

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**САВЧУК ВАДИМ РОМАНОВИЧ**

**УДК 664.3**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ  
ВИРОБНИЦТВА РОСЛИННИХ ОЛІЙ З ОБҐРУНТУВАННЯМ  
КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ  
ШНЕКОВОГО ЕКСТРУДЕРА**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ Савчук В.Р.

**Керівник роботи**

Куликівський В.Л.

кандидат технічних наук, доцент

**Житомир – 2024**

## АНОТАЦІЯ

**Савчук Вадим Романович. Удосконалення технологічного процесу виробництва рослинних олій з обґрунтуванням конструктивно-технологічних параметрів шнекового екструдера. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.**

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

В кваліфікаційній роботі встановлено, що процес виробництва рослинних олій є складним та багатоступеневим, включаючи підготовку сировини, видобування олії, очищення та контроль якості. Кожен етап має велике значення для отримання кінцевого продукту високої якості. Розвиток технологій видобування та очищення олій сприяє підвищенню їх якості та розширенню сфери застосування.

В кваліфікаційній роботі здійснено огляд існуючих конструкції екструдерів та проведено патентний пошук. Розглянуто різні види екструдерів, а також принцип їх дії. Вибрано прототип для удосконалення та обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів шнекового екструдера.

У відповідності до заданих вихідних даних проведено інженерний розрахунок шнека, корпусу, приводу змішувача та представлено складальне креслення шнекового екструдера.

*Ключові слова: екструдер, технологічний процес, олія, виробництва, шнек.*

## ANNOTATION

*Savchuk Vadym Romanovych. Improvement of the technological process of vegetable oils production with substantiation of design and technological parameters of the screw extruder. – Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

The qualification work found that the process of vegetable oil production is complex and multi-stage, including the preparation of raw materials, oil extraction, purification and quality control. Each stage is of great importance for obtaining a high quality final product. The development of oil extraction and refining technologies helps to improve their quality and expand the scope of application.

In the qualification work, a review of existing extruder designs was carried out and a patent search was conducted. Different types of extruders and their operating principles are considered. A prototype was selected to improve and justify the design and technological parameters of the screw extruder.

In accordance with the given initial data, the engineering calculation of the screw, housing, mixer drive is carried out and the assembly drawing of the screw extruder is presented.

*Keywords: extruder, technological process, oil, production, screw.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ПРОЦЕС ВИРОБНИЦТВА РОСЛИННИХ ОЛІЙ.....	9
РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ШНЕКОВИХ ЕКСТРУДЕРІВ.....	14
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК І ОПИС КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ЧАСТИНИ.....	27
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	46

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** У споживанні рослинних олій у нашій країні та сусідніх країнах переважає соняшникова олія, яку населення використовує як один з основних продуктів харчування, а також виступає як сировину для отримання маргаринової продукції.

Олійно-жирова промисловість також виробляє майонез, гліцерин, мило та мийні засоби на жировій основі, оліфи та деякі інші продукти, що використовують як сировину рослинні олії.

Слід зазначити, що 90% населення віддають перевагу саме соняшниковій олії. Ще за радянських часів більшість людей звикли до нерафінованої олії жовтого, майже помаранчевого відтінку із запахом смаженого насіння. Цю традицію підтримує й український ДСТУ, який серйозно відрізняється від світового стандарту: два найважливіші показники – кислотне і перекисне число - в Україні вищі в кілька разів. Нині жителі великих міст вважають за краще купувати рафіновану олію, яка не має ні смаку, ні запаху.

Решта видів рослинних олій – кукурудзяна, рапсова, оливкова – часто взагалі відсутні в раціоні сімей. Знаючи про корисні властивості оливкової олії, вони не в змозі її купити (оливкова олія в середньому в 7-10 разів дорожча за соняшкову). Останніми роками споживач став звикати до змішаних олій, тобто сумішей соєвої, ріпакової та соняшnikової. Приблизно 15% бутильованої олії в споживанні займають саме ці рослинні олії. На підставі вище сказаного можна зробити висновок, що є необхідність у розробці нових машин - менш металомістких і більш продуктивних, які забезпечать одержання рослинних олій більш високої якості, орієнтованих на екструзійно-пресовий спосіб одержання рослинних олій.

Рослинні олії - найважливіші харчові продукти. Їхня поживна цінність визначається високим вмістом тригліцеридів вищих жирових кислот, фосфатидів, стеринів, токоферолів.

Витяжка олії з рослинної сировини здійснюється в даний час двома засобами: пресуванням і екстракцією.

Пресування являє собою механічне видавлювання олії на шнекових пресах. Пресування може бути одноразове і дворазове - з попередніх і остаточним видавлюванням олії.

Метод екстракції, заснований на розчиненні олії в органічних розчинниках, використовується для прямої екстракції та для екстракції з одноразовим попереднім видавлюванням олії на шнекових пресах. Останній є найбільш поширеним, економічним, дає змогу отримувати високу якість олії та знежиреного залишку – шроту.

Найбільш прогресивним методом, на сьогоднішній день вважається екструзійно-пресовий спосіб переробки олійних культур.

За звичайної технології отримання олії, сировина піддається значному багаторазовому нагріванню. У підсумку макуха втрачає колір, іноді в результаті перегрівання білок розкладається, що знижує його поживну цінність. Технологія сухої екструзії усуває цей недолік, оскільки сирий продукт перебуває під впливом високих температур дуже незначний час (5-6 секунд). При цьому температура, одержувана в екструдері в результаті тертя, дає змогу піддати насіння тепловій обробці, стерилізувати, стабілізувати, дегідрувати, а також змінити структуру продукту. Під час екструдювання цільної сої, ріпаку, бавовни пригнічуються їхні антипоживні речовини. Це дає можливість використовувати макуху цих культур у раціонах тварин без додаткової теплової обробки.

Екструдована олія, порівняно з олією, отриманою за звичайною технологією, містить більше токоферолів, менше фосфоліпідів, хлорофілу, вільних жирних кислот і перекисів і відповідно більший термін зберігання. Ріпакова олія, отримана методом екструзії, легше рафінується. Все це веде до необхідності розробки нових машин у цій галузі сільського господарства.

**Метою даного дипломного проекту є розробка і впровадження удосконаленого технологічного процесу виробництва рослинних олій з обґрунтуванням конструктивно-технологічних параметрів шнекового екструдера.**

Тому, виходячи з поставленої мети, було сформульовано такі завдання досліджень:

- провести аналіз сучасних методів виробництва рослинних олій;
- провести патентний пошук;
- удосконалити шнековий екструдер.

**Об'єкт дослідження** є технологічний процес виробництва рослинної олії.

**Предмет дослідження** вплив конструктивно-технологічних параметрів шнекового екструдера на техніко-економічні показники технологічного процесу виробництва рослинної олії.

**Перелік публікацій за темою роботи:**

1. Куликівський В. Л., Савчук В.Р. Побудова 3D моделі шнека екструдера на основі рівнянь Нав'є-Стокса. Сучасна концепція освітлення в птахівництві. Збірник тез X-ї всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». м. Житомир, 20 квітня 2024 року. Житомир : ЖАТФК. С. 56-59.

2. Куликівський В.Л, Спірін О.О., Кравчук С.В., Савчук В.Р. Огляд і аналіз змішувачів сипучих кормів. Міжнародна науково-практична конференція молодих науковців, аспірантів і здобувачів вищої освіти «Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки». м. Рівне, 9-10 травня 2024 року. Рівне : НУВГП. С.

**Практичне значення одержаних результатів.** Практичний інтерес для аграрних підприємств України представляє розроблена конструкція шнекового екструдера.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 15 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 47 сторінок комп'ютерного тексту, містить 2 рисунки.



## РОЗДІЛ 1

### ПРОЦЕС ВИРОБНИЦТВА РОСЛИННИХ ОЛІЙ

Рослинні олії є важливою складовою частиною харчової промисловості та побуту людини. Їх використовують не тільки в кулінарії, але й в косметичній, фармацевтичній та хімічній промисловості. Процес виробництва рослинних олій включає кілька ключових етапів, які визначають якість та характеристики кінцевого продукту. В цьому розділі детально розглянемо основні стадії виробництва рослинних олій, їх особливості та технологічні аспекти.

Сировина для виробництва рослинних олій є основним фактором, що визначає якість та характеристики кінцевого продукту. Відбір та підготовка сировини впливають на процеси видобування олії, її склад та корисні властивості. У цьому розділі розглянемо основні види сировини для виробництва рослинних олій, їх біологічні та хімічні особливості, а також вимоги до підготовки для переробки.

Основними джерелами рослинних олій є насіння, плоди та інші частини рослин. Найбільш поширеними є соняшник, соя, рапс, оливки, пальми, кукурудза, арахіс, льон, а також менш поширені культури, такі як сафлор, кунжут та інші. Розглянемо детальніше кожен із них.

Соняшник (*Helianthus annuus*) є однією з найпоширеніших культур для виробництва олії. Насіння соняшнику містить близько 40-50% олії, що робить його ефективним джерелом сировини. Соняшникова олія багата на ненасичені жирні кислоти, зокрема лінолеву кислоту, яка є корисною для здоров'я людини.

Соя (*Glycine max*) є ще одним важливим джерелом рослинної олії. Соеві боби містять близько 18-20% олії. Соева олія відома своїм високим вмістом поліненасичених жирних кислот, таких як ліноленова та ліолева кислоти. Крім того, соєва олія містить значну кількість фосфоліпідів, які є корисними для нервової системи.

Рапс (*Brassica napus*) відомий своєю високою олійністю, яка може досягати 40-45%. Рапсова олія має сприятливий склад жирних кислот, включаючи олеїнову кислоту, яка знижує рівень холестерину в крові. Важливою перевагою рапсової олії є її стійкість до окислення.

Оливкова олія отримується з плодів оливкового дерева (*Olea europaea*). Вона є однією з найцінніших за своїми харчовими та органолептичними властивостями. Оливкова олія містить високий вміст олеїнової кислоти, а також поліфенолів, які мають антиоксидантні властивості.

Пальмова олія виробляється з плодів олійної пальми (*Elaeis guineensis*). Вона є однією з найпоширеніших у світі завдяки високій врожайності та низькій собівартості виробництва. Пальмова олія багата на насичені жирні кислоти, що робить її стійкою до окислення та придатною для промислового використання.

Кукурудзяна олія виробляється з зародків кукурудзи (*Zea mays*). Вона містить близько 30-40% олії та відома своїм високим вмістом поліненасичених жирних кислот, зокрема лінолевої кислоти. Кукурудзяна олія також містить вітаміни Е та К.

Арахісова олія виробляється з насіння арахісу (*Arachis hypogaea*). Вона містить близько 40-50% олії та відома своїм високим вмістом мононенасичених жирних кислот, таких як олеїнова кислота. Арахісова олія має приємний горіховий смак та широко використовується в кулінарії.

Льняна олія отримується з насіння льону (*Linum usitatissimum*). Вона містить близько 35-45% олії та є відомою своїм високим вмістом  $\alpha$ -ліноленої кислоти, яка належить до омега-3 жирних кислот. Льняна олія має корисні властивості для серцево-судинної системи.

Кожен вид сировини має свої біологічні та хімічні особливості, що впливають на процес виробництва олії. Наприклад, вміст олії, склад жирних кислот, наявність антиоксидантів та інших біоактивних речовин визначають як методи обробки сировини, так і якість кінцевого продукту.

Підготовка сировини є важливим етапом у виробництві рослинних олій. Вона включає очищення, сушіння та подрібнення насіння або плодів. Очищення відбувається за допомогою сит, магнітів та інших пристроїв для видалення механічних домішок. Сушіння необхідне для зменшення вологості, що сприяє більш ефективному видобуванню олії. Подрібнення покращує доступність олії для подальшого видобування.

Сировина для виробництва рослинних олій є ключовим фактором, що визначає якість та характеристики кінцевого продукту. Вибір та підготовка сировини впливають на процеси видобування, очищення та контроль якості олії. Різноманітність видів сировини дозволяє отримувати рослинні олії з різними властивостями та сферою застосування.

Методи виробництва рослинної олії включають кілька ключових етапів, які визначають якість та характеристики кінцевого продукту. Основними методами є механічне пресування, екстракція розчинниками та комбіновані методи. Кожен з них має свої переваги, недоліки та особливості, які впливають на вибір технології в залежності від типу сировини та вимог до кінцевого продукту. У цьому розділі детально розглянемо кожен з методів та їх особливості.

Механічне пресування є одним із найдавніших методів видобування рослинної олії. Принцип методу полягає у механічному стисканні сировини, внаслідок чого з неї виділяється олія. Для цього використовують спеціальні преси, які можуть бути гвинтовими або гідравлічними.

Механічне пресування може бути холодним або гарячим.

Холодне пресування здійснюється при температурі, що не перевищує 50°C. Цей метод дозволяє зберегти більшість корисних речовин, таких як вітаміни, антиоксиданти та ненасичені жирні кислоти. Холодно-пресована олія має високу харчову цінність, але вихід олії з сировини є відносно низьким.

Гаряче пресування здійснюється при підвищених температурах (70-100°C). Підвищена температура сприяє виділенню більшої кількості олії, але частина

корисних речовин при цьому руйнується. Гарячо-пресована олія має нижчу харчову цінність, але вищий вихід олії.

Гвинтові преси (експелери) застосовуються для безперервного пресування. Вони забезпечують високий тиск та ефективно видобувають олію з насіння.

Гідравлічні преси використовуються для періодичного пресування. Вони забезпечують більш рівномірний тиск, але процес видобування олії є більш тривалим.

Екстракція розчинниками є ефективним методом видобування олії з рослинної сировини. Принцип методу полягає у використанні органічних розчинників, таких як гексан, для розчинення олії, що міститься в сировині. Після екстракції розчинник видаляється шляхом випаровування, залишаючи чисту олію.

Процес екстракції включає кілька етапів:

- подрібнення сировини для збільшення поверхні контакту з розчинником;
- змішування сировини з розчинником у спеціальних екстракційних апаратах;
- фільтрація для відокремлення твердих часток від розчину олії в розчиннику;
- випаровування розчинника з олії за допомогою теплової обробки або вакууму;
- очищення олії від залишків розчинника та інших домішок.

Комбіновані методи включають поєднання механічного пресування та екстракції розчинниками для досягнення максимального виходу олії. Ці методи дозволяють поєднувати переваги обох технологій, мінімізуючи їх недоліки.

Після видобування олії її необхідно очистити від домішок та небажаних компонентів. Процес очищення включає кілька стадій: дегумування, нейтралізація, вибілювання та дезодорування.

Дегумування полягає у видаленні фосфатидів та інших гідрофільних речовин за допомогою води або водного розчину кислоти.

Нейтралізація передбачає видалення вільних жирних кислот за допомогою розчинів лугів.

Вибілювання здійснюється для видалення пігментів та інших забарвлюючих речовин за допомогою адсорбентів, таких як активована глина або активоване вугілля.

Дезодорування проводиться для видалення летких речовин, які можуть надавати олії неприємного запаху, за допомогою обробки паром під вакуумом.

Методи виробництва рослинної олії включають механічне пресування, екстракцію розчинниками та комбіновані методи. Кожен з них має свої особливості, переваги та недоліки, що визначають вибір технології в залежності від типу сировини та вимог до кінцевого продукту. Розвиток технологій видобування та очищення олій сприяє підвищенню їх якості та розширенню сфери застосування.

Контроль якості рослинних олій здійснюється на всіх етапах виробництва. Він включає аналіз фізико-хімічних показників, таких як кислотне число, перекисне число, вміст вологи та домішок. Також проводять органолептичні оцінки для визначення смаку, запаху та кольору олії.

### **Висновки по розділу**

Процес виробництва рослинних олій є складним та багатоступеневим, включаючи підготовку сировини, видобування олії, очищення та контроль якості. Кожен етап має велике значення для отримання кінцевого продукту високої якості. Розвиток технологій видобування та очищення олій сприяє підвищенню їх якості та розширенню сфери застосування.

## РОЗДІЛ 2

### ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ШНЕКОВИХ ЕКСТРУДЕРІВ

За більш ніж 60-річне існування екструзійних технологій з'явилася велика різноманітність конструкцій машин для їх реалізації.

Тому для більш детального вивчення цього питання було вивчено патенти в кількості 5 штук. З них відібрано 3 найцікавіших.

ПАТЕНТ №1 (№2184655, В30В9/14, В30В11/24).

Відомий прес-екструдер, що містить циліндричний корпус, розташований у ньому шнек, матрицю, конструкція кінцевої частини шнека має торпедовідну насадку, виконану у вигляді циліндра з проточками. Недоліком цього прес-екструдера є малий ступінь гомогенізації перероблюваного матеріалу, що веде до зниження ефективності процесу екструзії та якості готової продукції.

Технічним результатом цього винаходу є підвищення ефективності, забезпечення стабільності процесу екструзії та поліпшення якості готової продукції завдяки більш повному руйнуванню структури матеріалу, що переробляється.

Для досягнення цього результату прес-екструдер, що містить завантажувальний бункер, циліндричний корпус, у якому розташовано шнек із торпедовидною насадкою, виконаною з проточками у вигляді шліців, та екструзійну голівку з фільєрою, згідно з винаходом забезпечено кільцем із зубами у вигляді коронки, екструзійна головка виконана з кільцевою проточкою, розташованою на її торцевій поверхні, кільце жорстко закріплене в згаданій кільцевій проточці, торпедоподібна насадка шнека виконана з торцевою поверхнею у вигляді коронки, а циліндричний корпус шнека - з поздовжніми проточками на внутрішній поверхні.

Торпедоподібна насадка шнека і кільце розташовані з зазором між їхніми коронками.

Шліцьові проточки на торпедоподібній насадці розташовані паралельно її утворенню або під кутом до неї.

Ця конструкція забезпечує гомогенізацію маси, що переробляється, завдяки внутрішньому ефекту змішування, зумовленому наявністю зрізних напружень і завдяки зовнішньому ефекту змішування, крім того, така система створює передумови для вирівнювання потоків маси в зоні видавлювання.

Прес-екструдер містить завантажувальний бункер; циліндричний корпус шнека з поздовжніми проточками на внутрішній поверхні; шнек; торпедоподібну насадку, на поверхні якої виконані проточки у вигляді шліців, а торцева поверхня виконана у вигляді коронки; екструзійну голівку з кільцевим проточуванням на торцевій поверхні, в яку встановлене жорстко закріплене кільце із зубами у вигляді коронки; фільтеру.

Пропонований прес-екструдер працює наступним чином: вихідний продукт подається в зону транспортування через завантажувальний бункер, в результаті передачі крутного моменту шнеку, матеріал, що переробляється, просувається до видавлювального кінця шнека, де розташована торпедоподібна насадка, при цьому відбувається його часткове подрібнення, нагрів за рахунок внутрішнього перетворення механічної енергії на теплову, розплавлення, перемішування та випресування через шліцьові проточки насадки до екструзійної голівки.

Під час проходження продукту через пази коронки обертової торпедовидної насадки, що обертається, та пази коронки нерухомо закріпленого кільця відбувається повне руйнування структури матеріалу, що переробляється, завдяки внутрішньому ефекту змішання, обумовленому наявністю зрізних напружень, і завдяки зовнішньому ефекту змішання. Потім продукт під тиском випресовується через фільтеру. Причому під час виготовлення шліцьових проточок на торпедоподібній насадці під кутом до твірної зменшується навантаження на зуби та виключається можливість зачеплення зубів насадки за зуби кільця.

Під час виготовлення посадки між коронкою торпедоподібної насадки і коронкою кільця без зазору необхідне виконання такої умови: ширина зуба кільця

має бути більшою за ширину паза торпедоподібної насадки для забезпечення постійного контакту, щоб унеможливити зачеплення зубів насадки за зуби кільця. А під час виготовлення посадки між коронкою торпедоподібної насадки і коронкою кільця з зазором виконання цієї умови не має значення.

Таким чином, винахід, що заявляється, дає змогу істотно підвищити ефективність машини, забезпечити стабільність процесу екструзії та поліпшити якість готової продукції завдяки повнішому руйнуванню структури матеріалу, що переробляється. Крім того, така система створює передумови для вирівнювання потоків маси в зоні видавлювання

Патент №2 (EP 2006/000522 20060117)

Винахід відноситься до міні-екструдера для обробки матеріалу. Технічним результатом заявленого винаходу є створення екструдера, що має цільну конструкцію і придатну для того, щоб обробляти широкий спектр полімерних матеріалів, присутніх у невеликих кількостях. Технічний результат досягається в екструдері для оброблення матеріалу, який містить циліндр екструдера, що містить у собі канал циліндра та, щонайменше, один шнек екструдера, встановлений усередині каналу циліндра. Причому канал циліндра містить розташовану вгору за потоком впускну частину для подавання матеріалу для оброблення та розташовану вниз за потоком випускную частину, яка з'єднується з виходом екструдера для переробленого в екструдері матеріалу. При цьому щонайменше один шнек екструдера має відношення довжини до діаметра менш ніж 20:1.

Крім того, екструдер містить щонайменше один циркуляційний канал, що проходить у циліндрі від випускної частини каналу циліндра, та щонайменше два циркуляційні виходи, що з'єднують циркуляційний канал із каналом циліндра, розміщеним поряд угору вгору за потоком до випускної частини. Екструдер містить пристрій для направлення матеріалу, щонайменше, в один циркуляційний канал і циркуляційні виходи та/або вихід екструдера.

ПАТЕНТ №3 (№ 2147993 B30B9/14, C11B1/06)



Суттєвим недоліком відомої конструкції є те, що вона не забезпечує достатньо повне віджимання олії, гомогенізацію та змішування складових жому.

Метою цього винаходу є максимальне поліпшення віджимання олії з олійовмісного продукту та отримання більш гомогенного жому.

Поставлена мета досягається тим, що в масловитискному пресі, який містить корпус, зеєрний циліндр з отворами для виходу олії, розміщений у корпусі шнек, зеєрний циліндр встановлено на шнеку, циліндр виконано таким, що охоплює корпус із глухою торцевою стінкою, а на зовнішній поверхні корпусу виконано гвинтові нарізки. Прес також містить подрібнювальний ніж і напрямні для виходу жому.

Пропонований масловижимний прес показано на кресленні.

Прес складається з рами 1, на якій закріплено привід олійного преса (не показано), олійнозбірника 2, корпусу 3 з живильним бункером, усередині якого розміщений шнек 4, на якому за допомогою шпонки 5 або шліцьового з'єднання встановлений зеєрний циліндр із глухою торцевою стінкою 6. Для видалення жому на пресі передбачено подрібнювальний ніж 7 і напрямні 8 для виходу жому з масловитискного преса.

Пропонований масловижимний прес працює таким чином.

Сировина, що містить олію, надходить у живильний бункер корпусу 3. Одночасно з цим за допомогою приводу маслопреса обертається шнек 4, віджимаючи і транспортуючи сировину в напрямку до торцевої стінки зеєрного циліндра 6. Після цього віджимаємий продукт змінює напрямок руху і за рахунок нарізок 9, виконаних на зовнішній поверхні корпусу 3, продукт перетирається об виступи корпусу 3 і торцеву стінку зеєрного циліндра 6. Потім продукт потрапляє в зазор між гвинтовими нарізками 9 і зеєрним циліндром 6. Надалі продукт, переміщаючись, віджимається і гомогенізується аж до виходу із зеєрного циліндра 6. Далі продукт дробиться ножем 7 і по напрямних 8 видаляється з масловижимного преса.

Таким чином покращується віджимання олії з олійовмісної сировини та забезпечуються краща гомогенізація та змішання складових жому, який використовується як добавка до харчових продуктів або як комбікорм для харчування худоби, птиці, риби та домашніх тварин.

#### Діючі конструкції шнекових екструдерів

Для вивчення виробництва машин для цієї галузі сільського господарства було вивчено 9 діючих конструкцій. З них обрано 3 найцікавіших.

#### Олійний прес МП-6

Олійний прес МП-6 складається з таких складових частин: станини шнекового вала зернової камери живильника механізму регулювання товщини черепашки (макухи) механізму для збирання і розкриття камери приводу, електрообладнання.

#### Станина олійного пресу МП-6.

Станина олійного пресу МП-6 складається з двох литих корпусів, з'єднаних між собою за допомогою електрозварювання трубами і двома швелерами. Усередині переднього корпусу знаходиться приймальна коробка живильника, відлита за одне ціле з корпусом.

Під приймальною коробкою є лоток для стоку масла, що виділилося з мезги в приймальній коробці. Між переднім і заднім корпусами на швелерах кріпиться збірка для відведення олії, що надходить із зернової камери. Корпуси станини мають центральну розточку для розташування шнекового вала. Посадка підшипників шнекового вала проводиться в корпус підшипника і стакан, встановлені в отворах станини.

З метою унеможливлення потрапляння пилу і бруду в гнізда підшипників і збереження в них мастила в стаканах і кришці передбачено кільця для ущільнення, крім того, в стакані передбачено кришку лабіринту.

Для кріплення зернової камери в отворах корпусів із внутрішнього їхнього боку кріпляться гвинтами кільце і втулка з посадковими шийками. Втулка є

одночасно і направляючою для обойми механізму регулювання товщини черепашки.

Вал шнековий олійного преса МП-6.

Вал шнековий являє собою набір шнеків і перехідних кілець змонтованих на валу.

На кінцях вала розташовані радіальні сферичні дворядні підшипники, що слугують опорою вала в станині преса. Для сприйняття осьового навантаження під час обертання вала в обидва боки на задньому його кінці є упорні підшипники.

Усі деталі, що знаходяться на валу, стягуються гайкою, яка стопориться на валу від мимовільного відгвинчування відгинальною шайбою.

Запобіжна муфта з'єднує тихохідний вал редуктора зі шнековим валом і складається з напівмуфт, в отворах яких встановлені втулки зі зрізними штифтами, накладок і болтів.

Залежно від номінальної частоти обертання шнекового вала передбачено три виконання зрізних штифтів.

Штифти без маркування мають застосовуватися за частоти обертання шнекового вала 37 об/хв. Штифти з цифрами 01 мають застосовуватися за частоти обертання вала 24 об/хв. Штифти з цифрами 02 мають застосовуватися за мінімальної частоти обертання вала 18 об/хв.

Маркування нанесено на одному з торців зрізного штифта.

Кожній частоті обертання шнекового вала відповідає тільки одне виконання штифтів. Застосування зрізних штифтів інших виконань не допускається.

Зеерна камера преса МП-6.

Зеерна камера складається з двох напівкорпусів із вертикальною лінією роз'єму. Внизу зеерної камери з'єднання напівкорпусів шарнірне за допомогою осі.

При розкритому положенні напівкорпусів кріплення зеєрної камери в станині здійснюється двома рухомими осями, що входять в торці поза отвором осі.

Усередині зеєрна камера являє собою чотирьохсекційний циліндр, зібраний з окремих стрижнів, які утворюють зазори для стоку масла.

Залежно від виду перероблюваного олійним пресом насіння в секціях камери встановлюють відповідні стрижні, що утворюють зазори, зазначені в технічній характеристиці.

Зеєрні стрижні мають висоту 19 мм, ширину 9 мм і довжину 273 мм. Набір стрижнів виконано таким чином, що внутрішня поверхня зеєрного циліндра має завершеність, причому підйом площини зеєрного стрижня, що звернений всередину зеєрного циліндра, спрямований у бік обертання шнекового вала.

У кожному напівкорпусі поміщені стрижні настановні, які мають виступи всередину зеєра, що розташовуються між шнековими витками і призначені для гальмування обертального руху пресованого матеріалу.

Стрижні установчі одночасно слугують для закріплення зеєрних стрижнів за рахунок їхнього розпирання клинковою частиною.

На крайніх бугелях камери (з боку заднього корпусу станини) передбачені стягнуті болти для кріплення зеєрної камери до заднього корпусу станини, що є необхідним для унеможливлення можливого осьового переміщення зеєрної камери під час реверсу обертання шнекового вала або під час ремонту олійного пресу та збереження тим самим настановних і витків шнеків.

Для розкриття і закриття зеєрної камери необхідно користуватися механізмом для складання і розкриття камери. Для відриву напівкорпусів один від одного, у разі їхнього пригорання в процесі роботи, на двох бугелях у кожному напівкорпусі передбачені пази для ломака.

Живильник олійного преса МП-6.

Живильник складається з труби і корпусу. Трубу кріплять на прес, а корпус надягають на трубу і кріплять до нижнього чану жаровні болтом і шайбою.

Механізм регулювання товщини черепашки.

Механізм регулювання товщини черепашки розташований усередині заднього корпусу станини і призначений для зміни (регулювання) товщини черепашки (макухи), яка виходить з олійного преса.

Регулювання товщини черепашки здійснюється обертанням штурвала, розташованого із зовнішнього боку корпусу станини на кінці черв'яка. Подальший рух із черв'яка передається через черв'ячне колесо на вал із повзушкою. Здійснюючи поступальне переміщення по валу, повзушка здійснює хитання важелів, верхні кінці яких мають ролики, що переміщуються по вертикальних пазах цієї втулки. Нижні кінці важелів шарнірно з'єднані зі станиною за допомогою вушок і осі. Гойданням важелів у той чи інший бік через ролики здійснюється поступальне переміщення обойми по втулці станини, здійснюючи тим самим зміну величини кільцевого зазору на виході черепашки (макухи).

Для контролю і встановлення необхідної величини зазору (товщини черепашки) на зовнішній поверхні корпусу станини (з боку штурвала) передбачений покажчик і шкала.

Для унеможливлення упору обойми в конус шнекового вала передбачено гайку, що встановлюється за мінімального зазору (мінімальної товщини черепашки). У цей упор впирається повзушка. Для запобігання різьбленню вала, черв'ячної передачі, роликів і підшипників від потрапляння частинок пресованого матеріалу і парів і забезпечення надійної роботи механізму без пригорання і заїдань на обоймі кріпиться кожух, а підшипники захищені сальниковими ущільненнями - кільцями.

Механізм для складання і розкриття зеєрної камери.

Механізм для збирання і розкриття зеєрної камери розташований нагорі станини олійного преса і призначений для полегшення розкриття і закривання зеєрної камери в разі вимушеного або профілактичного ремонту.

Механізм складається з ручної черв'ячної лебідки з барабаном і двома канатами та з коушами на кінцях. Рукоять лебідки знімна.

Встановлення лебідки проводиться таким чином, що забезпечується одночасно і рівномірний натяг обох канатів під час закриття напівкорпусів зерної камери.

Для фіксування положення лебідки передбачені спеціальні приварні упори по крайках її основи. Кріплення канатів до напівкорпусів зерної камери здійснюється за допомогою пальців і чеки. Для полегшення руху каната в місцях його вигину (на кутах корпусу станини) встановлені ролики.

З метою безпеки роботи канати з роликами закриті листами.

Привід олійного преса МП-6.

Привід преса містить тришвидкісний електродвигун і редуктор із передавальним числом 40, з'єднаних між собою муфтою, що складається з напівмуфт і ременя.

Зміна швидкості обертання шнекового вала преса здійснюється завдяки зміні числа пар полюсів електродвигуна за схемою, наведеною в технічному описі та інструкції з експлуатації на трифазні асинхронні електродвигуни серії 4А.

Підготовлена в жаровні мезга потрапляє в трубу живильника і прямує в приймальну порожнину зерної камери. Кількість мезги, що надходить, регулюється заслінкою, розташованою у випускному вікні нижнього чана жаровні.

Мезга, що подається в олійний прес, має бути підготовлена за технологічним режимом, який залежить від виду насіння, що переробляється.

Для використання всієї потужності преса за продуктивністю і за глибиною віджимання олії без погіршення якості олії та макухи необхідно підтримувати безперервне і рівномірне живлення маслопреса мезгою.

Під час проходження мезги по зерній камері відбувається її стиснення і виділення олії через зерні щілини.

Рух і стиснення мезги в зерній камері здійснюється шнековим валом. Кінці ножів, що виступають, і ребриста поверхня зерної камери перешкоджають обертанню мезги разом із валом і забезпечують необхідне перемішування мезги для ефективнішого виділення з неї олії.

Нормальною вважається така робота преса, за якої найбільша кількість олії витікає наприкінці першої та другої секції зерної камери. У напрямку до виходу макухи інтенсивність витікання масла поступово падає.

Олія, стікаючи із зерної камери, потрапляє на збірник олії, з якого подається на подальшу переробку. Віджата від олії мезга виходить із зерної камери у вигляді щільно спресованої маси (черепашки), оптимальна товщина якої, а відтак і ступінь стиснення мезги в камері, встановлюється механізмом регулювання товщини черепашки.

Для розпушення черепашки, що виходить з преса, біля вихідного отвору на конусі розташовані спеціальні руйнівники.

#### Пристрій і принцип роботи УММП-1М-50

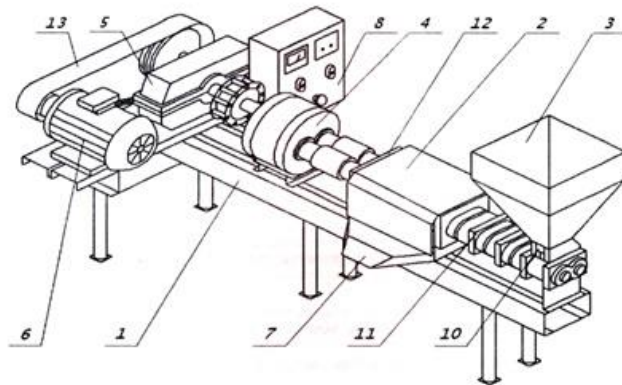


Рис. 2.1. Шнековий прес УММП-1М-50.

Установка складається з: рами 1, зерної камери 2, завантажувального бункера 3, роздвоювача 4, редуктора 5, електродвигуна 6, піддону для відводу мастила 7, пульта управління 8, магнітної пастки 10, секції нагріву 11, проміжної опори 12, огорожі 13.

Робоча камера містить два вали, з черв'ячними насадками, і стираючими кулачками, секцій завантаження і нагрівання, верхнього і нижнього блоків, зерної камери, двох стаціонарних і однієї знімної стійок. Вали обертаються в

підшипниках, встановлених у 2-х стаканах, і з'єднуються з валами роздвоювача за допомогою муфт зі шпонками.

Роздільник являє собою механізм, що складається з корпусу, корпусів підшипників, кришок, одного ведучого вала-шестерні, двох ведених валів-шестерень, що обертаються в один бік. На кожному валу-шестерні є по два роликівих конічних підшипника, що виключають поперечне переміщення. На протилежних кінцях валів-шестерень встановлено по два кулькових підшипники та голчастого підшипника. Підшипники встановлені в лівому і правому корпусах і закриті лівою і правою кришками.

Корпус роздвоювача, корпуси підшипників і кришка відцентровані один відносно одного штифтами по два з кожного боку і стягнуті шпильками і гайками. Регулювання роликівих конічних підшипників здійснюється гайками. Між корпусами і кришками встановлено картонні прокладки. У роздвоювачі застосовані підшипники 109 (2), 4074112 (1), 1000909 (2), 7206 (4), 7208 (2).

Роздільник конструктивно з'єднується з редуктором ланцюговою муфтою. Редуктор з електродвигуном утворюють привід мінімаслопреса. Крутний момент від електродвигуна до редуктора передається за допомогою клиноремінної передачі з 4-х ременів.

Завантажувальний бункер являє собою зварений корпус, що має магнітну пастку для запобігання потрапляння металевих магнітних предметів у зону обробки.

Електрообладнання УММП забезпечує роботу двох основних схем: електричної схеми приводу електродвигуна та електричної схеми нагріву мінімаслопреса. Електрична схема приводу електродвигуна призначена для його пуску і зупинки. Система електронагріву призначена для забезпечення нагріву корпусів і автоматичного підтримання температури, що встановлюється оператором на шкалі датчика-реле температури.

Принцип роботи УММП полягає в такому: робоча зона мінімаслопреса прогрівається до заданої датчиком-реле температури (зазвичай 60°C). Ця



температура є умовною і призначена тільки для пуску мінімаслопреса. Хороша робота преса досягається підтриманням температури олії та макухи, що виходять, яка перебуває в межах 90-95°C. Контроль температури масла бажано проводити ртутним термометром.

Після закінчення прогріву в завантажувальний бункер завантажується насіння, звідки воно самопливом прямує до робочої зони мінімаслопреса під час відкривання заслінки.

У мінімаслопресі насіннева маса подрібнюється, піддається тепловому впливу, стискається і через щілини в зєрній камері віджимається олія. Збір і відведення олії здійснюється по піддону.

Прес шнековий ОР-1000.

Олійна установка призначена для отримання олії з насіння соняшнику шляхом холодного видавлювання. Олійнопрес складається з таких вузлів:

Плита підмоторна, на якій монтується привід і шнековий пристрій.

Бункер ємністю 20 дм<sup>3</sup>.

Привід включає редуктор Ч-100  $i=40$  і електродвигун  $N=2.2\text{кВт}$ ,  $n=1500$  об/хв. Передача від електродвигуна до редуктора здійснюється через клиноремінну передачу. Шнековий пристрій з'єднується з тихохідним валом редуктора фланцевою муфтою.

З бункера сировина потрапляє в порожнину шнекового пристрою, стискається шнеком до необхідної величини. Масло стікає по склизу в ємність, а тверді відходи виходять далі через щілини в конусних втулках. Зміна величини вихідного отвору здійснюється конусною упорною втулкою. Таким чином регулювання по виходу олії здійснюють зазором між конусами шнека і притискною втулкою.

Щоб уникнути потрапляння в шнекову порожнину, а також у конусну частину чужорідних тіл (камінчики, шматочки землі, стебла тощо), насіння має бути очищене від сміття. Надходження насіння з бункера в шнекову порожнину регулюється заслінкою.

Технічні характеристики.

Робоча швидкість шнека  $70 \text{ хв}^{-1}$

Привід:Редуктор 4-100-40-521

ел. двигун 4А90Н4У3, N=2.2кВт, n=1500 об/хв.

Габаритні розміри установки (LxDxH) мм 1100x330x700

Маса установки, кг 170

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРАХУНОК І ОПИС КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ЧАСТИНИ

#### 3.1 Розрахунок шнека

Шнекові формувачі широко застосовуються як живильники, дозатори та преси. Кожен такий пристрій являє собою циліндричний кожух, усередині якого розташований шнек (два шнеки). Кожух має приймальний бункер і спеціальним чином оформлений вихідний отвір (матриця, сопло, мундштук). Кожен пристрій забезпечений приводом.

З досвіду роботи багатьох шнекових пристроїв відомо, що під дією гвинтової поверхні шнека матеріал, що транспортується, рухається не паралельно його осі, а гвинтоподібно зі змінною швидкістю в осьовому та радіальному напрямках залежно від відстані частинок матеріалу до осі шнека, від коефіцієнта тертя та величини протитиску. Оскільки кути підйому гвинтової лінії правильної гвинтової поверхні шнека змінюються, збільшуючись від периферії до центру шнека, то осьове переміщення частинок матеріалу, розташованих у радіальному напрямку, буде неоднаковим.

Початкові дані: продуктивність  $P=220$  кг/год, максимальний тиск  $P_{\max} = 820$  кПа, коефіцієнт внутрішнього тертя продукту  $f = 0,75$ , густина продукту  $\rho = 1100$  кг/м<sup>3</sup>, число витків шнека – 7.

Для більш детального розрахунку розіб'ємо на шнек на 3 ділянки:

Ділянка 1:

Зовнішній діаметр шнека на ділянці 1  $D$  приймаємо рівним мм018, а крок:

$$H=0,8 \cdot 180=144 \text{ мм}$$

Граничний діаметр вала шнека за умовою:

$$d_{np} = (H / \pi) \operatorname{tg} \varphi = (0,14 / 3,14) \cdot 0,75 = 33,4 \text{ мм} , \quad (3.1)$$

Прийmemo діаметр вала шнека рівним мм60 ( $a = 3$ ).

Кут підйому гвинтових ліній на зовнішній стороні шнека і біля вала за залежностями:

$$\begin{aligned} \alpha_D &= \operatorname{arctg}(H / (\pi D)) = \operatorname{arctg}(0,14 / (3,14 \cdot 0,18)) = 14,36^\circ \\ \alpha_d &= \operatorname{arctg}(H / (\pi d)) = \operatorname{arctg}(0,14 / (3,14 \cdot 0,06)) = 36,5^\circ \end{aligned} \quad (3.2)$$

Середнє значення кута підйому гвинтових ліній витка шнека за рівністю:

$$\begin{aligned} \alpha_{cp} &= 0,5(\alpha_d + \alpha_D) , \quad (3.3) \\ \alpha_{cp} &= 0,5 \cdot (14,036 + 36,5) = 25,268^\circ . \end{aligned}$$

Допоміжні величини дорівнюють:

$$\begin{aligned} \cos^2 25,268 &= 0,818 \\ \operatorname{tg} 25,268 &= 0,472 \\ \sin 2 \cdot 25,268 &= 0,772 \end{aligned}$$

Коефіцієнт відставання частинок матеріалу в основному напрямку за рівнянням:

$$K_0 = 1 - (\cos^2 \alpha_{cp} - 0,5 f \sin 2\alpha_{cp}) = 0,472 \quad (3.4)$$

Згинальний момент у витку шнека за внутрішнім контуром, тобто біля вала:

$$\begin{aligned}
 M_u &= \frac{p_{\max} D^2}{32} \cdot \frac{1,9 - 0,7a^{-4} - 1,2a^{-2} - 5,2 \ln a}{1,3 + 0,7 \cdot 3^{-2}} = \\
 &= \frac{0,825 \cdot 10^{-6} \cdot 0,18^2}{32} \cdot \frac{1,9 - 0,7 \cdot 3^{-4} - 1,2 \cdot 3^{-2} - 5,2 \ln 3}{1,3 + 0,7 \cdot 3^{-2}} = -2325,3 \frac{H \cdot m}{m}
 \end{aligned} \quad (3.5)$$

Витки шнека будуть виготовлені зі сталі 10, для якої допустиме напруження при вигині можна прийняти рівною допустимому напруженні при розтягуванні, тобто  $125 \cdot 10^6$  Па. Тоді товщина витка шнека дорівнює:

$$\delta = \sqrt{6M_u / \sigma_u} = \sqrt{6 \cdot 2325,3 / 125 \cdot 10^6} = 0,010 \text{ м} = 10 \text{ мм}. \quad (3.6)$$

Приймаємо товщину витка шнека  $\delta = 10 \text{ мм}$

Площа внутрішньої циліндричної поверхні корпусу пристрою на довжині одного кроку за виразом:

$$F_g = \pi D(H - \delta) = 3,14 \cdot 0,18 \cdot (0,14 - 0,01) = 0,0734 \text{ м}^2 \quad (3.7)$$

Довжини розгорток гвинтових ліній знаходимо за залежностями:

$$l = \sqrt{H^2 + (\pi d)^2}, \quad (3.8)$$

$$L = \sqrt{H^2 + (\pi D)^2}, \quad (3.9)$$

$$l = \sqrt{0,14^2 + (3,14 \cdot 0,06)^2} = 0,235 \text{ м}$$

$$L = \sqrt{0,14^2 + (3,14 \cdot 0,18)^2} = 0,582 \text{ м}$$

Площу поверхні витка шнека на довжині одного кроку знаходимо за умовою:

$$F_{ш} = \frac{1}{4\pi} (\pi DL - \pi dl + H^2 \ln \frac{D+2L}{d+2l}), \quad (3.10)$$

$$F_{ш} = \frac{1}{4 \cdot 3,14} \cdot (3,14 \cdot 0,18 \cdot 0,582 - 3,14 \cdot 0,06 \cdot 0,235 + 0,14^2 \ln \frac{0,18 + 2 \cdot 0,58}{0,06 + 2 \cdot 0,24}) = 0,0240 \text{ м}^2$$

що задовольняє умовам роботи, оскільки  $F_{ш} < F_{в}$  .

Крутний момент при чотирьох робочих витках шнека знаходиться за виразом:

$$M_{кр} = 0,131n \cdot p_{\max} \cdot (D^3 - d^3) \operatorname{tg} \alpha_{ср} = 0,131 \cdot 4 \cdot 0,82 \cdot 10^6 \cdot (0,18^3 - 0,06^3) \cdot 0,472 = 1138,97 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.11)$$

Осьова умова за виразом:

$$S = 0,392n \cdot (D^2 - d^2) \cdot p_{\max} = 0,392 \cdot 4 \cdot (0,18^2 - 0,06^2) \cdot 0,82 \cdot 10^6 = 37029 \text{ Н} \quad (3.12)$$

Нормальне і дотичне напруження вала, виконаного у вигляді вала, в торцях якого вварені цапфи:

$$\sigma_{сж} = \frac{S}{F}, \quad (3.13)$$

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_p}, \quad (3.14)$$

де  $F$  – площа поперечного перерізу вала шнека, м<sup>2</sup> ;

$W$  – полярний момент опору поперечного перерізу вала шнека, м<sup>3</sup> .

$$\sigma_{сж} = 37029 / 0,785 \cdot 0,06^2 = 13,1 \text{ Мпа}$$

$$\tau = \frac{1138,2 \cdot 16}{3,14 \cdot 0,06^3} = 45,6 \text{ Мпа}$$

Еквівалентна напруга:

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma_{\text{сж}}^2 + 4\tau^2}; \quad (3.15)$$

$$\sigma_{\text{сж}} = \sqrt{13,1^2 + 4 \cdot (45,6)^2} = 92,1 \text{ Мпа}$$

і перебуває в межах допустимої напруги для матеріалу вала шнека (сталь Ст10).

Приймаючи коефіцієнт заповнення рівним одиниці, з рівняння знайдемо  $\omega$  - кутову швидкість обертання шнека:

$$\Pi = 0,125(D^2 - d^2)(H - \delta)(1 - K_0)\rho\psi\omega, \quad (3.16)$$

де  $\delta$  – товщина витка шнека в осьовому напрямку за зовнішнім діаметром, м;

$\rho$  – густина матеріалу, кг/м<sup>3</sup> ;

$\psi$  – кутова швидкість обертання шнека, рад/с.

$$\omega = \frac{\Pi}{0,125(D^2 - d^2)(H - \delta)(1 - K_0)\rho\psi}, \quad (3.17)$$

$$\omega = \frac{0,061}{0,125 \cdot (0,18^2 - 0,06^2) \cdot (0,14 - 0,01) \cdot (1 - 0,472) \cdot 1100 \cdot 1} = 0,477 \text{ рад/с}$$

Визначимо розміри заготовок витків і їхнє число.

Нехай довжина шнека  $l = 144 \cdot 4 = n \cdot H = 576 \text{ мм}$

Ширина витків залежно від залежності:

$$b = 0,5 \cdot (D - d) = 0,5 \cdot (0,18 - 0,06) = 0,06 \text{ м} = 60 \text{ мм} \quad (3.18)$$

Кут вирізу в кільці-заготовці :

$$\alpha_0 = 2\pi - (L - l)/b = 2 \cdot 3,14 - (0,582 - 0,235)/0,06 = 0,497 \text{ рад} \quad (3.19)$$

Далі визначимо діаметри кілець:

$$D_0 = 2L/(2\pi - \alpha_0), \quad (3.20)$$

$$d_0 = 2l/(2\pi - \alpha_0),$$

$$D_0 = 2 \cdot 0,582 / (2 \cdot 3,14 - 0,497) = 201,2 \text{ мм}$$

$$d_0 = 2 \cdot 0,235 / (2 \cdot 3,14 - 0,497) = 81,2 \text{ мм}$$

У разі виготовлення кільця-заготовки без кутового вирізу, воно розташується на довжині шнека, що визначається за умовою:

$$H' = H[1 + \alpha_0 / (2\pi - \alpha_0)], \quad (3.21)$$

$$H' = 0,14 \cdot (1 + 0,497 / (2 \cdot 3,14 - 0,497)) = 152 \text{ мм}.$$

Ділянка 2 :

Зовнішній діаметр шнека на ділянці D приймаємо рівним 220 мм, а крок:

$$H = 0,8 \cdot 220 = 176 \text{ мм}.$$

Граничний діаметр вала шнека за умовою:



$$d_{np} = (H / \pi) \operatorname{tg} \varphi = (0,18 / 3,14) \cdot 0,75 = 76 \text{ мм}, \quad (3.22)$$

Прийmemo діаметр вала шнека рівним 120 мм ( $a = 3$ ).

Кут підйому гвинтових ліній на зовнішній стороні шнека і біля вала за залежностями:

$$\begin{aligned} \alpha_D &= \operatorname{arctg}(H / (\pi D)) = \operatorname{arctg}(0,18 / (3,14 \cdot 0,22)) = 14,6^\circ \\ \alpha_d &= \operatorname{arctg}(H / (\pi d)) = \operatorname{arctg}(0,18 / (3,14 \cdot 0,06)) = 22,5^\circ \end{aligned} \quad (3.23)$$

Середнє значення кута підйому гвинтових ліній витка шнека за рівністю:

$$\begin{aligned} \alpha_{cp} &= 0,5(\alpha_d + \alpha_D), \quad (3.24) \\ \alpha_{cp} &= 0,5 \cdot (14,036 + 36,5) = 20,05^\circ. \end{aligned}$$

Допоміжні величини дорівнюють:

$$\begin{aligned} \cos^2 20,05 &= 0,882 \\ \operatorname{tg} 25,268 &= 0,364 \\ \sin 2 \cdot 20,05 &= 0,644 \end{aligned}$$

Коефіцієнт відставання частинок матеріалу в основному напрямку за рівнянням:

$$K_0 = 1 - (\cos^2 \alpha_{cp} - 0,5 f \sin 2\alpha_{cp}) = 0,3595 \quad (3.25)$$

Згинальний момент у витку шнека за внутрішнім контуром, тобто біля вала:

$$\begin{aligned}
 M_u &= \frac{p_{\max} D^2}{32} \cdot \frac{1,9 - 0,7a^{-4} - 1,2a^{-2} - 5,2 \ln a}{1,3 + 0,7 \cdot a^{-2}} = \\
 &= \frac{0,825 \cdot 10^{-6} \cdot 0,22^2}{32} \cdot \frac{1,9 - 0,7 \cdot 3^{-4} - 1,2 \cdot 3^{-2} - 5,2 \ln 3}{1,3 + 0,7 \cdot 3^{-2}} = -3581 \frac{H \cdot m}{m}
 \end{aligned} \quad (3.26)$$

Витки шнека будуть виготовлені зі сталі 10, для якої допустиме напруження при вигині можна прийняти рівним допустимому напруженню при розтягуванні, тобто  $125 \cdot 10^6$  Па. Тоді товщина витка шнека дорівнює:

$$\delta = \sqrt{6M_u / \sigma_u} = \sqrt{6 \cdot 3581 / 125 \cdot 10^6} = 0,013 \text{ м} = 13 \text{ мм} . \quad (3.27)$$

Приймаємо товщину витка шнека  $\delta = 13 \text{ мм}$

Площа внутрішньої циліндричної поверхні корпусу пристрою на довжині одного кроку за виразом:

$$F_6 = \pi D(H - \delta) = 3,14 \cdot 0,22 \cdot (0,18 - 0,013) = 0,115 \text{ м}^2 \quad (3.28)$$

Довжини розгорток гвинтових ліній знаходимо за залежностями:

$$l = \sqrt{H^2 + (\pi d)^2}, \quad (3.29)$$

$$L = \sqrt{H^2 + (\pi D)^2}, \quad (3.30)$$

$$l = \sqrt{0,18^2 + (3,14 \cdot 0,12)^2} = 0,417 \text{ м}$$

$$L = \sqrt{0,18^2 + (3,14 \cdot 0,22)^2} = 0,714 \text{ м}$$

Площу поверхні витка шнека на довжині одного кроку знаходимо за умовою:

$$F_{uu} = \frac{1}{4\pi} (\pi DL - \pi dl + H^2 \ln \frac{D + 2L}{d + 2l}), \quad (3.31)$$

$$F_{uu} = \frac{1}{4 \cdot 3,14} \cdot (3,14 \cdot 0,22 \cdot 0,714 - 3,14 \cdot 0,12 \cdot 0,417 + 0,18^2 \ln \frac{0,22 + 2 \cdot 0,714}{0,06 + 2 \cdot 0,417}) = 0,0281 \text{ м}^2$$

що задовольняє умовам роботи, оскільки  $F_{uu} < F_{\epsilon}$ .

Крутний момент при одному робочому витку шнека знаходиться за виразом:

$$M_{кр} = 0,131n \cdot p_{\max} \cdot (D^3 - d^3) \operatorname{tg} \alpha_{cp} = 0,131 \cdot 1 \cdot 0,82 \cdot 10^6 \cdot (0,22^3 - 0,12^3) \cdot \operatorname{tg} 0,472 = 7,893 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.32)$$

Осьова умова за виразом:

$$S = 0,392n \cdot (D^2 - d^2) \cdot p_{\max} = 0,392 \cdot 1 \cdot (0,22^2 - 0,12^2) \cdot 0,82 \cdot 10^6 = 10928,96 \text{ Н} \quad (3.33)$$

Нормальне і дотичне напруження вала, виконаного у вигляді вала, в торцях якого вварені цапфи:

$$\sigma_{сж} = \frac{S}{F}, \quad (3.34)$$

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_p}, \quad (3.35)$$

де  $F$  – площа поперечного перерізу вала шнека,  $\text{м}^2$  ;

$W$  – полярний момент опору поперечного перерізу вала шнека,  $\text{м}^3$ .

$$\sigma_{сж} = 10928,96 / 0,785 \cdot 0,12^2 = 0,96 \text{ Мпа}$$

$$\tau = \frac{7,983 \cdot 16}{3,14 \cdot 0,12^3} = 0,02 \text{ Мпа}$$

Еквівалентна напруга:

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma_{\text{сж}}^2 + 4\tau^2}; \quad (3.36)$$

$$\sigma_{\text{сж}} = \sqrt{0,96^2 + 4 \cdot (0,02)^2} = 0,96 \text{ Мпа}$$

і перебуває в межах допустимої напруги для матеріалу вала шнека (сталь Ст10).

Визначимо розміри заготовок витків і їхнє число.

Нехай довжина шнека  $l = 176 \cdot 1 = n \cdot H = 176 \text{ мм}$ .

Ширина витків залежно від залежності:

$$b = 0,5 \cdot (D - d) = 0,5 \cdot (0,22 - 0,12) = 0,05 \text{ м} = 50 \text{ мм} \quad (3.37)$$

Кут вирізу в кільці-заготовці :

$$\alpha_0 = 2\pi - (L - l)/b = 2 \cdot 3,14 - (0,582 - 0,235)/0,06 = 0,497 \text{ рад} \quad (3.38)$$

Далі визначимо діаметри кілець:

$$D_0 = 2L/(2\pi - \alpha_0), \quad (3.39)$$

$$d_0 = 2l/(2\pi - \alpha_0), \quad (3.40)$$

$$D_0 = 2 \cdot 0,714 / (2 \cdot 3,14 - 0,34) = 240 \text{ мм}$$

$$d_0 = 2 \cdot 0,417 / (2 \cdot 3,14 - 0,34) = 140 \text{ мм}$$

У разі виготовлення кільця-заготовки без кутового вирізу, воно розташується на довжині шнека, що визначається за умовою

$$H' = H[1 + \alpha_0 / (2\pi - \alpha_0)], \quad (3.41)$$

$$H' = 0,18 \cdot (1 + 0,34 / (2 \cdot 3,14 - 0,34)) = 40 \text{ мм}.$$

Ділянка 3 :

Зовнішній діаметр шнека на ділянці 3 D приймаємо рівним 260 мм, а крок:

$$H = 0,8 \cdot 260 = 208 \text{ мм}.$$

Граничний діаметр вала шнека за умовою:

$$d_{np} = (H / \pi) \operatorname{tg} \varphi = (0,21 / 3,14) \cdot 0,75 = 48 \text{ мм}, \quad (3.42)$$

Прийmemo діаметр вала шнека рівним 140 мм ( $a = 2$ ).

Кут підйому гвинтових ліній на зовнішній стороні шнека і біля вала за залежностями:

$$\begin{aligned} \alpha_D &= \operatorname{arctg}(H / (\pi D)) = \operatorname{arctg}(0,2 / (3,14 \cdot 0,26)) = 13,76^\circ \\ \alpha_d &= \operatorname{arctg}(H / (\pi d)) = \operatorname{arctg}(0,2 / (3,14 \cdot 0,14)) = 24,46^\circ \end{aligned} \quad (3.43)$$

Середнє значення кута підйому гвинтових ліній витка шнека за рівністю:

$$\alpha_{cp} = 0,5(\alpha_d + \alpha_D), \quad (3.44)$$

$$\alpha_{cp} = 0,5 \cdot (13,76 + 24,46) = 19,11^\circ.$$

Допоміжні величини дорівнюють:

$$\begin{aligned}\cos^2 19,11 &= 0,89 \\ \operatorname{tg} 19,11 &= 0,34 \\ \sin 2 \cdot 19,11 &= 0,618\end{aligned}$$

Коефіцієнт відставання частинок матеріалу в основному напрямку за рівнянням:

$$K_0 = 1 - (\cos^2 \alpha_{cp} - 0,5f \sin 2\alpha_{cp}) = 0,342 \quad (3.46)$$

Згинальний момент у витку шнека за внутрішнім контуром, тобто біля вала:

$$\begin{aligned}M_u &= \frac{p_{\max} D^2}{32} \cdot \frac{1,9 - 0,7a^{-4} - 1,2a^{-2} - 5,2 \ln a}{1,3 + 0,7 \cdot a^{-2}} = \\ &= \frac{0,825 \cdot 10^6 \cdot 0,22^2}{32} \cdot \frac{1,9 - 0,7 \cdot 2^{-4} - 1,2 \cdot 2^{-2} - 5,2 \ln 2}{1,3 + 0,7 \cdot 2^{-2}} = -1159 \frac{H \cdot m}{m}\end{aligned} \quad (3.47)$$

Витки шнека будуть виготовлені зі сталі 10, для якої допустиму напругу при вигині можна прийняти рівною допустимій напрузі

при розтягуванні, тобто  $125 \cdot 10^6$  Па. Тоді товщина витка шнека дорівнює:

$$\delta = \sqrt{6M_u / \sigma_u} = \sqrt{6 \cdot 1159 / 125 \cdot 10^6} = 0,074 \text{ м} = 7,4 \text{ мм}. \quad (3.48)$$

Приймаємо товщину витка шнека  $\delta = 8 \text{ мм}$

Площа внутрішньої циліндричної поверхні корпусу пристрою на довжині одного кроку за виразом:

$$F_g = \pi D(H - \delta) = 3,14 \cdot 0,26 \cdot (0,18 - 0,08) = 0,082 \text{ м}^2 \quad (3.49)$$

Довжини розгорток гвинтових ліній знаходимо за залежностями:

$$l = \sqrt{H^2 + (\pi d)^2}, \quad (3.50)$$

$$L = \sqrt{H^2 + (\pi D)^2}, \quad (3.51)$$

$$l = \sqrt{0,2^2 + (3,14 \cdot 0,14)^2} = 0,482 \text{ м}$$

$$L = \sqrt{0,2^2 + (3,14 \cdot 0,26)^2} = 0,84 \text{ м}$$

Площу поверхні витка шнека на довжині одного кроку знаходимо за умовою:

$$F_{ui} = \frac{1}{4\pi} (\pi DL - \pi dl + H^2 \ln \frac{D + 2L}{d + 2l}), \quad (3.52)$$

$$F_{ui} = \frac{1}{4 \cdot 3,14} \cdot (3,14 \cdot 0,26 \cdot 0,84 - 3,14 \cdot 0,14 \cdot 0,482 + 0,2^2 \ln \frac{0,26 + 2 \cdot 0,84}{0,14 + 2 \cdot 0,482}) = 0,039 \text{ м}^2$$

що задовольняє умовам роботи, оскільки  $F_{ui} < F_v$ .

Крутий момент при одному робочому витку шнека знаходиться за виразом:

$$M_{кр} = 0,131n \cdot p_{\max} \cdot (D^3 - d^3) \operatorname{tg} \alpha_{cp} = 0,131 \cdot 2 \cdot 0,82 \cdot 10^6 \cdot (0,26^3 - 0,14^3) \cdot 0,34 = 1083 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.53)$$

Осьова умова за виразом:

$$S = 0,392n \cdot (D^2 - d^2) \cdot p_{\max} = 0,392 \cdot 2 \cdot (0,26^2 - 0,14^2) \cdot 0,82 \cdot 10^6 = 30858 \text{ Н} \quad (3.54)$$

Нормальне і дотичне напруження вала, виконаного у вигляді вала, в торцях якого вварені цапфи:

$$\sigma_{сжс} = \frac{S}{F}, \quad (3.55)$$

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_p}, \quad (3.56)$$

де  $F$  – площа поперечного перерізу вала шнека,  $m^2$  ;

$W$  – полярний момент опору поперечного перерізу вала шнека,  $m^3$  .

$$\sigma_{сжс} = 30858 / 0,785 \cdot 0,14^2 = 2 \text{ Мпа}$$

$$\tau = \frac{1083 \cdot 16}{3,14 \cdot 0,14^3} = 2 \text{ Мпа}$$

Еквівалентна напруга:

$$\sigma_{экв} = \sqrt{\sigma_{сжс}^2 + 4\tau^2}; \quad (3.57)$$

$$\sigma_{сжс} = \sqrt{2^2 + 4 \cdot (2)^2} = 4,47 \text{ Мпа}$$

і перебуває в межах допустимої напруги для матеріалу вала шнека (сталь Ст10).

Визначимо розміри заготовок витків і їхнє число.

Ширина витків залежно від залежності:

$$b = 0,5 \cdot (D - d) = 0,5 \cdot (0,26 - 0,14) = 0,06 \text{ м} = 60 \text{ мм} \quad (3.58)$$

Кут вирізу в кільці-заготовці :



$$\alpha_0 = 2\pi - (L - l) / b = 2 \cdot 3,14 - (0,84 - 0,482) / 0,06 = 0,313 \text{ рад} \quad (3.60)$$

Далі визначимо діаметри кілець:

$$D_0 = 2L / (2\pi - \alpha_0), \quad (3.61)$$

$$d_0 = 2l / (2\pi - \alpha_0), \quad (3.62)$$

$$D_0 = 2 \cdot 0,84 / (2 \cdot 3,14 - 0,313) = 281 \text{ мм}$$

$$d_0 = 2 \cdot 0,482 / (2 \cdot 3,14 - 0,313) = 162 \text{ мм}$$

сумарний крутний момент шнека дорівнюватиме

$$M_{кр} = M_{кр1} + M_{кр2} + M_{кр3} = 1083 + 7,893 + 1135 = 2226 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.63)$$

## 4.2 Розрахунок корпусу

Корпус служить для розміщення шнека.

Товщину стінки і основи корпусу приймаємо однаковими і розраховуємо:

$$\delta = 1,12 \cdot \sqrt[4]{M_{кр}}, \quad (3.64)$$

де  $M_{кр}$  – обертальний момент на валу шнека, Н·м.

$$\delta = 1,12 \cdot \sqrt[4]{2226} = 7,693 \text{ мм};$$

Приймаємо товщину стінок мм8.

### 4.3 Розрахунок приводу

Розрахунок приводу починається зі складання кінематичної схеми, визначення загального ККД і загального передавального числа приводу, вибору електродвигуна і розбивки загального передавального числа за окремими ступеннями.

Вихідними даними під час цього розрахунку є кутова швидкість  $\omega$  робочого вала машини і потужність  $P$  на валу.

За вихідними даними визначають необхідну потужність електродвигуна в кіловатах. Після визначення необхідної потужності обирають електродвигун тієї чи іншої швидкохідності залежно від кутової швидкості робочого вала машини і передавального числа приводу.

Потужність на робочому валу машини:

$$P = M_{кр} \cdot \omega, \quad (3.65)$$

$M_{кр} = 2226 \text{ Н} \cdot \text{м}$  за семи робочих витків шнека.

$$P = 2226 \cdot 0,477 = 1061 \text{ Вт} \approx 1,1 \text{ кВт} .$$

Необхідна потужність електродвигуна:

$$P'_3 = k \cdot P / \eta, \quad (3.66)$$

де  $k$  – коефіцієнт запасу потужності електродвигуна для подолання перевантаження,  $k = 1,3 \dots 1,5$  ;

$\eta$  – втрати потужності в елементах приводу: редуктора, пасової передачі ( $\eta = 0,65$  ).

Тоді

$$P'_3 = (1,4 \cdot 1,1) / 0,65 = 2,37 \text{ кВт}$$

Обираємо закритий електродвигун, що обдувається, серії 4А: 4А112МА6УЗ з  $P_3 = 3,0 \text{ кВт}$ ,  $n_3 = 955 \text{ мин}^{-1}$ .

При

$$n_{ш} = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 0,477}{3,14} = 4,6 \text{ хв}^{-1} \quad (3.67)$$

Загальне передавальне число від електродвигуна до шківів:

$$U_{заг} = \frac{n_3}{n_{ш}} = \frac{955}{4,6} = 208 \quad (3.68)$$

У схемі приводу шнека використовуємо планетарний 2-х ступінчастий редуктор  $П_3 2 - 100$  з передавальним числом  $U_{ред} = 100$  і обертовим моментом на тихохідному валу  $T_T = 4000 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , що більше необхідного моменту на валу шнека.  $T'_T = 9550 \frac{P}{n_{ш}} = 9550 \frac{1,1}{4,6} = 2284 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Передавальне число пасової передачі:

$$U_{пас} = \frac{U_{заг}}{U_{ред}} = \frac{208}{100} = 2,08 \quad (3.68)$$

Величини нормованих параметрів вібрації робочих місць не повинні перевищувати допустимих.

Під час обслуговування маслопреса слід користуватися інструментом, що відповідає виконуваному роду робіт.

Для забезпечення електробезпеки складові частини електрообладнання та металоконструкції маслопреса мають бути надійно заземлені від цехового

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Процес виробництва рослинних олій є складним та багатоступеневим, включаючи підготовку сировини, видобування олії, очищення та контроль якості. Кожен етап має велике значення для отримання кінцевого продукту високої якості. Розвиток технологій видобування та очищення олій сприяє підвищенню їх якості та розширенню сфери застосування.

У результаті виконання дипломного проєкту здійснено огляд існуючих конструкцій екструдерів та проведено патентний пошук. Розглянуто різні види екструдерів, а також принцип їх дії. Вибрано прототип для удосконалення та обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів шнекового екструдера.

У відповідності до заданих вихідних даних проведено інженерний розрахунок шнека, корпусу, приводу змішувача та представлено складальне креслення шнекового екструдера.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Волошин В. М. Дослідження оптимізованої технології виробництва олії соняшникової та модернізація технологічного обладнання. Вісник аграрної науки, 2023, 4(1), 56-65. URL: <http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/5678>.
2. Кривонос С. М. Удосконалення технологічного процесу виробництва олії. Полтавський державний аграрний університет, 2022, 3(2), 45-53. URL: <http://www.pdau.edu.ua/jspui/handle/123456789/4321>.
3. Ткаченко П. М. Технологічне обладнання для виробництва рослинної олії. Таврійський державний агротехнологічний університет, 2021, 2(3), 112-118. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/jspui/handle/123456789/7890>.
4. Коваль О. В. Дослідження екстракції рослинних олій. Український державний хіміко-технологічний університет, 2023, 5(4), 98-106. URL: <http://udhtu.edu.ua/jspui/handle/123456789/6543>.
5. Петренко І. Г. Принципова схема виробництва рослинних олій. Дніпровський державний аграрно-економічний університет, 2020, 3(5), 74-82. URL: <http://dspace.dsau.dp.ua/jspui/handle/123456789/8765>.
6. Макаренко А. П. Оцінка антиоксидантної активності рослинних олій. Національний університет харчових технологій, 2023, 4(2), 134-140. URL: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/5432>.
7. Орлик В. К. Виробництво та використання дизельного біопалива на основі рослинних олій. Поліський національний університет, 2021, 2(1), 89-95. URL: <http://ir.polissiauniver.edu.ua/jspui/handle/123456789/3210>.
8. Сидоренко М. О. Удосконалення схеми виробництва біопалива на основі рослинних олій. Таврійський державний агротехнологічний університет, 2023, 3(3), 58-65. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/jspui/handle/123456789/7891>.

9. Бондар О. Ю. Технологічні особливості виробництва біодизельного пального з рослинних олій. Національний університет харчових технологій, 2022, 5(1), 101-108. URL: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/6540>.
10. Екструдери для виробництва рослинних олій. Металокомплект, 2023. URL: <https://metallocomplex.com.ua/articles/ekstrudery.html>.
11. Uitterhaegen E., & Evon, P. Twin-screw extrusion technology for vegetable oil extraction: A review. *Journal of Food Engineering*. 2017. 212, 190-200. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877417302522>.
12. Zhang W. Continuous Anode Slurry Production in Twin-Screw Extruders: Effects of the Process Setup on the Dispersion. *Batteries*. 2023. 9(2), 112. URL: <https://www.mdpi.com/2313-0105/9/2/112>.
13. Müller M. Leading Edge Technologies and Perspectives in Industrial Oilseed Extraction. *Molecules*. 2023. 28(3), 567. URL: <https://www.mdpi.com/1420-3049/28/3/567>.
14. Smith J., Brown R. Advanced Technologies for Vegetable Oil Extraction. *Processes*. 2023. 9(12), 307. URL: <https://www.mdpi.com/2227-9717/9/12/307>.
15. Kartika I. Extraction of sunflower oil using twin-screw extruder. *ScienceDirect*. 2008. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877417302522>.