

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра технологічних процесів та обладнання
переробних і харчових виробництв

Допущений до захисту:
завідувач кафедри
д.т.н., професор Севостьянов І.В.

(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

« 10 » _____ грудня _____ 2019 р.

**РОЗРОБКА РЕСУРСООЩАДНИХ ПРОЦЕСІВ КОМПЛЕКСНОЇ
ПЕРЕРОБКИ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР**

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

Виконав: студент групи 61-МП
Ільчук Олексій Олексійович

Керівник: д.т.н., професор
Севостьянов Іван Вячеславович

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра технологічних процесів
та обладнання переробних і
харчових виробництв

Інженерно-технологічний
факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

зав. кафедри ТПОПХВ

д.т.н., професор _____ Севостьянов І.В.

« ___ » _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

студенту _____ Ільчуку Олексію Олексійовичу _____

на тему

«Розробка ресурсощадних процесів комплексної переробки насіння олійних
культур»

затверджену Наказом від 20 травня 2019 року № 106м

Вихідні дані для підготовки роботи:

1. Методичні вказівки з виконання магістерської роботи.
2. План-проспект магістерської роботи.
3. Підручники та навчально-методичні посібники, статистичні дані.
4. Наукові видання (монографії, книги, збірники, журнали, методики, матеріали ЦНТІ).
5. Методика економічної оцінки результатів досліджень.
6. Дані власних досліджень, одержаних за попередній період.

Календарний план виконання магістерської роботи

Структура роботи		Обсяг, стор.	Термін підготовки	Підпис керівника
Анотація		2	листопад 2019 року	
Вступ		6	листопад 2019 року	
Розділ 1	Аналіз сучасного стану теорії, техніки і технології отримання рослинної олії	24	листопад 2019 року	
Розділ 2	Наукове обґрунтування коливальних режимів сушіння насіння олійних культур	22	листопад 2019 року	
Розділ 3	Практична реалізація технологічних рішень по переробці олійних культур	38	листопад 2019 року	
Висновки		2	листопад 2019 року	
Список літератури		5	Квітень 2019 року – листопад 2019 р.	

Термін подання роботи на кафедру
для попереднього захисту «10» _____ грудня _____ 2019 р.

Завдання видано _____ «14» _____ березня _____ 2019 р.

Завдання прийняв до виконання _____

Керівник _____ І.В. Севостьнов д.т.н., професор
(підпис)

АНОТАЦІЯ

У роботі розроблено концептуальні засади створення ресурсосберегаючих технологій переробки насіння олійних культур, спрямованих на інтенсифікацію процесу отримання готового продукту, раціональне використання матеріальних і енергетичних ресурсів, що досягається моделюванням та оптимізацією перспективних конструкцій обладнання, яке забезпечує розширення асортименту і підвищення якості одержуваних рослинних олій. Встановлено основні кінетичні та гідродинамічні закономірності процесів сушіння, екструзії і пресування насіння олійних культур. Методом диференційно-термічного аналізу визначено форми зв'язку вологи з оброблюваним матеріалом і умови терморозкладання компонентів олійних культур, що дозволило виявити допустимий діапазон температур нагрівання продукту і обґрунтувати вибір оптимальної температури. Запропоновано математичний опис процесу сушіння насіння олійних культур в коливальних режимах на основі диференціального рівняння теплового балансу, косинусоїдального закону зміни температури продукту за часом при обмеженнях на температуру і швидкість сушильного агента, обумовлених якістю перероблюваного продукту і економічної доцільністю процесу.

SUMMARY

The conceptual bases of creation of resource-saving technologies of oilseeds processing aimed at intensification of the process of obtaining the finished product, rational use of material and energy resources, which is achieved by modeling and optimization of perspective structures of equipment, which ensures the expansion of assortment and increase of quality of production. The basic kinetic and hydrodynamic regularities of the processes of drying, extrusion and pressing of oilseeds are established. The method of differential thermal analysis determines the forms of moisture bonding with the treated material and the conditions of thermal decomposition of the components of oilseeds, which allowed us to identify the acceptable range of product heating temperatures and to justify the choice of the optimum temperature. The mathematical description of the process of drying oilseeds in oscillatory modes on the basis of differential equation of thermal balance, cosine law of change of temperature of the product over time with restrictions on the temperature and speed of the drying agent, due to the quality of the drying product and the economic feasibility of the process.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕОРІЇ, ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ РОСЛИННОЇ ОЛІЇ	13
1.1 Основи теорії та огляд техніки і технологій виробництва рослинних олій	13
1.2 Сушка, як найважливіший етап в технології виробництва рослинних олій	15
1.3 Огляд сушарок для сушіння олійних і зернових культур.....	19
1.4 Огляд екструдерів для олійних культур	26
1.5 Огляд маслопресів для олійних культур	31
2. НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ КОЛИВАЛЬНИХ РЕЖИМІВ СУШІННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР	37
2.1 Експериментальна установка і методика проведення досліджень.....	37
2.2. Дослідження гідродинаміки процесу сушіння насіння олійних культур в коливальних режимах	40
2.3 Математичне моделювання процесу сушіння насіння олійних культур в коливальних режимах.	50
2.3.1 Обґрунтування допустимої області термовологих умов при сушінні насіння олійних культур в коливальних режимах ..	50
2.3.2 Чисельно-аналітичне дослідження процесу сушіння насіння олійних культур в коливальних режимах	51
3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПО ПЕРЕРОБЦІ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР	59
3.1 Розробка конструкції сушарки для насіння олійних культур	59
3.2 Апарат для гідротермічної обробки олійних культур	64
3.3 Конструкція екструдера-олієвіддільника	67
3.4 Прес для отримання олії і гранульованої макухи	69
3.5 Спосіб коливального сушіння насіння олійних культур з	

циклічним введенням антиоксиданту	73
3.6 Лінія виробництва рослинної олії з використанням парокомпресійного теплового насоса	79
3.7. Лінія виробництва рослинної олії з використанням пароежекторної холодильної машини	81
3.8. Лінія гідротермічної обробки насіння олійних культур	85
3.10 Лінія виробництва рослинних олій попередньою екструзійною обробкою сировини	87
ВИСНОВКИ	91
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	94

ВСТУП

Актуальність обраної теми. Олійножирова галузь в агрокомплексі України займає провідне місце. Підприємства галузі, що переробляють насіння олійних культур, виробляють олію і жирові продукти харчового, технічного та кормового призначення, в тому числі і стратегічного, в зв'язку з цим стан олійно-жирової галузі вначає розвиток цілого ряду галузей АПК. В даний час перед олійножировою промисловістю стоять нові завдання, які пов'язані не тільки з кількісним нарощуванням обсягів виробництва, а й вимагають принципово нових підходів і рішень як в створенні інноваційних технологій і обладнання, так і з випуском продуктів харчування функціонального призначення.

Сфера переробки насіння олійних культур в процесі виробництва рослинних олій є найбільш розвиненою з усього агропромислового комплексу. Однак, слабка матеріально-технічна база і нерозвинена інфраструктура більшості підприємств олійножирової промисловості, не дозволяє забезпечити високоефективну, комплексну переробку насіння олійних культур, що веде до додаткових втрат при отриманні рослинної олії, збільшує витрати виробництва, що в підсумку відбивається на якості кінцевої продукції і її собівартості.

Основними технологічними стадіями виробництва рослинних олій є сушка або влаготеплова обробка і пресування насіння олійних культур [31, 50]. В даний час фахівцями галузі робляться спроби екструзійної обробки олійних культур, які вимагають свого наукового обґрунтування.

Багатостадійність сучасних технологічних процесів накладає строгі вимоги, що пред'являються до якості одержуваного продукту, чіткого погодження продуктивності різного устаткування технологічного потоку при комплексній переробці насіння олійних культур.

Однак, недостатня вивченість цих процесів, невиправдане побоювання за збереження харчової цінності та смакових якостей готової продукції

перешкоджають розробці загальної методики розрахунку взаємопов'язаних процесів, ускладнюють вибір оптимальних режимів обробки і стримують впровадження цих процесів у виробництво.

Реалізація програм з переведення харчової промисловості на наукоємний тип техніко-технологічного розвитку спирається на ендогенні і екзогенні чинники розвитку науково-технічного потенціалу країни.

У зв'язку з цим наукова та інноваційна діяльність зі створення енергоефективних процесів отримання функціональних рослинних олій є актуальною проблемою.

Ступінь розробленості теми. Вдосконалення процесів переробки олійних культур приділяється велика увага, оскільки вони достатньо енергоємні, трудомісткі, а, отже, в значній мірі визначають вартість і якість готового продукту.

Теоретичні і практичні основи переробки олійних культур і їх апаратурне оформлення відображені в роботах Н. С. Арутюняна, В. В. Білобородовой, А. Н. Лісіцина, В.Н. Григор'євої, А. М. Голдовського, А.А. Схаляхова, В. В. Деревенко, В.Є. Ланкіна, А. І. Скіпіна, А. П. Нечаєва, В. А. Масликова, Г. В. Зарембо-Рацевіча, В. П. Кичигина, Е. П. Кошового, Ю. П. Кудріна, Е. П. Корненой, З. А. Меретукова, В. С. Морозова, Г. Е. Мельник, О.Ю. Шаззо, В. Х. Паронян, В.Г. Щербакова, О.Б. Рудакова, К.К. Полянського, V. S. Vadke, R. T. Anderson, C. A. Shook, H. G. Schwartzberg, M. T. Shirato, F. W. Sosulski, G. C. Mrema і інших [9, 10, 60, 83, 84, 132, 144, 163, 166, 193].

Незважаючи на наукові досягнення в галузі переробки олійних культур необхідно вирішити ряд найважливіших завдань зі збалансованості теплових потоків, розробити математичні моделі і використовувати їх у розв'язанні задач енерго- і ресурсозбереження з урахуванням специфіки кожної олійної культури.

Тут слід приділити увагу розробці сушильних установок з комбінованими гідродинамічними режимами і змінним енергопідведенням, екструдерів і олійних пресів нового покоління. Створення високоефективного обладнання, що забезпечують повну автоматизацію і механізацію технологічних процесів, дозволить виготовити поточно-механізовані лінії, щоб забезпечити значне підвищення продуктивності праці, безвідходне виробництво переробки олійних культур і поліпшення якості готового продукту.

Мета роботи. Розробка основ проектування технології комплексної переробки насіння олійних культур і вдосконалення технологічних процесів, що забезпечують підвищення технічного і технологічного рівня виробництва рослинних масел; розробка рекомендацій з проектування та впровадження у виробництво високоефективних апаратів для реалізації пропонованих технологій, які забезпечать мінімізацію питомих теплоенергетичних втрат і підвищення якості готової продукції.

Для досягнення мети вирішувалися такі **основні завдання**.

1. Розробка на підставі системного підходу рекомендацій по забезпеченню вдосконалення процесів комплексної переробки насіння олійних культур з урахуванням їх специфічних властивостей;

2. Розробка науково-практичних підходів до енергозбереження в процесах сушіння, екструзії і пресування насіння олійних культур з можливістю пошуку найкращого варіанту між якістю готового продукту і питомими енергетичними затратами.

3. Вивчення основних кінетичних закономірностей в процесах сушіння, екструзії і пресування олійної сировини (вплив початкової вологості, температури, тиску та ін. на характер протікання досліджуваного процесу і якість отриманих рослинних масел) і розробка на цій основі методики створення і реалізації нових способів виробництва сумішей олій;

4. Розробка та моделювання високоефективних технологій комплексної переробки насіння олійних культур як системи взаємопов'язаних процесів з

відповідним апаратурним оформленням; створення математичних моделей тепло-і масообміну нестационарних процесів сушіння, екструзії і пресування.

5. Розробка нових конструктивних рішень обладнання, що підвищує ефективність технологічних процесів комплексної перероблення олійної сировини.

Наукова новизна. Розроблено концептуальні засади створення ресурсосберегаючих технологій переробки насіння олійних культур, спрямованих на інтенсифікацію процесу отримання готового продукту, раціональне використання матеріальних і енергетичних ресурсів, що досягається моделюванням та оптимізацією перспективних конструкцій обладнання, яке забезпечує розширення асортименту і підвищення якості одержуваних рослинних олій.

Встановлено основні кінетичні та гідродинамічні закономірності процесів сушіння, екструзії і пресування насіння олійних культур.

Методом диференційно-термічного аналізу визначено форми зв'язку вологи з оброблюваним матеріалом і умови терморозкладання компонентів олійних культур, що дозволило виявити допустимий діапазон температур нагрівання продукту і обґрунтувати вибір оптимальної температури.

Запропоновано математичний опис процесу сушіння насіння олійних культур в коливальних режимах на основі диференціального рівняння теплового балансу, косинусоїдального закону зміни температури продукту за часом при обмеженнях на температуру і швидкість сушильного агента, обумовлених якістю висушуємо продукту і економічної доцільністю процесу.

Практична значимість роботи. Взначені і обґрунтовані раціональні технологічні режими переробки і виробництва рослинних олій на основі сформульованих принципів ресурсозбереження, що забезпечують скорочення тривалості процесу, зниження питомих енерговитрат і підвищення якості готової продукції.

Отримано суміші рослинних олій функціонального призначення з оптимальним співвідношенням поліненасичених жирних кислот, які є незамінними в харчуванні для організму людини. проведено комплексне дослідження показників якості створених сумішей рослинних олій функціонального призначення.

Ексергетичний аналіз технологічних систем показав, що ККД запропонованих технологічних рішень при переробці насіння олійних культур становить 51,34 ... 55,21%, що на 10 ... 15% вище, ніж у відомих технологій.

Розроблено оригінальні конструкції одношнекового олійного преса для високо- і низькоолійних культур, екструдер-олієвіддільник і сушарка.

Матеріали магістерської роботи використовуються в навчальному процесі при читанні лекцій і проведенні лабораторних занять у курсі дисципліни «Процес та апарати харчових виробництв».

Методи дослідження. Це комплекс загальнонаукових (аналізу і синтезу, перевірки істинності теорії шляхом звернення до практики; інтерпретація отриманих результатів та ін.) і спеціальних (абстрактно-логічний метод, моделювання, емпіричний метод, статистико-імовірнісний метод і ін.) методів пізнання. Для визначення показників якості готового продукту були використані традиційні методи аналізу, при цьому похибки вимірювань не перевищували значень, встановлених в діючих стандартах для методів кількісного аналізу якості готового продукту. Для виявлення інтервалів температурних зон випаровування вологи з різною формою і енергією зв'язку з матеріалом використовувався метод диференційно-термічного аналізу (ДТА), а також метод диференціальної скануючої калориметрії (ДСК) для кількісного вимірювання теплових потоків, що виникають при одночасному програмованому нагріванні зразка і еталона.

Об'єктом дослідження даної роботи є технологічні процеси комплексної переробки насіння олійних культур. **Предметом дослідження** є параметри енергозберігаючого обладнання в процесах сушіння, екструзії і пресування насіння олійних культур.

Ступінь достовірності. Наведені в роботі наукові положення, висновки і рекомендації ґрунтуються на фундаментальних фізичних законах і не суперечать їм. Вони добре узгоджуються з теоретичними концепціями, загальноприйнятими в даній області досліджень. Достовірність результатів проведених досліджень базується на використанні апробованих математичних методів. Отримані розрахункові залежності піддані ретельній експериментальній перевірці. Розрахункова середня відносна помилка не перевищує 12 - 15%. Всі наукові положення, висновки і рекомендації, викладені в роботі, обґрунтовані і підтверджені експериментальними дослідженнями і матеріалами, які повністю відповідають даним протоколів досліджень.

В роботі використані сучасні методики експериментальних досліджень, методи і засоби проведення вимірювань. Ступінь достовірності результатів проведених досліджень підтверджується глибокою проробкою літературних джерел за темою дисертації, постановкою необхідної кількості експериментів, застосуванням сучасних інструментальних методів аналізу. Для математичної обробки результатів досліджень використані прикладні комп'ютерні програми.

1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕОРІЇ, ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ РОСЛИННОЇ ОЛІЇ

1.1 Основи теорії та огляд техніки і технологій виробництва рослинних олій

Основою виробництва олійножирової продукції є технологія. Правильно розроблена технологічна схема, що включає мінімально необхідну кількість обладнання, що працює з оптимальною ефективністю, механізація і автоматизація виробничих процесів повинні забезпечувати гарантовану якість продукції, мінімальні витрати енергії і праці.

Одним з основних завдань, що стоять перед олійножировою промисловістю є підвищення ефективності переробки насіння олійних культур з метою забезпечення населення країни високоякісною ростительним олією, і галузі тваринництва в білковому кормі. Рішення вказаних завдань неможливе без удосконалення технологій переробки олійної сировини і оновлення технічної бази олійно-жирових підприємств.

Одним з резервів підвищення ефективності переробки олійних культур є впровадження інноваційних технологій для забезпечення стійкої якості продукції, що випускається - олії і макухи на всьому технологічному циклі їх виробництва.

Для того щоб переробні підприємства були зацікавлені у впровадженні інновацій на виробництві, необхідно інформувати їх про ті нововведення, які пропонуються виробниками технологічного обладнання.

Виробництво рослинних олій незалежно від способу починається з підготовчого етапу, який включає наступні стадії [71]:

- очищення олійної сировини від домішок;
- кондиціонування насіння за вологістю;
- обрушення насіння з отриманням рушанки;
- поділ рушанки сепаруванням;
- подрібнення ядра.

Виробництво пресових олій.

Основні стадії виробництва пресових олій:

- вологотеплова обробка (смаження) з отриманням мезги;
- форпресування з отриманням пресової олії;
- відстоювання і фільтрування олії.

Структурна схема виробництва пресової олії приведена на рисунку 1.1.

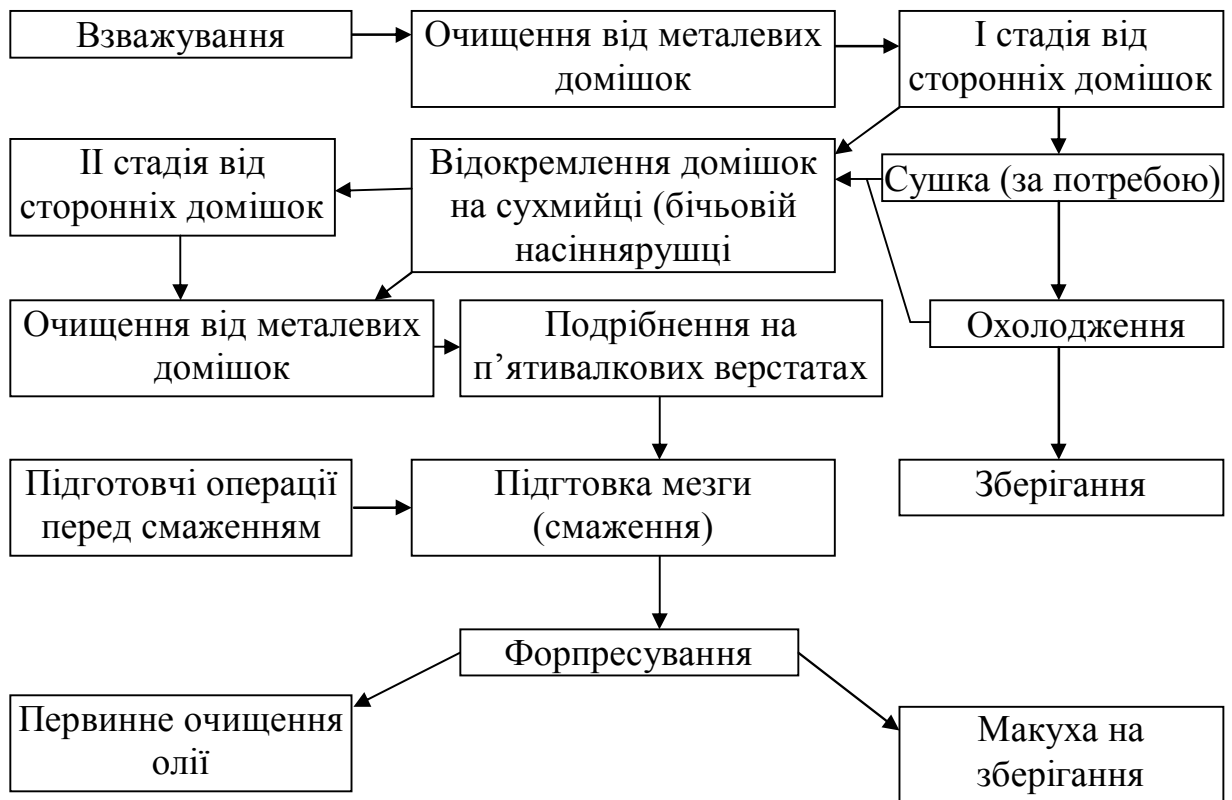


Рисунок 1.1 - Структурна схема виробництва пресової олії

Сучасна технологія отримання рослинних олій включає різнохарактерні впливи на перероблювану олійну сировину. Значне місце в технології займають механічні процеси. Такі процеси, як очищення насіння від домішок, руйнування і відділення плодових і насінневих оболонок від зародка і ендосперму - ядра, подрібнення ядра і проміжних продуктів його переробки, є переважно механічними, що готують матеріал до інтенсивних фізико-хімічних перетворенням.

Дуже важливе місце в технології займають дифузійні і дифузійно-теплові процеси - кондиціонування насіння за вологістю, вологотеплова

обробка м'ятка (смаження мезги), екстракція органічними розчинами, отгонка розчинника з місцелли і шроту, а також гідромеханічні процеси - пресування мезги на шнекових пресах, відстоювання і фільтрування олії. Нарешті, в останні роки отримали застосування ферментативні процеси. При обробці м'яткі препаратами ферментів досягається більш глибоке вилучення олії з насіння при м'яких умовах знежирювання.

Сучасний технологічний процес переробки олійного насіння складається з наступних операцій: підготовки до зберігання і зберігання насіння, підготовки насіння до вилучення олії, власне вилучення олії методом прямої екстракції або методом пресування та екстракції, первинної та комплексної очистки олії і обробки шроту [105]. Послідовність основних операцій переробки рослинної олійної сировини наведена на рисунку 1.1.

Технологія отримання рослинних олій безперервно розвивається і вдосконалюється. Особлива увага приділяється вивченню та використанню хімічних та біохімічних процесів, що відбуваються в олійній сировині під впливом технологічних параметрів.

Значний внесок у розвиток теорії процесу переробки та отримання рослинних олій внесли такі зарубіжні та вітчизняні вчені, як: Н. С. Арутюнян, В. В. Белобородов, А. Н. Лісцін, А. М. Голдовський, А.А. Схаляхов, В. В. Деревенко, А. І. Скіпіна, А. П. Нечаєв, В. А. Масликов, Г. В. Зарембо-Рацевіч, В. П. Кичигин, Е. П. Кошовий, Ю. І.П.. Кудрін, Е. П. Корнена, В. С. Морозов, Г. Е. Мельник, О.Ю. Шаззо, В. Х. Паронян, В.Г. Щербаков, О.Б. Рудаков, К.К. Полянський, V. S. Vadke, R. T. Anderson, C. A. Shook, H. G. Schwartzberg, M. T. Shirato, F. W. Sosulski, G. C. Mrema та інші [9, 10, 60, 83, 84, 132, 144, 163, 166, 193].

1.2 Сушка, як найважливіший етап в технології виробництва рослинних олій

Необхідність кондиціонування олійного насіння за вологістю (сушка) в технології виробництва рослинних олій зустрічається, щонайменше, двічі.

У першому випадку сушка використовується при підготовці насіння до зберігання.

Щойно зібране насіння є неоднорідним за вологістю і ступенем зрілості, до того ж збирання часто збігається з несприятливими погодними умовами. А сушка забезпечує швидке зниження вологості олійного насіння до величини, при якій забезпечується безпечно його зберігання. Це так звана сировинна сушка.

У другому випадку кондиціювання насіння за вологістю шляхом його сушіння має значення безпосередньо для технології виробництва рослинних олій. Оптимальна для переробки вологість насіння визначає технологічність ряду наступних стадій: обрушення, відділення ядра від оболонки, подрібнення ядра, смаження мезги, вилучення олії.

У зв'язку з цим, теплову сушку можна вважати вихідною стадією технологічного процесу переробки олійної сировини, тому її називають технологічною.

В основі інтенсифікації процесу сушіння повинні лежати заходи, що враховують закономірності явищ внутрішнього вологоперенесення і зовнішнього тепло - і вологообміну.

Комплексного впливу на інтенсифікацію зовнішнього вологообміну і внутрішнього вологоперенесення можна домогтися на основі оптимального поєднання технологічних прийомів, використовуваних для зневоднення зерна в експлуатованих і проєктованих зерносушарках.

Узагальнення літературних даних і проведені дослідження дозволили розробити класифікацію шляхів інтенсифікації процесу сушіння зерна (Рисунок 1.2), якою слід керуватися при реконструкції діючих або при розробці нових конструкцій зерносушарок [113].

В області внутрішнього вологоперенесення інтенсифікувати процес можна шляхом підвищення температури зерна і виключення гальмуючої дії термовологопровідності, застосуванням прогресивних технологій сушіння,

наприклад, використовуючи в якості джерел тепла енергію електромагнітних коливань надвисоких частот.



Рисунок 1.2 - Класифікація шляхів інтенсифікації процесу сушіння зерна

Принцип перетворення СВЧ - енергії в теплоту оснований на ефективному поглинанні вологою продукту, що нагрівається за рахунок підведення до нього СВЧ - енергії. При цьому теплота, що генерується в усьому об'ємі оброблюваного продукту, і підводиться в робочу камеру СВЧ практично повністю поглинається незалежно від форми і маси.

Процес теплової обробки харчових продуктів в електромагнітному полі характеризується високою швидкістю нагріву і невеликою тривалістю, що скорочує тривалість впливу на продукт підвищених температур і сприяє

збереженню поживної цінності, зокрема термолабільних вітамінів, підвищенню якості та збільшення виходу готової продукції.

В області зовнішнього вологообміну інтенсифікувати процес можна шляхом підвищення температури і швидкості агента сушіння, а також збільшення активної поверхні зерен, що беруть участь в процесі тепло - і вологообміну з агентом сушіння.

Поліпшення умов зовнішнього вологообміну можливо в результаті використання в промисловості високоінтенсивних апаратів з активними гідродинамічними режимами.

Ці режими досить успішно реалізуються в апаратах з закрученими потоками теплоносія, що забезпечує в багатьох випадках більш високі техніко-економічні показники, призводить до економного енергоспоживання, ефективного уловлювання продуктів виносу, отримання продукту високої якості, безпеки та технологічності процесу [2, 3, 4, 5, 69, 70, 89].

При русі дисперсного матеріалу в апаратах з закрученими струменями відбувається безперервна взаємодія частинок одною з одною і з стінкою сушарки, що призводить до збільшення відносної швидкості руху взаємодіючих фаз, часу перебування матеріалу в апараті, підвищення концентрації твердої фази [19, 21, 27, 85, 102].

Застосування пристроїв, що закручують забезпечує збільшення коефіцієнту тепло - і масообміну, пов'язане з підвищенням відносної швидкості руху фаз у закрученому потоці в 3 ... 4 рази в порівнянні з прямолінійними потоками [2, 4, 5, 27, 30, 60, 69, 70, 89, 93, 97]. Це створює сприятливі умови для інтенсифікації тепло - і масообміну і підвищенню ефективності процесу сушіння.

Розглянувши основні можливості вдосконалення процесу сушіння дисперсних продуктів, можна зробити висновок про те, що найкращим чином здійснити інтенсифікацію технологічного процесу сушіння з одночасним зниженням витрат енергії на нього, забезпечити високу якість готового продукту і необхідну залишкову вологість можливо поєднанням

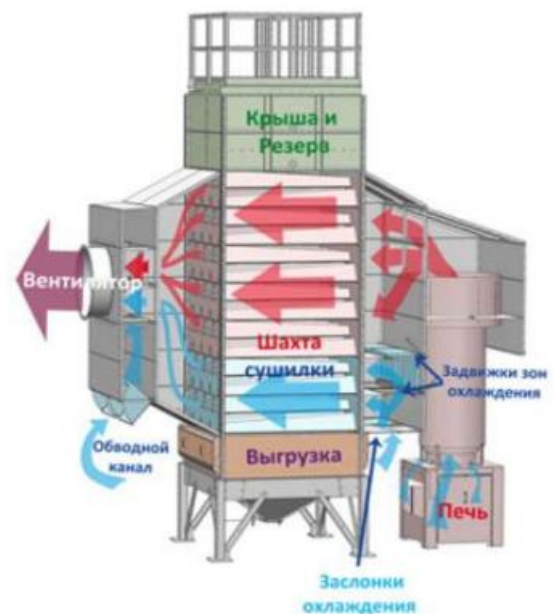
конструктивних заходів, спрямованих на створення активного гідродинамічного режиму в сушильній камері, що найбільш ефективно реалізується в апараті із закрученими потоками теплоносія і дисперсного матеріалу, і вдосконалення технології сушіння застосуванням сучасних високотехнологічних джерел СВЧ - енергії.

1.3 Огляд сушарок для сушіння олійних і зернових культур

ТОВ "АгроТехХолдінг" пропонує зерносушарки Perry (Рисунок 1.3), які належать до типу сушарок для зерна зі змішаним потоком і в першу чергу призначені для сушіння пшениці, ячменю і кукурудзи. Більш легкі культури, такі як рапс і овес, також як і зернобобові і олійні культури (соняшник) можуть піддаватися сушінні за умови відповідного звернення і наявності тимчасових сховищ.



а



б

Рисунок 1.3 - Зерносушарка Perry

Конструкція зерносушарки виконана таким чином, щоб пошкодження зерна було зведене практично «до нуля» - вся внутрішня поверхня шахти виконана без фланців, болтів. Гладка поверхня також запобігає скупченню

соломи, полови, пилу або інших відходів, які можуть призвести до виникнення пожежі. Сушарки Petru також мають дуже широкі камери для змішування гарячого і холодного повітря. Це дає 2 переваги: 1) більше часу гарячому повітрю для змішування і розподілу зверху вниз в сушарці, що сприяє більш рівномірній сушці; 2) вентилятори знаходяться далеко від сільськогосподарської культури, що зменшує імовірність захоплення повітрям легких культур.

ТОВ «Екоенергія» на ринку пропонує агрегати сушіння-подрібнення (Рисунок 1.4). Енергоефективний агрегат для одночасної ударно термічної сушіння та подрібнення або надтонкого подрібнення сипких дисперсних матеріалів активаторно-вихрового типу з множинними зустрічними потоками.



Рисунок 1.4 – Агрегат сушка-подрібнення

Фірма ALVAN BLANCH пропонує зерносушарки безперервного потоку конвеєрного типу (Рисунок 1.5, 1.6) для вирішення проблем сушіння зернових, зернобобових та олійних культур.

Переваги унікальної системи сушіння в подвійному потоці (шарі) в порівнянні з простими вертикальними сушарками: функціональність, оскільки використовується великий повітряний потік, володіють рідкісною здатністю сушити зерно без його попереднього очищення, передбачена можливість регулювати глибину шару в залежності від вологості зерна.

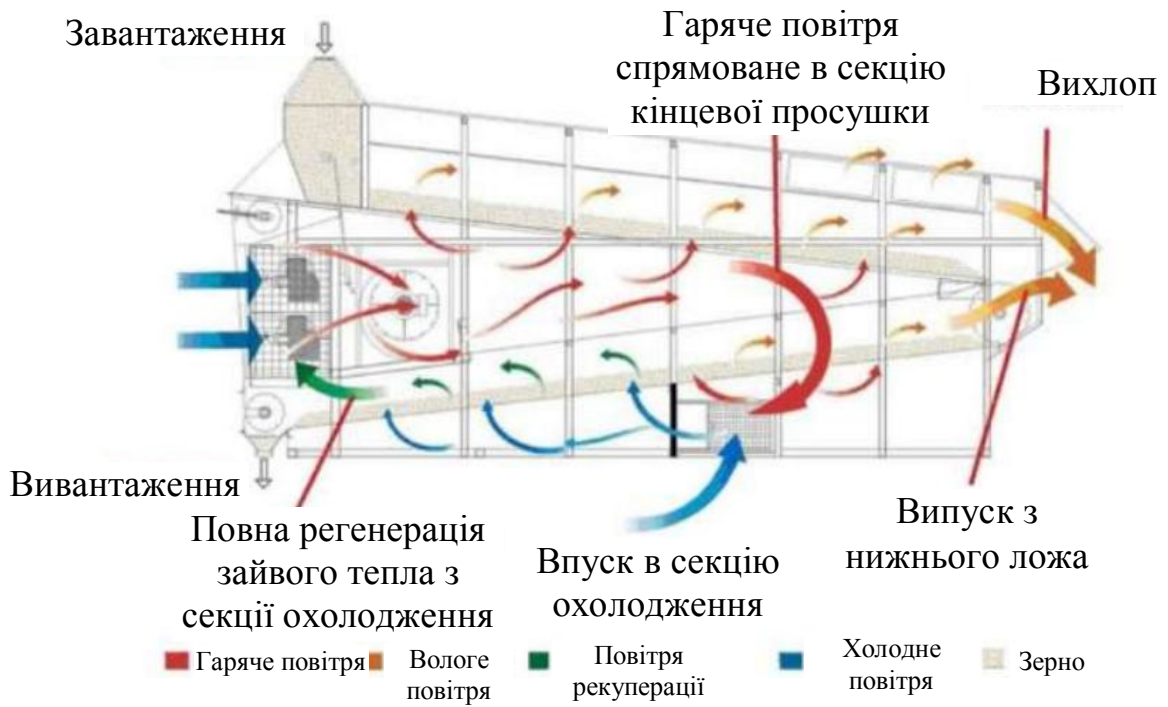


Рисунок 1.5 - Зерносушарки безперервного потоку конвеєрного типу

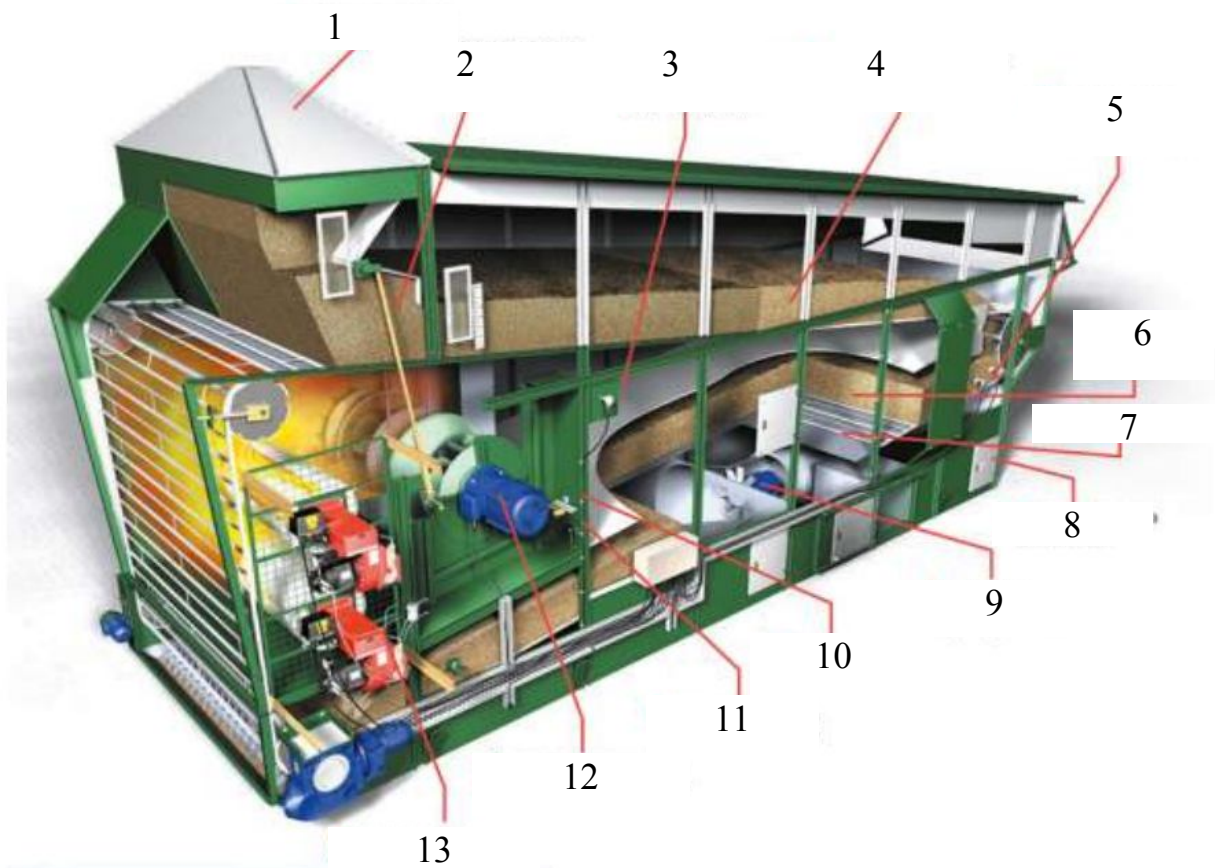


Рисунок 1.6 - Схема руху зерна і повітря в сушарці: 1 – бункер; 2 – регулювання глибини потоку; 3 – терморегулятор; 4– продукт; 5 - контроль вологості та температури; 6 – камера; 7 – ложе; 8 – дверцята; 9, 12 – вентилятори; 10 – подача повітря; 11 – індикатор тиску; 13 - пальники

Фірма Terra пропонує мікрохвильову установку для сушіння зернових та олійних культур моделі АСТ-3 (Рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 - Установка мікрохвильова для сушіння зернових та олійних культур

Пристрій призначений для видалення вологи з сипких матеріалів за допомогою мікрохвильової сушіння і застосовується для отримання заданої вологості насіння зернових і олійних культур, в тому числі насінневого фонду, а також виробляє дезінфекцію, знезараження продукту сушіння від шкідливих бактерій, грибків, в тому числі цвілі. Дана технологія дозволяє застосовувати рециркуляцію продукту в сушильній установці і є екологічно чистою, оскільки відсутні продукти згоряння палива.

Компанія Strahl пропонує зерносушарки STRAHL циклічного типу серії AR (Рисунок 1.8) і шахтні зерносушарки серії FR (Рисунок 1.9). В сушарках не потрібно вносити механічні зміни в залежності від типу продукту, на відміну від сіткових зерносушарок, де для кожного виду

культур ставиться окреме сито, яке підлягає заміні при зміні просушеної культури, в процесі сушіння застосовують нижчі температурні режими



Рисунок 1.8 - Циклічні сушарки AR Рисунок 1.9 - Шахтні зерносушарки серії FR

Показана на рис. 10 сушарка має такі переваги: висока експлуатаційна надійність через відсутність численних циклів деформації і значного стирання сітчастих пластин; досягнення рівномірної сушіння продукту внаслідок використання м'яких, ощадних режимів пересипання і перемішування при максимальному збереженні частинок оброблюваного продукту за рахунок раціональної конструкції гравітаційного перегрівача; зниження енерговитрат на перемішування за рахунок застосування раціональної конструкції гравітаційного перегрівача; підвищення якості готового продукту.

Показаний на рис. 1.11 пристрій для сушіння має такі переваги: дозволяє здійснити пофракційну обробку матеріалу, забезпечуючи при цьому рівномірність сушіння; досягається висока інтенсивність тепло- масообміну, що особливо важливо при сушінні високовологих матеріалів; не допускається потрапляння частинок продукту в патрубок введення теплоносія; не допускається утворення застійних зон і тим самим пригорання

частинок матеріалу до поверхонь сушарки; реалізується малоуносний режим роботи сушарки.

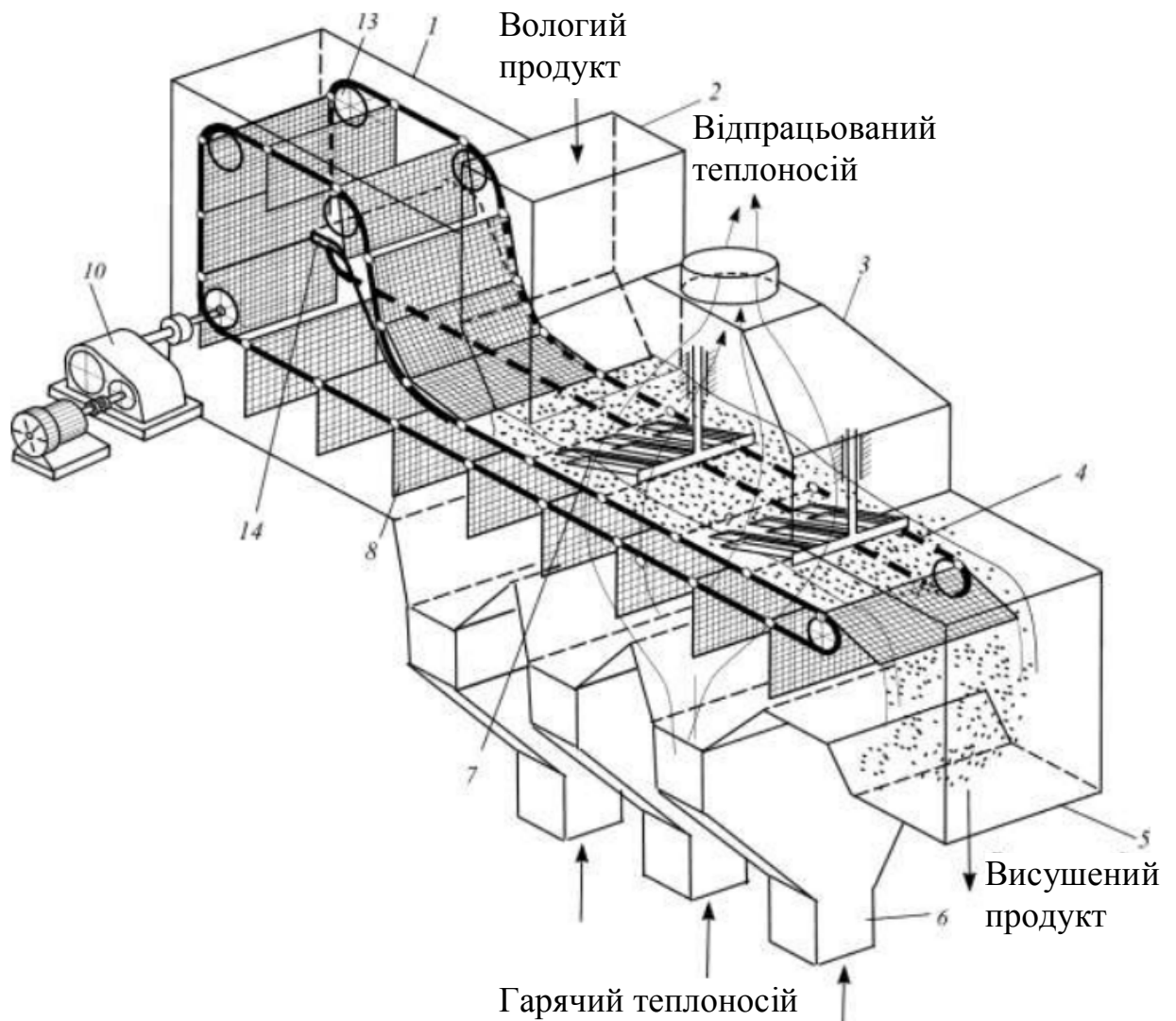


Рисунок 1.10 - Сушарка: 1 - корпус; 2 - завантажувальний бункер; 3 - патрубок для відводу відпрацьованого сушильного агента; 4 - ланцюгові транспортери; 5 - розвантажувальний бункер; 6 - патрубки для підведення сушильного агента; 7 - гравітаційні перегрібачі; 8 - сітчасті пластини; 9 - верхня напрямна; 10 - регульований привід; 11 - пази; 12 - осі; 13 - ланцюгові зірочки; 14 - нижня напрямна; 15 - похилі лопатки; 16 - вирівнювач висоти; 17 - живильник

Також запропонована сушильна установка з секцією двоетапного змішування насіння з антиоксидантом (рисунок 1.12) за допомогою шнекових

змішувачів різної продуктивності, встановлених між секціями кипіння і отлежки.

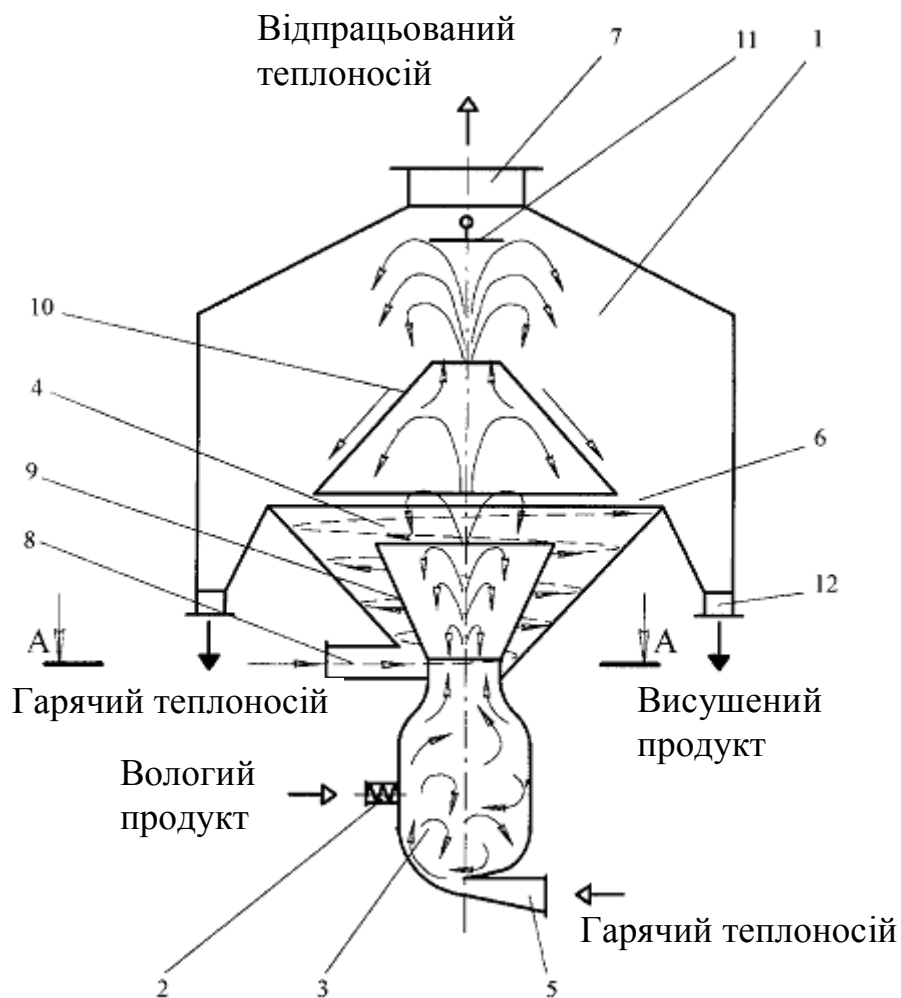


Рисунок 1.11 - Пристрій для сушіння: 1 - сепаратор, 2 - завантажувальний патрубок для введення матеріалу, 3 - камера підсушування, 4 - камера сушіння, 5 - патрубок введення теплоносія, 6 - кільцева щілина виходу висушеного матеріалу, 7 - вікно (патрубка) виходу теплоносія, 8 - патрубок для тангенціального введення теплоносія, 9 - конічний вихід, 12 – вікно виходу висушеного матеріалу, 10 - конічна вставка, 11 - відбійник

Використання запропонованої сушарки дозволяє: підвищити якість готового матеріалу, інтенсифікувати процес відлежування і підвищити експлуатаційну надійність роботи сушарки.

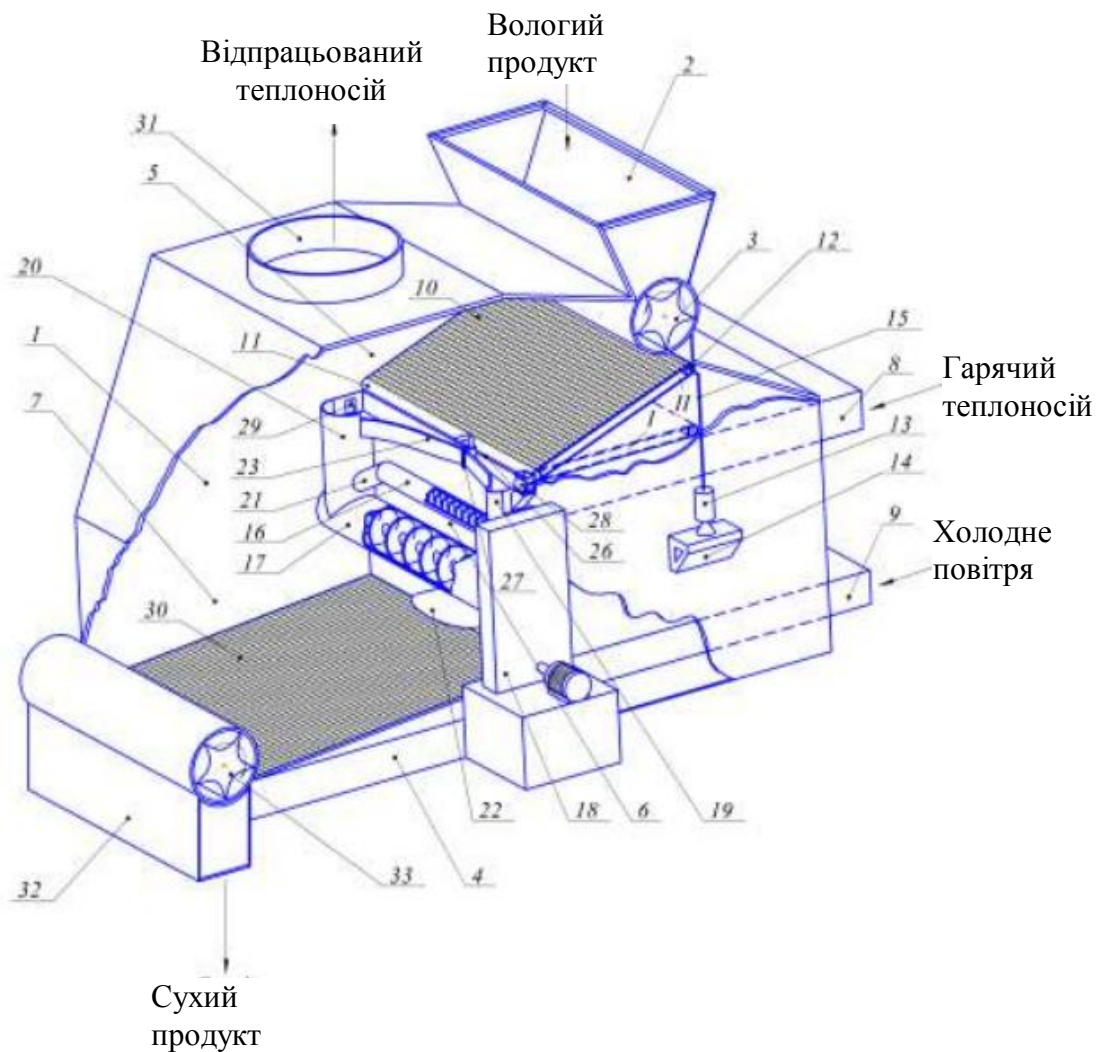


Рисунок 1.12 - сушильна установка: 1 - секціонована сушильна камера; 2 - завантажувальний патрубок; 3 - пристрій завантаження; 4 - станина; 5 - секції сушіння; 6 - секції двоетапного змішування; 7 - секції відлежування; 8, 9 - газопідвідні коробки; 10 - газорозподільна решітка; 11 - натяжна планка; 12 - вісь натяжного барабана; 13 - гідроциліндр; 14 - опора; 15 - шток; 16, 17 - змішувачі; 18 - привід; 19, 20 - входні патрубки; 21, 22, 31, 32 - патрубки; 23 - гнучка стрічка; 24, 25 - горизонтальна і вертикальна поверхні; 26 - напрямна; 27 - рухома каретка; 28, 29 - пристрої для введення антиоксиданту; 30 - нерухома горизонтальна газорозподільна решітка; 33 - шлюзовий затвор

1.4 Огляд екструдерів для олійних культур

Конструкції екструдерів також можуть бути класифіковані:

- за частотою обертання робочого органу: на нормальні і швидкохідні;

- за конструктивним виконанням: на стаціонарні, з обертовим корпусом, з горизонтальним розташуванням робочого органу, з вертикальним розташуванням робочого органу;

- за фізичними ознаками: з коротким шнеком (автогенні), з більшим ухилом ріжучої кромки матриці, з незначним ухилом ріжучої кромки матриці.

Крім того, екструдери рекомендується класифікувати за геометричною формою, механічним, функціональним або термодинамічним хахарактеристикам, оскільки вони впливають на хімічні і структурні характеристики екструдованих продуктів. Особливе значення мають такі параметри, як кількість теплової енергії, що утворюється в процесі екструдкування за рахунок механічного перетворення енергії; температура під час ведення процесу; вологість екструдованої маси.

Екструдери виробляють українські та зарубіжні фірми: ТОВ «Арсенал», ТОВ «ВЕС», «Тронка-Агротех», «У.Т.К. Плюс», ЗАТ «Черкасиелеватормаш», «Anderson», «APV Baker», «Baker Perkins», «Buhler» AG, «Buss», «Clextral», «Extru-Tech» Inc, «Insta-Pro», «Guar Group», «Kovan», «Maddox», «N.P. & Company» Inc, «Simon Food Engineering», «Toshibe», «Wenger», «Werner & Pfleiderer» і ін.

Компанія FARMET A.S. пропонує обладнання для виробництва кормів з використанням сухої і мокрої екструзії при переробці олійних, зернових і бобових культур. Екструдери (рисунок 1.13) можуть працювати як самостійне обладнання, так і в складі ліній з переробки насіння ріпаку, соняшнику та сої.

Перевагами є: великий вихід олії, велика частка олії з низьким вмістом фосфору, більш складне технологічне обладнання, більш енергоємна технологія, макуха високої якості.

Фірмою ТОВ "БелМельАгромаш" пропонується Екструдер зерновий - Екструдер харчової - Екструдер кормовий (рисунок 1.14), який призначений для проведення процесу екструдкування насіння олійних культур, в тому числі

і насіння сої та ріпаку, з подальшим використанням макухи для отримання олії методом пресування або для приготування комбікормів.



Рисунок 1.13 - Екструдер Farnet E 1000



Рисунок 1.14 - Екструдер зерновий – Екструдер харчовий - Екструдер кормовий

Перевагою є регулювання вологості вихідної сировини в робочому органі за допомогою системи зволоження. У комплектації з віджимними пресами гарантовано отримання олій відповідно до вимог технічної документації. Процес екструдювання дозволяє зберегти всі корисні речовини в кінцевому продукті. Макуха не вимагає додаткової обробки для згодовування тваринам і птиці. Є можливість управляти процесом екструдювання і досягати заданих технологічних параметрів.

Фірма Agrosel (Білорусь) пропонує Екструдер SPHG5000b (рисунок 1.15). Володіє широкою сферою застосування, широкими технологічними можливостями, є можливість регулювання температури і тиску, може застосовуватися для екструдювання різноманітних сирих та порошкових матеріалів. забезпечує стерилізацію та знищення вірусів для підвищення якості і поліпшення ступеня поглинання і травлення. В основному застосовується для обробки сирих матеріалів і виробництва екструдюваних порошків сої, кукурудзи та зерна в процесі виробництва

кормів і для попередньої обробки олійної сировини в олійножировій промисловості.



Рисунок 1.15 - Екструдер SPHG5000b

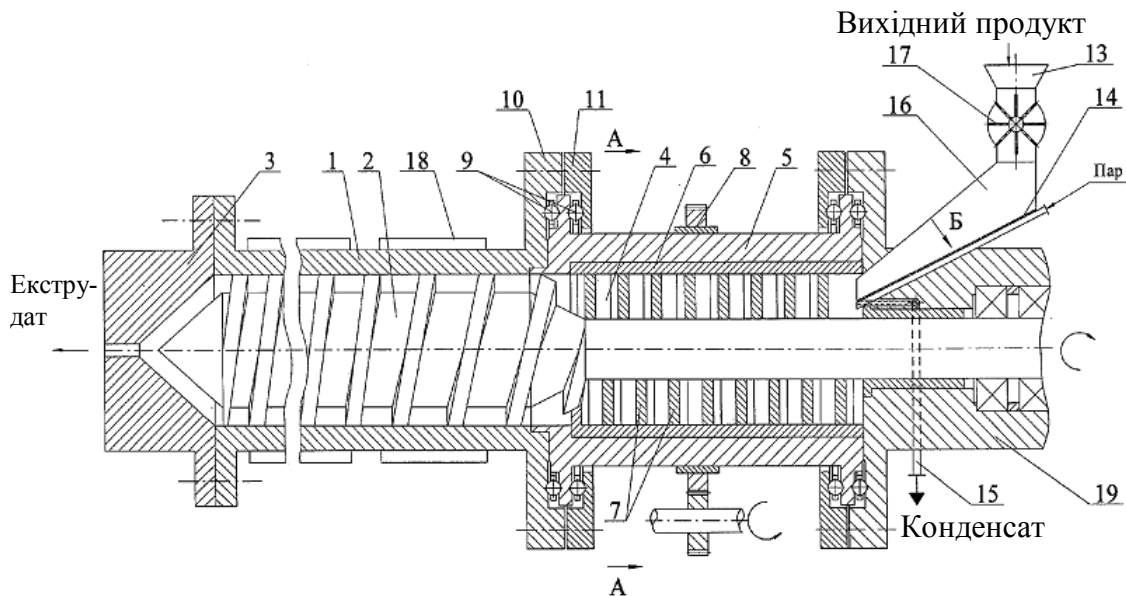


Рисунок 1.16 - Екструдер: 1 - робоча камера, 2 - шнек, 3 - матриця з формуючими отворами, 4 - змішувач, 5 - корпус, 6 - циліндрична гільза, 7 - лопатки, 8 - шестерня, 9 - підшипники, 10 - фланець, 11 - півкільце, 12 - сепаратор, 13 - завантажувальний бункер, 14 - похиле подвійне дно, 15 - трубка для відведення конденсату, 16 - пропарювач, 17 - шлюзовий живильник, 18 - нагрівачі, 19 - подшипниковий вузол, 20 - отвори

Поповим А.С. розроблений екструдер (рисунок 1.16), який забезпечує екструзійну обробку харчових продуктів і може бути використаний для

виробництва екструдованих продуктів в різних галузях харчової промисловості, наприклад, для виробництва кукурудзяних паличок, комбікормів і т.д. Пропонований екструдер дозволяє поліпшити якість готової продукції за рахунок рівномірного зволоження, попереднього нагріву продукту і його інтенсивного перемішування, скоротити тривалість процесу екструзії за рахунок попередньої обробки їх паром. Екструдер забезпечує часткову декстринізація крохмалю і денатурацію білків, має менші габарити за рахунок розміщення пропарювача в завантажувальному бункері і змішувача перед робочою камерою.

Василенко В.Н. розроблена конструкція екструдера для переробки термолабільних комбікормів (рисунок 1.17).

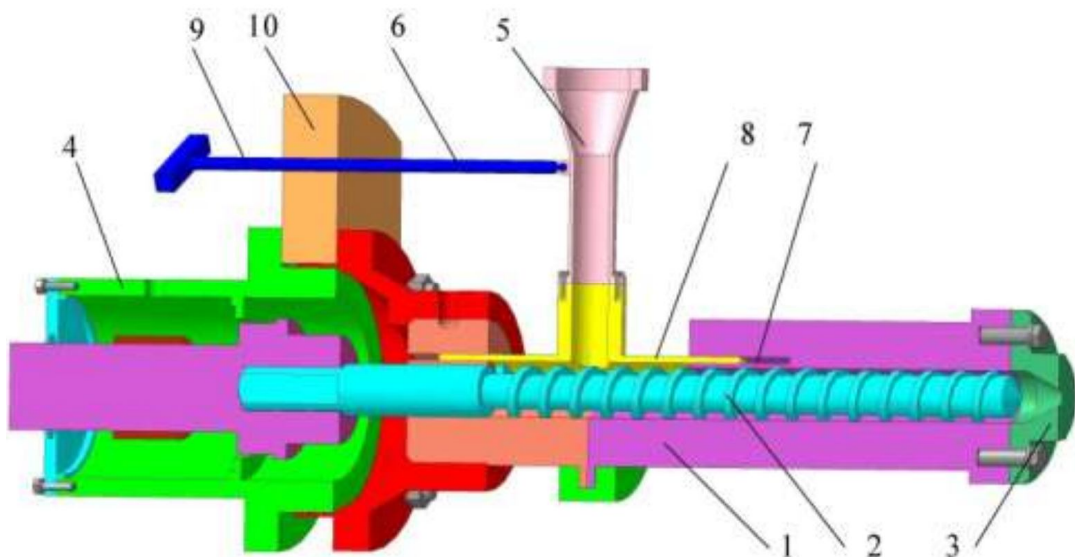


Рисунок 1.17 - Екструдер для переробки термопластичних матеріалів: 1 - корпус; 2 - шнек; 3 - формуюча матриця; 4 - станина; 5 - завантажувальний патрубок; 6 - шток; 7 - проріз; 8 - напрямна; 9 - хвостовик; 10 - опорна плита

Використання даної конструкції екструдера дозволяє розширити асортимент вироблених екструдатів підвищеної якості за рахунок оптимізації температурно-часових режимів за рахунок зміни положення завантажувального патрубку екструдера, а також розширити технологічні

можливості при виробництві багатокомпонентних екструдатів заданої харчової цінності, адаптованих для харчування різних вікових груп людей.

Татаренковим Е.А. був розроблений екструдер (рисунок 1.18), що дозволяє підвищити якість переробки вихідної сировини в порівнянні з екструдерами, що випускаються в даний час, за рахунок інтенсифікації впливу стискальних зусиль, що викликають багаторазові зсувні деформації розплаву екструдата, а також розширити технологічні можливості екструдера по переробці вихідної сировини.

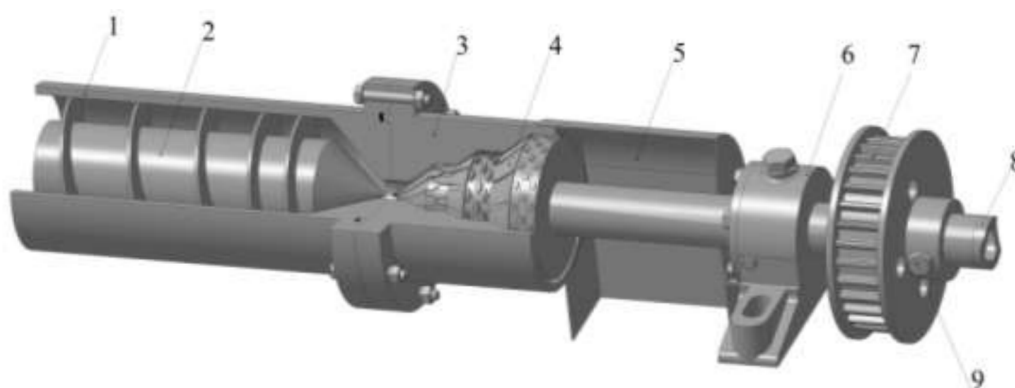


Рисунок 1.18 - Екструдер: 1 - корпус шнека; 2 - шнек; 3 - формуюча головка; 4 - дорн; 5 - розвантажувальна камера; 6 - підшипникова опора; 7 - шків; 8 - копір; 9 - стопорний болт

Пропонована конструкція екструдера дозволяє підвищити ступінь денатурації білків за рахунок інтенсифікації впливу стискальних зусиль, регулювати продуктивність екструдера і ступінь термомеханічної деструкції текстурату за допомогою обертового дорна, розширити технологічні можливості екструдера з виробництва текстурованих продуктів різного полікомпонентного складу, забезпечити стабільну та надійну роботу формуючої головки, легкість її обслуговування.

1.5 Огляд маслопресів для олійних культур

В останні роки все більша увага приділяється вдосконаленню способів знежирення олійної сировини при одночасному пом'якшенні технологічних

впливів на перероблюване насіння, а також розробці нових типів технологічного обладнання переважно великої потужності і з меншими енергетичними витратами – олійних пресів, класифікація яких показана на рис. 1.19.



Рисунок 1.19 - Класифікація маслопресів

Фото шнекового маслопреса моделі ММШ-60 (для холодного віджимання), призначеного для отримання олій дрібно-насінних культур (гарбуз, лён, кунжут, конопля, чорний кмин, рапсовий, сафлора, мак, гірчиця та ін.) показано на рисунку 1.20

Температура олії на виході з олійного преса не перевищує 60 °С, внаслідок чого зберігаються корисні та лікарські властивості. В результаті їх можна використовувати як цілющий і косметичний засіб і як цінний харчовий продукт.

Кишинівський завод харчового обладнання пропонує олійний двошнековий прес М8-МПД (рисунок 1.21), який призначений для перероблення насіння олійних культур на олію та макуху за технологією, що включає подрібнення і вологотеплову обробку насіння. Прес забезпечує переробку як не обрушеного насіння, так і насіння з частковим обрушенням (знятим лушпинням).



Рисунок 1.20 - Шнековий маслопрес моделі ММШ-60

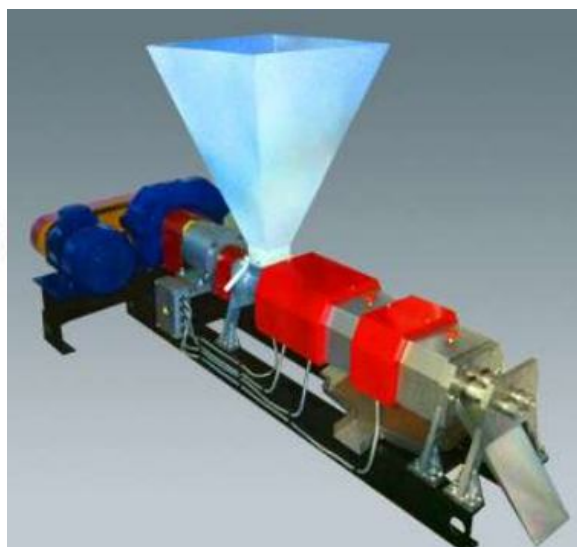


Рисунок 1.21 - олійний двошнековий прес М8-МПД

Виробник BRONTO пропонує прес ОР-500 (рисунок 1.22), призначений для віджимання рослинної олії і виробництва макухи олійністю 6 - 8%.



Рисунок 1.22 - Прес ОР-500

Фірма Florgarower розробляє і виробляє олійні шнекові преси та обладнання для отримання олії з рослинного насіння (рисунок 1.23). Технології і розробки ведуть до ефективного використання енергії регенеративної сировини і пропоноване нами обладнання покриває весь технологічний процес отримання рослинних олій.

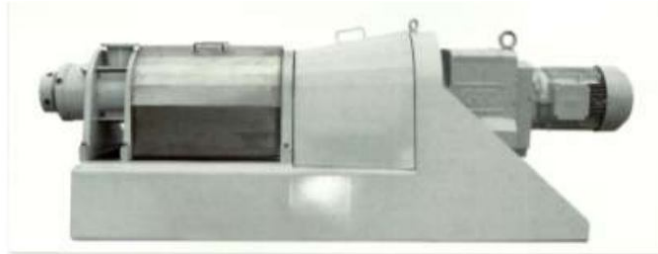


Рисунок 1.23 - Прес фірми Florgarower

На рисунку 1.24 представлений прес для отримання олії і текстурованої макухи. Дане обладнання призначене для отримання рослинної олії і текстурованих макух в олійноперероблюваній промисловості.

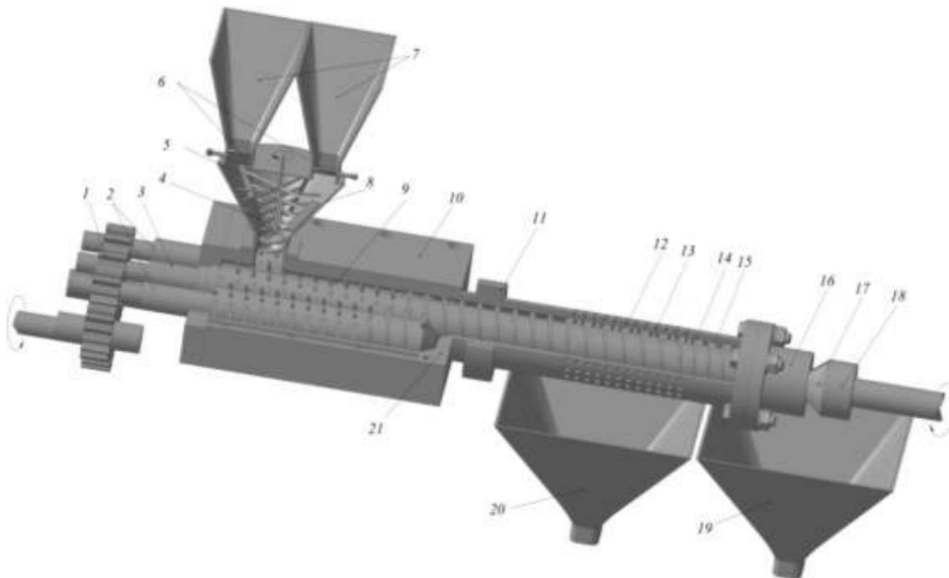


Рисунок 1.24 - Прес для отримання олії і текстурованих макух: 1 - левередж; 2 - бокові вали; 3 - центральний вал; 4 - лопаті; 5 - змішувач; 6 - мішалка; 7 - привід дозаторів; 8 - бункер; 9 - ніж; 10 - камера подрібнення; 11 - хомут; 12 – основна камера; 13 - вертикальний циліндр; 14 - камера динамічного формування; 15 – нагрівальна шайба; 16 - матриці; 17 - поздовжній канал; 18 - дорн; 19 - бункер; 20 - олієзбірник; 21 - корпус

Пропонована конструкція дозволить: одержувати олії і текстуровані макухи одночасно на одному пресі; отримувати текстуровані макухи заданої консистенції з введенням необхідних додаткових компонентів для їх подальшого використання в якості білкових збагачувачів при виробництві хлібобулочних виробів, варених ковбас, комбікормів і т.п. ; підвищити якість макухи; знизити потрапляння мезги в олію завдяки зеерному корпусу.

На рисунку 1.25 представлена конструкція преса-гранулятора. Дане обладнання призначене для гранулювання і може бути використане в комбікормовій промисловості, сільському господарстві та інших галузях промисловості.

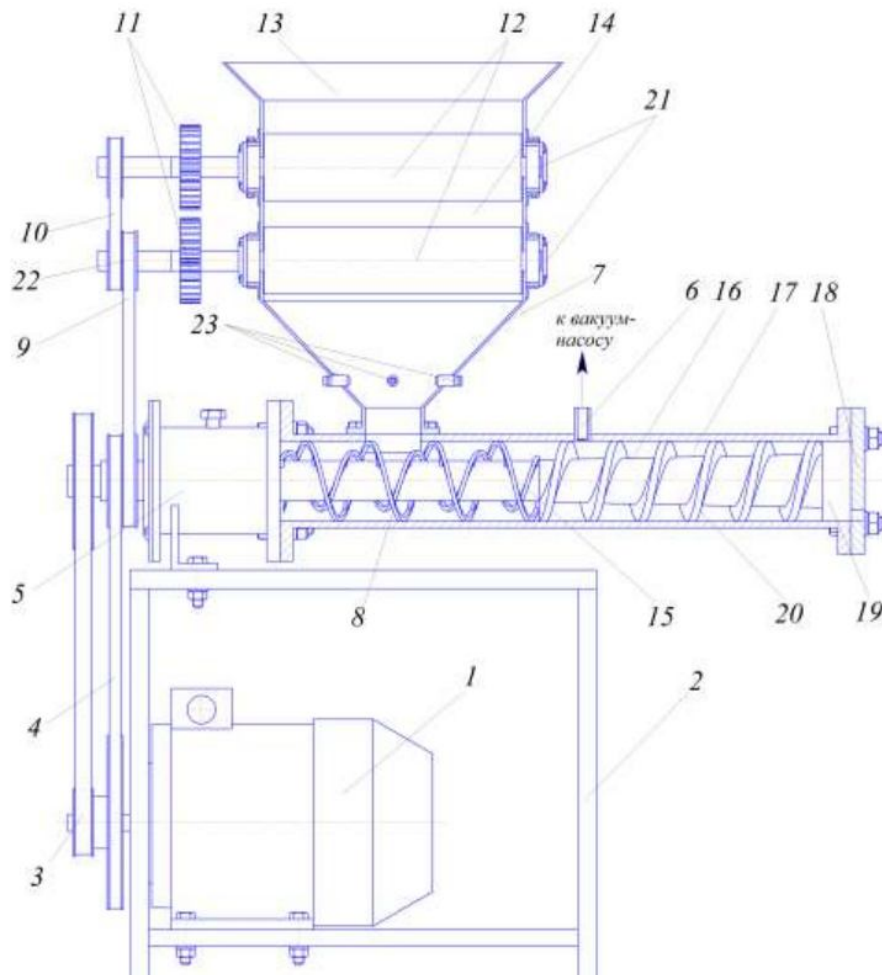


Рисунок 1.25 - Прес-гранулятор: 1 - електродвигун; 2 - станина; 3, 4, 9, 10 - пасові передачі; 5 - підшипниковий вузол; 6 - вузол вакуумування; 7 - кожух; 8, 15 - стрічкові спіралі; 11 - шестерня; 12 - вальці; 13 - бункер; 14 - камера

подрібнення; 16 - вал; 17 - камера пресування; 18 - матриця; 19 - диск; 20 - шнек; 21 - підшипниковий вузол; 22 - шків; 23 - розпилювальна форсунка

Конструкція запропонованого прес-гранулятора дозволяє забезпечити стабільну роботу за рахунок використання спрощеної конструкції формуючого вузла; організувати переробку лушпиння соняшника і використовувати її після гранулювання як добавку до комбикормів; забезпечити необхідну глибину подрібнення і перемішування компонентів оброблюваного продукту за рахунок використання двох пар вальців і двох стрічкових спіралей.

На рисунку 1.26 представлена конструкція шнекового преса для віджимання рідини з рослинної сировини. Обладнання відноситься до пресів спеціального призначення, зокрема до шнекових пристроїв для віджимання рідини з рослинної сировини, соку, олії і т.д.

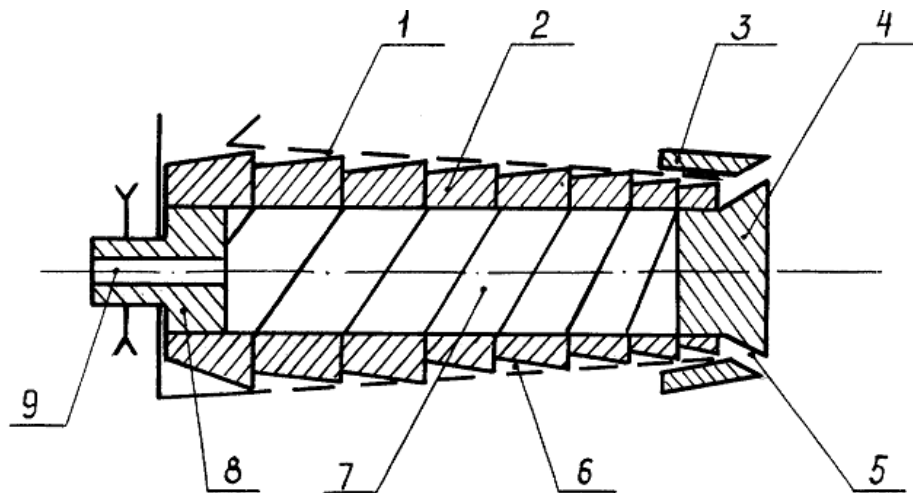


Рисунок 1.26 - Прес шнековий для віджимання рідини з рослинної сировини: 1 - зеєр, 2 - приводний пружинний шнековий вал, 3 - механізм регулювання тиску, 4 - конус, 5 - кільцевий зазор, 6 - міжвитковий об'єм, 7 - порожнина, 8 - маточина, 9 – канал

Перевагою преса є те, що шнековий приводний вал виконаний у вигляді пружини трапецеїдального профілю, причому останній виток пружини виконаний у вигляді конуса, співвісно встановленого в механізмі регулювання тиску преса з напрямком конусності всередину зеєра.

2 НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ КОЛИВАЛЬНИХ РЕЖИМІВ СУШІННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

2.1 Експериментальна установка і методика проведення досліджень

Для дослідження процесу сушіння насіння олійних культур: льону, ріпаку, ріжю, сафлору в коливальних режимах була виготовлена експериментальна установка (рисунок 2.1).

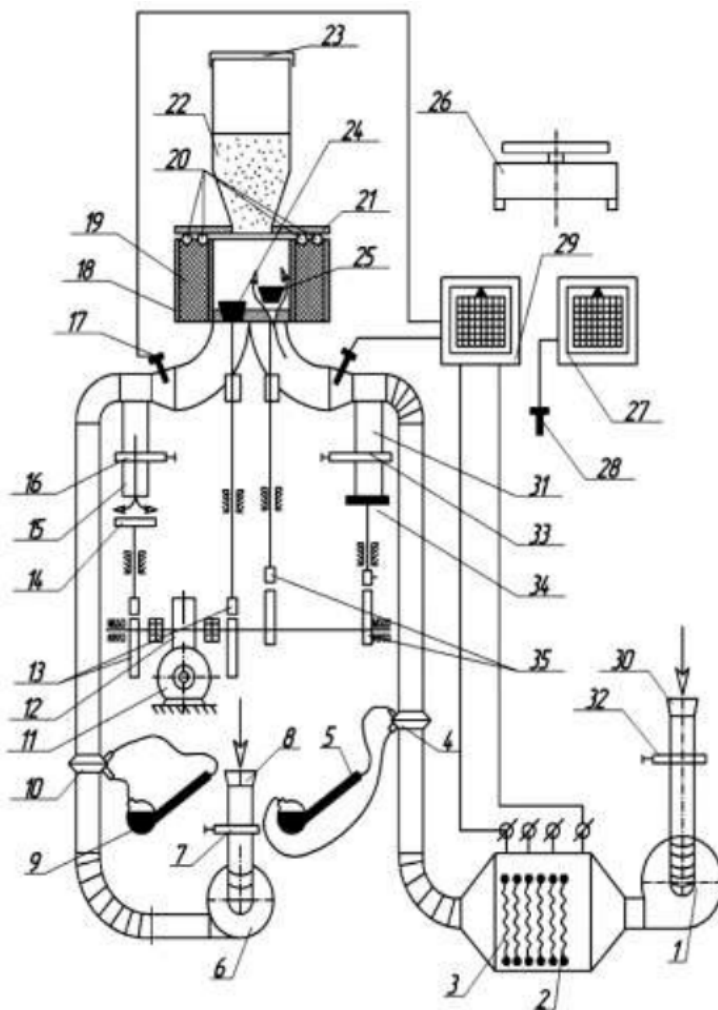


Рисунок 2.1 - Схема експериментальної установки для сушіння насіння олійних культур з осцилюючим режимом: 1, 6 - вентилятори; 2 - електрокалорифер; 3 - регулююча спіраль; 4,10 - діафрагми; 5, 9 - мікроманометри; 7, 16, 32, 33 - засувки; 8, 30 - всмоктувальний повітряпровод; 11 - електродвигун; 12 - редуктор; 13, 35 - ексцентрики; 14, 34 - запірні клапани; 15 - патрубок

для відводу холодного повітря; 17 - термопари; 18 – електромагнітний стіл; 19 - електромагніт; 20 - газорозподільна решітка; 21 - фланець; 22 – сушильна камера; 23 - сітчаста кришка; 24 - клапан на впуску атмосферного повітря; 25 - клапан для впуску нагрітого повітря; 26 - ваги; 27 - потенціометр; 28 - вимірювальний перетворювач температури нагрівання насіння; 29 - автоматичний міст з регулюючої точкою; 30 - патрубок для відведення нагрітого повітря

При виготовленні установки керувалися такими вимогами:

- можливість зміни технологічних параметрів процесу в широкому діапазоні;
- створення різних гідродинамічних режимів шару насіння олійних культур;
- надійна герметизація установки;
- зручність контролю і регулювання режимних параметрів процесу;
- максимальне наближення до умов сушіння у дослідно-промислових апаратах.

Експериментальна установка оснащена вентиляторами 1 і 6, які по чергово подають в сушильну камеру 22 повітря, підігріте в калорифері 2, або атмосферне повітря через патрубок засмоктується вентилятором 6 з приміщення. Подача гарячого і холодного повітря перемикається автоматично за певною програмою за допомогою системи ексцентриків 13, 35 з реверсивними приводами 11, 12. Сушильні камери з насінням встановлюють на електромагнітний стіл 18, до якого при вмиканні електромагніта 19 притискається фланець 21. Для герметизації установки призначені два ряди гумової трубки. При зважуванні сушильної камери електромагніт вимикають.

Система перемикання подачі гарячого і холодного повітря обладнана клапанами 24, 25 і 14, 34, яка при регулюванні витрат повітря в патрубках 15 і 31 засувками 16, 33 забезпечує ідентичність витрат повітря при роботі вентиляторів на камеру з насінням і в атмосферу. Це необхідно для стійкої роботи вентиляторів і підтримки постійної температури повітря протягом всього експерименту незалежно від перемикання повітря на робочу камеру або в атмосферу. Програмою роботи ексцентрикової групи передбачена зміна за часом в широких межах співвідношення подачі гарячого і холодного повітря. Витрати холодного і гарячого повітря регулюють за допомогою засувок 7 і 32 і контролюють за показаннями вимірювальних діафрагм 4, 10 з мікроманометрами.

Температуру повітря визначають вимірювальними перетворювачами 17 (термометрами опору або термопарами). Температуру гарячого повітря встановлюють вручну або автоматично, використовуючи регулюючу точку приладу 29, підключену до спіралі 3 калорифера 2. Вологість продукту по ходу процесу знаходять ваговим методом, а його температуру за допомогою вимірювального перетворювача 28 (термометр опору, термопара), що розміщується в шарі продукту в момент його зважування. Для зменшення втрат теплоти в навколишнє середовище всі повітропроводи, по яких рухається підігріте повітря, повинні бути покриті теплоізоляційним шаром. Сушильна камера 22 також повинна бути теплоізольована.

Для проведення дослідів установка виводилася на заданий режим роботи шляхом її прогріву гарячим повітрям протягом 30 хвилин до 332 ... 385 К.

Досліди проводилися з насінням олійних культур: льон олійний сорту ВНІМК 1581, рапс сорту Ратник, рижик сорти Пензяк, сафлор сорту Дніпряньський і відповідні вимогам стандарту.

Перед сушінням насіння олійних культур попередньо замочували штучно зволожували до досягнення величини початкової вологості 15 - 20% до загальної маси продукту. При цьому вилежування насіння проводилось з перемішуванням при температурі 279 ... 289 К протягом 3 ... 4 діб. Початкова вологість продукту становила в середньому 15 ... 20% (в розрахунку на масу сухих речовин).

Вологість висушеного насіння олійних культур визначалася методом висушування проб в сушильній шафі до постійної маси при температурі 403 К протягом 40 хвилин [79].

Дослідження процесу сушіння насіння олійних культур: льону, ріпаку, рижію, сафлору в коливальних режимах проводили на експериментальній установці (рисунок 2.1) при наступних технологічних параметрах: витрата сушільного агента - 45 ... 55 м³/ год; висота шару насіння - 0,1 ... 0,2 м; температура сушільного агента 323 ... 353 К; вологовміст сушільного агента

3 ... 5,5 г / кг; температура сушильного агента в циклах нагрівання до 353 К; температура сушильного агента в циклах охолодження до 283 К; початкова вологість насіння 14 ... 17%, тривалість циклів нагріву 8 ... 12 хв, циклів охолодження 4 ... 10 хв.

Завантаження сушильної камери 22 здійснювалося через приймальний пристрій на газорозподільну решітку 9 до заданого рівня навантаження (75 ... 1780 Н / м²).

Експериментальні дані дозволяють досить повно охарактеризувати тепло- і масообмінні процеси, що відбуваються при сушінні в осцилюючих режимах з чергуванням псевдозрідженого і щільного (фільтрувального) шару насіння олійних культур.

3.2 Дослідження гідродинаміки процесу сушіння насіння олійних культур в коливальних режимах

При аналізі сушіння в коливальних режимах, як складного термодинамічного процесу взаємодії вологого продукту і сушильного агента, прагнуть до рівноваги, встановлена визначальна роль початкового імпульсу зовнішнього впливу на вологий продукт, який згідно із універсальним термодинамічним принципом Ле-Шательє-Брауна визначає швидкість наближення системи до рівноваги, тобто по суті, швидкість процесу сушіння [11, 178 - 179]. При цьому принцип початкового імпульсу розглядається, як один із проявів процесів упорядкування та самоорганізації в живій і неживій природі, а вологий продукт і навколишнє середовище - як саморегулююча система. Каскад початкових імпульсів, тобто осцилюючий режим сушіння, може бути ефективно організований в теплонасосній сушильній установці ТНСУ при використанні потоків гарячого і холодного повітря, що нагрівається і охолоджується в тепловому насосі ТН.

Гідродинамічні характеристики псевдозрідженого шару насіння льону, ріпаку, рижію, сафлору брали з попередніх досліджень.

Опір шару насіння олійних культур: льону, ріпаку, ріжю, сафлору при переході їх в псевдозріджений стан вимірювався прямим методом [139]. Для аналізу стану шару криві псевдозрідження будувалися у вигляді ліній прямого і зворотного ходу - при поступовому збільшенні і зменшенні швидкості сушильного агента. Перепад тиску в шарі вимірювали диференціальним манометром.

Гідродинамічні характеристики псевдозрідженого шару насіння олійних культур: льону, ріпаку, ріжю, сафлору визначалися зі зміни з-спротиву Δp в залежності від швидкості сушильного агента і питомої навантаження насіння на газорозподільну решітку $\Delta p = f(v, q)$, а також по зміні висоти шару $h_z = f(v, h_0)$. Висота псевдозрідженого шару характеризує величину активної поверхні тепло- і масообміну, тому наявність перелічених параметрів необхідна для правильної організації процесу сушіння насіння олійних культур: льону, ріпаку, ріжю, сафлору.

Гідродинаміка псевдозрідженого шару найбільш наочно зображується кривою псевдозрідження (рисунок 2.2), на якій процес переходу щільного шару насіння олійних культур: льону, ріпаку, ріжю, сафлору у псевдозріджений стан відбувається з різким збільшенням тиску і залежить від стану поверхні насіння, його форми і густини шару.

Пік тиску Δp_{\max} свідчить про необхідність витрат додаткової енергії потоку на подолання сил зчеплення частинок. Зважаючи на те, що додаткові витрати енергії при переході від щільного шару у псевдозріджений не піддаються точному аналітичному розрахунку, вони враховуються коефіцієнтом $\gamma_{\text{кпп}}$, який визначається експериментально.

Збільшення швидкості сушильного агента вище критичної позначки призводить до розширення обсягу шару насіння при постійному гідравлічному опорі. Перехід від режиму фільтрації до псевдозрідженого стану супроводжується появою в шарі газових бульбашок, які барботують через шар і змінюють його концентрацію і порозність.

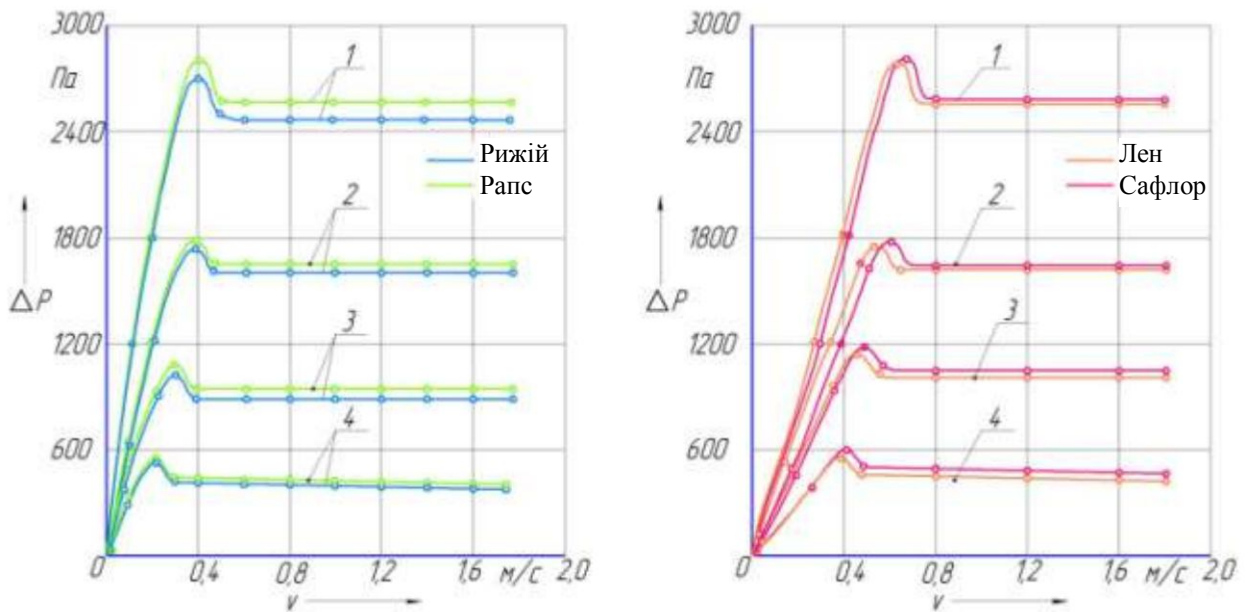
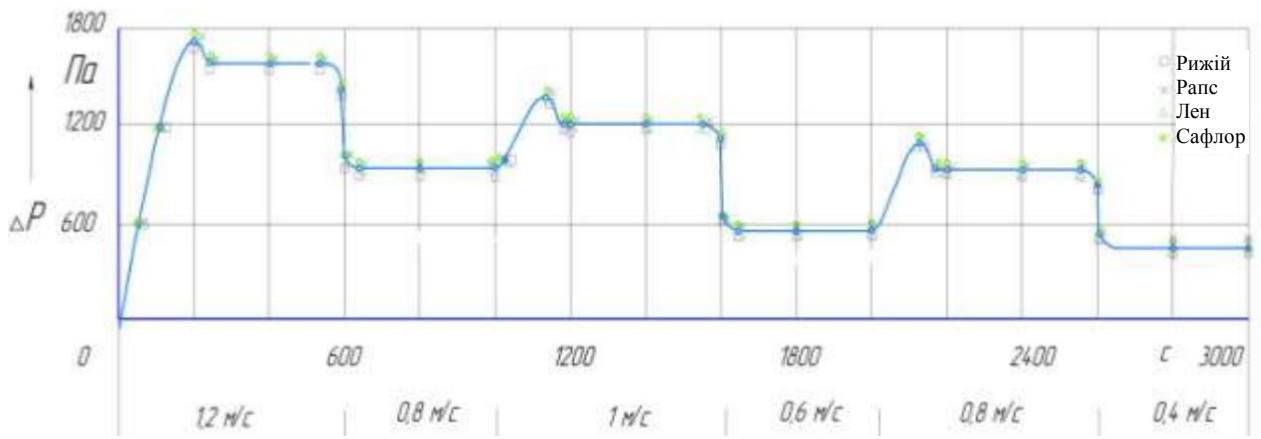


Рисунок 2.2 - Залежність опору шару насіння льону, ріпаку, рижію, сафлору від швидкості сушильного агента при різному значенні початкової висоти шару h_0 , м: 1 - 0,175; 2 - 0,15; 3 - 0,125; 4 - 0,1

Найбільш повно характеризує структуру монодисперсного матеріалу у псевдозрідженому стані його порозність. Основними параметрами, що впливають на її величину, є конструкція газорозподільної решітки, швидкість потоку сушильного агента, розмір і вологість частинок насіння олійних культур.

Перед закипанням шар насіння олійних культур: льону, ріпаку, рижію, сафлору розширюється і являє собою потік орієнтований по ходу руху сушильного агента. Ступінь розширення залежить від коефіцієнта внутрішнього тертя. У процесі сушіння насіння олійних культур ступінь розширення шару впливає на розподіл швидкостей потоку теплоносія по всій площі газорозподільної решітки установки (рисунок 2.1). Ця величина обумовлює мінімально можливу швидкість сушильного агента, що забезпечує рівномірне кипіння насіння олійних культур в зоні завантаження і по всій площі газорозподільної решітки (рисунок 2.3).



I зона сушіння (нагрівання)	II етап сушіння (охолодження)	III зона сушіння (нагрівання)	IV етап сушіння (охолодження)	V зона сушіння (нагрівання)	VI етап сушіння (охолодження)
-----------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-----------------------------	-------------------------------

Рисунок 2.3 - Залежність опору шару насіння льону, ріпаку, ріжію, сафлору від тривалості процесу сушіння в коливальних режимах при різних значеннях швидкості сушильного агента

Для визначення ступеня розширення шару насіння олійних культур: льону, ріпаку, ріжію, сафлору на основі експериментальних даних була встановлена наступна залежність:

$$\frac{h}{h_0} = a + v \frac{v_{ca}}{v_0}, \quad (2.1)$$

де h - висота псевдозрідженого шару насіння олійних культур, м; h_0 – висота нерухомого шару насіння олійних культур, м; a й v - емпіричні коефіцієнти, що визначаються експериментально.

Однорідність шару залежить від властивостей насіння олійних культур, швидкості сушильного агента і конструктивних параметрів установки. Тому було вивчено вплив питомого навантаження насіння олійних культур на решітку і швидкості сушильного агента та на зміну структури псевдозрідженого шару насіння олійних культур (рисунок 3.4). За критерій зміни структури приймалося відношення (p_{max}/P_{cp}) до висоти псевдозрідженого шару насіння олійних культур.

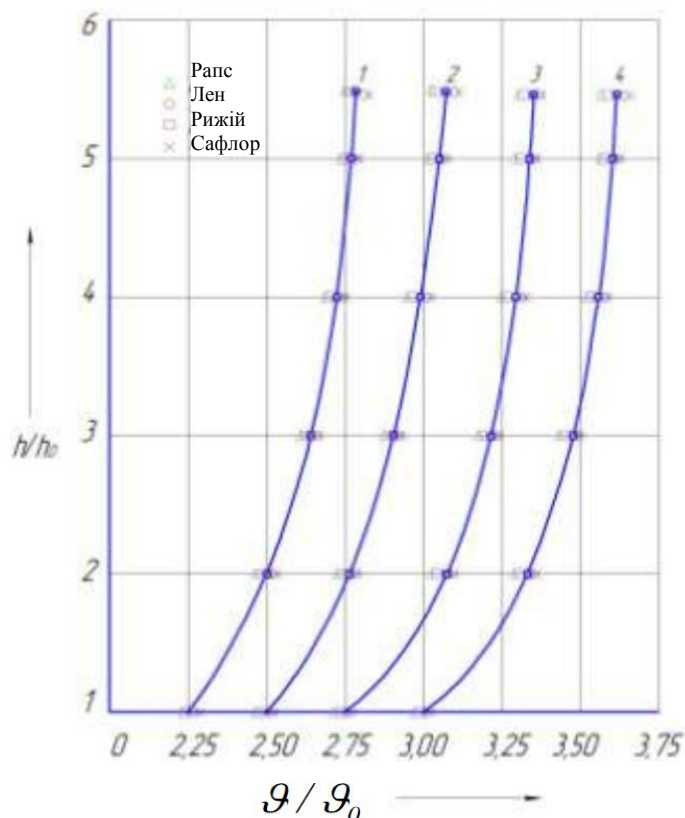


Рисунок 2.4 - Залежність ступеня розширення насіння льону від числа псевдозрідження при різних висотах шару, м: 1 - 0,1; 2 - 0,125; 3 - 0,15; 4 - 0,175

З аналізу кривих (рисунок 2.5) зробили висновок, що збільшення питомого навантаження насіння олійних культур: льону, ріпаку, рижію, сафлору на решітку сприяє утворенню більш однорідної структури псевдозрідженого шару.

Аналіз однорідності і рівномірності псевдозрідження монодисперсного шару насіння олійних культур дозволяє оцінити його якість і вибрати оптимальний гідродинамічний режим для проведення процесу сушіння.

Дослідження кінетичних закономірностей сушіння насіння олійних культур: льону, ріпаку, рижію, сафлору проводилися на експериментальній установці (рисунок 2.1). Вивчалися різні варіанти ведення процесу сушіння, як при несиметричній, так і за симетричною схемою осциляції [28, 121].

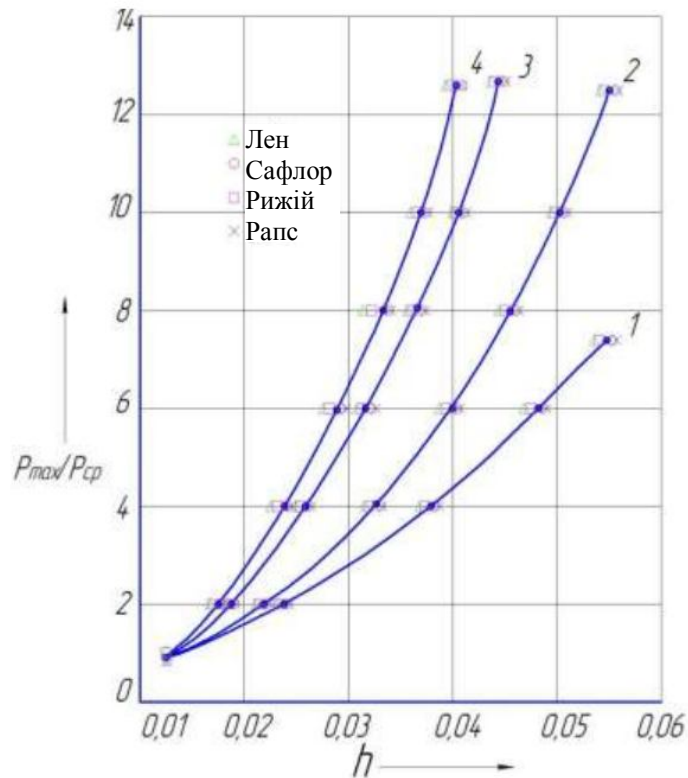


Рисунок 2.5 - Залежність величини p_{max} / P_{cp} від висоти псевдозрідженого шару насіння олійних культур при різних навантаженнях, H / m_2 : 1 - 35; 2 - 44; 3 - 53; 4 - 62

За несиметричною схемою осцилювання, коли час нагрівання більше часу охолодження (рисунок 2.6) створювалися сприятливі умови для нагрівання насіння олійних культур за умови усунення їх перегрівання.

Охолодження продукту низькотемпературним сушильним агентом дозволило скоротити тривалість циклів охолодження, а отже, і час сушіння. Ведення процесу за схемою несиметричної осциляції в області допустимих температур нагрівання насіння олійних культур забезпечувалося створенням змінних температурних режимів в циклах нагрівання і охолодження.

Збільшення температури сушильного агента в циклах нагрівання до 353 К при активних гідродинамічних режимах і зниженні температури сушильного агента в циклах охолодження до 288 К в щільному фільтруючому шарі скорочує тривалість процесу на 25 хв у порівнянні з симетричною схемою осциляції.

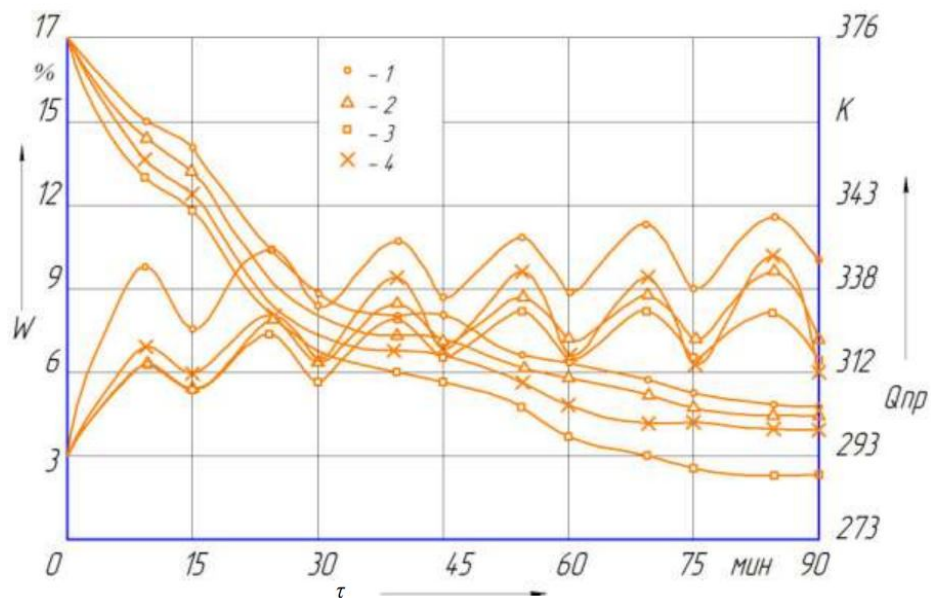


Рисунок 2.6 - Криві сушіння $w = f(\tau)$ і нагрівання на прикладі насіння льону $\theta_{пр} = f(\tau)$ при раціональних режимах за несиметричною осциляцією $\tau_{наг} : \tau_{охл} = 10 : 5$:

- 1 - несиметрична осциляція $\delta\tau_{наг} < \delta\tau_{охл}$, $m_{наг} = 343 \dots 350 \text{ k}$; $m_{охл} = 288 \text{ k}$;
- 2 - несиметрична осциляція $\delta\tau_{наг} < \delta\tau_{охл}$, $m_{наг} = 343 \text{ k}$; $m_{охл} = 278 \dots 288 \text{ k}$;
- 3 - несиметрична осциляція $\delta\tau_{наг} < \delta\tau_{охл}$, $m_{наг} = 323 \text{ k}$; $m_{охл} = 288 \text{ k}$;
- 4 - несиметрична осциляція $\delta\tau_{наг} < \delta\tau_{охл}$, $m_{наг} = 343 \dots 348 \text{ k}$; $m_{охл} = 278 \dots 288 \text{ k}$.

При симетричній осциляції (рисунок 2.7) досягнення гранично допустимих температур нагрівання насіння олійних культур: льону, ріпаку, рижю, сафлора забезпечувалося створенням змінних температурних режимів в циклі нагрівання та охолодження.

За результатами аналізу експериментальних даних були отримані температурні криві $\theta_{пр} = f(W)$, що характеризують зміни температури насіння олійних культур: льону, ріпаку, рижю, сафлору від поточного значення вологості в процесі сушіння (рисунок 2.8).

В стадії прогрівання температура насіння олійних культур швидко зростає, досягає значення температури випаровування рідини і залишається без зміни протягом усього першого періоду сушіння. Після першої критичної вологості точка (K_1) температура насіння олійних культур швидко

підвищується і по досягненні стабільного рівня вологості стає рівною температурі агента сушіння.

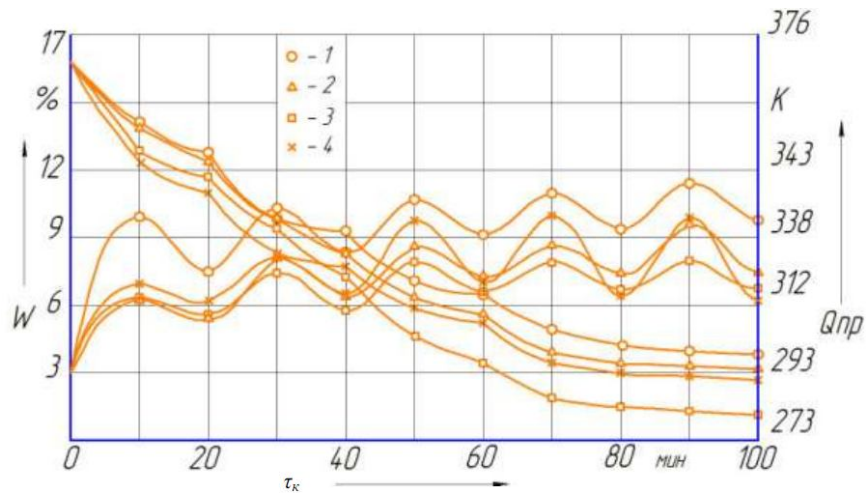


Рисунок 2.7 - Криві сушіння $W = f(\tau)$ і нагрівання на прикладі насіння льону $\theta_{пр} = f(\tau)$ при раціональних режимах:

- 1 - симетрична осциляція 10:10, $t_{наг} = 333 \dots 353 \text{ K}$; $t_{охл} = 293 \text{ K}$;
- 2 - симетрична осциляція 10:10, $t_{наг} = 353 \text{ K}$; $t_{охл} = 278 \dots 293 \text{ K}$;
- 3 - симетрична осциляція 10:10, $t_{наг} = 333 \text{ K}$; $t_{охл} = 293 \text{ K}$;
- 4 - симетрична осциляція 10:10, $t_{наг} = 333 \dots 353 \text{ K}$; $t_{охл} = 278 \dots 293 \text{ K}$

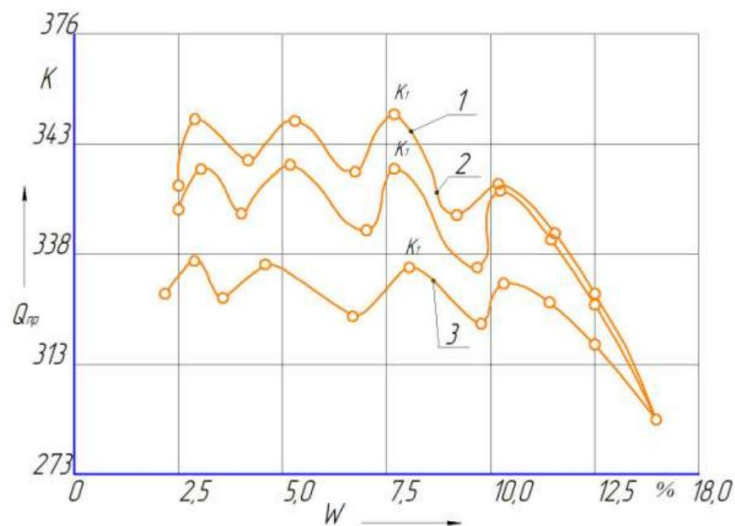


Рисунок 2.8 - Температурні криві нагрівання насіння льону при осцилюючому режимі у псевдозрідженому шарі і вилежуванні в щільному шарі при різній температурі сушильного агента і охолодженні $T_{охл}$: 1 - симетрична осциляція 10:10; $T_{наг} = 353 \text{ K}$; $T_{охл} = 278 \dots 293 \text{ K}$; 2 симетрична

осциляція 10:10, $T_{\text{наг}} = 333 \text{ K}$; $T_{\text{охл}} = 278 \dots 293 \text{ K}$; 3 - симетрична осциляція 10: 10, $T_{\text{наг}} = 323 \dots 353 \text{ K}$; $T_{\text{охл}} = 293 \text{ K}$

Причому перша критична точка (K_1) ділить весь сушильний процес на два періоди, що відрізняються, як швидкістю сушіння, так і температурою висушування насіння, які впливають на його якість.

Для визначення швидкості сушіння і його тривалості, скористаємося методикою запропонованої І. Л. Любошице і І. Ф. Пикус [50, 117] з уточненням емпіричних коефіцієнтів при сушінні насіння олійних культур.

Емпіричне рівняння визначення максимальної швидкості сушіння насіння олійних культур: льону, ріпаку, рижію, сафлору (% / хв) має вигляд:

$$N = \frac{c_1}{d_e^h} E_{cp} \left(\frac{v\gamma F_p}{G_1} \right)^{0,6} \exp\left(\frac{T}{7T^2 + 1,3} \right), \quad (2.2)$$

де c_1 - постійний коефіцієнт, що залежить від виду продукту; $E_{cp} = (E_{\Gamma} + E_0)/2$ - середній за циклам осцилювання потенціал сушіння, К; $E_0 = t_0^c + t_0^m$; $E_{\Gamma} = t_{\Gamma}^c + t_{\Gamma}^m$; t_0^c , t_0^m , t_{Γ}^c , t_{Γ}^m - відповідно температура охолоджувального та гарячого повітря за «сухим» та «мокрим» термометром на вході в шар, К; v_{γ} - вагова швидкість сушільного агента, кг / м² с; G_1/F_p - питоме навантаження матеріалу на газорозподільну решітку, кг/м²; d_e^h - початковий еквівалентний діаметр частинок насіння олійних культур, м; T - період осцилювання, с.

Визначимо тривалість проведення процесу сушіння в осцилюючому режимі з рівняння

$$d\tau = -\frac{1}{N} \left[\frac{dW}{[a + b(W - W_p)](W - W_p)} \right], \quad (2.3)$$

де $N = (dW / d\tau)_{\text{max}}$ - максимальна швидкість сушіння при початковій вологості насіння; W , W_p - відповідно поточна і рівноважна вологість насіння, %; a , b - постійні коефіцієнти, що визначаються експериментально і не залежать від вологості насіння.

Інтегруючи рівняння (2.3) в межах від початкової вологості W_n до кінцевої вологості W_k , отримуємо рівняння для визначення тривалості

сушіння вологого насіння в псевдозрідженому шарі при високочастотному осцилюючому режимі

$$\tau = \frac{1}{aN} \ln \frac{[a + b(W_k - W_p)](W_n - W_p)}{[a + b(W_n - W_p)](W_k - W_p)}, \quad (2.4)$$

а з урахуванням (2.2) рівняння для визначення τ набуває вигляду

$$\tau = \frac{c_1(d_s^n)^2 \left(\frac{G_l}{\nu \gamma F_p} \right)^{0,6} \exp\left(-\frac{T}{7T^2 + 1,3} \right) \ln \frac{[a + b(W_k - W_p)](W_n - W_p)}{[a + b(W_n - W_p)](W_k - W_p)}}{E_{cp}}. \quad (2.5)$$

Встановлено узагальнені формули для визначення постійних коефіцієнтів a й b в залежності від визначального розміру часток насіння олійних культур льону, ріпаку, ріжю, сафлору:

$$a = c_2/d_e^n \text{ та } b = c_3(d_e^n - c_4)/d_e^n. \quad (3.6)$$

При організації коливальних режимів сушіння насіння олійних культур: льону, ріпаку, ріжю, сафлору у псевдозрідженому шарі велика увага приділялася вибору температури охолоджувального сушильного агента. В результаті аналізу експериментальних даних було виявлено, що оптимальній температурі охолоджувального сушильного агента відповідає середньологаріфмічне значення між початковою і кінцевою температурою насіння олійних культур:

$$\Delta t_{охл} = \frac{\theta_k - \theta_0}{2,3 \lg \frac{\theta_k}{\theta_0}}, \quad (3.7)$$

де θ_0 , θ_k - початкове і кінцеве значення температури насіння олійних культур, К.

Таким чином, в результаті експериментальних досліджень установлені:

- основні гідродинамічні характеристики (перепад тиску в шарі, порозність, швидкість початку псевдозрідження і швидкість виносу частинок насіння олійних культур) і рівняння, що описують дані характеристики;

- кінетичні закономірності ведення процесу сушіння насіння олійних культур у псевдозрідженому шарі і вилежування у щільному (фільтрувальному) шарі при осцилюючому режимі;

- температурні інтервали ведення процесу сушіння насіння олійних культур в коливальних режимах.

2.3 Математичне моделювання процесу сушіння

насіння олійних культур в коливальних режимах

2.3.1 Обґрунтування допустимої області термовологих умов при сушінні насіння олійних культур в коливальних режимах

З урахуванням вимог розробки технологічних режимів сушіння насіння олійних культур: льону, ріпаку, рижю, сафлору в коливальних режимах нами були проаналізовані співвідношення між температурою насіння олійних культур і їх вологістю в процесі сушіння при різних значеннях швидкості і температури сушильного агента. Для цього за дослідними даними, що представлені у вигляді кривих сушіння $W = f(\tau)$ і нагрівання $\theta_c = f(\tau)$, були побудовані температурні криві (рисунок 2.8), що представляють собою залежність температури насіння олійних культур від їх вологості $\theta_c = f(W)$.

При обробці температурних кривих функціональна залежність, односторонньо зв'язує допустиму температуру нагрівання насіння олійних культур льону, ріпаку, рижю, сафлору з їх вологістю, апроксимировану рівнянням

$$\theta = \theta_0 - kW. \quad (2.8)$$

Рівняння (2.8) є найважливішим обмеженням, при врахуванні якого забезпечується максимальна інтенсивність процесу сушіння в області стандартних технологічних властивостей насіння олійних культур льону, ріпаку, рижю, сафлору. Для насіння олійних культур коефіцієнти обмеження (2.8) відповідно складають $\theta_0 - 343$, $k - 195$.

Звідси випливає, що область стандартних технологічних властивостей насіння олійних культур при сушінні в осцилюючому режимі обмежена координатними осями і прямою лінією, тангенс кута нахилу якої до осі W

визначається коефіцієнтом q і відтинає по осі відрізок $\theta_0 - 343 \text{ K}$. Значення цих коефіцієнтів можуть змінюватися і залежати від вихідного складу насіння, від його початкової вологості і температури.

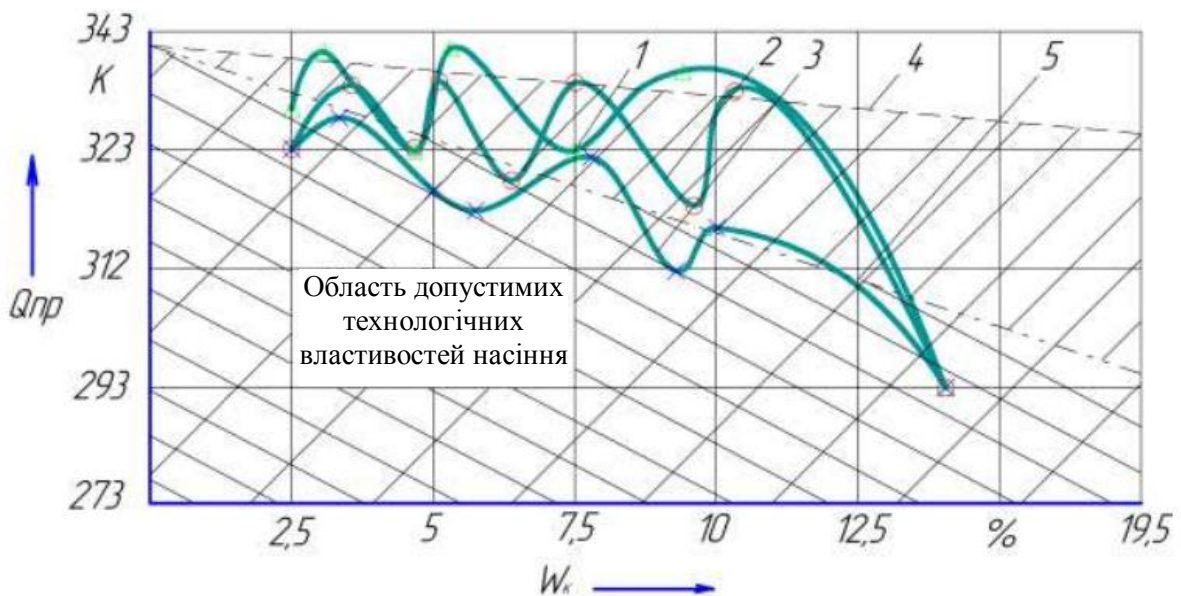


Рисунок 2.9 - Залежність температури нагрівання ($\theta_{пр}$) від вологості (W_n) насіння при осцилюючих режимах сушіння: 1 - несиметрична осциляція $\Delta\tau_{наг} < \Delta\tau_{охл}$, $t_{наг} = 343 \text{ K}$, $t_{охл} = 278 \dots 293 \text{ K}$; 2 - несиметрична осциляція $\Delta\tau_{наг} < \Delta\tau_{охл}$, $t_{наг} = 338 \dots 343 \text{ K}$, $t_{охл} = 278 \dots 293 \text{ K}$; 3 - симетрична осциляція 10:10; $t_{наг} = 338 \text{ K}$; $t_{охл} = 293 \text{ K}$; 4 - обмеження області допустимих технологічних властивостей насіння при несиметричній осциляції; 5 - обмеження області допустимих технологічних властивостей насіння при симетричній осциляції

Таким чином, температурний режим сушіння визначався обмеженням, причому для інтенсифікації процесу необхідно рухатися допустимою межею області термовологісних умов.

2.3.2 Чисельно-аналітичне дослідження процесу сушіння насіння олійних культур в коливальних режимах

Чисельно-аналітичне дослідження процесу сушіння насіння олійних культур пов'язано з великими труднощами, зумовленими специфічними

властивостями насіння олійних культур льону, ріпаку, ріжю, сафлору і особливостями кінетики процесу.

Передача тепла в циклах нагрівання та охолодження, що чергуються є нестационарним процесом, коли температура і вологість насіння олійних культур змінюються в часі і просторі.

Доведено, що температура насіння олійних культур, що нагріваються за певним періодичним законом (осцилюючий режим), є зворотною функцією частоти коливань ν температури гріючої середовища при інших рівних умовах [50, 109].

При розробці математичного опису даного процесу, щодо осцилюючого режиму, були прийняті наступні допущення:

1. Характер розподілу тепла не залежить від форми і розмірів сушильної камери;
2. В межах циклів нагрівання інтенсивність сушіння і середня температура насіння олійних культур є постійними;
3. Складний вид кривих періодичних температурних коливань (осцилюючий режим) змінюється за косінусоїдальним законом.

Аналіз впливу режимних параметрів на процес сушіння насіння олійних культур льону, ріпаку, ріжю, сафлору в коливальних режимах показав, що підвищення температури сушильного агента в усіх випадках інтенсифікує процес і веде до зменшення часу сушіння. Однак можливості підвищення температури обмежуються технологічними вимогами, що зв'язують допустиму температуру нагрівання насіння олійних культур: льону, ріпаку, ріжю, сафлору з її вологістю. Тому розрахунок температур нагрівання і охолодження насіння олійних культур в сушарці слід проводити з урахуванням обмежень, що накладаються на режимні параметри процесу. Це дозволить забезпечити необхідні теплові умови в насінні олійних культур і зберегти їх якість.

Рівняння теплового балансу по волозі для сушильного агента використовується у вигляді:

$$\frac{d\rho_{ca}(\tau, q, x)c_p^{ca}T_{ca}(\tau, q, x)}{d\tau} = \frac{d(\rho_{ca}(\tau, q, x)\vartheta(\tau, q, x)c_p^{ca}T_{ca}(\tau, q, x))}{dy} - \alpha_v [T_{ca}(\tau, q, x) - \theta_3(\tau, q, x)] - c_p^{\Pi} T_{\text{нр}} \frac{d\left(\frac{W_n(\tau, q, x)}{100 + W_n(\tau, q, x)} \rho_{ca}(\tau, q, x)\right)}{d\tau}, \quad (2.9)$$

прийmemo

$$c_p^{ca} = \frac{c_p^{cb} + (\rho_{ca}(\tau, q, x) / \rho_{cb} - 1)c_p^{\Pi}}{\rho_{ca}(\tau, q, x) / \rho_{cb}}, \quad (2.10)$$

де c_p^{cb} , c_p^{Π} - теплоємність відповідно абсолютно сухого сушильного агента і пари, кДж / (кг · К); ρ_{cb} ρ_{ca} - густина абсолютно сухого повітря і сушильного агента, кг / м³; α_v - об'ємний коефіцієнт теплообміну, Вт / (м³ · К); x - вологовміст сушильного агента, кг / кг; $T_{\text{н}}$ - температура випаровування, К.

Будемо використовувати відоме рівняння кінетики нагрівання вологих продуктів в коливальних режимах [28, 111, 114] у застосуванні до насіння олійних культур: льону, ріпаку, рижю, сафлору

$$\frac{(\theta_{\Delta\tau_i} - \theta_{\Delta\tau_{(i-1)}})(\bar{K}_0 + 1)}{T_{\text{с.а.}} - \theta_{\Delta\tau_{(i-1)}}} = A_0 \cos\left(\frac{2\pi\tau_{\text{уч}}}{T} - M\right). \quad (2.11)$$

Розв'язуємо (2.11) щодо температури насіння олійних культур:

$$\theta_{\Delta\tau_i} = \frac{\left(A_0 \cos\left(\frac{2\pi\tau_{\text{уч}}}{\tau} - M\right)(T_{\text{с.а.}} - \theta_{\Delta\tau_{(i-1)}})\right)}{(\bar{K}_0 + 1)} + \theta_{\Delta\tau_{(i-1)}}, \quad (2.12)$$

тут

$$0 < \tau_{\text{уч}} \leq \frac{\tau}{2}, \quad A_0 = \left(1 + \frac{2}{H} \sqrt{\frac{\pi}{a \cdot \tau}} + \frac{2\pi}{H^2 \cdot a \cdot \tau}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2.13)$$

$$M = \arctg\left(1 + \frac{1}{H} \sqrt{\frac{a\tau}{\pi}}\right)^{-1}, \quad H = \frac{\bar{\alpha}}{\lambda} \quad (2.14)$$

де $\theta_{\Delta t_i}$ - температура насіння олійних культур на наступній розрахунковій ділянці (циклі нагрівання або охолодження), К; $\theta_{\Delta t_{i-1}}$ те ж на попередній розрахунковій ділянці, К; A_0 - максимальна амплітуда коливань температури, що дорівнює амплітуді коливань температури поверхні, що обмежує, К; $T_{c.a}$ - максимальна температура сушильного агента в напівперіоді, К; a - коефіцієнт температуропроводності, m^2/s ; $\tau_i / 2$ - тривалість напівперіоду циклу нагрівання або охолодження, хв; K_0 - середнє значення критерію Коссовіча; M - зміщення по фазі коливань температури поверхні насіння олійних культур в порівнянні з коливанням температури середовища; H - відносний коефіцієнт теплообміну; α - коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія до частинки насіння $Вт / m^2 \cdot К$; λ - коефіцієнт теплопровідності насіння, $Вт / m \cdot К$.

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі α ($Вт/m^2 \cdot К$) скористаємося законом Ньютона [65, 116, 117]:

$$dQ = \alpha (t_f - t_{ct}) F d\tau, \quad (2.15)$$

де Q - кількість теплоти переданої від потоку сушильного агента до поверхності теплообміну, кДж; t_f - температура потоку сушильного агента, К; t_{ct} - температура поверхні теплообміну, К; F - площа поверхні теплообміну, m^2 ; τ - тривалість процесу теплообміну, с.

Коефіцієнти теплопровідності λ і температуропровідності a частинок насіння олійних культур визначимо за емпіричними рівняннями [6, 59, 75] (2.13 - 2.14).

Для визначення температури сушильного агента на кожному кроці дискретизації на інтервалах нагрівання і охолодження використовувалося рівняння теплового балансу для насіння олійних культур:

$$\frac{d\rho_c(\tau, q, x) c_c^c \theta(\tau, q, x)}{d\tau} = \alpha_v [T_{c.a.}(\tau, q, x) - \theta(\tau, q, x)] + r \cdot \frac{d\left(\frac{W_n(\tau, q, x)}{100 + W_n(\tau, q, x)} \rho_c(\tau, q, x)\right)}{d\tau}, \quad (2.16)$$

де r - теплота пароутворення, кДж / кг; ρ_c - густина насіння олійних культур, кг / м³; c_c - питома теплоємність насіння олійних культур Дж / (кг · К); $T_{c.a}$ - поточна температура сушильного агента, К.

Рівняння (2.17) з урахуванням (2.16) набуває вигляду:

$$\frac{d\rho_c(\tau, q, x)c_c^c\theta(\tau, q, x)}{d\tau} = \alpha_v \left[T_{c.a}(\tau, q, x) - \frac{A_0 \cos\left(\frac{2\pi\tau_{yч}}{T} - M\right) \left(T_{c.a.i-1} - \theta(\tau_{i-1}, q) \right)}{(\bar{K}_0 + 1)} + \theta_{\Delta\tau_{(i-1)}} \right] + r \frac{d\left(\frac{(\theta_0 - \theta(\tau, q, x))/q}{100 + (\theta_0 - \theta(\tau, q, x))/q} \rho_c(\tau, q, x)\right)}{d\tau}. \quad (2.17)$$

Проінтегруємо ліву і праву частини рівняння (2.17):

$$\frac{1}{\tau_i - \tau_{i-1}} \int_{\tau_{i-1}}^{\tau_i} \frac{d\left[\rho_c(\tau, q, x)c_c^c(\tau, q, x)\theta(\tau, q, x)\right]}{d\tau} = \frac{\alpha_v}{\tau_i - \tau_{i-1}} \int_{\tau_{i-1}}^{\tau_i} T_{c.a.}(\tau, q, x) d\tau - \frac{\alpha_v}{\tau_i - \tau_{i-1}} \int_{\tau_{i-1}}^{\tau_i} \left(\frac{A_0 \cos\left(\frac{2\pi\tau_{yч}}{T} - M\right) \left(T_{c.a.i-1} - \theta(\tau_{i-1}, q, x) \right)}{(\bar{K}_0 + 1)} + \theta_{\Delta\tau_{(i-1)}} \right) d\tau + \frac{r}{\tau_i - \tau_{i-1}} \int_{\tau_{i-1}}^{\tau_i} \frac{d\left(\frac{(\theta_0 - \theta(\tau, q, x))/q}{100 + (\theta_0 - \theta(\tau, q, x))/q} \rho_c(\tau, q, x)\right)}{d\tau} d\tau \quad (2.18)$$

Після інтегрування отримаємо

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{\tau_i - \tau_{i-1}} \left[\rho_c(\tau_i, q, x) c_c(\tau_i, q, x) \theta(\tau_i, q, x) - \rho_c(\tau_{i-1}, q, x) c_c(\tau_{i-1}, q, x) \theta(\tau_{i-1}, q, x) \right] = \\
& = \alpha_v T_{c.a.}(\tau, q, x) - \frac{\alpha_v}{\tau_i - \tau_{i-1}} \int_{\tau_{i-1}}^{\tau_i} \left(\frac{A_0 \cos\left(\frac{2\pi\tau_{yч}}{T} - M\right) \left(T_{c.a.i-1} - \theta(\tau_{i-1}, q, x) \right)}{(\bar{K}_0 + 1)} + \theta_{\Delta\tau(i-1)} \right) d\tau + \\
& + \frac{r}{\tau_i - \tau_{i-1}} \left[\frac{(\theta_0 - \theta(\tau_i, q, x)) / q}{100 + (\theta_0 - \theta(\tau_i, q, x)) / q} \rho_c(\tau_i, q, x) - \frac{(\theta_0 - \theta(\tau_{i-1}, q, x)) / q}{100 + (\theta_0 - \theta(\tau_{i-1}, q, x)) / q} \rho_c(\tau_{i-1}, q, x) \right] \quad (2.19)
\end{aligned}$$

Введемо наступне припущення. Будемо вважати, що температура насіння олійних культур: льону, ріпаку, ріжю, сафлору на нескінченно малому інтервалі часу не змінюється, тобто

$$\theta(\tau_{i-1}, q, x) = \frac{1}{\tau_i - \tau_{i-1}} \int_{\tau_{i-1}}^{\tau_i} \theta(\tau, q, x) d\tau \quad (2.20)$$

Тоді після перетворень

$$\begin{aligned}
\theta(\tau_i, q, x) = & \left[\frac{\rho_c(\tau_{i-1}, qx) c_c(W_i, \tau_i, q, x)}{\rho_c(\tau_i, q, x) c_c(\tau_i, q, x)} - \frac{\alpha_v(\tau_i - \tau_{i-1})}{\rho_c(\tau_i, qx) c_c(W_i, \tau_i, q, x)} \right] \times \\
& \times \left(\theta(\tau_{i-1}, q, x) - \frac{A_0 \cos\left(\frac{2\pi\tau_{yч}}{T} - M\right) \left(T_{c.a.i-1} - \theta(\tau_{i-1}, q, x) \right)}{(\bar{K}_0 + 1)} \right) + \\
& + \frac{\alpha_v T_{c.a.i}}{\rho_c(\tau_i, q, x) c_c(W_i, \tau_i, q, x)} + \frac{r}{\rho_c(\tau_i, q, x) c_c(W_i, \tau_i, q, x)} \times \\
& \times \left[\frac{(\theta_0 - \theta(\tau_i, q, x)) / q}{100} \rho_c(\tau_i, q, x) - \frac{(\theta_0 - \theta(\tau_{i-1}, q, x)) / q}{100} \rho_c(\tau_{i-1}, q, x) \right] \quad (2.21)
\end{aligned}$$

Розв'жемо (2.21) відносно температури сушильного агента:

$$T_{c.a.i} = \left[\frac{\rho_c(\tau_i, q, x) c_c(W_i, \tau_i, q, x) \theta(\tau_i, q, x)}{\alpha_v} - \left(\frac{\rho_c(\tau_{i-1}, q, x) c_c^c(W_i, \tau_i, q, x)}{\alpha_v} - (\tau_i - \tau_{i-1}) \right) \times \right. \\ \left. \times \frac{\left(A_0 \cos \left(\frac{2\pi\tau_{yч}}{T} - M \right) (T_{c.a.i-1} - \theta(\tau_{i-1}, q, x)) \right)}{\alpha_v (\overline{K}0 + 1)} \right] - \\ \left[\frac{r}{\alpha_v} \left[\frac{(\theta_0 - \theta(\tau_i, q, x)) / q}{100} \rho_c(\tau_i, q, x) - \frac{(\theta_0 - \theta(\tau_{i-1}, q, x)) / q}{100} \rho_c(\tau_{i-1}, q, x) \right] \right] \quad (2.22)$$

Питома теплоємність вологого насіння олійних культур c_c , що входить у формули (2.21, 2.22) визначається, як середньозважена величина між теплоємністю сухих речовин (c_0) насіння олійних культур і теплоємністю води (c_B)

$$c_c^c = c^0 + \frac{W_H(\tau, q, x)}{100 + W_H(\tau, q, x)} (c_B - c^0). \quad (2.23)$$

Залежність насипної густини насіння олійних культур льону, ріпаку, ріжю, сафлору від вологості за результатами досліджень [134] представлена наступною формулою

$$\rho(\tau, q, x) = \frac{(1 - \varepsilon_0) G \left(1 - \frac{W_H}{1 - W_H} \right) \rho^0 (1 + \beta W(\tau, q, x))}{\int_0^{H(\tau)} (1 + \beta W(\tau, q, x)) \left(1 - \frac{W_H(\tau, q, x)}{100 - W_H(\tau, q, x)} \right) dq}, \quad (2.24)$$

де ε_0 - початкова порозність в частках одиниці; G - питома навантаження, H / m^2 , H_0 - початкова висота шару насіння олійних культур, м; $W_H(\tau, q, x)$ - початкова і поточна вологість насіння олійних культур (в перерахунку на сухі речовини), %; ρ_0 - густина абсолютно сухого насіння олійних культур, kg / m^3 ; β - коефіцієнт пропорційності.

$$G_i = G(\tau_i) = \varepsilon G_0 \frac{1}{W_H^c} \left[\left(1 - \frac{\tau_i}{\tau_k} \right)^2 W_k^c + \left(\frac{\tau_i}{\tau_k} \right)^2 W_k^c \right] + (1 - \varepsilon) G_0. \quad (2.25)$$

Диференціальне рівняння теплового балансу для насіння олійних культур вирішували методом ітерацій, програмний комплекс для якого

складений мовою Turbo Pascal 7.0 в середовищі Windows до ЕОМ Pentium для наступних початкових умов

$$\rho_c(\tau, q, x) \big|_{\tau=0} = \rho_{c.н}, \quad (2.26)$$

$$\theta(\tau, q, x) \big|_{\tau=0} = \theta_{н}, \quad (2.27)$$

$$T(\tau, q, x) \big|_{\tau=0} = T_{c.а.н} \quad (2.28)$$

В результаті експерименту на ЕОМ було знайдено середнє значення об'ємного коефіцієнту теплообміну α_v . Воно підбиралось, таким чином, щоб розрахункові значення температури нагрівання насіння олійних культур $\theta^{рас}$ відповідали експериментальним $\theta^{експ}$.

$$|\theta^{рас}(\tau) - \theta^{експ}(\tau)| \leq \xi, \quad (2.29)$$

де ξ - деяке позитивне число, що визначає точність обчислень.

Отримані рівняння дозволяють визначати температуру сушильного агента на кожному кроці дискретизації на інтервалах нагрівання та охолодження.

За результатами розрахунку побудовані графіки зміни вологості і температури нагрівання насіння льону в часі (рисунок 2.10). Тут же показані експериментальні криві $W = f(\tau)$ і $\theta = f(\tau)$. Максимальне відхилення розрахункової кривої сушіння від експериментальної для розглянутого режиму сушіння становлять 5,98%, максимальне відхилення розрахункової кривої нагрівання насіння льону від експериментальної не перевищує за абсолютним значенням 8,7%. Для іншого насіння олійних культур ріпаку, рижію, сафлору графіки зміни вологості і температури нагрівання насіння в часі будуються аналогічно.

Таким чином, експериментальна перевірка запропонованого методу розчета показала задовільний сходження результатів, що не дає оснований для спростування висунутих спрощують припущень при виконанні обчислень.

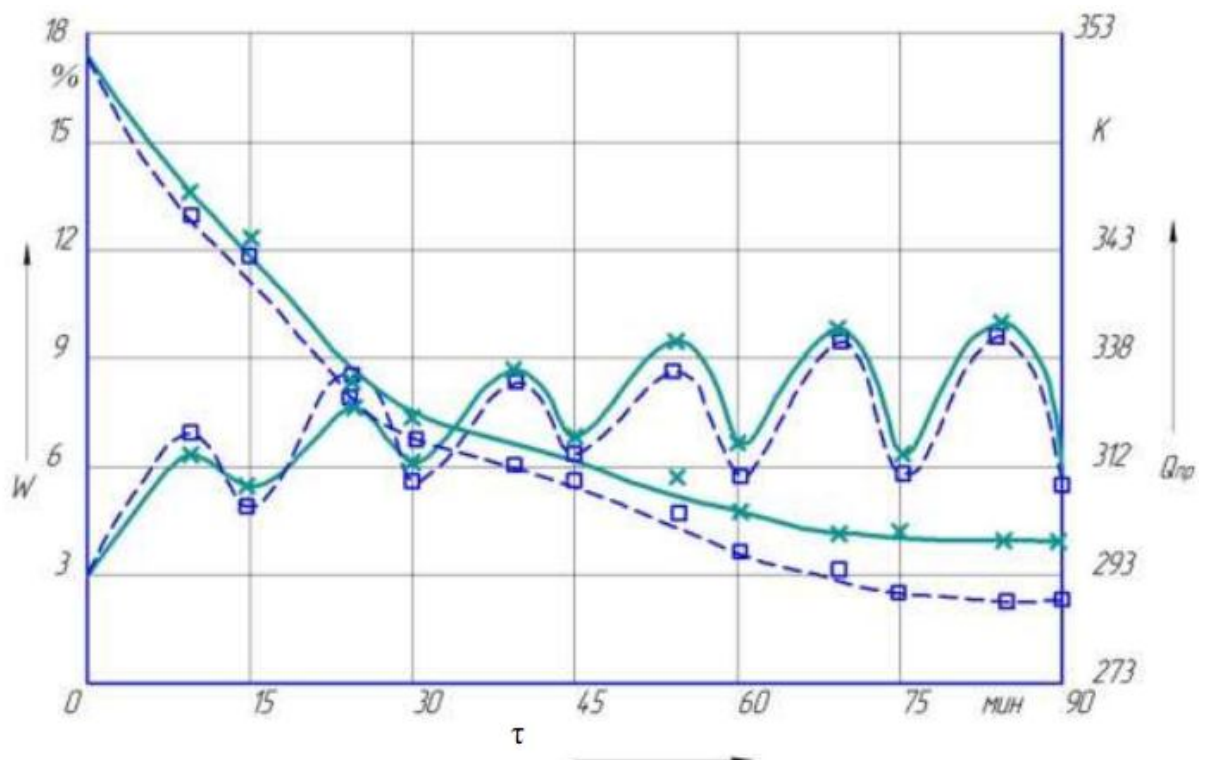


Рисунок 2.10 - Результати порівняння розрахункових (—Δ—Δ—Δ—) і експериментальних (—○—○—○—) даних з кінетики сушіння насіння льону в коливальних режимах при температурі сушільного агента: $T_{c.a.} = 353 \text{ K}$ і початкової вологості насіння льону $W_{н, 18\%}$.

3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ З ПЕРЕРОБКИ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

3.1 Розробка конструкції сушарки для насіння олійних культур

У запропонованій сушарці для насіння олійних культур, що містить сушильну камеру, виконану у вигляді секцій сушіння матеріалу в киплячому шарі і вилежування, що включають газопідвідні короба з розташованими над ними газорозподільними ґратами, патрубки відведення відпрацьованого теплоносія і патрубки завантаження і вивантаження матеріалу з пристроями, виповненими у вигляді шлюзових затворів. При цьому секція вилежування оснащена нерухомими газорозподільними ґратами, встановленими під кутом, що перевищує кут природного скосу матеріалу. Далі після секції сушіння матеріалу у киплячому шарі передбачена секція його двоетапного змішування з антиоксидантом з послідовно встановленими змішувачами малої і великої продуктивності, з'єднаних патрубками, причому вихідний патрубок змішувача великої продуктивності здійснює подачу матеріалу в секцію вилежування. Змішувачі забезпечені пристроями для антиоксиданту, що закріплені на зовнішній стороні сушильної камери. Секція сушіння матеріалу в киплячому шарі розташована над секцією вилежування у вертикальній площині, при цьому в секції сушіння матеріалу в киплячому шарі закріплена під нахилом нерухома газорозподільна решітка. Після секції сушіння матеріалу в киплячому шарі і перед секцією двоетапного змішування встановлений бункер, з'єднаний двома вихідними патрубками з вхідними патрубками змішувачів малої і великої продуктивності. Над вихідними патрубками бункера передбачена рухома в горизонтальній площині заслінка, виконана у вигляді рамки. Внутрішня площа рамки закрита плоским листом таким чином, що переміщення заслінки з одного крайнього положення в інше, дозволяє регулювати подачу матеріалу з секції сушіння матеріалу в киплячому шарі в змішувач великої продуктивності від 50 до 100% від загальної кількості матеріалу, що направляється в секцію двоетапного змішування. Газопідвідні короба оснащені регулюючими заслінками для

подачі теплого і холодного повітря відповідно до секції сушіння матеріалу в киплячому шарі і секцію вилежування.

На рисунку 3.1 представлений загальний вид сушарки для сушіння сипких матеріалів, в тому числі і для олійних культур, і бункер з заслінкою в крайніх її положеннях. Сушарка містить сушильну камеру 1 з завантажувальним патрубком 2, оснащеним пристроєм завантаження 3, виконаним у вигляді шлюзового затвора.

Сушильна камера 1 складається з секції сушіння матеріалу 4, в якій протікає процес сушіння в киплячому шарі, секції двоетапного змішування матеріалу з антиоксидантом 5 і секції вилежування матеріалу 6, що розташовані у вертикальній площині. Секції 4 та 6 містять газопідвідні короба 7 і 8, оснащені регулюючими заслінками 9, 10 для подачі теплого і холодного повітря відповідно до секції сушіння матеріалу в киплячому шарі 4 і секцію вилежування 6.

Секція сушіння матеріалу в киплячому шарі 5 оснащена нерухомими газорозподільними ґратами 11, встановленими під нахилом відносно осі 12.

Після секції сушіння матеріалу в киплячому шарі 4 і перед секцією двоетапного змішування 5 встановлений бункер 13, оснащений рухомою в горизонтальній площині заслінкою 14, що виконана у вигляді рамки 15. Внутрішня площа рамки закрита плоским листом 16. Бункер 13 з'єднаний двома вихідними патрубками 17, 18 з вхідними патрубками 19, 20 змішувачів малої - 21 і великої - 22 продуктивності секції двухетапного змішування 5.

Змішувачі малої 21 і великий 22 продуктивності оснащені вихідними патрубками 23, 24, розташованими таким чином, що вихідний патрубок змішувача малої продуктивності 23 з'єднаний з вхідним патрубком змішувача великої продуктивності 20, а вихідний патрубок 24 змішувача великої продуктивності здійснює подачу матеріалу в секцію вилежування 6. Змішувачі 21 і 22 оснащені пристроями для введення антиоксиданту 25 і 26, виконані у вигляді шлюзових затворів і закріплені на зовнішній стороні сушильної камери 1.

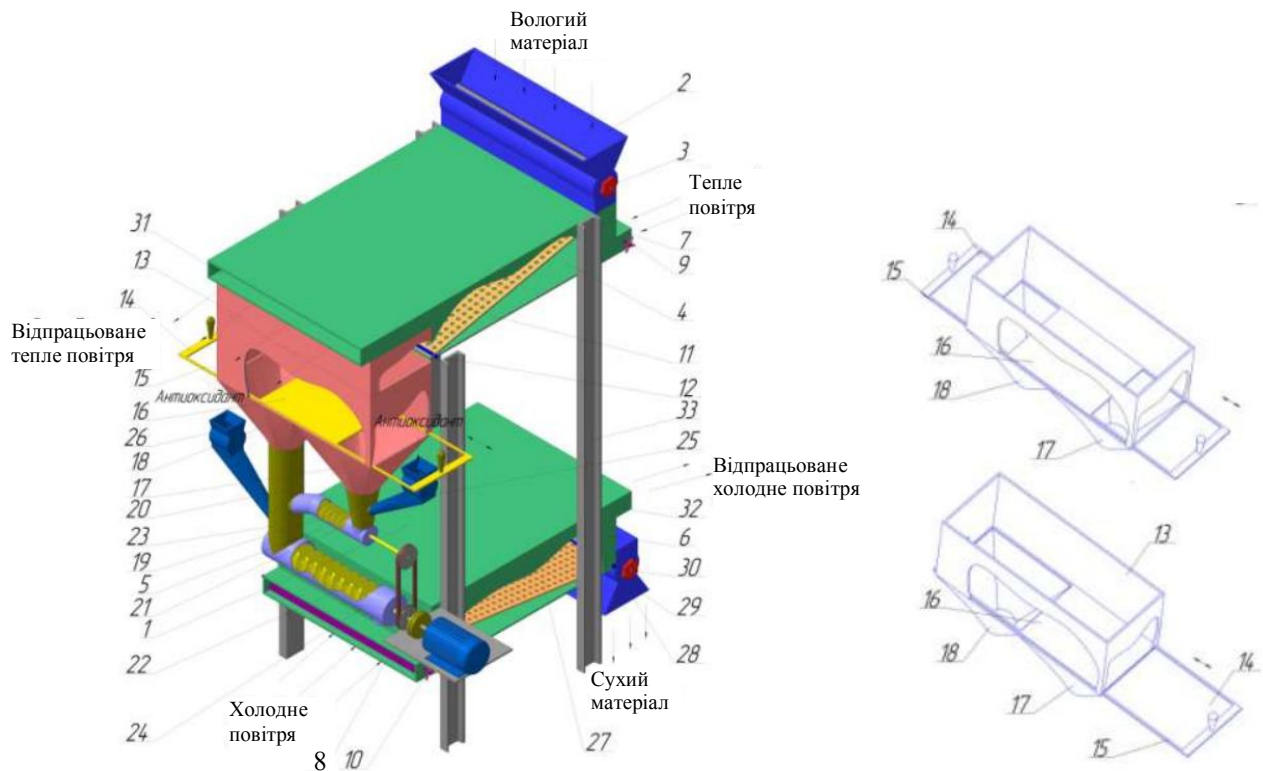


Рисунок 3.1 - Сушарка для сипких матеріалів: 1 - сушильна камера, 2 - завантажувальний патрубок, 3 - завантаження, 4 - секція сушіння матеріалу, 5 - секція двоетапного змішування матеріалу з антиоксидантом, 6 - секція вилежування матеріалу, 7, 8 - газопідвідні короба, 9, 10, 14 - регулювальні заслінки, 11- газорозподільна решітка, 12 - вісь, 13 - бункер, 15 - рамка, 16 - лист, 17, 18 - вихідні патрубки, 19, 20, 23, 24 – вхідні патрубки, 21 - змішувач малої продуктивності, 22 - змішувач великої продуктивності, 25, 26 - пристрій для введення антиоксиданту

Секція вилежування матеріалу 6 оснащена нерухомими горизонтальними газорозподільними ґратами 27, встановленими під кутом відносно осі 28, що перевищує кут природного скосу матеріалу.

Вивантаження готового матеріалу з секції вилежування 6 здійснюється через патрубок 29 з пристроєм 30, виконаним у вигляді шлюзового затвора. Відведення відпрацьованого теплого і холодного повітря із секцій 4, 6 здійснюється через патрубки 31, 32, а вся конструкція сушарки встановлена на станині 33.

Сушарка для сипких матеріалів працює наступним чином.

Вологий матеріал через завантажувальний патрубок 2 і пристрій завантаження 3, надходить на нерухому похилу газорозподільну решітку 11 секції сушіння матеріалу 4.

Далі здійснюється сушка матеріалу в киплячому шарі теплим повітрям, що подається через газопідвідний короб 7. Витрата повітря регулюється за допомогою заслінки 9. Кут нахилу решітки 11 і витрату теплого повітря підбирають в залежності від виду матеріалу, що висушується і його початкової вологості таким чином, щоб сушка відбувалася в безперервному режимі зі змінним винесенням часток матеріалу з відпрацьованим теплоносієм.

З секції сушіння 4, підсушений до необхідної вологості матеріал, потрапляє в бункер 13, оснащений заслінкою 14, переміщення якої з одного крайнього положення в інше (рисунок 3.1), дозволяє регулювати подачу матеріалу з секції сушіння 4 в змішувач великої продуктивності 22 від 50 до 100% від загальної кількості матеріалу, що прямує в секцію двоетапного змішування 5.

З метою запобігання процесів окислення в матеріалі, що згубно впливають на його якість, через пристрої 25, 26, закріплені на зовнішній стороні сушильної камери 1, вводиться антиоксидант. Співвідношення кількості антиоксиданту, що вводиться в змішувачі 21, 22 знаходиться в прямопропорціональній залежності від положення заслінки 14, яка ділить площу бункера над вихідними патрубками 17, 18 в необхідній пропорції. Введення антиоксиданта в два прийоми забезпечує рівномірність його розподілу по об'єму матеріалу.

Менша кількість матеріалу і антиоксиданту подається в змішувач малої продуктивності 21. Після закінчення змішування збагачена антиоксидантом менша частина матеріалу через вихідний патрубок 23 потрапляє під вхідний патрубок 20 змішувача великої продуктивності 22, звідки разом з основним потоком матеріалу (від 50% до 100%) потрапляє в змішувач великої

продуктивності 22. Після закінчення змішування матеріал, доведений до максимально можливої однорідності, подається через вихідний патрубок 24 змішувача великої продуктивності 22 в секцію вилежування матеріалу 6. Причому вихідний патрубок 24 розташований під таким кутом, щоб його вихідний отвір розташовувалося на початку і по центру нерухомої похилої газорозподільної решітки 27.

У секцію вилежування матеріалу 6 через газопідвідний короб 8 подається холодне повітря витрати, якого регулюються за допомогою заслінки 10. Кут нахилу решітки 27 і витрати холодного повітря підбирають в залежності від виду матеріалу і антиоксиданту, а також в залежності від вологості суміші, отриманої в секції двоетапного змішування 5. Процес вилежування здійснюється в безперервному режимі до необхідної температури і вологості матеріалу.

Висушений і охолоджений матеріал видаляється з сушарки через патрубок вивантаження матеріалу 29, оснащений пристроєм розвантаження 30, виконаним у вигляді шлюзового затвора.

Залежно від виду оброблюваного матеріалу і використовуваного антиоксиданту секції сушіння матеріалу, змішування і вилежування можуть повторятися таку кількість разів, щоб досягти максимально високої якості готового матеріалу та найвищої ефективності процесу його обробки.

Таким чином, використання запропонованої сушарки дозволяє: інтенсифікувати процес отримання готового продукту, підвищити експлуатаційну надійність роботи сушарки і знизити займану виробничу площу.

3.2 Апарат для гідротермічної обробки олійних культур

Апарат для гідротермічної обробки олійних культур [120] працює в такий спосіб (рисунок 3.2).

Початкова олійна сировина (зерно соняшника, ядра арахісу, кедрові горіхи і т. д.) через завантажувальну воронку 1, надходить у вертикальну камеру мийки 2 на нерухомо закріплену спиралеподібну стрічку 23.

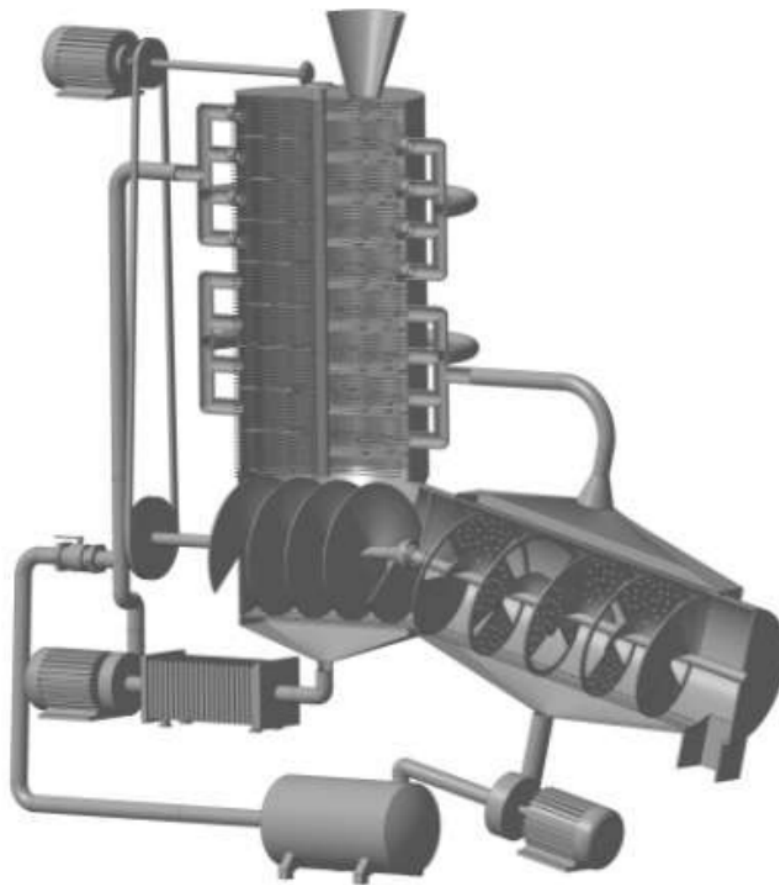


Рисунок 3.2 - Апарат для гідротермічної обробки олійних культур: 1 - завантажувальна лійка, 2 - камера мийки, 3 - зубчаста передача, 4 - електродвигун, 5 – пасова передача, 6 - форсунки, 7 - багаторядні щітки, 8 - патрубки, 9 – транспортуючий шнек, 11 - шарнір, 12, 15 - конфузори, 13 - фільтр, 14 - трубопровід, 16 - паропровід, 17 - дифузор, 18 - комбінований шнек, 20 - вентилятор, 22 - парогенератор, 23 - спиралеподібна стрічка, 24 - виступи, 25 - насос, 26 - сегментний виріз, 27 - шків, 28 - камера обсмаження, 29 – горизонтальна циліндрична камера відокремлення води від сировини

Далі вмикається електродвигун 4, який за допомогою конічної зубчатої передачі 3 приводить в обертання вал з багаторядними щітками 7. Одночасно вмикається насос 25, який по трубопроводу 14 подає зворотну воду у

форсунки 6. Форсунки 6 розпилюють воду над шаром сировини, що знаходиться на поверхні спиралеподібної стрічки 23.

При цьому з патрубків 8, розташованих на зовнішній поверхні камери мийки 2 в її нижній частині, подається відпрацьована перегріта пара з конфузора 15 камери обсмаження 28 по паропроводу 16.

Рух сировини здійснюється за рахунок наступних чинників.

По-перше, за рахунок сили тяжіння, що діє на сировину. По-друге, за допомогою багаторядних щіток 7, які просувають сировину по поверхні спиралеподібної стрічки 23. По-третє, за рахунок потоку води, який надходить з трубопроводу 14 через форсунки 6, і потоку пари, що надходить з патрубків 8.

Рухаючись вниз, сировина ретельно промивається. Це досягається завдяки тому, що на спиралеподібній стрічці 23 є виступи овальної форми 24, які надають додатковій турбулізації руху сировини, в результаті чого частки сировини інтенсивно контактуючи між собою, піддаються інтенсивному та ефективному промиванню.

Після миття сировини в камері мийки 2, вона потрапляє в горизонтальну циліндричну камеру відокремлення води від сировини 29. Вся вода стікає через перфоровану сітку в конфузор 12. Далі вона надходить у фільтр 13 для очістки води. Потім очищена вода по трубопроводу 14 за допомогою насоса 25 надходить у форсунки 6 і цикл стає безперервно-замкненим.

Далі, після того як вода відокремилася від сировини, вона транспортується шнеком 9 просувається в камеру обсмаження 28. Привод шнека здійснюється за допомогою електродвигуна 4, пасової передачі 5 і шківів 27. Обертання комбінованого шнека 18 здійснюється за допомогою шарніра рівних кутових швидкостей 11.

Поступово в камері обсмаження 28, сировина піддається впливу перегретої пари, яка подається з парогенератора 22 за допомогою вентилятора 20.

За рахунок цього сировина, що знаходиться над дифуззором 17, переходить у «киплячий стан». За рахунок наявних в комбінованому шнеку 18 сегментних вирізів 26 і отворів в перфорованих витках перегріта пара рівномірно обмиває всі частинки сировини, сприяючи їх рівномірній і ефективній гідротермічній обробці.

Температура перегрітої пари становить 120 ... 150 °С в залежності від виду вихідних олійних культур, що забезпечує недопущення негативного впливу на сировину. Перегрита пара, виходячи з камери обсмаження 28, потрапляє у конфуздор 15 і з нього прямує в трубопровід 16 і далі через патрубки 8 підводиться в нижню частину камери мийки 2.

Продукт вивантажується з апарату гідротермічної обробки через патрубок 19 і далі йде на фасовку.

Таким чином, запропонований обсмажувальний апарат дозволить: підібрати найбільш раціональні режими для обробки сировини без погіршення її якості; інтенсифікувати процес мийки і обсмажування олійних культур; забезпечити енерго- і ресурсозбереження за рахунок рециркуляційних потоків.

3.3 Конструкція екструдера-олієвіддільника

Екструдер-олієвіддільник відноситься до обладнання для отримання рослинної олії і макухи в олієпереробній промисловості (рисунок 3.3).

Екструдер-олієвіддільник складається з завантажувальної лійки 1, набірною шнека що складається з вала 2 і втулок з гвинтовими навивками 3 які фіксуються на валу за допомогою гвинта 12, екструзійної камери 4, камери вакуумування 13 і зерної камери 11.

У екструзійній камері 4 встановлені форсунки 5 призначені для подачі пари і термовологісної обробки олійної сировини. Також в екструзійній камері 4 встановлені чотири гвинти 6, розташовані в одній площині перерізу під кутом 90° один до одного. Гвинти 6 дозволяють регулювати ступінь ущільнення сировини, а також інтенсифікувати механічний вплив на нього. У

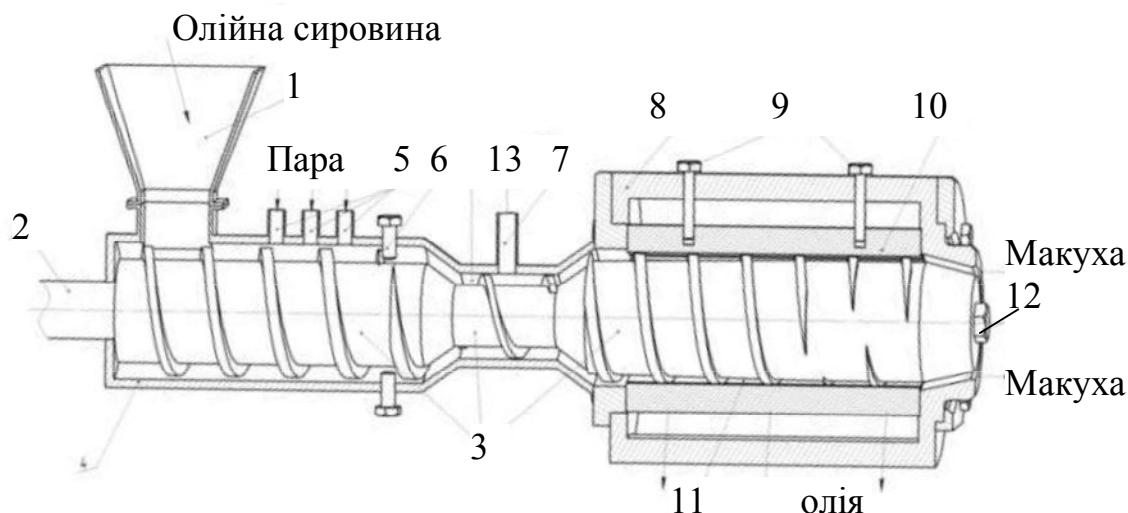


Рисунок 3.3 - Екструдер-олієвіддільник: 1 - завантажувальна лійка, 2 - вал, 3 - втулка з гвинтовими навивками, 4 - екструзійна камера, 5 - форсунки, 6 – 12 - гвинт, 7 - патрубок, 8 - корпус, 9 - болт, 10 - зеєрні пластини, 11- зеєрна камера, 13 - камера вакуумування.

тому місці де встановлені гвинти 6, на втулці з гвинтовою навивкою 3 є розрив, для того щоб витки шнека могли безперешкодно обертатися.

У камері вакуумування 13 встановлений патрубок для створення вакууму всередині цієї камери. Зеєрна камера 11 складається з корпусу 8, в якому встановлені зеєрні пластини 10. Регулювання зазору між пластинами здійснюється за допомогою регульовальних болтів 9.

Екструдер-олієвіддільник працює наступним чином. Вмикається електродвигун з частотним перетворювачем, який приводить в обертання вал 2 з втулками з гвинтовими навивками 3. Через завантажувальну лійку 1 в екструзійну камеру 4 подається олійна сировина (соняшник, ріпак, расторопша, гірчиця). Тут відбувається інтенсивне подрібнення сировини, а також термовологісна обробка парою за рахунок установлених форсунок 5. Потім відбувається поступове збільшення тиску і ущільнення маси продукту

внаслідок різкого зменшення розмірів гвинтового каналу шнека. Тут відбувається перетворення сипкої маси в однорідний розплав за рахунок зростання тиску, при цьому утворюється розплав, однорідний за структурою і температурою. За допомогою встановлених в екструзійній камері 4 гвинтів, забезпечується інтенсивний механічний вплив, що також сприяє розігріву гомогенного розплаву. Далі розплавлений продукт надходить в камеру вакуумування 13, де через патрубок 7 відбувається відсмоктування повітря з продукту. За рахунок цього відбувається зниження вмісту кисню в пресованій сировині, що дозволяє домогтися більшого ущільнення сировини.

З камери вакуумування сировина надходить в зерну камеру 11, де безпосередньо здійснюється віджимання олії. Конструкція шнека дозволяє знизити вільний обсяг по ходу руху матеріалу на протязі всієї зерної камери і тим самим забезпечити стискання сировини. Віджата рослинна олія виходить з зерної камери через щілини між зерними пластинами 10, а віджятий матеріал (макуха) - через кільцевий зазор на виході зерної камери 11. При закручуванні гвинтів відбувається расклинювання зерних пластин, що призводить до зменшення зазору між ними.

Таким чином, запропонована конструкція дозволяє: збільшити вихід рослинної олії; підібрати найбільш раціональні режими для обробки; поліпшити якість готового продукту.

3.4 Прес для отримання рослинної олії

Прес для отримання олії і гранульованої макухи складається з корпусу 1 із завантажувальною лійкою 2, робочої камери 3, двох шнеків 4, набору зерних пластин 6, а також з матриці 16 і зубчастої передачі 15 (рисунок 3.4). На рисунку 3.4 представлений загальний вид преса для отримання рослинних олій та вузол регулювання зазору для виходу макухи, на рисунку 3.4 а положення в якому через зазор виходить макуха у вигляді тонких пластин, а на рисунку 3.4 б - положення при якому макуха виходить у вигляді гранул.

Шнеки 4 умовно діляться на три ділянки. Перша ділянка являє собою

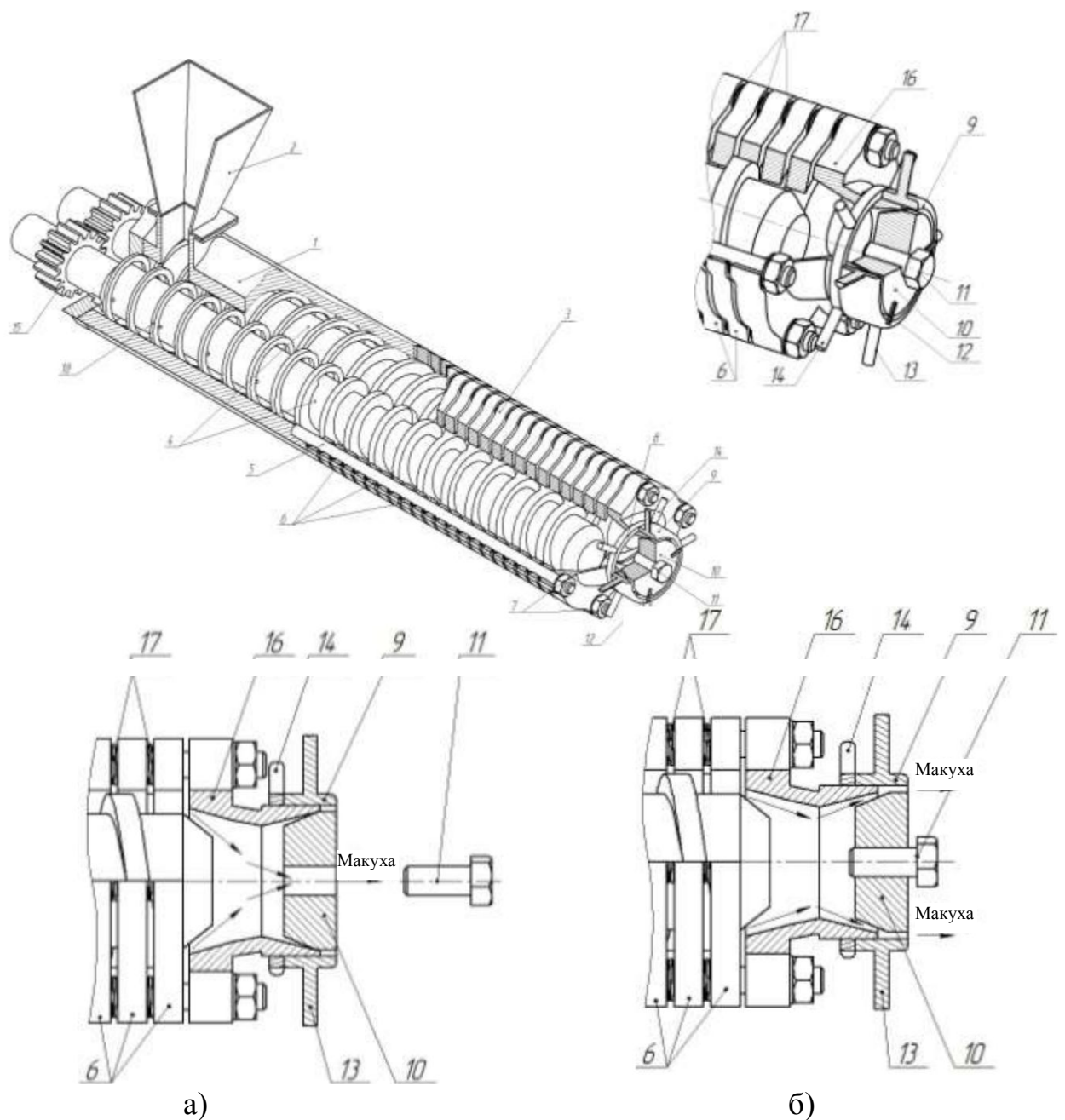


Рисунок 3.4 - Прес для отримання олії і гранульованої макухи: 1 - корпус, 2 - завантажувальна лійка, 3 - робоча камера, 4 - шнеки, 5 - шпилька, 6 - набір зерних пластин, 7 - гайка, 8 - контргайка, 9 - обойма, 10 - конусна втулка, 11 - гвинт, 12 - пластина, 13, 14 - рукоятки, 15 - левередж, 16 - матриця, 17 - шайби-гровер, 18 - стрічкова навівка

зону інтенсивного перемішування олійної сировини. Шнек на цій ділянці має стрічкову навівку 18, встановлену за допомогою штифтів.

Друга ділянка являє собою зону транспортування та подрібнення олійної сировини. На даній ділянці шнек виконаний з плавним збільшенням діаметра, при цьому збільшення становить 5-7 мм на довжину ділянки.

На третій ділянці відбувається вилучення олії з сировини. Тут шнек має різкий перехід діаметра, який забезпечує мінімальний зазор між зерними пластинами і поверхнею шнека.

Зерні пластини 6 виконані у профіль у вигляді двох кіл, що перетинаються, що сприяє зниженню металоємності обладнання. Між зерними пластинами встановлені шайби-гровер 17. За рахунок шайб-гроверів 17 та гайок 7, встановлених на шпильках 5 здійснюється регулювання зазору між зерними пластинами 6. Шпильки 5 забезпечують жорсткість конструкції, а також простоту складання під час миття обладнання.

Матриця 16 слугує для притискання зерних пластин. На матриці знаходиться контр-гайка 8 і обойма 9. В обоймі 9 встановлена конусна втулка 10, яка з'єднана з обоймою за допомогою пластин 12. При обертанні обойми 9 за допомогою рукояток 13 відбувається переміщення конусної втулки 10, і разом з тим збільшення, або зменшення зазору між обоймою 10 і матрицею 16. Нерухомість обойми 9 забезпечує контргайка 8. У конусній втулці 10 встановлений гвинт 11. При перекиванні зазору між обоймою 9 і матрицею 16, шляхом викручування гвинта 11 починається видача гранульованої макухи.

Прес працює таким чином. Вмикається електродвигун з частотним перетворювачем, який приводить в обертання шнеки 3. Через завантажувальну лійку 1 засипається суміш з різних видів олійних культур. За допомогою стрічкової навивки 4 відбувається інтенсивне перемішування олійних культур, що забезпечує рівномірність їх розподілу. Просуваючись по робочій камері 2, сировина потрапляє в зону транспортування, де відбувається її подрібнення, пресування і віджимання олії. Із зони транспортування олійна сировина потрапляє в зону безпосереднього вилучення олії. Тут відбувається

значне ущільнення сировини, тиск зростає і починається інтенсивне вилучення олії. За рахунок можливості регулювання зазору між пластинами, можна налаштувати роботу преса під широкий діапазон олійних культур, а також знизити потрапляння мезги в віджату олію.

Глибина вилучення олії регулюється за допомогою обойми 9 з конусної втулкою 10, що дозволяє змінювати товщину макухи на виході. За оптимальній товщини макухи усувається повторне пресування (експелірування) (рисунок 3.4, а).

Для отримання макухи у вигляді гранул обойма 9 виставляється таким чином, щоб зазор між втулкою і матрицею, наближався до нуля, для цього гвинт вилучають з втулки 10 (рисунок 3.4, б).

Таким чином, пропонована конструкція преса для віджимання олії з високо- і низько-олійних культур дозволить:

- виключити необхідність нагрівання камери за допомогою електронагрівачів, за рахунок ефекту дисипації;
- отримувати широкий діапазон рослинних олій з олійної сировини за рахунок регульованої величини зазору між пластинами;
- знизити металоємність, за рахунок оригінальної конструкції леєрної камери;
- забезпечити співвісність з'єднання зеєрних пластин між собою, і як наслідок - надійність складання;
- інтенсифікувати процес виробництва олії з насіння олійних культур, за умови підбору оптимальних параметрів робочої камери і регульованого зазору для виходу макухи.
- забезпечення регулювання налаштувань олійного преса під широкий діапазон олійних культур, за рахунок можливості регулювання зазору між пластинами;
- забезпечення зниження кількості мезги у віджатій олії.

3.5 Спосіб коливального сушіння насіння олійних культур з циклічним введенням антиоксиданту

Нами запропоновано спосіб осцилюючого сушіння насіння олійних культур з циклічним введенням антиоксиданту (рисунок 3.5), який здійснюється таким чином.

Вихідний продукт по лінії 0.2.1 подають в бункер 1. Далі він проходить металоманітне очищення в магнітному сепараторі 2, після чого прямує в камеру попереднього сушіння 3, де його висушують зі зниженням вологості від 18 ... 20% до 12 ... 14%. Для висушування використовується повітря, що надходить в камеру сушіння 3 зі швидкістю 7,0 ... 7,5 м / с, температурою 348 ... 350 К і вологовмістом 0,005 ... 0,006 кг / кг з конденсатора 15 пароежекторної холодильної машини.

Далі підсушений продукт по лінії 0.2.2 прямує в змішувач 4, оснащений шнеком, куди одночасно в безперервному режимі по лінії 0.1 надходить антиоксидант Ендокс в кількості 0,6% від вихідного продукту. Даний препарат був вибраний з групи препаратів спрямованої дії, які використовуються для стабілізації жиру, в результаті порівняння їх ефективності [111].

Обробка в змішувачі 4 здійснюють протягом 4 ... 10 хв, після чого отриману суміш охолоджують в камері попереднього охолодження 5 у продовж 4 ... 6 хв в щільному гравітаційному рухомому шарі продукту. Для охолодження використовується повітря зі швидкістю 1,9 ... 2,1 м / с, температурою 280 ... 282 К і вологовмістом 0,005 ... 0,006 кг / кг, що надходить в камеру охолодження 5 з холодоприймача 17 пароежекторної холодильної машини. На цьому першу стадію обробки закінчують.

Тривалість перемішування вибирається із зазначеного інтервалу, виходячи з умови забезпечення синхронізованої роботи камер сушіння і охолодження і досягнення заданої однорідності суміші, що дозволяє проводити процес як за симетричною, так і несиметричною схемами осциляції в залежності від оброблюваної культури.

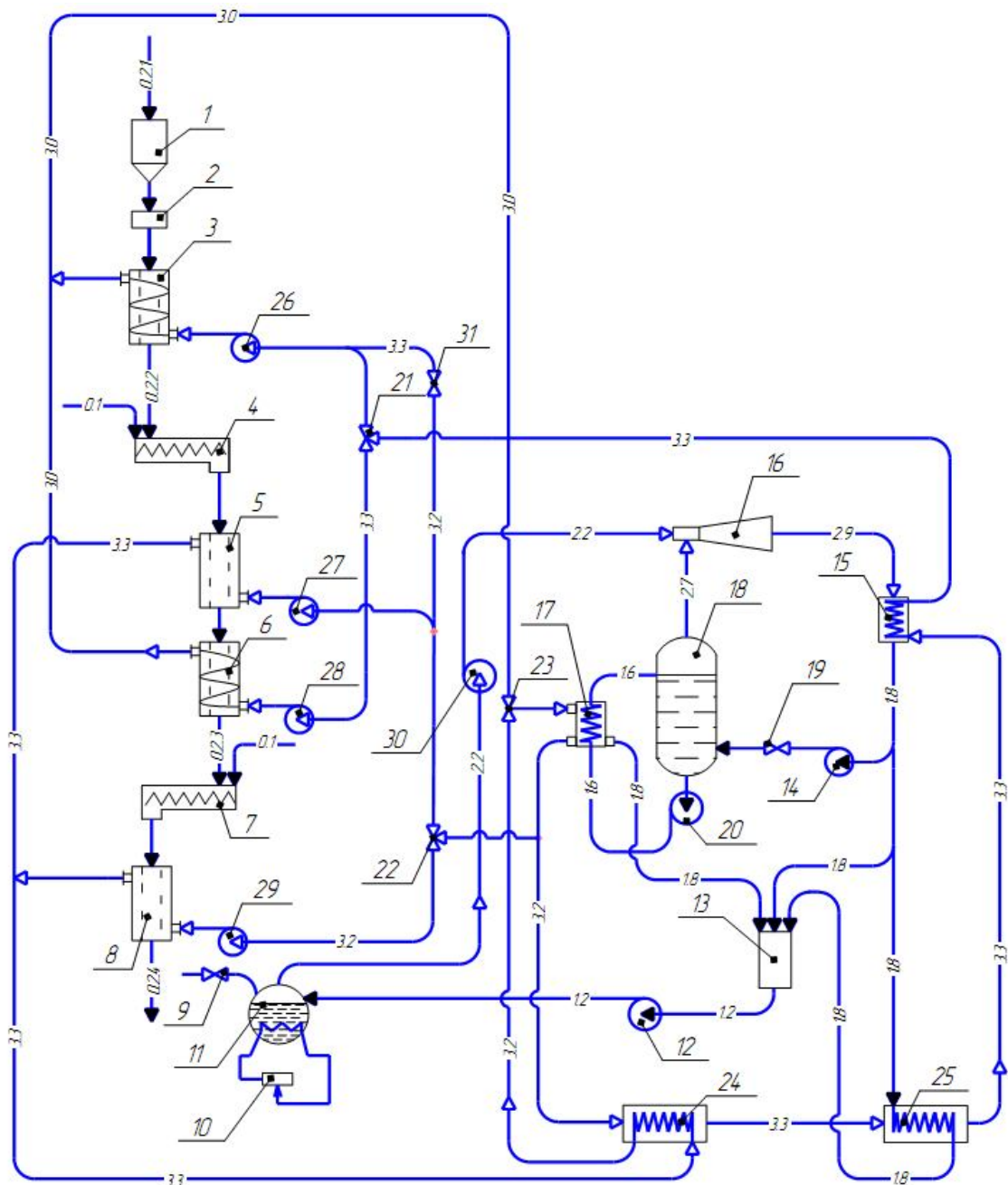


Рисунок 3.5 - Технологічна схема осцилювального сушіння насіння олійних культур з циклічним введенням антиоксиданту: 1 - бункер; 2 - магнітний сепаратор; 3, 6 - камери попередньої та остаточної сушки; 4, 7 - змішувачі; 5, 8 - камери попереднього та остаточного охолодження; 9 - запобіжний клапан; 10 - електронагрівальні елементи; 11 - парогенератор, 12, 14 і 20 - насоси; 13 - збірник конденсату; 15 - конденсатор; 16 - ежектор; 17 - холодоприймач; 18 - випарник; 19 - терморегулювальний вентиль, 21, 22 - розподільники; 23 - змішувач потоків; 24, 25 - рекуперативні теплообмінники; 26, 27, 28, 29, 30 - вентилятори; 31 - вентиль; матеріальні потоки: 0.1 - антиоксидант, 0.2.1 - вихідне зерно, 0.2.2 - підсушене зерно, 0.2.3 - висушене зерно, 0.2.4 - охоложене зерно, 1.6 - холодоагент, 1.8 - конденсат, 2.2 - насичена пара, 2.7 - пари холодоагенту, 2.9 - суміш пари, 3.0 - відпрацьоване повітря, 3.2 - осушене повітря, 3.3 - циркуляційне повітря

Підсушений і охолоджений продукт в безперервному режимі прямує в камеру остаточного сушіння 6 і далі по лінії 0.2.3 - через шнековий змішувач 7 і в камеру остаточного охолодження 8, после чого готовий продукт виводиться по лінії 0.2.4. Другу стадію сушіння проводять при швидкості повітря 6,7 ... 7,2 м / с і температурі 354 ... 356 К, причому вологість продукту знижується з 12 ... 14% до 8 ... 10%. Антиоксидант на етапі змішування подають в кількості 0,4% від вихідного продукту.

Процес охолодження на другому етапі проводять при тих же параметрах, що і напершому, т. е. при температурі повітря 280 ... 282 К і швидкості 1,9 ... 2,1 м / с, протягом 4 ... 6 хв.

Сушіння насіння олійних культур із застосуванням коливальних режимів і введенням антиоксиданту Ендокс дозволяє підвищити ефективність процесу стабілізації продукту, знизити енергетичні витрати на обробку вихідного продукту, збільшити термін зберігання насіння. Двоетапне внесення антиоксиданту в продукт сприяє його одномірному розподілу. Дозування антиоксиданту при циклічному введенні визначають експериментально. Зменшення кількості подаваного в змішувач 7 антиоксиданту з 0,6% на першій стадії до 0,4% на другій стадії по прикінцевому продукту визначається вологістю насіння олійних культур. На першій стадії, коли вологість насіння ще досить висока, відповідно більш висока і активність ферментів, що містяться в ньому.

Зниження швидкості повітря на другій стадії сушіння з 7,0 ... 7,5 м / с до 6,7 ... 7,2 м / с обумовлено тим, що на початковому етапі сушіння видалення вологи з продукту йде більш інтенсивно і потрібне відведення пари, що утворилася.

Відпрацьоване після камер сушіння повітря по лініях 3.0 направляють в холодоприймач 17 пароежекторної холодильної машини. Остання складається з ежектора 16, випарника 18, холодоприймача 17, конденсатора 15, збірника конденсату 13, насоса 14 для подачі конденсату у випарник, змішувача потоків 23, насоса 12 для подачі конденсату в парогенератор,

терморегулюючого вентиля 19, насоса рециркуляції холодоагенту 20, парогенератора 11, що працює за рахунок електронагрівних елементів 10, із запобіжним клапаном 9 і двох рекуперативних теплообмінників 24 і 25, встановлених послідовно між холодоприймачем 17 і конденсатором 15.

У парогенераторі 11 з електронагрівальними елементами 10 із запобіжним клапаном 9 при витраті електроенергії утворюється робоча пара, яка по лінії 2.2 під тиском 0,9 ... 1,2 МПа за допомогою вентилятора 30 прямує в сопло ежектора 16, створюючи при цьому знижений тиск 0,0008 ... 0,002 МПа і температуру 278 ... 279 К. У випарнику 18 пароежекторної холодильної машини з рециркуляцією холодоагенту через холодоприймач 17, утворюється суміш ежектованої і робочої пари після ежектора 16 з тиском 0,4 - 0,5 МПа, яка подається в конденсатор 15 по лінії 2.9. При цьому потенціальна енергія робочої пари перетворюється в кінетичну енергію струменя, що витікає з великою швидкістю, і під дією енергії струменя робочої пари ежектована пара холодоагенту з випарника 18. За допомогою насоса 20 здійснюють рециркуляцію холодоагенту по лінії 1.6 через холодоприймач 17, який використовують в якості джерела холоду для конденсації вологи з відпрацьованого після сушіння повітря при його осушенні.

Охолоджене і осушене в холодоприймачу повітря розподільник потоків 22 ділить на два потоки. Один з них з температурою 280 ... 282 К і швидкістю 1,9 ... 2,1 м / с по лінії 3.2 подають вентиляторами 27 і 29 на охолодження зерна в камери охолодження. Інший потік проходить через послідовно установлені між холодоприймачем 17 і конденсатором 15 рекуперативні теплообмінники 24 і 25.

У першому рекуперативному теплообміннику 24 використовують рекуперацію теплоти відпрацьованого повітря після камер охолодження, що подається по лінії 3.3, з подальшим його відведенням разом з відпрацьованим повітрям з камер сушіння, що подається по лінії 3.0 в холодоприймач 17. У другому рекуперативному теплообміннику 25 повітря передається тепло

частини конденсату після конденсатора 15. Повітря, нагріте до температури 354 ... 356 К в рекуперативних теплообмінниках 24 і 25 і конденсаторі 15 пароежекторної холодильної машини, ділять роздільником потоку 21 на два потоки. Перший потік змішують з частиною холодного повітря з холодоприймача 17, яка визначається вентиляем 31, до досягнення температури 348 ... 350 К і вентилятором 26 направляють на сушку зерна в камеру попереднього сушіння 3. Другий потік, що має температуру 354 ... 356 К, направляють вентилятором 28 на остаточну сушку зерна в камері 6. Випарену з продукту вологу конденсують в холодоприймачі 17 шляхом теплопередачі від відпрацьованого вологого повітря через розділювальну стінку поверхні холодоприймача до холодоагенту, в якості якого використовують воду.

З конденсатора 15 конденсат по лінії 1.8, за допомогою насоса 14 і терморегулювального вентиля 19 для поповнення втраченої води, виходить у випарник 18. Його надлишок, а також конденсат після холодоприймача 18 і після другого рекуперативного теплообмінника 25 відводять спочатку до збірника конденсату 13, а потім в парогенератор 11 з утворенням замкнутого циклу.

Нижче приведена технічна характеристика пароежекторної холодильної машини, що використовується для реалізації пропонованого способу сушіння.

Холодопродуктивність, кВт	50 ... 100
Температура кипіння холодоагенту (води):	
- у випарнику пароежекторної холодильної машини, К	$279 \pm 0,1$
- в парогенераторі, К	$373 \pm 0,1$
Температура повітря на вході в конденсатор, К	$324 \pm 0,1$
Коефіцієнт ежекції на виході з конденсатора	0,3
Коефіцієнт теплопередачі, Вт / м ² · К	11
Холодоагент	вода.

У таблиці 3.1 представлені показники якості ріпаку, висушеного за за відомим і пропонованим способом, в процесі зберігання. Як видно з таблиці, пропонований спосіб дозволяє поліпшити вказані показники насіння ріпаку в порівнянні з відомим способом, знизити перекисне число з 8,6 до 8,0 ммоль / кг, кислотне число з 0,45 до 0,42 мг КОН / г і загальну забрудненість з $1,5 \cdot 10^3$ до $1,3 \cdot 10^3$ КУЕ / г.

Таблиця 3.1 - Показники якості готового продукту

Показники якості	Спосіб	Час зберігання, міс.				
		0	2	4	6	8
Вологість, %	Відомий	8,8	8,8	8,9	9,1	9,4
	Пропонований	8,3	8,4	8,6	8,9	9,1
Кут природного від-коса, град.	Відомий	26,0	26,1	27,3	28,7	29,1
	Пропонований	26,0	26,2	27,1	28,6	28,9
Об'ємна маса, г / дм ³	Відомий	563,4	563,2	555,0	548,6	544,1
	Пропонований	559,2	558,9	554,4	551,9	547,8
Перекисне число, ммоль / кг	Відомий	6,9	7,0	7,5	8,1	8,6
	Пропонований	6,8	7,0	7,2	7,7	8,0
Кислотне число, мгКОН / г	Відомий	0,25	0,28	0,34	0,38	0,45
	Пропонований	0,25	0,27	0,33	0,39	0,42
Загальна забрудненість, КУО / г	Відомий	$6,3 \cdot 10^3$	$2,8 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^3$
	Пропонований	$6,2 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	$1,8 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^3$

Таким чином, пропонований спосіб забезпечує: екологічну чистоту технології; максимальну рекуперацію теплоти відпрацьованого теплоносія, що дозволяє знизити енерговитрати на 5%; функціонування способу на заданому рівні якості з мінімальними відхиленнями від заданого поля допуску на показники якості; підвищення продуктивності за рахунок скорочення кількості циклів, що досягається за рахунок збільшення температури повітря при сушінні і її зниження при охолодженні і як наслідок, скорочення перебування насіння в камерах сушіння й охолодження.

3.6 Лінія виробництва рослинної олії з використанням парокompresіонного теплового насоса

Запропоновано лінія виробництва рослинної олії з використанням парокompresійного теплового насоса, яка працює в такий спосіб (рис. 3.7). Вихідні олійні культури з початковою вологістю 17 ... 19% по лінії 1.1 подають на сушарку 1, де вологість знижується до 8%, і виводять з неї по лінії 1.2 на вальцьовий верстат 2 для подрібнення олійних культур до розміру частинок 1 мм, після чого по лінії 1.3 продукт подають на сепарувальну машину 3, де сід по лінії 1.4 направляють на доподрібнення на вальцевий верстат 2, а подрібнені олійні культури по лінії 1.5 направляють на обжарку до вологості 2% в апарат 4. Мезгу по лінії 1.6 подають на форпрес 5, олію по лінії 1.7 з форпреса 5 направляють на фільтрацію у фільтрпресі 6, де по лінії 1.8 відводять форпресову макуху на екстракцію, по лінії 1.9 відводять осад на подальшу обробку, а профільтровану олію по лінії 1.10 з фільтр-преса 6 направляють в експозитор 7 для виморожування.

Процес сушіння олійних культур в сушарці 1 здійснюють кондиціонованим повітрям, яке підігрівають в теплообміннику-рекуператорі 9, при цьому відпрацьоване повітря після сушіння в лінії 3.1 піддається очищенню від зважених часток в циклоні 8 з подальшим охолодженням і осушенням в секції випарника 12 теплового насоса і подачею в сушарку 1 з утворенням замкненого циклу; перегріту пару після конденсатора 11 по лінії 4.0 теплового насоса подають на обсмажування в обжарочний апарат 4 при цьому частина відпрацьованої перегрітої пари в лінії 4.1 в кількості, що відповідає кількості випареної з продукту вологи подають в теплообмінник-рекуператор 9 для нагрівання повітря. Утворений при цьому конденсат відводять по лінії 5.0 в збірник конденсату 17, а другу частину відпрацьованої пари по лінії 4.1 відводять в конденсатор 11 теплового насоса де його перегрівають і знову по лінії 4.0 подають на обсмажування в обжарочний апарат 4 в режимі замкненого циклу.

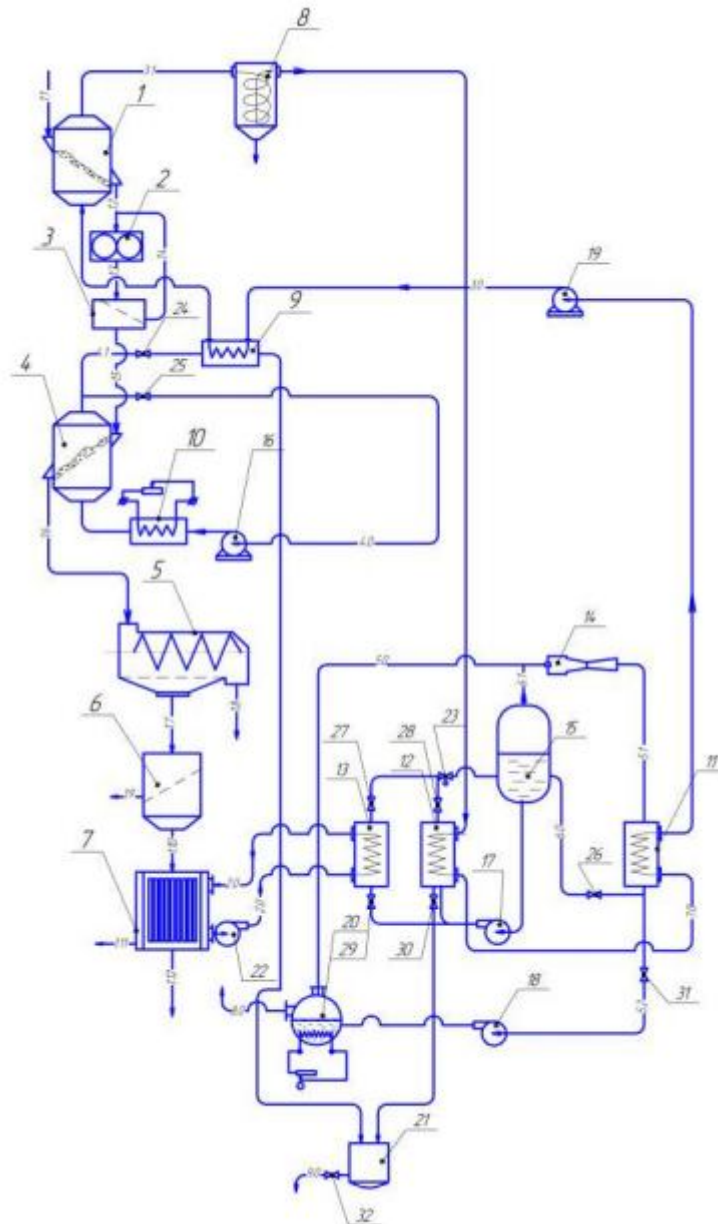


Рисунок 3.7 - Лінія виробництва рослинної олії: 1 - сушарка, 2 - вальцовий верстат, 3 - сепарувальна машина, 4 - обжарувальний апарат, 5 - форпрес, 6 - фільтрпрес, 7 - експозитор, 8 - циклон, 9 - теплообмінник-рекуператор, 10 - компресор, 11 - конденсатор, 12, 13 - випарник, 14 - терморегулюючий вентиль, 15, 16 - вентилятори, 17 - збірник конденсату; лінії: 1.1 - подача вихідних олійних культур в сушарку, 1.2 - відведення підсушених олійних культур з сушарки на вальцевий верстат, 1.3 - відведення подрібнених олійних культур з вальцевого верстата на сепаруючу машину, 1.4 - відведення сходу з сепаруючої машини на доподрібнення, 1.5 - відведення мезги в обжарочний апарат, 1.6 - відведення мезги з обжарочного апарату у форпрес, 1.7 - відведення олії з форпресу у фільтрпрес, 1.8 - відведення форпресової макухи, 1.9 - відведення осаду, 1.10 - відведення профільтрованої олії з форпресу в експозитор, 1.11 - відведення воскових речовин, 1.12 - олія, 2.0 - хладагент, 3.0 - кондиційоване повітря після випарника, 3.1 - відпрацьоване повітря, 3.2 - очищене повітря, 4.0 - перегріта пара, 4.1 - відпрацьована перегріта пара, 5.0 - конденсат воскових речовин, які відводять по лінії 1.11, 1.12 - виведення готової олії

Парокомпресійний тепловий насос, що включає компресор 10, конденсатор 11, терморегулюючий вентиль 14 і дві секції випарника 12 і 13, одну з яких використовують для виморожування в камері експозиторів 7, а іншу для підготовки перегрітої пари, працює за наступним термодинамічним циклом. Холодоагент всмоктується компресором 10, стискається до тиску конденсації і по лінії 2.0 направляється у секцію випарника 13. Конденсуючись, хладагент віддає теплоту відпрацьованій після сушіння перегрітій парі, яка перегрівается до заданої температури і вентилятором 15 і подається в камеру сушарки 1. Потім холодоагент спрямовується в терморегулюючий вентиль 14, де дроселюється до заданого тиску. З цим тиском холодоагент надходить в секції випарника 12, 13, де він випаровується з виділенням холоду. При цьому секція випарника 13 встановлена в експозиторі 7 і служить для охолодження олії, а секція 12 служить для кондиціонування повітря при якому волога, що в ньому міститься конденсується у вигляді крапельної рідини або тумана і відводиться у збірник конденсату 17. Пари холодоагенту після секції випарника 12, 13 по лінії 2.0 знову спрямовуються в компресор 10, стискаються до тиску конденсації і термодинамічний цикл повторюється.

Пропонована лінія виробництва рослинної олії дозволяє: підвищити енергетичну ефективність виробництва рослинних олій; отримувати рослинну олію, що володіє високою якістю; створити безвідходну і екологічно чисту технологію отримання рослинних олій; знизити енерговитрати і собівартість.

3.7 Лінія виробництва рослинної олії з використанням пароежекторної холодильної машини

Запропоновано лінію виробництва рослинної олії з використанням пароежекторної холодильної машини, яка працює в такий спосіб (рис. 3.8). Вихідні олійні культури з початковою вологістю 17,5% спочатку по лінії 1.1 подають в сушарку 1, де вологість знижується до 8%, і виводяться з неї по

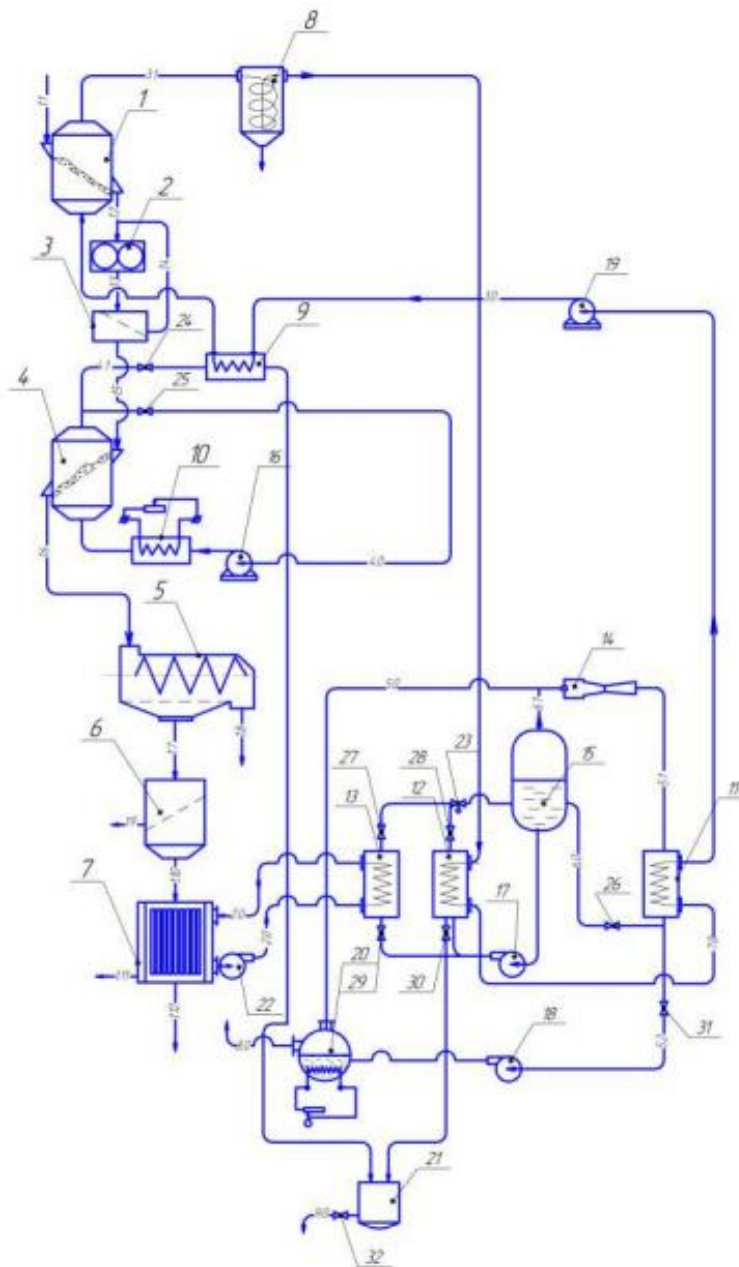


Рисунок 3.8 - Лінія виробництва рослинної олії: 1 - сушарка, 2 - вальцьовий верстат, 3 - сепарувальна машина, 4 - обжарочний апарат, 5 - форпрес, 6 - фільтрпрес, 7 - експозитор з сорочкою, 8 - циклон, 9 - теплообмінник-рекуператор, 10 - електропароперегрівач, 16, 19 - вентилятори, 20 - парогенератор, 21 - збірник конденсату, 17, 18, 22 - насос, 11 - конденсатор, 12, 13 - двосекційний холодоприємник, 14 - ежектор, 15 - випарник, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32 - клапани, 26 - терморегулюючий вентиль, лінії: 1.1 - подача вихідних олійних культур в сушарку, 1.2 - відведення підсушених олійних культур з сушарки на вальцевий верстат, 1.3 - відведення подрібнених олійних культур з вальцевого верстата у сепарувальну машину, 1.4 - відведення сходу з

сепарувальної машини на доподрібнення, 1.5 - відведення мезги в обжарочний апарат, 1.6 - відведення мезги з обжарочного апарату у форпрес, 1.7 - відведення олії з форпресу на фільтрпрес, 1.8 - відведення форпресової макухи, 1.9 - відведення осаду, 1.10 - відведення профільтрованої олії з форпреса в експозитор з сорочкою, 1.11 - відведення воскових речовин, 1.12 - олія, 2.0 - вода, 3.0 - кондиційоване повітря після випарника, 3.1 - відпрацьоване повітря, 3.2 - очищене повітря, 4.0 - контур рециркуляції перегрітої пари, 4.1 - лінія відведення зайвої частини перегрітої пари в кількості, що випаровується з продукту вологи в рекуперативний теплообмінник з відведенням конденсату в збірник конденсату, 5.0 - робоча пара, 5.1 - суміш робочих парів з ежектованою парою, 5.2 - відведення зайвої частини конденсату в парогенератор, 6.0 - лінія подачі конденсату на поповнення рівня води у випарник, 6.1 - ежектована пара, 7.0 - відпрацьований сушильний агент, 8.0 - лінія скидання води, 9.0 - конденсат.

лінії 1.2 на вальцьовий верстат 2 для подрібнення олійних культур до розміру 1 мм, після чого по лінії 1.3 продукт подають на сепарувальну машину 3, де сход по лінії 1.4 направляють на доподрібнення на пальцевий верстат 2, а подрібнені олійні культури по лінії 1.5 направляють на прожарювання в обжарочний апарат 4 до вологості 2%. З обжарочного апарату 4 мезгу, що утворилася по лінії 1.6 подають на форпрес 5, олію по лінії 1.7 з форпреса 5 направляють на фільтрацію у фільтрпрес 6. По лінії 1.8 відводять форпресову макуху на екстракцію, по лінії 1.9 відводять осад на подальшу обробку, а профільтровану олію по лінії 1.10 з фільтрпреса 6 направляють в експозитор з сорочкою 7 для виморожування воскових речовин, які відводять по лінії 1.11, а готову олію виводять по лінії 1.12. Процес сушіння олійних культур в сушарці 1 здійснюють кондиціонованим повітрям, яке підігрівають в теплообміннику-рекуператорі 9, при цьому відпрацьоване повітря після сушіння в лінії 3.1 піддається очищенню від зважених часток в циклоні 8 з подальшим охолодженням і осушенням у випарнику 15 пароежекторної холодильної машини, що включає двосекційний холодоприймач, одна секція 13 з яких працює на підготовку холодної води перед подачею в сорочку експозиторів 7, а друга секція 12 - для конденсації вологи з відпрацьованого повітря у вигляді туману або крапельної рідини з подальшим відведенням утвореного конденсату у збірник 21. Перегріту пару після електропароперегрівача 10 теплового насоса подають на обсмажування в обжарочний апарат 4 при цьому частина відпрацьованої перегрітої пари в кількості, що відповідає кількості випареної з продукту вологи подають по лінії 4.1 у теплообмінник-рекуператор 9 для нагрівання утвореного повітря. При цьому конденсат відводять в збірник конденсату 21, а другу частину відпрацьованої пари відводять по лінії 4.0 в електропароперегрівач 10, де її перегрівають і знову подають на обсмажування 4 в режимі замкненого циклу. Робочу пару по лінії 5.0 з парогенератора 20 подають в ежектор 14. Ежектована пара по лінії 6.1 з випарника 15 створює в ньому розрідження з температурою кипіння води 5 ... 7 ° С, яка використовується в якості

хладагента; суміш робочої і ежектованої по лінії 5.1 пари подають в конденсатор 11, де кінетична енергія потоку суміші в ежекторі перетворюється в теплову енергію; частина конденсованої пари з конденсатора 11 через терморегулюючий вентиль 26 відводять на поповнення убытку води по лінії 6.0 увипарник 15, а іншу частину за допомогою насоса 18 подають у парогенератор 20. Відпрацьований сушильний агент з температурою 60 ... 70 °С необхідно чистити в циклоні 8 і подавати в одну із секцій холодоприймача 12, де він охолоджується до температури точки «роси» і осушується з подальшою подачею спочатку в конденсатор 11 пароежекторної машини, де агент нагрівається до температури 70 °С, а потім йде в теплообмінник-рекуператор 9, в якому доводиться до температури 85 ... 90 ° С. Далі він подається в сушарку 1 в режимі замкненого циклу; процес обсмажування здійснюють в обжарочному апараті 4 перегрітою парою, в контурі рекуперації якого встановлений електропароперегрівник 10. Зайву частину відпрацьованої перегрітої пари в кількості вологи, що випарувалася з продукту відводять по лінії 4.1 з контуру реціркуляції в теплообмінник-рекуператор 9 для підігріву повітря, що подається на сушку в сушарку 1. Утворений конденсат з теплообмінника-рекуператора 9 разом з конденсатом у вигляді крапельної рідини в секції холодоприймача 12 при охолодженні відпрацьованого сушильного агента відводять в збірник конденсату 21. Процес охолодження продукту в експозиторі з сорочкою 7 здійснюють водою, охолодженою в секції холодоприймача 13 з подачею охолодженої води по лінії 2.0 в сорочку експозиторів 7 з поверненням по лінії 2.0 в секцію холодоприймача 13 в режимі замкненого циклу.

Пропонована лінія виробництва рослинної олії дозволяє: підвищити енергетичну ефективність виробництва рослинних олій; отримати продукт високої якості; створити безвідходну і екологічно чисту технологію отримання рослинних олій; знизити енерговитрати і собівартість.

3.8 Лінія гідротермічної обробки насіння олійних культур

Пропонована лінія гідротермічної обробки насіння олійних культур [121] працює наступним чином (рис. 3.9). Вихідна сировина (зерно соняшника, ядра арахісу, фісташки і т. д.) надходить на ситової сепаратор 1, де відбувається поділ вихідної сировини за розміром, а також видалення феромагнітних домішок, далі розділена на фракції сировина направляється в бункери 2. За допомогою роторних дозаторів 3, сировина через завантажувальний отвір 4 надходить на мийку в пристрій для миття та термовологісної обробки 5. Далі вмикається електродвигун 10, за допомогою якого здійснюється привод вала

Одночасно з вмиканням приводу починається подача води в бункер 6 через розташовані на його зовнішній поверхні форсунки 11. Сировина починає рух вниз по спіралеподібній стрічці 7, при цьому воно починає здійснювати безперервні неупорядковані обертальні рухи за рахунок овальних виступів 8, розташованих на стрічці 7. Далі вмикається електродвигун 15, за допомогою якого приводяться в обертання шнеки 12 і 13. Промита вихідна сировина разом з потоком води надходить у відсік, де розташований шнек 12, при цьому відбувається відділення води від вихідної сировини. Вода зливається через конфузур і подається у фільтр 18, а потім за допомогою насоса 17 по трубопроводу подається до форсунок 11. Таким чином, процес миття вихідної сировини виявляється циклічно-замкненим, що дозволяє економити воду. Далі вихідна сировина шнеком 12 подається в камеру обсмаження 19, де вона обсмажується насиченою перегрітою водяною парою, що надходить з парогенератора 21 за допомогою вентилятора 20. За допомогою шнека 13 відбувається постійне перегрівання сировини, при цьому збільшується ступінь її обсмажування. Вся волога, яка випаровується з поверхні сировини, виходить з секції обсмаження 19 у вигляді пари і прямує у форсунки 11. Обсмажена сировина при температурі 80 ... 120 ° С надходить через завантажувальну лійку на транспортерну стрічку вакуумного апарату 23 для охолодження.

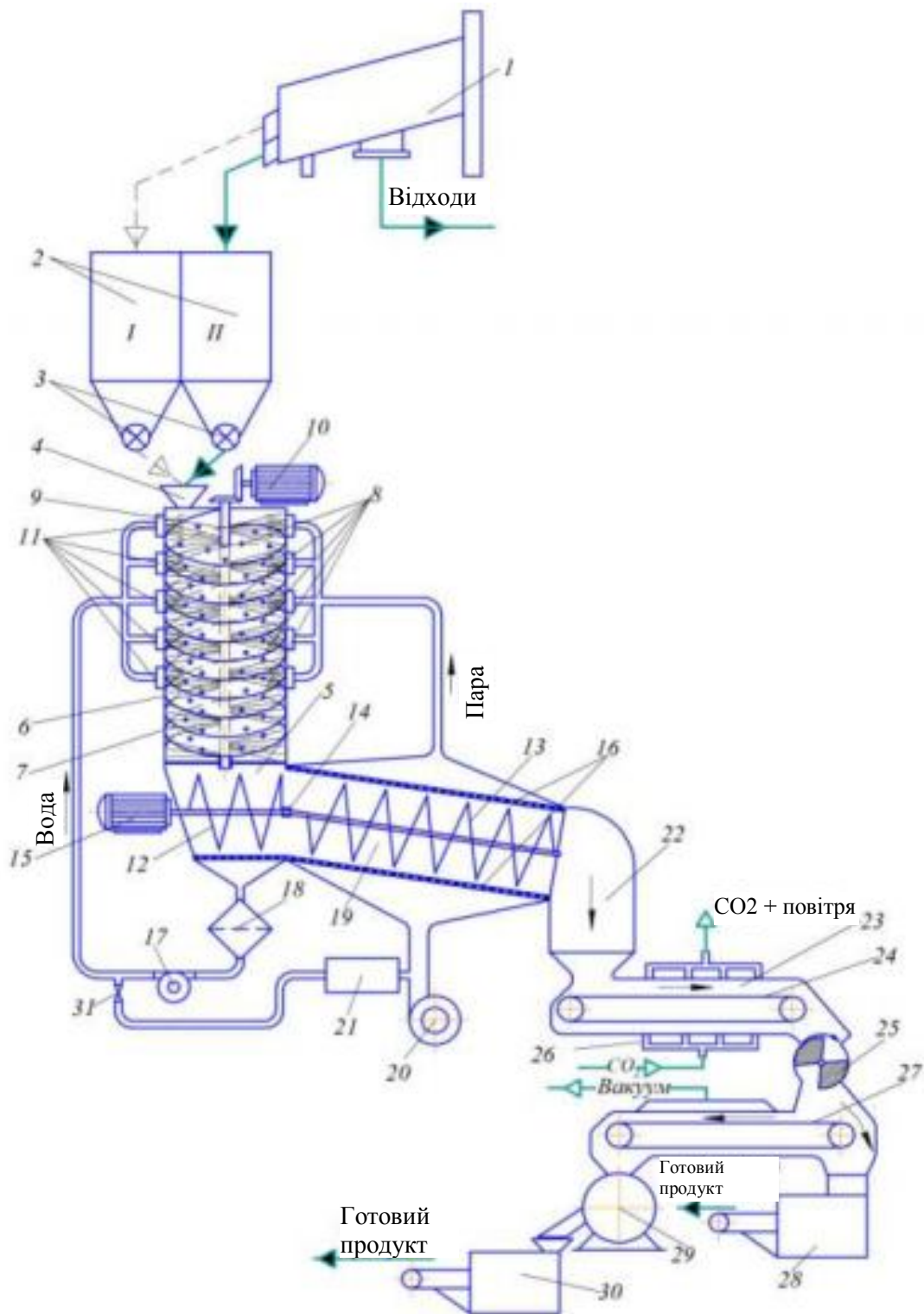


Рисунок 3.9 - Лінія гідротермічної обробки насіння олійних культур: 1 - ситовий сепаратор, 2 - бункер, 3 - роторний дозатор, 4 - завантажувальний отвір, 5 - пристрій для миття та термовологісної обробки, 6 - бункер, 7 - спиралеподібна стрічка, 8 - овальний виступ, 9 щітка, 10, 15 - електродвигун, 11 - форсунки, 12, 13 - шнек, 16 - сито, 17 - насос, 18 - фільтр, 19 - камера обсмаження, 20 - вентилятор, 21 - парогенератор, 23 - вакуумний апарат, 24, 27 - транспортер, 25 - роторний дозатор, 29 - дражировочний апарат, 28, 30 - вакуум-пакувальний автомат зі щіткою 9

При цьому починається подача вуглекислого газу по трубопроводу 26. Розподіляючись по транспортеру 24, сировина обдувається вуглекислим газом, при цьому відбувається її охолодження і одночасно насичення вуглекислим газом. Вуглекислий газ в модифікованій атмосфері використовується для заміщення кисню, він активно перешкоджає розвитку аеробних бактерій, що викликають гноїння. В результаті цього на 2-3 місяці подовжуються терміни зберігання сировини і максимально зберігаються її смакові і харчові якості.

З нижньої секції апарату 23 відбувається відкачування повітря, за рахунок чого створюється вакуум. Роторний дозатор 25 починає обертатися за годинниковою стрілкою, подаючи сировину на транспортер 27. Обертання за годинниковою стрілкою, здійснюється для того, щоб сировина потрапляла на транспортер 27. Якщо сировина більше не вимагає ніякої обробки, то стрічка транспортера 27 обертається за годинниковою стрілкою, і сировина надходить в вакуум-пакувальний автомат 28. Якщо ж потрібно нанесення жировітамінних добавок, то стрічка транспортера 27 обертається проти годинникової стрілки і сировина надходить в дражирувальний 29, а потім з нього у вакуум-пакувальний автомат 30.

Таким чином, запропонована лінія дозволить: підвищити технологічні можливості обладнання для виробництва снєків; підібрати найбільш раціональні режими для переробки сировини без погіршення її якості; збільшити термін зберігання продукції, а також зберегти смакові та харчові якості за рахунок використання вуглекислого газу на стадії охолодження, і при упаковці.

3.9 Лінія з виробництва рослинних олій попередньою екструзійною обробкою сировини

Нами пропонується лінія виробництва рослинних олій з попередньою котельною екструзійною обробкою сировини (рис. 3.10). Лінія виробництва рослинних олій з попередньою екструзійною обробкою сировини містить:

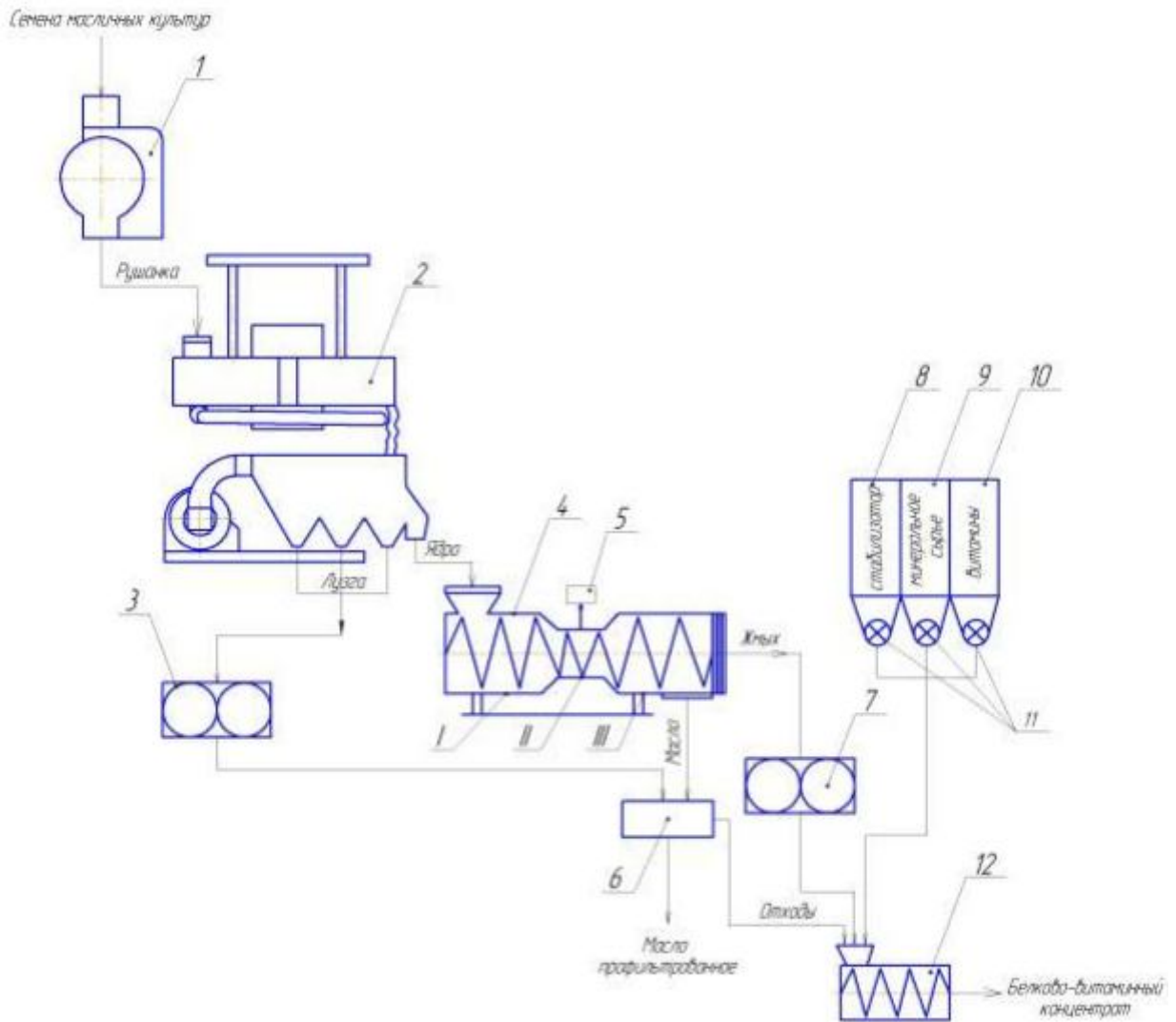


Рисунок 3.10 - Лінія виробництва рослинних олій з попередньою екструзійною обробкою сировини: 1 - обрушувальна машина; 2 - насінневійки; 3 - вальцьовий верстат, 4 - екструдер-прес, що складається з секції I попередньої екструзійної обробки сировини і секції II для відводу парів, 5 - вакуум-насос, 6 - фільтр; 7 - дробарка, 8 - бункер для зберігання стабілізаторів, 9 - бункер для зберігання мінеральної сировини, 10 - бункер для зберігання вітамінів, 11 - роторні дозатори, 12 – змішувач

обрушувальну машину 1; насінневійки 2; вальцьовий верстат 3, екструдер-олійний 4, що складається з секції I попередньої котельної екструзійної обробки сировини, секції II призначену для відведення парів за допомогою вакуум-насоса 5 і транспортування мезги в секцію III віджиму олії, фільтр 6; дробарка 7, бункер для зберігання стабілізаторів 8 з встановленими в його

нижній частині роторними дозаторами 11, бункер для зберігання мінеральної сировини 9 з встановленими в його нижній частині роторними дозаторами 11, бункер для зберігання вітамінів 10 з встановленими в його нижній частині роторними дозаторами 11, змішувач 12.

Лінія виробництва рослинних олій з попередньою екструзійною обробкою сировини працює таким чином. Вихідна сировина з початковою вологістю 6,5 ... 7% надходить в обрушувач 1, де відбувається руйнування і відокремлення оболонки від ядра, далі рушанка надходить на насіннєвійки 2, де відбувається її поділ на ядро і лузгу. Остання надходить на вальцевий верстат 3, де відбувається її подрібнення до певного гранулометричного складу і далі направляється у фільтр 6, а ядро прямує в екструдер-олійний 4, що складається з секції I попередньої котельної екструзійної обробки сировини, де сировина стискається при високому тиску 7 - 8 МПа, нагрівається до температури 105 °С. У секції II волога переходить в пароподібний стан. При цьому відбір парів відбувається за допомогою вакуум-насоса 5 з виділенням значної кількості енергії. Наявність вакууму дозволяє інтенсифікувати процес екструдювання, що призводить до вибуху і спучування продукту. Далі продукт надходить в секцію III віджиму олії, де відбувається вилучення олії, яка витікає через зазори в зернової камері. Після цього не фільтровану олію змішують з подрібненим лушпинням і пропускають через фільтр. Макуху, отриману з екструдера-преса 4 направляють у дробарку 7 і далі в змішувач 12. Відходи з фільтра, також надходять в змішувач 12 та бункер для зберігання стабілізаторів 8 з встановленими в його нижній частині роторними дозаторами 11. Бункер для зберігання преміксів 9 з встановленими в його нижній частині роторними дозаторами 11 та бункер для зберігання вітамінів з встановленими в його нижній частині роторними дозаторами 11 подають компоненти в певному співвідношенні за заздалегідь розробленою рецептурою в змішувач, де отримують білково-вітамінно-мінеральний концентрат, який направляють на упаковку.

В процесі екструзії розкривається клітинна структура ядра і відбувається вологотеплова обробка мезгі.

Пропонована лінія виробництва рослинних олій з попереднім екструдуванням сировини дозволить: збільшити ступінь очищення рослинних олій, збільшити вихід готового продукту, збільшити якість готової олії, зменшити кількість обладнання і виробничі площі за рахунок використання екструдера-преса, створити безвідходну і екологічно чисту технологію отримання рослинних олій, розширити номенклатуру олій, що випускаються за рахунок випуску білково-вітамінних концентратів.

ВИСНОВКИ

1. Досліджено фізико-механічні, хімічні, теплофізичні, структурно-механічні та реологічні властивості насіння олійних культур; визначені раціональні технологічні режими процесу, що дозволяють досягти оптимального співвідношення питомої продуктивності і якості одержуваних рослинних олій.

2. Запропоновано науково-практичні підходи до енергозбереження в процесах сушіння, екструзії і пресування насіння олійних культур з можливістю пошуку найкращого варіанту між якістю готового продукту і питомими енергетичними затратами.

4. Вивчено основні кінетичні закономірності в процесах сушіння, екструзії і пресування олійної сировини (вплив початкової вологості, температури, тиску та інших на характер протікання досліджуваного процесу і якості отриманих рослинних олій) і розробка на цій основі стратегії створення і реалізації нових способів виробництва сумішей рослинних масел. Встановлено кінетичні та гідродинамічні закономірності процесу сушіння насіння олійних культур в коливальних режимах за схемами симетричної і несиметричної осциляції в наступних інтервалах режимних параметрів: витрати сушильного агента - 45 ... 55 м³ / год; висота шару насіння льону - 0,1 ... 0,2 м; вологовміст сушильного агента - 3,0 ... 5,5 г / кг; тривалість циклів нагріву 8 ... 12 хв, циклів охолодження - 4 ... 10 хв; $T_{с.а}$ в циклах нагрівання до 323 ... 353 К; в циклах охолодження 278 ... 288 К, швидкість сушильного агента в циклах нагрівання 1,0 ... 1,2 м / с і 0,5 ... 0,6 м / с в циклах охолодження. Визначено раціональні технологічні режими процесу екструдкування, що дозволяють досягти оптимального співвідношення питомої продуктивності і якості готового продукту. Визначено раціональні режими динамічного формування розплаву екструдата: початкова вологість сировини – 12 - 14%, температура продукту в предматрічній зоні - 383 ... 393 К, кутова швидкість обертання шнека - 5,12 ... 8,50 с⁻¹; тиск продукту в

предматрічної зоні екструдера до 4 МПа. Найбільш раціональні параметри процесу пресування наступні: кільцевої зазор зерної камери для льону - 0,6 ... 1,0 мм; для ріпаку 0,4 ... 0,7 мм; для рижію 0,5 ... 0,8 мм; для сафлору 0,9 ... 1,3 мм; оптимальна частота обертання шнека 5 ... 7 с⁻¹, при цьому температура становить 323 ... 331 К і продуктивність є при даних параметрах максимальною.

5. Запропоновано наукові концепції моделювання високоефективних технологій комплексної переробки насіння олійних культур як системи взаємопов'язаних процесів з відповідним апаратурним оформленням і створення математичних моделей тепло- і масообміну нестационарних процесів сушки, екструзії і пресування, що дозволяє отримати відхилення значень між розрахунковими і експериментальними значеннями 10, 12, 14% відповідно.

6. Розроблено нові конструктивні рішення обладнання сушарок, екструдерів, маслопресів, що підвищують ефективність технологічних процесів комплексної переробки насіння олійних культур.

7. Визначено основні показники якості одержуваних сумішей рослинних масел (перекисне і кислотне число), досліджена антиоксидантна активність масел, визначені показники заломлення масел, досліджені органолептичні характеристики, визначено вміст шкідливих речовин в композиціях масел.

8. Розроблено ресурсозберігаюча технологія комплексної переробки насіння олійних культур одноразовим пресуванням з попередньою екструзійною обробкою.

9. ККД для технологічних систем: технології осцилюючого сушіння насіння олійних культур з циклічним введенням антиоксиданту, виробництва рослинних олій попередньою екструзійною обробкою сировини, комплексної двоступеневої переробки олійних культур склав 9,2%, 9,43% і 10,18% відповідно, що свідчать про термодинамічну досконалість запропонованих технологічних рішень для отримання рослинних олій.

10. Розроблено високоефективні способи сушіння, енерго- і ресурсозберігаючі технології та способи отримання рослинних олій. Розширено можливості теплонасосних технологій у виробництві рослинних олій. Запропоновано лінії і способи з виробництва кормів і біопрепаратів на основі відходів олійно-жирової промисловості.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Цуркан О.В. Інтенсифікація сушіння зерна у процесі його післязбиральної обробки / О.В. Цуркан, Пришляк В.М. Присяжнюк Д.В. // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». - №2 (97), 2017. – С.99-103.
2. Бандура В.М. Сушіння насіння соняшнику в електромагнітному полі / В.М. Бандура, О.І. Маренченко, Є.О. Пилипенко // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» №2 (98), 2017. – С.63-68.
3. Алферников О.Ю., Касьянов, Г. И., Латин, Н. Н. Пищевые текстураты [Текст] (монография). – Краснодар: Экоинвест, 2007. – 143 с.
4. Зозуляк О.В. Розробка системи керування процесом сушіння сипкої сировини у конвективно – фільтраційній вібровідцентровій машині./ О.В. Зозуляк, О.Ю. Лапа // Міжнародна науково-технічна конференція «Вібрації в техніці та технологіях в переробних і харчових виробництвах». Тези доповідей – Вінниця, 2013. – С. 9-10.
5. Алферников О.Ю., Касьянов Г.И. Усовершенствованная технология получения текстурированных пищевых продуктов [Текст] // Известия вузов. Пищевая технология. – 2010. – № 3. – С. 112 - 113.
6. Паламарчук В.І., Бандура В.М., Цуркан О.В. Экспериментальное исследование технологических параметров процесса инфракрасной сушки движущегося шара сырья масличных культур MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2015. Vol. 17, №4. 211-214.
7. Бандура В., Цуркан О., Паламарчук В. Экспериментальное исследование технологических параметров процесса инфракрасной сушки движущегося шара сырья масличных культур/ В. Бандура, О. Цуркан, Паламарчук В. // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 17, No 4, 2015 – p. 211-215.

8. Паламарчук И. П. Разработка системы управления процессом сушки сыпучего сырья в конвективно-фильтрационной виброцентробежной машине /И. П. Паламарчук, О. В. Зозуляк, О. А. Герасимов// Polish Academy of Sciences University of Engineering and Economics in Rzeszow MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2013. Vol.15. № 4. 212-219.

9. Алексанян И. Ю. Совершенствование тепломассообменных процессов при конвективной сушке растительного сырья в диспергированном состоянии [Текст]/ И. Ю. Алексанян, А. Ю. Максименко, Ю. С. Феклунова // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2014. – № 3. – С. 48-53.

10. Bandura V. Description of heat exchange in the similarity theory of vibrating drying process of sunflower / V. Bandura, I. Zozuliak, V. Palamarchuk. – Ukrainian Journal of Food Science, 2014. Vol. 2. Issue 2. 305-311.

11. Алексанян И. Ю. Развитие научных основ процессов высокоинтенсивной сушіння продуктов животного и растительного происхождения [Текст]: дисс. докт. техн. наук: 05.18.12: / И. Ю. Алексанян // Астрахань, 2001. – 266 с.

12. Зозуляк І.А. Обґрунтування конструкції вібростанини для сушіння гранульованих і зернистих матеріалів/І.А. Зозуляк// Східно-європейський журнал передових технологій ISSN 1729-3774. - 2014.-№1/7(67)-С.15-19

13. Алымов В. Т. Определение давления на жидкость со стороны деформируемых пор прессуемой мезги в ходе отжима в шнековых прессах [Текст] / В.Т. Алымов, В. В. Белобородов // Труды ВНИИЖа. Вып. XXVII. - Л., 1970. - С. 90-98.

14. Burdo O. Using of the wave technologies in intensification processes of heat and mass transfer / O. Burdo, V. Bandura, A. Zykov, I. Zozulyak, J. Levtrinskaya, E. Marenchenko // EUREKA: Physics and Engineering. – 2017. – № 4. – С. 18–24.

15. Антипов С.Т. Машины и аппараты пищевых производств. В 3 кн.: Учеб. для вузов / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков и др.; Под ред. акад. РАСХН В.А. Панфилова. – М.: Колос. - С. – 2009.

16. Пазюк В.М. Особенности сушки термолабильных материалов. /Ю.Ф. Снежкин, Ж.А. Петрова, В.М. Пазюк // III международная научно-техническая конференция «нестационарные, энерго- и ресурсосберегающие процессы и оборудование в химической, нано- и биотехнологии» (НЭРПО-2013) Материалы конференции (тезисы докладов и аннотации) г. Москва - 2013 С.15-20.

17. Снежкин Ю.Ф. О теплоте испарения функционального сырья. /Ю.Ф. Снежкин, Ж.А. Петрова, В.М. Пазюк, Л.В. Декуша // III международная научно-техническая конференция «нестационарные, энерго- и ресурсосберегающие процессы и оборудование в химической, нано- и биотехнологии» (НЭРПО-2013) Материалы конференции (тезисы докладов и аннотации) г. Москва -2013 С.167-170.

18. Атаназевич В. И. Сушка зерна [Текст] / В. И. Атаназевич – М.: ДеЛи принт, 2007. – 479 с.

19. Анферов С. Д. Моделирование жидкостной фильтрации через пластически деформируемую пористую среду в процессе экструзионного отжима [Текст] / С. Д. Анферов, О. И. Скульский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. - 2014. - №2. - С. 29 - 47.

20. Zavyalov V., Palamarchuk I., Tzurkan O., Gurich A. Vibromechanical intensification of heat exchange processes in the dryers of drum type. 8th Central European Congress on Food - Food Science for Well-being(CEFood 2016)^ Book of Abstracts. – 23-26 May. - К.: NUFT, 2016. – p. 84.

21. Арутюнян Н. С. Рафинация масел и жиров: Теоретические основы, практика, оборудование [Текст] / Н. С. Арутюнян, Е. П. Корнена, Е. А. Нестерова. – СПб. : ГИОРД, 2004. – 288 с.

22. Паламарчук І.П. Тепломасообмінні процеси та обладнання переробного та харчового виробництва. Том 2 Навчальний посібник/ І.П. Паламарчук, П.С. Берник, З.А. Стецько, В.В Яськов, І.А.Зозуляк // Львів: Видавництво „Бескид Біт”, 2006. – 368 с.

23. Берник П. С. Вібраційні лоткові сушарки / П. С. Берник, П. Д. Денісов, И. А. Зозуляк // Вибрации в технике и технологиях : Всеукраин. НТЖ. – Вінниця, 2000. – № 1 (13). – С. 32–33.

24. Афанасьев В. А. Теория и практика специальной обработки зерновых компонентов в технологии комбикормов [Текст] / В. А. Афанасьев. – Воронеж: ВГУ, 2002. - 296 с.

25. Барташевич Н. А. Интенсификация маслоизвлечения прессованием дальневосточных сортов семян сои : дис.... канд. техн. наук / Барташевич Н. А. – Владивосток : – 2006. – 143 с.

26. Батурин А. К. Химический состав и энергетическая ценность пищевых продуктов: справочник МакКанса и Уиддоусона / пер. с англ. под общ. ред. А.К. Батурина. – СПб. : Профессия, 2006. – 416 с.

27. Паламарчук І.П. Дослідження швидкісних характеристик вібраційно-осмотичного процесу зневоложення / І.П. Паламарчук, О.В.Зозуляк, О.О.Герасімов, І.А. Зозуляк // Збірник наукових праць Полтавського національно технічного університету ім. Юрія Кондратюка . – 2012. – №2(32) Том 1. – С.200-207.

28. Богословский С. В. Физические свойства газов и жидкостей [Текст] / С. В. Богословский. – СПб. : СПбГУАП, 2001. – 73 с.

29. Зозуляк І.А. Розробка енергоощадних вібросушарок з u-видним контейнером для сушіння соняшника / І.А. Зозуляк, В.С. Шиговський// Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Земля України – потенціал продовольчої, енергетичної та екологічної безпеки держави» - Вінниця, 2014. – С.147-176.

30. Бритиков Д.А. Разработка ресурсосберегающих процессов сушки зерна злаковых и масленичных культур с использованием теплонаносных

технологий [Текст]: дисс. докт. техн. наук: 05.18.12 / Д.А. Бритиков // Воронеж, 2013. – 332 с.

31. Бродянский В. М. Эксергетический анализ и его приложения [Текст] / В. М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.

32. Паламарчук І.П. Визначення енергетичних та кінематичних параметрів процесу вібраційного конвективно-фільтраційного зневоложення за допомогою мікроконтролера та комп'ютера / І.П. Паламарчук, О.В. Зозуляк, О.О. Герасімов// Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Технічні науки. Випуск 12(75)- м. Вінниця, 2013. –С.120-128.

33. Бурбелло А. Т. Омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты. Фармакология. Клиническое применение [Текст] / А. Т. Бурбелло. – СПб. : СПбГМА им. И. И. Мечникова, 2005. – 304 с.

34. Бандура В.М. Розробка конструктивно-технологічних заходів для підвищення ефективності інфрачервоного сушіння енергонасиченої рослинної сировини. / В.М. Бандура, В.І. Паламарчук // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Земля України – потенціал продовольчої, енергетичної та екологічної безпеки держави» - Вінниця, 2014. – С.148-150

35. Бырдин А. П. Анализ одной модели процессов обмена в движущихся фазах дисперсной системы [Текст] / А. П. Бырдин, А. А. Надеев, А. А. Сидоренко // Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых. – 2013. – Т. 1. – № 1. – С. 68 - 71.

36. Бандура В.М. Інтенсифікування процесів екстрагування олії із сої та ріпаку./ В.М. Бандура, Л.М. Коляновська // Міжнародна науково-технічна конференція «Вібрації в техніці та технологіях в переробних і харчових виробництвах». Тези доповідей – Вінниця, 2013. – С. 15.

37. Василенко В. Н. Разработка экструзионного оборудования нового поколения для комбикормов [Текст] / В. Н. Василенко // Вестник машиностроения– 2009. – № 9. – С. 77-78.

38. Берник І.М. Інтенсифікація процесу екстрагування рослинної сировини з використанням ультразвукової кавітації // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» №2 (98), 2017. – С.69-73.

39. Василенко В. Н. Разработка теоретических и технологических основ комплексной переработки масличного сырья [Текст] : монография /В. Н. Василенко, Л. Н. Фролова, И. В. Драган. – Воронеж. гос. ун-т инж. тех. – Воронеж. : ВГУИТ, 2014. - 148 с.

40. Берник І.М. Фізична модель екстрагування рослинного матеріалу / І.М. Берник, О.Ф. Луговський //Матеріали XVIII міжнародної науково-технічної конференції «Гідромеханіка в інженерній практиці» - Київ, 2013. – С. 59 – 61.

41. Бандура В.М. Удосконалення процесу екстрагування олієвмісної олії/ В.М. Бандура, В.О. Подолянчук// «Перспективи розвитку сільськогосподарської техніки»: матеріали VII щорічної науково-технічної студентської конференції ФМСГ. – Вінниця, 2014р. – С.65-69.

42. Бандура В.М. Екстрагування макухи для видобування олії. / В.М. Бандура, О.В. Грицик // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Земля України – потенціал продовольчої, енергетичної та екологічної безпеки держави» - Вінниця, 2014. – С. 143-147.