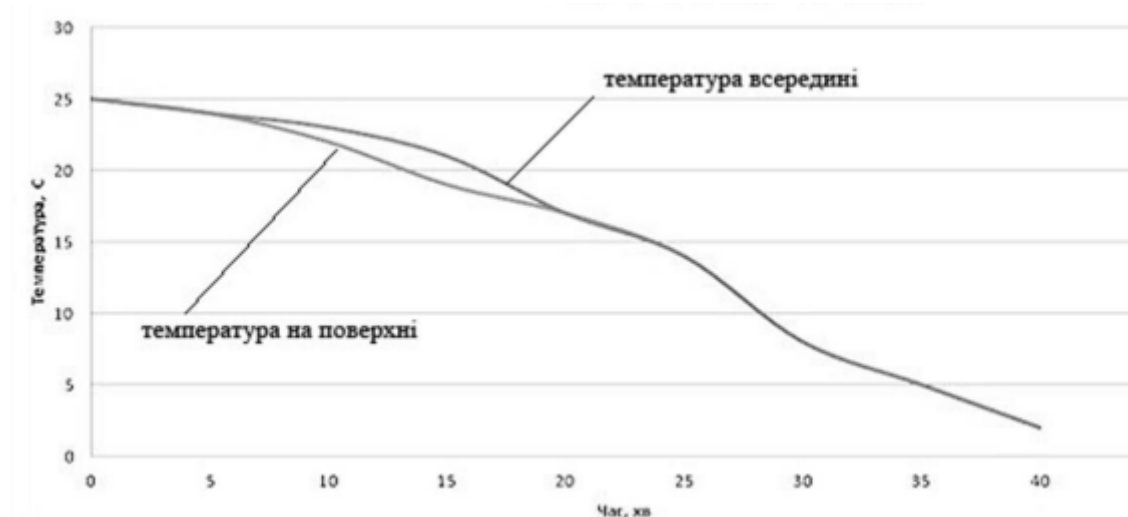


Рис. 1. Швидкість охолодження на поверхні і в середині плодів черешні методом вакуумного охолодження при тиску 29 кПа

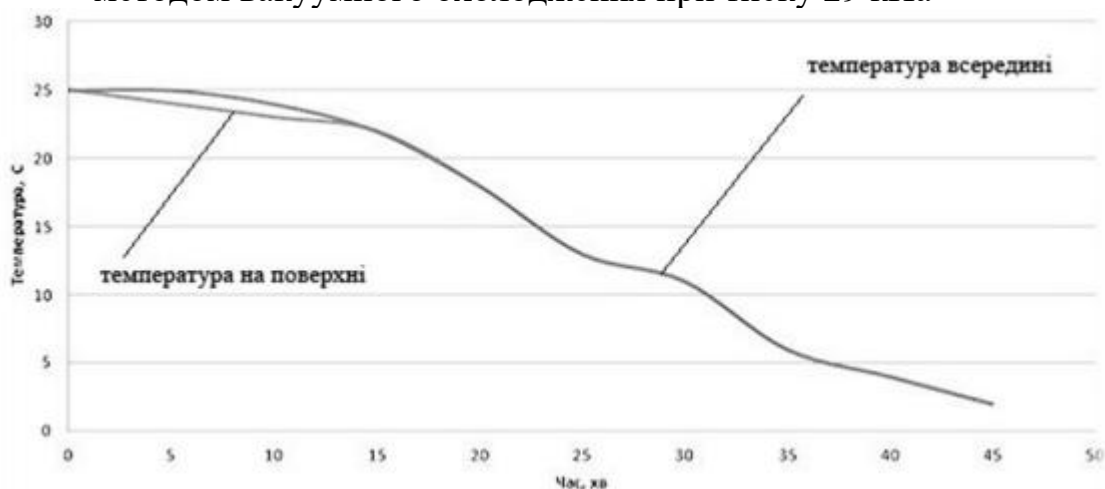


Рис. 2. Швидкість охолодження на поверхні і в середині плодів черешні при вакуумному охолодженні при тиску 44 кПа

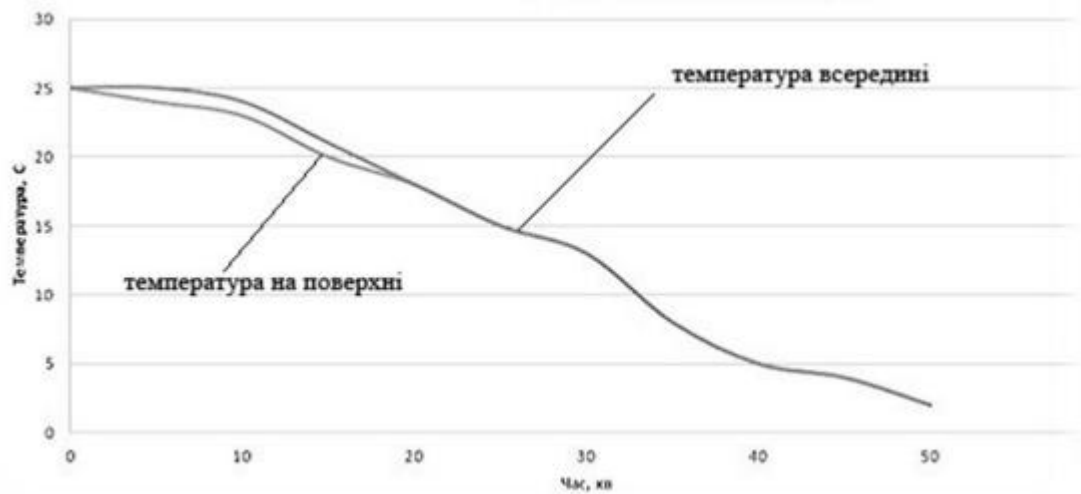


Рис.3. Швидкість охолодження на поверхні і в середині плодів черешні при вакуумному охолодженні при тиску 59 кПа

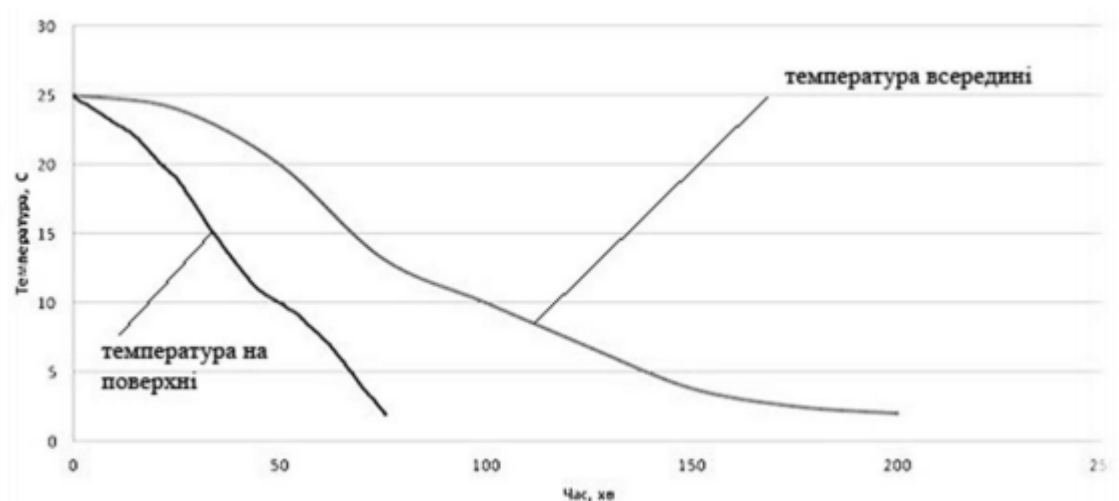


Рис.4. Швидкість охолодження на поверхні і в середині плодів черешні при холодильному охолодженні

Таким чином, застосування пластикових лотків з водою в процесі вакуумного охолодження є важливим кроком для оптимізації технології зберігання черешні. Це дозволяє зберігати більше вологи в плодах, що сприяє не тільки зменшенню втрат маси, але й покращенню загальної якості продукту після охолодження, зберігаючи його товарний вигляд і забезпечуючи триваліший термін зберігання.

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 показник втрати маси плодів черешні під час вакуумного охолодження без додавання води є досить високим. Так, для вакуумних тисків 29 кПа, 44 кПа і 59 кПа ці значення складають 1,84%, 1,91% та 1,94% відповідно. Це вказує на те, що втрата маси плодів черешні під час цього процесу є значною, оскільки випаровування води з внутрішніх частин плодів при таких умовах охолодження відбувається інтенсивно, що негативно впливає на їх загальний стан і якість.

Однак, результати показують, що введення води в пластикові лотки в процесі вакуумного охолодження призвело до значного зниження втрат маси. При використанні цієї методики показники втрати маси зменшились до 0,88%, 0,93% та 0,96% для вакуумних тисків 29 кПа, 44 кПа та 59 кПа відповідно. Це підтверджує ефективність додавання води як способу для зниження інтенсивності випаровування води з плодів під час процесу охолодження.

Застосування води в лотках дозволило значно знизити втрату маси плодів черешні, що дозволяє досягти зменшення на 47,83%, 51,83% та 49,48% для різних значень вакуумного тиску (29 кПа, 44 кПа та 59 кПа). Такий значний ефект зменшення втрати маси підтверджує важливість цього інноваційного підходу, оскільки він дозволяє значно покращити збереження плодів під час охолодження, що важливо для зберігання їх якості і товарного вигляду на більш тривалий термін.

ВИСНОВКИ

У даному дослідженні були застосовані два методи охолодження плодів черешні: вакуумне охолодження та звичайне холодильне охолодження. Результати експерименту показали, що вакуумне охолодження є значно швидшим і ефективнішим методом порівняно з традиційним холодильним охолодженням. Протягом дослідження були протестовані три різні режими вакуумного охолодження при значеннях вакуумного тиску 29 кПа, 44 кПа та 59 кПа, що дозволило оцінити ефективність різних умов охолодження.

Важливо зазначити, що температура під час вакуумного охолодження знижується рівномірно як на поверхні, так і в середині плодів черешні. Це свідчить про те, що вакуумне охолодження забезпечує однакову швидкість охолодження всіх частин плоду, що є перевагою в порівнянні з іншими методами. Наприклад, при вакуумному тиску 29 кПа температура плодів черешні знижувалася з 25°C до 2°C за 40 хвилин, що є значно швидшим порівняно з іншими тисками — при 44 кПа охолодження займало 45 хвилин, а при 59 кПа — 50 хвилин.

Ще одним важливим аспектом є те, що під час вакуумного охолодження неможливо уникнути втрати маси плодів через випаровування вологи зсередини продукту. Однак, як показали результати дослідження, втрату маси можна значно зменшити, додавши воду до вакуумної камери. Внесення води в пластикових лотках призвело до зменшення втрати маси до 0,88%, 0,93% та 0,96% для вакуумних тисків 29 кПа, 44 кПа та 59 кПа відповідно. Це підтверджує, що регулювання умов вакуумного охолодження може значно покращити показники збереження маси продукту.

Таким чином, оптимальним режимом вакуумного охолодження для плодів черешні є значення вакуумного тиску 29 кПа, яке забезпечує найбільш ефективний баланс між швидкістю охолодження та мінімальними втратами маси. Завдяки такому підходу вдалося значно покращити результати в плані процентного виходу продукту, втрати маси та часу охолодження. Це дослідження підтвердило ефективність вакуумного охолодження як перспективного методу для охолодження таких плодів, як черешня, і підтвердило можливість його застосування для збереження високої якості продукту при транспортуванні та зберіганні.

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 vacuum 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 8

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ СТРУМИННОГО ЗМІШУВАННЯ НАПОЇВ

РЕФЕРАТ

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

Предметом дослідження є вплив параметрів і режимів роботи струминного змішувача на його продуктивність.

Метою дослідження є визначення оптимальних параметрів струминного змішувача води та купажного сиропу на основі цукру, а також води та концентрату на основі підсолоджувачів для зниження енерговитрат та підвищення якості змішування рідких компонентів при виробництві солодких безалкогольних напоїв; визначення залежності відстані між соплами форсунок від діаметру сопла з умови отримання найвищої продуктивності змішувача рідких компонентів при виробництві солодких безалкогольних напоїв з використанням купажного сиропу та з використанням концентрату на основі підсолоджувачів.

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. Експериментальні дослідження проводили в лабораторних умовах за традиційними та розробленими методиками. Процес руху потоку рідини в змішувачі вивчали за допомогою програмного комплексу ANSYS. Оптимальні технічні та конструктивні параметри струминного змішувача визначали методом математичного планування багатфакторного експерименту. Теоретичні розрахунки і статистичну обробку експериментальних даних проводили із застосуванням пакетів прикладних програм на ПЕОМ. В результаті роботи визначено оптимальну відстань між соплами форсунок протитечійно-струминного змішувача з умови отримання найбільшої продуктивності і найвищого ступеня перемішування.

Основні результати досліджень:

1 – Аналітично визначено залежності продуктивності протитечійно-струминного змішувача рідких компонентів від відстані між соплами форсунок.

2 – Експериментально визначено вплив відстані між соплами форсунок на продуктивність протитечійно-струминного змішувача.

3 – Експериментально визначено вплив відстані між соплами форсунок на забезпечення необхідного вмісту підмішуваного компоненту в змішаному продукті.

4 – Експериментально визначено вплив відстані між соплами форсунок на якість змішування у протитечійно-струминному змішувачі.

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 багатофакторного 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 про-

цесів переносу у зустрічних струменях. Теоретичні залежності базувалися на класичних залежностях гідродинаміки.

Експериментальні дослідження проведені в Таврійському державному агротехнологічному університеті. Конструкція лабораторної установки захищена патентами України на корисну модель №№ 91740 і 90011.

Для проведення експериментальних досліджень використовувалося водопровідна вода ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» температурою 20°C (290 °K) і густиною 9982,3 кг/м³.

Купажний сироп «Лимонад» на основі цукру 20 °C (290 °K) і густиною 1229,5 кг/м³ та концентрат на основі підсолоджувачів (аспартаму та сахарину) «Лимонад» температурою 20° C (290 °K) і густиною 1050 кг/м³.

Програмою досліджень передбачено:

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

2 – Експериментальне визначення впливу відстані між соплами форсунок на продуктивність протитечійно-струминного змішувача.

3 – Експериментальне визначення впливу відстані між соплами форсунок на забезпечення необхідного вмісту підмішуваного компонента в змішаному продукті.

4 – Експериментальне визначення впливу відстані між соплами форсунок на якість змішування у протитечійно-струминному змішувачі.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В результаті проведених аналітичних досліджень існуючих струминних змішувачів було розроблено конструкцію протитечійно-струминного змішувача.

Схему розробленої конструкції змішувача представлено на рис. 1. Змішувач являє собою два струминні апарати, розташовані співвісно один до одного. Вихідні циліндричні сопла цих апаратів формують зустрічні струмені рідини, які після зіткнення утворюють характерне, візуально симетричне «віяло», яке має назву пелена. Співвісні струминні апарати розташовані у камері 7, де збирається рідина і відводиться зі змішувача. Кожний струминний апарат складається з робочого патрубку 6 та камери змішування 3. Основний компонент (вода) подається у робочий патрубок кожного струминного апарату, робоче сопло 1 яких формує струмені води. Підмішуваний компонент (сироп чи концентрат) подається з камер подачі сиропу (5) у зазор приймальної камери 2. Швидкісні потоки води на вході камери змішування захоплюють підмішуваний компонент. В камері змішування відбувається вирівнювання швидкостей води та підмішуваного компонента. На виході з сопел камер змішування 4 відбувається зіткнення струменів змішаних компонентів.

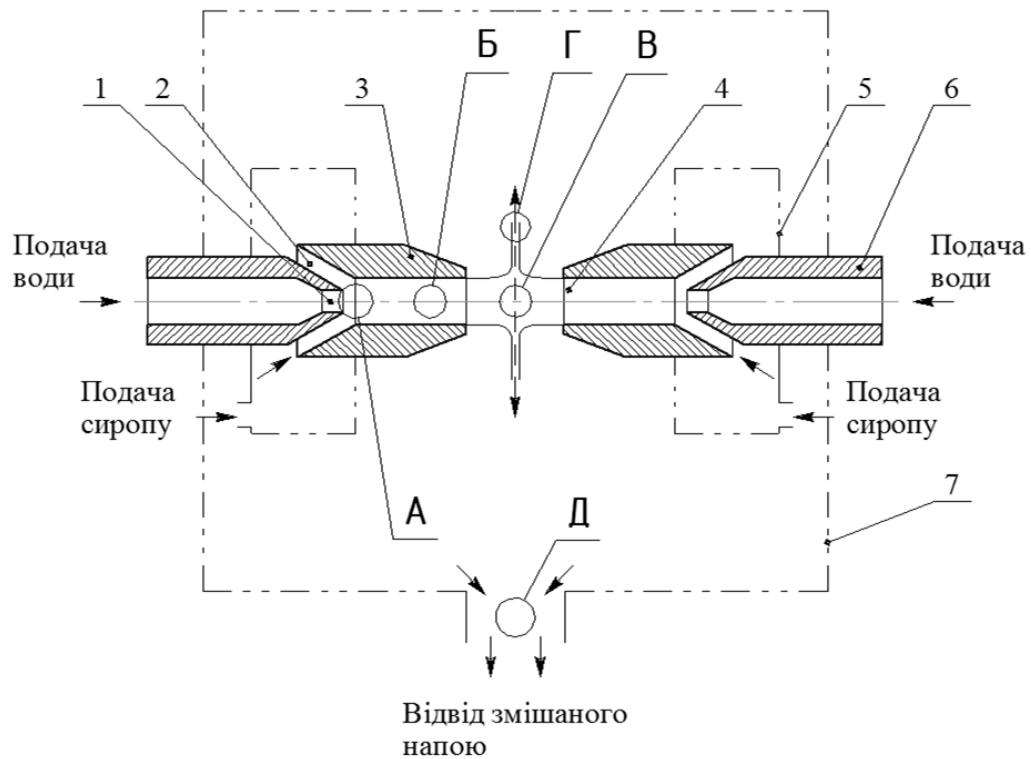


Рис. 1. Схема протитечійно-струминного змішувача рідин: 1 – робоче сопло; 2 – приймальна камера; 3 – камера змішування; 4 – сопло камери змішування; 5 – камера подачі сиропу; 6 – робочий патрубок; 7 – камера збору рідини. А, Б, В, Г, Д – зони змішування.

Змішування починається з вхідної ділянки камери змішування і відбувається безперервно до виходу суміші зі змішувача. Найбільш інтенсивно цей процес протікає при захопленні підмішуваного компонента водою. А також при формуванні потоку в камері змішування (зона А) та при русі у камері змішування (зона Б). У цих зонах відбувається змішування води та підмішуваного компонента, які подаються в один струминний апарат. При зіткненні потоків (зона В), змішуванні у пелені (зона Г) і зборі рідини та відведенні з камери збору (зона Д) відбувається змішування потоків компонентів правого та лівого струминних апаратів.

Головним чинником змішування в зонах А і Б є турбулентність і турбулентні пульсації рідин основного та підмішаного компонентів. У зонах В, Г і Д змішування відбувається за рахунок взаємопроникнення потоків, струменів і шарів компонентів.

Визначення мінімальної відстані між соплами форсунок а $\min$ з умови забезпечення найвищої продуктивності змішувача. Для отримання найбільшої продуктивності протитечійно-струминного змішувача необхідно, щоб площа циліндричної поверхні, утворена соплами форсунок, m^2 , була більше за площу отворів форсунок, тобто

$$S_2 > 2 \frac{\pi d_c^2}{4} \quad (1)$$

Враховуючи, що $S_2 = \pi d_c a$, після перетворень отримаємо

$$a > \frac{d_c}{2}, \quad (2)$$

Тобто

$$a_{min} = 0,5d_c, \quad (3)$$

Звідки при $a \geq d_c / 2$ продуктивність протитечійно-струминного змішувача визначається за формулою:

$$Q = \mu \pi d_c^2 \sqrt{\frac{\rho_m}{2} \cdot \Delta p}, \quad (4)$$

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

d_c - діаметр сопел форсунок, м.

ρ_m - густина рідини, кг/м³;

Δp - надлишковий тиск у форсунках, Па.

а при $a < d_c / 2$

$$Q = \mu \pi d_c a \sqrt{2 \rho_m \cdot \Delta p} \quad (5)$$

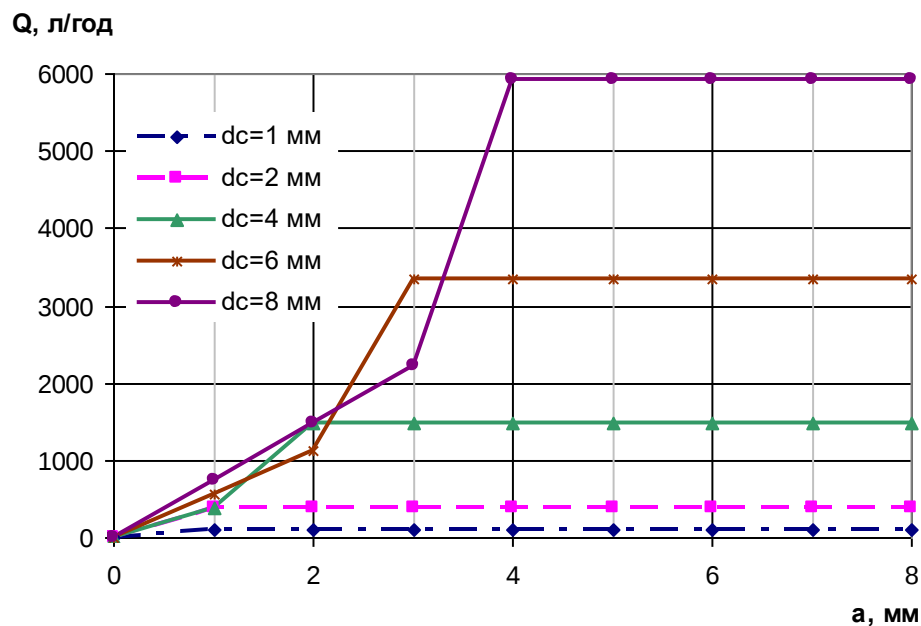


Рис. 2 – Залежність продуктивності від відстані між соплами форсунок.

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). При $a < d_c / 2$ швидкість потоку рідини до зіткнення v_3 буде менше за v_1 при незмінному значенні надлишкового тиску.

$$v_3 < v_1 \quad (6)$$

Остання нерівність витікає з умови нерозривності потоку

$$\pi d_c a v_1 = 2 \frac{\pi d_c^2}{4} v_3, \quad (7)$$

Після перетворень:

$$\frac{v_1}{v_3} = \frac{d_c}{2a}. \quad (8)$$

При умові $a < d_c / 2$ отримаємо нерівність (6), з чого витікає зменшення якості змішування, адже саме швидкість зіткнення струменів визначає ефективність перемішування компонентів.

Результати експериментальних досліджень представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Результати експериментальних досліджень впливу відстані між соплами форсунок на продуктивність протитечійно-струминного змішувача.

Відстань між соплами форсунок, а, мм	Продуктивність змішувача, Q, л/год		
	P=1,2 атм	P=1,5 атм	P=1,8 атм
8	300	321.54	337.29
16	300	322.14	340.02
24	300	323.01	340.83
32	300	324.69	342.96
40	300	325.20	344.13
48	300	325.20	344.55
56	300	325.20	344.55

За отриманими даними побудовані залежності продуктивності змішувача при різних значеннях тиску рідини на вході у форсунок (рис. 3).

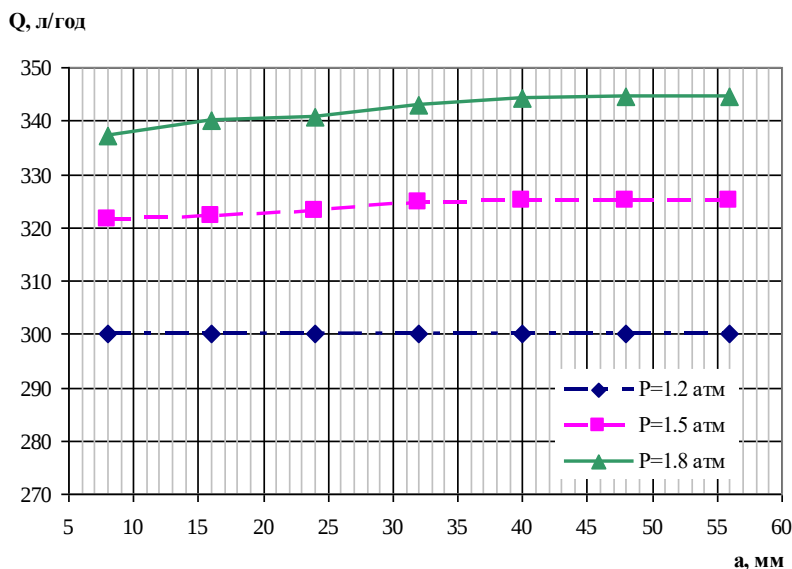


Рис. 3 – Залежність продуктивності протитечійно-струминного змішувача від відстані між соплами форсунок.

Аналізуючи отримані залежності можна сказати, що при тиску подачі рідини на вході у форсунку $P=1,2$ атм із збільшенням відстані між соплами форсунок від $a=d_c$ до $a=5d_c$ об'єм змішаного продукту не змінюється.

Із збільшенням тиску подачі рідини на вході у форсунку залежності набувають іншого характеру. При тиску $P=1,5$ атм із збільшенням відстані між соплами форсунок від $a=d_c$ до $a=4d_c$ об'єм змішаного продукту збільшується майже прямолінійно. При подальшому збільшенні відстані до $7d_c$ об'єм продукту лишається незмінним.

При тиску $P=1,8$ атм із збільшенням відстані між соплами форсунок від $a=d_c$ до $a=6d_c$ об'єм змішаного продукту збільшується. При подальшому збільшенні відстані до $7d_c$ об'єм продукту лишається незмінним.

За отриманими залежностями можна відзначити, що із зменшенням відстані між форсунками від 48 мм (що дорівнює шістьом діаметрам сопла форсунки $a=6d_c$) до 8 мм (тобто $a=d_c$) продуктивність змішувача зменшується. Це відбувається в наслідок того, що на струмінь рідини, яка витікає із сопла форсунки, діє зустрічний струмінь. Тиск, який виникає у зоні зіткнення струменів, призводить до зменшення величини перепаду тиску всередині та зовні форсунки Δp , що в свою чергу призводить до зменшення швидкості витікання рідини з форсунки.

Лабораторний зразок протитечійно-струминного змішувача показаний на рис. 4. – на станині 1, встановлено камеру змішування 2, в якій співвісно встановлені дві ідентичні форсунки 5, через патрубки подачі основного компоненту 3 у форсунки 5 під тиском подається підготовлена вода, через патрубки подачі підмішуваного компоненту 4 подається купажний сироп або концентрат при атмосферному тиску подачі. Змішаний продукт через вихідний отвір 6 відводиться у збірник.

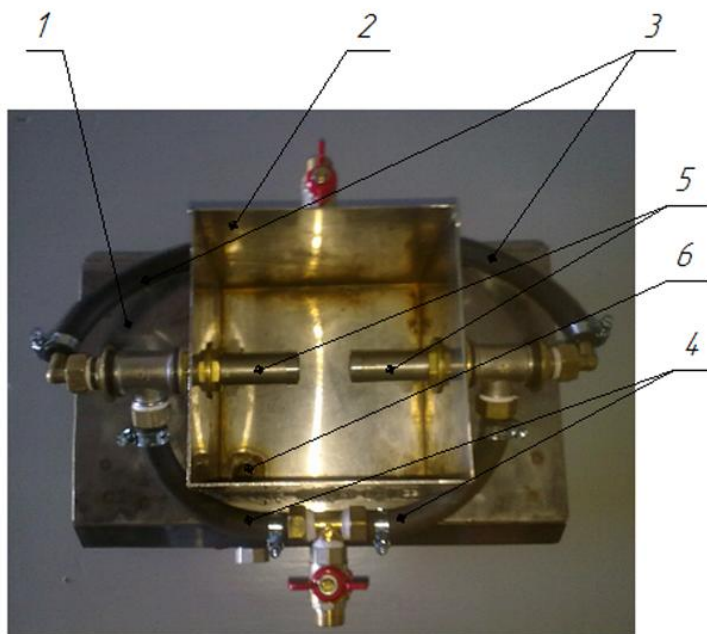


Рис. 4. Змішуючий пристрій. 1 – станина; 2 – камера змішування; 3 – подача основного компоненту; 4 – подача підмішуваного компоненту; 5 – форсунка; 6 – вихідний отвір.

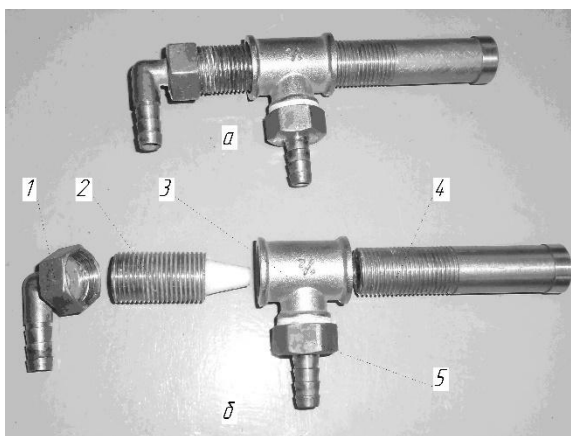


Рис. 5 – Форсунка і вузол ежекції: а) форсунка в зборі; б) конструкція форсунки та вузла ежекції. 1 – штуцер підводу основного компоненту; 2 – ежектор; 3 – корпус камери вводу підмішуваного компоненту; 4 – циліндрична камера попереднього змішування; 5 – штуцер підводу підмішуваного компоненту.

Візуальний контроль процесу змішування здійснюється крізь прозору кришку змішувача рис. 6.



Рис. 6. Процес змішування у протитечійному змішувачі.

Для проведення експериментальних досліджень була виготовлена експериментальна установка, загальний вид якої показані на рис. 7. Вихровий насос 1 створює необхідний тиск подачі основного компоненту. Контроль тиску здійснюється за допомогою манометру 2. По каналу підводу основного компоненту 3 вода надходить у протитечійно-струминний змішувач 5. Підмішуваний компонент потрапляє до змішувача з ємності 4 через канал підведення 6. Після змішування у протитечійно-струминному змішувачі змішаний продукт відводиться через канал 8. Якість змішування

контролюється за допомогою кондуктометру 7

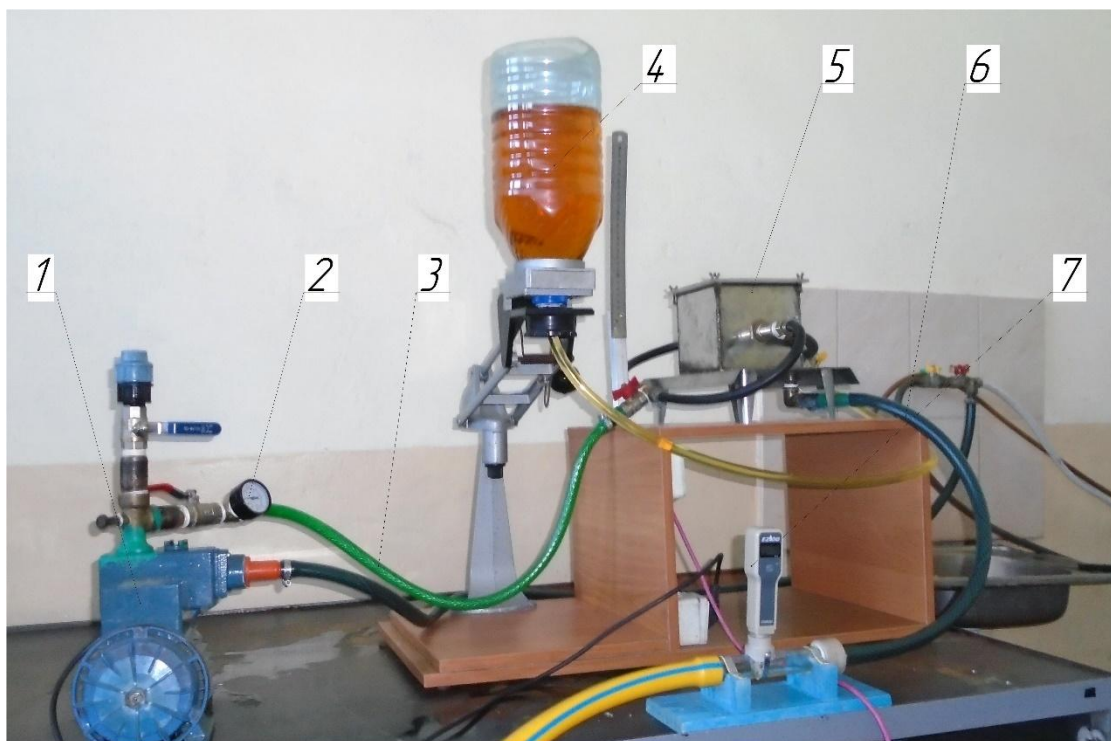


Рис. 7. Загальний вид лабораторної установки для дослідження процесу змішування. 1 – вихровий насос; 2 – манометр; 3 – канал подачі основного компонента (води); 4 – ємність з підмішуванням компонентом (сиропом); 5 – протитечійно-струминний змішувач; 6 – канал підведення підмішуваного компонента; 7 – кондуктометр; 8 – канал відведення змішаного продукту.

На рис. 7 вихровий насос 1 створює необхідний тиск подачі основного компонента. Контроль тиску здійснюється за допомогою манометру 2. По каналу підводу основного компонента 3 вода надходить у протитечійно-струминний змішувач 6. Підмішуваний компонент потрапляє до змішувача з ємності 4 через канал підведення 5. Після змішування у протитечійно-струминному змішувачі змішаний продукт відводиться через канал 7.

Вміст концентрату в змішаному розчині визначався за кислотністю змішаного продукту. Кислотність отриманого розчину визначали методом титрування 0,1 н. розчином гідроксиду натрію. Контроль якості перемішування здійснювався за допомогою кондуктометру COND5021 (діапазон 0 – 9990 мкСм, точність $\pm 1\%$ FS).

Результати проведених експериментальних досліджень наведені на рис. 8–9.

При відстані між форсунками 24мм тиску подачі води 0,12...0,22 МПа, напорі концентрату 0,1...0,3 м, величині кільцевого зазору в камері ежекції 0,6...0,9 мм отримали такі залежності (рис. 8):

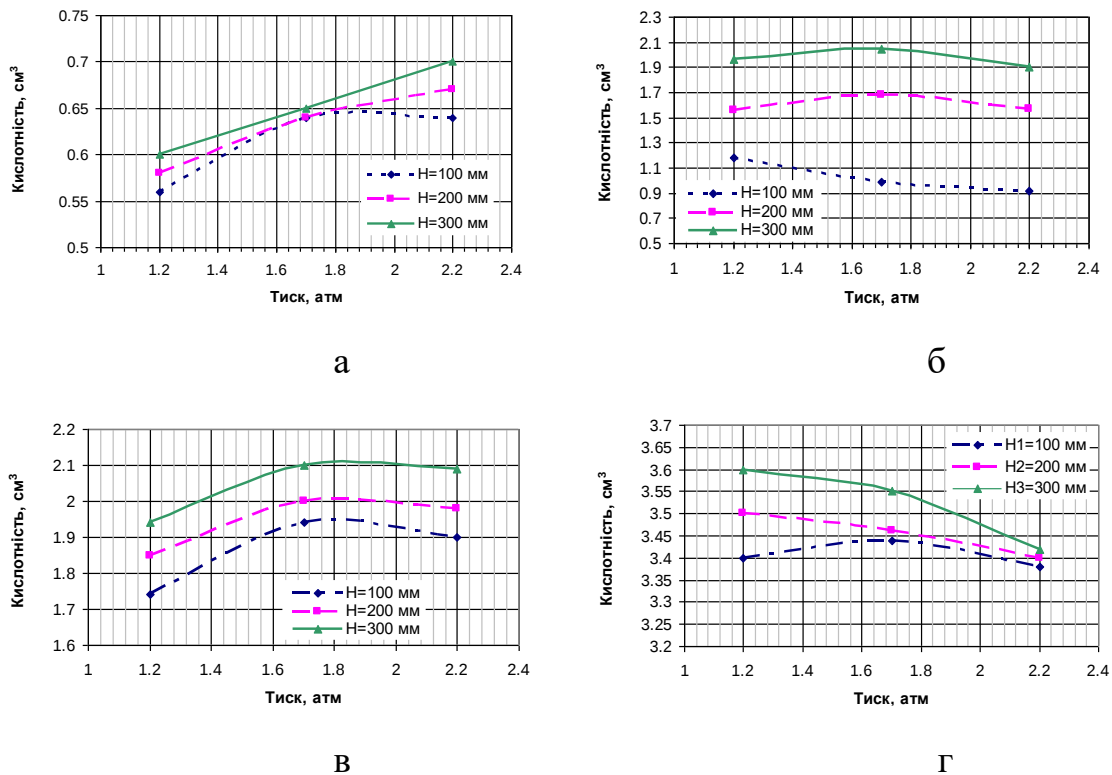


Рис. 8. Залежність кислотності розчину від тиску подачі концентрату а) при величині кільцевого зазору в камері ежекції 0,6 мм; б) при величині кільцевого зазору в камері ежекції 0,7 мм; в) при величині кільцевого зазору в камері ежекції 0,8 мм; при величині кільцевого зазору в камері ежекції 0,9 мм.

Аналіз отриманих залежностей показує, що збільшення кільцевого зазору призводить не тільки до збільшення концентрації підмішуваного компоненту в готовому розчині, але і до зміни характеру залежностей.

При кільцевому зазорі 0,6 мм (рис. 8а) характер залежностей кислотності готового розчину (а значить і концентрації підмішуваного компоненту) має майже прямолінійний характер. При напорі подачі підмішуваного компоненту 200–300 мм з підвищенням тиску подачі води та збільшенням напору подачі концентрату кислотність розчину зростає. При напорі подачі підмішуваного компоненту 100 мм з підвищенням тиску подачі води кислотність спочатку зростає, а з подальшим підвищенням тиску кислотність дещо зменшується. Це відбувається внаслідок збільшення подачі води у більшому ступені ніж підвищення подачі концентрату, що призводить до зменшення його частки в готовому розчині.

При кільцевому зазорі 0,7–0,9 мм (рис 8б–г) залежність між кислотністю отриманого розчину і тиском подачі води параболічна. Це пояснюється збільшенням сумарної витрати концентрату та води на виході з форсунок, що підвищує швидкість вихідного потоку і гідродинамічний тиск на зустрічний струмінь рідини.

При кільцевому зазорі в камері ежекції 0,9 мм (рис. 8г) із підвищенням тиску подачі води кислотність готового розчину зменшується, це відбувається через те, що зазор у камері ежекції є достатньо великим. Два співвісних

струменя, що витікають з форсунок, стикаються, що призводить до підвищення тиску у зоні зіткнення. Відтак перепад тисків Δp зменшується, це призводить до зменшення коефіцієнту інжекції.

При відстані між соплами форсунок 24 мм, тиску подачі води 0,12...0,22 МПа, напорі концентрату 0,1...0,3 м, величині кільцевого зазору в камері ежекції 0,9 мм отримали кислотність розчину 3,08–3,46 см³ що є позитивним результатом, так як за технологічною інструкцією виготовлення безалкогольного напою «Лимонад» кислотність напою повинна становити $3,5 \pm 0,5$ см³.

Для оцінки якості перемішування було визначено середньоквадратичне відхилення σ значень електропровідності отриманого розчину при різних технологічних параметрах процесу змішування.

Результати дослідження якості перемішування рідин при даних умовах наведені на рис. 9. Отримані такі залежності електропровідності розчину від часу:

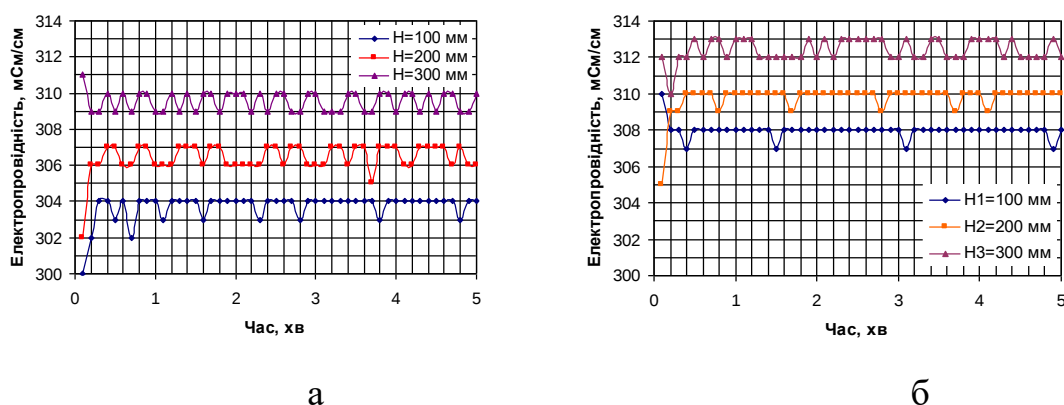


Рис. 9. Залежність електропровідності розчину від часу: а – при тиску подачі води 0,17 МПа; б – при тиску подачі води 0,22 МПа.

При тиску подачі води 1,7 атм отримали такі результати середньоквадратичного відхилення значень миттєвої концентрації продукту (рис.9а): при напорі подачі концентрату 100мм $\sigma_1=0,34$; при напорі подачі концентрату 200 мм $\sigma_2=0,47$; при напорі подачі концентрату 300 мм, $\sigma_3=0,49$.

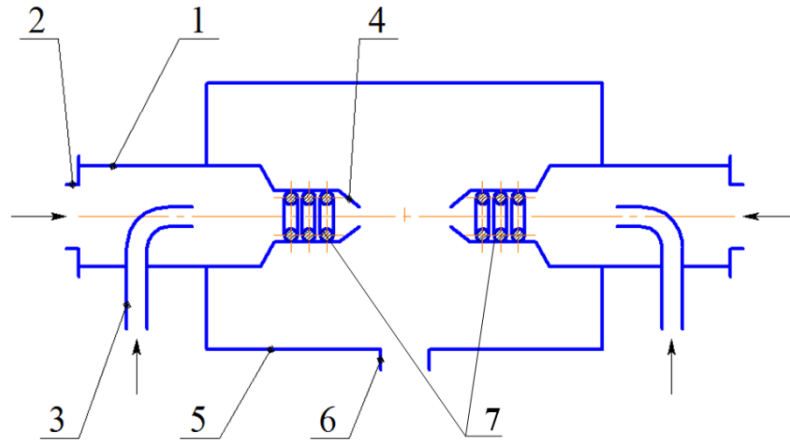
При тиску подачі води 2,2 атм отримали такі результати середньоквадратичного відхилення значень миттєвої концентрації продукту (рис. 9б): при напорі подачі концентрату 100мм $\sigma_1=0,25$; при напорі подачі концентрату 200мм $\sigma_2=0,32$; при напорі подачі концентрату 300мм, $\sigma_3=0,46$.

Найвищу однорідність концентрації підмішуваного компонента можна отримати при тиску подачі води 2,2 атм і напорі подачі концентрату 100мм ($\sigma=0,25$), а найнижчу при тиску подачі води 1,7 атм і напорі подачі концентрату 300 мм, ($\sigma=0,49$). Аналіз результатів підтверджує аналітично отриманий висновок, про підвищення однорідності змішування при підвищенні швидкості зіткнення струменів, що відбувається при збільшенні подачі через вихідні сопла апарату та при підвищенні тиску води на вході в змішувач.

З метою спрощується конструкції, зменшення гідравлічного опору та втрат енергії, покращення ефективності змішування нами було розроблено

конструкцію протитечійно-струменевого змішувача.

Протитечійно-струменевий змішувач містить, пристрій 1 для отримання суміші, патрубок для подачі першої 2 рідини, патрубок для подачі другої 3 рідини, сопло 4, камеру 5 змішування, відвідний патрубок 6 суміші рідин, у камері 5 змішування встановлено два однакових пристрої 1 для отримання суміші через її центр співвісно, соплами 4 назустріч один одному по лінії спрямованій вздовж вісі камери 5 змішування, кожен пристрій 1 для отримання суміші обладнано турбілізаторами 7 потоку у вигляді радіальних кілець.



Пристрій працює таким чином: при подачі в кожен з двох пристроїв 1 для отримання суміші через патрубки для подачі першої 2 рідини, у патрубки для подачі другої 3 рідини відсмоктується друга рідина, проходячи повз турбілізатори 7 потоку у вигляді радіальних кілець утворюється суміш рідин, яка через сопла 4 подається камеру 5 змішування. Обладнання кожного пристрою 1 для отримання суміші турбілізаторами 7 потоку у вигляді радіальних кілець сприяє підвищенню якості попереднього перемішування рідин за рахунок підвищення рівня турбулентності. Далі суміш рідин під великим тиском, через сопла 4, розташовані співвісно назустріч одне одному по лінії спрямованій вздовж вісі камери 5 змішування та встановлених у камері 5 змішування через її центр, де при зіткненні струменів кінетична енергія рідини на виході з сопел 4 перетворюється у потенційну енергію, зі створенням інтенсивних концентрованих турбулентних тороїдальних вихорів що збільшує швидкість перемішування рідин та підвищує ефективність змішування. Через відвідний патрубок 6 суміш рідин подається в до споживача (не показано). Далі цикл повторюється.

ВИСНОВКИ

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 $a = d_c$.

Експериментально визначено вплив відстані між соплами форсунок на продуктивність протитечійно-струминного змішувача. Із збільшенням відстані продуктивність збільшується. Це відбувається тому, що тиск, який виникає у зоні зіткнення струменів, зменшується, а отже збільшується перепад тиску $p\Delta$ на вході та виході з форсунки. Збільшення перепаду тиску також призводить до підвищення швидкості струменів у момент зіткнення, що, у свою чергу призводить до підвищення якості перемішування компонентів.

Найважливішими конструктивними параметрами, що впливають на забезпечення потрібної концентрації підмішуваного компоненту і якість перемішування, є відстань між соплами форсунок і величина кільцевого зазору приймальної камери. У результаті проведення експерименту було виявлено, що при відстані між форсунками, рівній діаметру сопла форсунки, частка концентрату (яка визначалася за кислотністю) у готовому розчині зменшується із збільшенням тиску подачі основного компонента – води.

Незалежно від напору подачі купажного сиропу, із збільшенням відстані між форсунками від $a=d$ с до $a=3d$ с частка концентрату у змішаному розчині збільшується.

У результаті експериментальних досліджень впливу основних технологічних і конструктивних параметрів протитечійно-струминного змішувача на забезпечення необхідного вмісту концентрату в готовому розчині показали, що для виготовлення солодкого напою «Лимонад» із використанням концентрату на основі підсолоджувачів (аспартаму і сахарину), діаметрі сопла форсунки d с = 8 мм оптимальними умовами є: відстань між форсунками 24 мм ($3d$ с), величина кільцевого зазору в камері ежекції 0,9 мм, напір подачі концентрату 200...300 мм, тиск подачі концентрату 1,7...2,2 атм.

Для виготовлення солодкого напою «Лимонад» із використанням сиропу на основі цукру (50 %), діаметрі сопла форсунки 8 мм оптимальними умовами є: відстань між форсунками 24 мм; напір подачі купаного сиропу 200...450 мм; тиск подачі води 3,5...4 атм, величина кільцевого зазору камери ежекції 1,8 мм.

При таких умовах забезпечується необхідний вміст підмішуваного компоненту в готовому розчині, а також якість перемішування рідких компонентів, яка відповідає технічним вимогам на виготовлення солодких безалкогольних напоїв.

Отримані результати можуть бути використані при побудові аналітичної моделі протитечійно-струминних змішувачів, гомогенізаторів та інших гідравлічних апаратів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ТА 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.

13. Магнітний змішувальний пристрій: пат. 157086 Україна: B01F23/00 № u202107111; заявл. 10.12.2021, опубл. 11.09.2024, Бюл. №37/2024

РОЗДІЛ 9

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВАКУУМНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ПЛОДІВ ЧЕРЕШНІ

Відповідно до теми наукових досліджень «Обґрунтування параметрів і режимів роботи установки для вакуумного охолодження плодів черешні» у 2024 році було проведено теоретичне дослідження процесу вакуумного охолодження продуктів. Це перспективна техніка, яка знаходить широке застосування у харчовій промисловості. Метод базується на явищі випаровування вологи з продукту за умов низького тиску, що дозволяє швидко знижувати температуру без використання рідин або традиційного повітряного охолодження.

Продукти, на яких вакуумне охолодження є ефективним, включають борошняні вироби, фрукти, овочі, м'ясо та готові страви. Серед основних переваг цієї технології – значне скорочення часу охолодження.

З метою визначення основних напрямків вдосконалення процесу вакуумного охолодження та параметрів і режимів для охолодження продукції було проведено аналіз наукових досліджень вітчизняних та закордонних вчених.

Так дослідження переваг вакуумного охолодження над повітряним було виконано вченими F C Schmidt, A C C Silva, E Zanoelo, J B Laurindo. Як у своїй роботі «Kinetics of vacuum and air cooling of chicken breasts arranged in stacks» [2], розглянули інтегрований процес приготування у зануренні з подальшим вакуумним охолодженням та приготування продуктів у зануренні з подальшим охолодженням повітрям у холодній камері. Для обох методів (вакуумне та повітряне охолодження) охолодження проводили до досягнення температури приблизно 9 °C. Результати, які вони отримали, показують, що вакуумне охолодження може значно збільшити швидкість охолодження невеликих варених м'ясних шматків, таких як курячі грудки, порівняно з повітряним охолодженням. Крім того, вакуумне охолодження є особливо вигідним у випадках, пов'язаних з охолодженням шматків м'яса, що підлягають штабелюванню, оскільки температура шматків знижується з однаковою швидкістю, незалежно від їхнього положення в штабелі. Окрім цих переваг, вакуумне охолодження також можна інтегрувати з процесом приготування в тому самому пристрої, уникаючи надмірних маніпуляцій із продуктом і, як наслідок, ризику мікробіологічного забруднення. Але варто зазначити, що при використанні вакуумного охолодження були втрати ваги через випаровування води продукту. Таким чином, у тих випадках, коли втрата маси не є проблемою, вакуумне охолодження є життєздатною альтернативою для скорочення часу обробки та отримання однорідного охолодження. Ще важливим висновком в цих дослідженнях було те, що випаровування залежить від мікроструктури продукту, що варто взяти до уваги у подальших дослідженнях.

В наукових дослідженнях ірландських та китайських вчених Chao hui Feng, Zhihang Zhang, Liana Drummond та Da-Wen Sun було проведено порівняльний аналіз вакуумного охолодження ковбасних виробів та вакуумного

охолодження з зануренням цих виробів у рідину. Їх дослід виконувався таким чином: варені ковбаси зразу після варіння перемістили в охолоджувач, щоб зменшити коливання початкової температури зразка перед охолодженням. Потім для охолодження зразка використовували або вакуумне охолодження, або вакуумне охолодження зануренням. Зразки підготовлені для вакуумного охолодження розмістили на полиці в той час як зразки підготовлені для вакуумного охолодження з зануренням переносили в склянку на 5000 мл і повністю заливали гарячою водою (80°C). Для обох методів охолодження падіння тиску всередині вакуумної камери ретельно контролювалося шляхом регулювання основних значень і величин стравлювання, щоб уникнути надто сильного кипіння води під час рідкого вакуумного охолодження і розриву оболонки ковбаси під час вакуумного охолодження та вакуумного охолодження з зануренням. Щоб запобігти замерзанню, мінімальний тиск у камері контролювався приблизно на рівні 7 мбар. Результати показали, що вакуумне охолодження з зануренням немає деяких негативних ефектів, які присутні при звичайному вакуумному охолодженню, а час охолодження зменшився. Також втрати були меншими ніж при охолодженні порівняно з звичайним вакуумним охолодженням. Крім того, кінцева досяжна температура серцевини під час вакуумного охолодження без занурення ковбас становила лише близько 10,4°C. Внаслідок надмірного висихання зовнішньої оболонки (оболонки) ковбаси під час вакуумного охолодження зовнішній вигляд продукту суттєво змінився як за кольором, так і за усадкою. Візуальний вигляд зразків після вакуумного охолодження із зануренням змінився відразу після охолодження, але зразки відновили свій гладкий вигляд після (4 днів) зберігання [1].

Щодо наукових досліджень вакуумного охолодження рослинної сировини особливо слід відзначити дослідження китайських вчених Enhai Liu, Xiaobo Hu, Shengyong Liu під назвою «Theoretical Simulation and Experimental Study on Effect of Vacuum Pre-Cooling for Postharvest Leaf Lettuce». В їх роботі було досліджено вплив вакуумного охолодження на пізно зібраний листовий салат. На основі властивостей листового салату в процесі вакуумного попереднього охолодження була побудована нестационарна обчислювальна модель для аналізу факторів, що впливають на вакуумне попереднє охолодження [3]. За допомогою цього в потрібний час може зберегти якість продукції після збору врожаю краще, а отже, подовжити термін її свіжості. Попереднє вакуумне охолодження, яке використовує принцип поглинання прихованої теплоти випаровування водою під тиском вакууму для швидкого охолодження свіжозібраних фруктів і овочів, таким чином пригнічуючи дихання, використовується для покращення якості зберігання фруктів і овочів. Попереднє охолодження протягом оптимального часу також може продовжити збереження якості та свіжості плодів після збору врожаю [3].

Для кількісного аналізу економічних і технічних показників китайськими вченими було проведено експериментальне дослідження з використанням нестационарної обчислювальної моделі для аналізу факторів, що впливають на вакуумне попереднє охолодження листового салату. Вибір відповідного тиску вакууму, кількості та швидкості подачі води, а також контроль втрат води під час процесу попереднього охолодження є важливими параме-

трами для покращення якості продукту. Виміряні та змодельовані значення були подібними разом із загальними тенденціями.

За результатами проведених досліджень було встановлено, що під тиском у вакуумній камері 600, 1000 і 1500 Па внутрішня температура і температура поверхні можуть бути знижені під час попереднього охолодження до температури зберігання 5°C, внутрішня швидкість охолодження зменшувалася, а випаровування збільшувалося, після чого швидкість охолодження поверхні поступово зменшувалася. Попередньо зволожений салат скоротив час попереднього охолодження під час вакуумного охолодження на 10 хвилин.

Кількість води, доданої до тестових зразків, відповідала 4,2-5,9% від загальної маси зразка та втраті маси 1,9-2,8%. Під тиском попереднього охолодження 600, 1000 і 1500 Па втрата маси становила 2,76, 2,70 і 1,93%. Результати розрахунків показали, що кількість води, що накопичується у водопловлювачі, становила 1,607–2,567 г, а холодопродуктивність загального зразка у процесі вакуумного попереднього охолодження становила 3,722–5,946 Вт [3].

З вітчизняних вчених вакуумне охолодження плодів черешні проводили науковці Ломейко О.П та Єфіменко Л.В.

У статті «Використання методу вакуумного охолодження для попереднього охолодження плодів черешні» ними було надано аналіз науково-експериментального дослідження процесу вакуумного охолодження деяких сортів плодів черешні. Дослідження проводились у 2016 році на кафедрі технології переробки та зберігання продукції сільського господарства Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного у місті Мелітополі.

Для експериментів були вибрані 3 районовані сорти черешні та доставлені до лабораторії відразу після збирання для дослідження процесу охолодження за допомогою розробленого вакуумоохолоджувача. Застосовувались значення вакуумного тиску 29 кПа, 44 кПа та 59 кПа. Температуру плодів знижували з 25°C до 2°C (температура зберігання). Охолодження черешні проводили в холодильній камері за температури 2°C. Як видно з графіків, час охолодження плодів до необхідної температури зберігання становив 40, 45 і 50 хвилин відповідно при вакуумному тиску 29, 44 і 59 кПа. Було встановлено, що найнижча швидкість охолодження спостерігається при тиску 29 кПа. Температура під час вакуумного охолодження розподіляється рівномірно, тобто знижується однаково як на поверхні, так і всередині плодів. Для порівняння, при традиційному охолодженні у холодильній камері з температурою 2°C температура поверхні продукту знижується значно швидше, ніж температура в його центрі. Поверхня плодів охолоджується за 80 хвилин, тоді як для охолодження їхньої серцевини потрібно 198 хвилин. Таким чином, вакуумне охолодження є значно швидшим і забезпечує більш рівномірне зниження температури у порівнянні з традиційним методом[4].

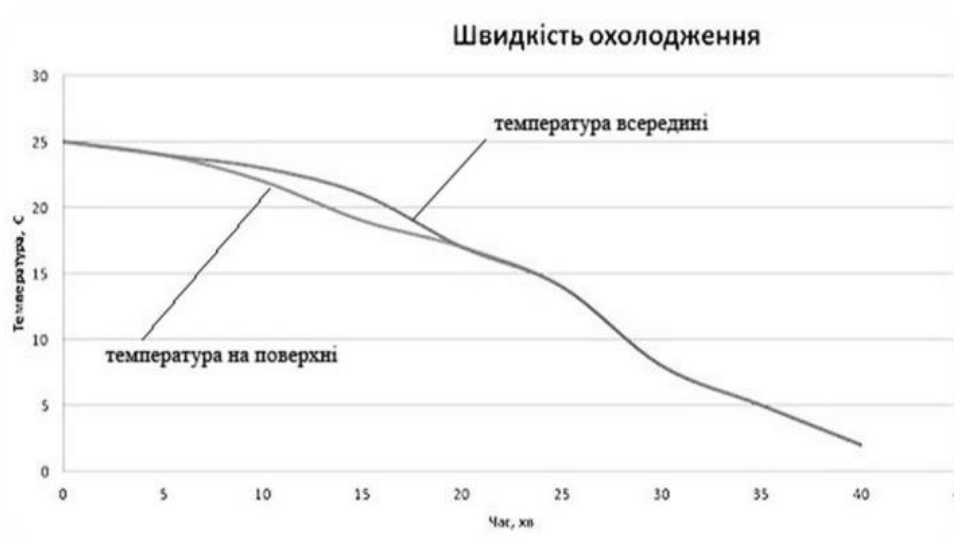


Рис.1 Швидкість охолодження на поверхні і в середині плодів черешні методом вакуумного охолодження при тиску 29 кПа

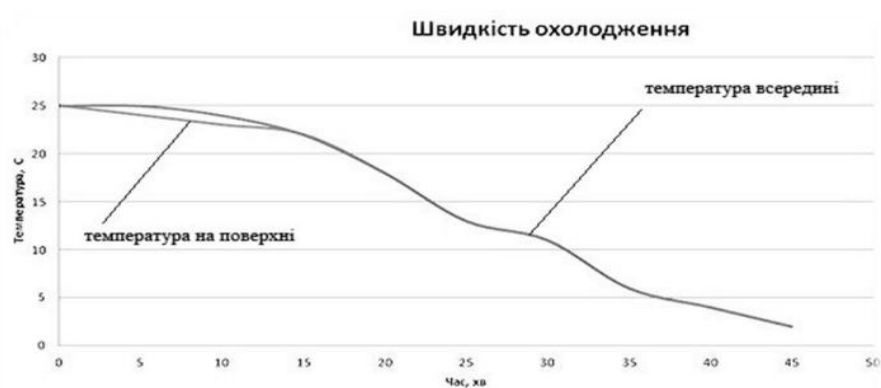


Рис. 2 Швидкість охолодження на поверхні і в середині плодів черешні методом вакуумного охолодження при тиску 44 кПа

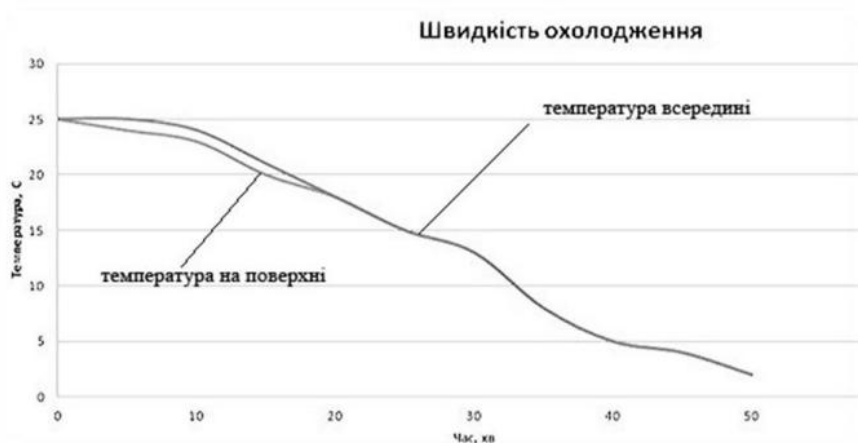


Рис. 3 Швидкість охолодження на поверхні і всередині плодів черешні методом вакуумного охолодження при тиску 59 кПа

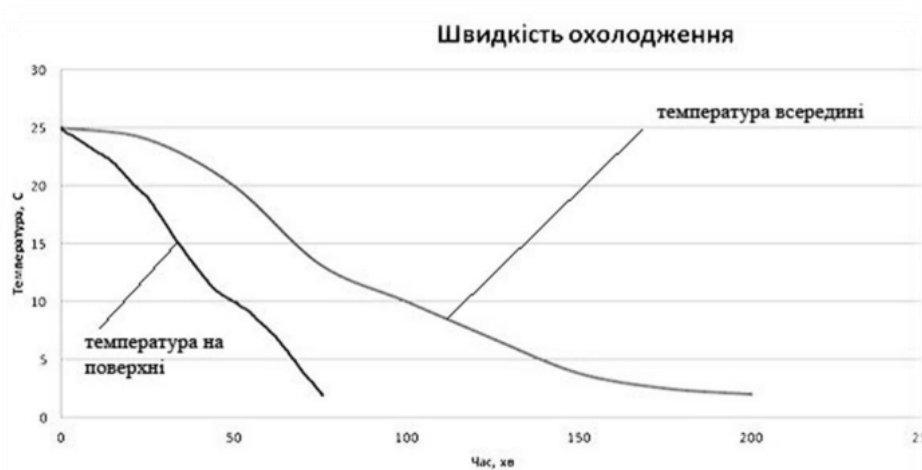


Рис.4 Швидкість охолодження на поверхні і в середині плодів черешні при холодильному охолодженні

Висновки

На підставі аналізу наукових досліджень вітчизняних та іноземних вчених щодо процесу вакуумного охолодження продукції були встановлені переваги даного способу охолодження та основні напрямки подальших досліджень.

Вакуумне охолодження є не тільки способом швидкого охолодження продукції, а й перспективною частиною виробного процесу підготовки деяких продуктів чи навіть страв. Інтегрування цієї технології в різні галузі харчової та переробної промисловості заощадить не тільки час охолодження, а ще саме головне допоможе зберегти якісні показники для багатьох видів продукції на значно вищому рівні ніж традиційне охолодження повітрям.

Дослідження зменшення втрати ваги через випаровування вологи, ще більшого збереження якості та швидкого інтегрування у сучасні холодильні камери повинні бути пріоритетом сучасної науки.

Враховуючи перспективність даного способу було підтверджено актуальність теми наукових досліджень та її практична значимість. Тому метою подальших досліджень є визначення теоретичних закономірностей процесу вакуумного охолодження плодів черешні та розробка методики та експериментальної установки для проведення лабораторних випробувань.

Список літератури

1. Chao Hui Feng, Zhihang Zhang, Liana Drummond, Da-Wen Sun, Comparison of Vacuum Cooling and Immersion Vacuum Cooling of Sausages: Conference Paper Conference: 3rd CIGR International Conference of Agricultural Engineering. 2012
2. F. C. Schmidt, A. C. C. Silva, E. Zanoelo & J. B. Laurindo. Kinetics of vacuum and air cooling of chicken breasts arranged in stacks, J Food Sci Technol Vol 55, 2018. pages 2288–2297.
3. Enhai Liu, Xiaobo Hu, Shengyong Liu. Theoretical Simulation and Experimental Study on Effect of Vacuum Pre-Cooling for Postharvest Leaf

Lettuce. Journal of Food and Nutrition Research. Volume 2, issue 8. p 443-449 2014,

4. Ломейко О.П, Єфіменко Л.В. Використання методу вакуумного охолодження для попереднього охолодження плодів черешні Мелітополь 2016.