

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

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Петрук Вадим Русланович

УДК 631.363

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ ШНЕКОВОГО ПРЕСА ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ
БІОМАСИ КОМАХ В БІОЛОГІЧНІ ДОБАВКИ**

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
_____ Петрук В.Р.

Керівник роботи
Боровський В.М.
старший викладач

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Петрук Вадим Русланович. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів шнекового преса для переробки біомаси комах в біологічні добавки. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В кваліфікаційній роботі обґрунтовано вибір технологічного процесу та шнекового преса як базову машину для переробки личинки мухи Чорна левина (*Hermetia illucens*) на кормові добавки для малих та середніх фермерських рибницьких господарств.

Розроблено модель роботи шнекового преса на основі розгляду процесу пресування біомаси личинки мухи Чорна левина (*Hermetia illucens*) як в'язкого середовища, що підпорядковується статичному закону Оствальда-де Віля та процесу фільтрації жиру на основі закону Дарсі.

Встановлено, що в'язкість біомаси личинки при варіюванні тиску в діапазоні 1000 – 3000 Па та швидкості зсуву $1-10 \text{ с}^{-1}$ змінюється з 51000 до 5300 мПа·с; в'язкість жиру при варіюванні температури від 30 до 90 °С змінюється в діапазоні від 15,3 до 6,3 мПа·с; Найбільше значення коефіцієнта фільтрації жиру дорівнює $4,9 \cdot 10^{13} \text{ м}^4/\text{Н} \cdot \text{с}$ спостерігається при тиску 10-11 МПа.

При об'ємній продуктивності шнекового преса 10 кг/годин раціональний діаметр отворів для виходу жиру повинен бути 0,8 мм, кількість обертів 20,5 хв⁻¹, діаметр отвору для виходу макухи 7,2 мм, діаметр зерної камери 0,078 м, діаметр шнека 0,05 м. Питома енергоємність процесу при цьому становить 0,2 кВт·год/кг, а залишкова олійність макухи менше 10%.

Ключові слова: шнековий прес, параметри, біомаса, тиск, конструкція, режим.

ANNOTATION

Petruk Vadym Ruslanovych. Substantiation of design and technological parameters of a screw press for processing insect biomass into biological additives. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

The qualification work substantiates the choice of a technological process and a screw press as a basic machine for processing the larvae of the black lion fly (*Hermetia illucens*) into feed additives for small and medium-sized farm fish farms.

A model of the screw press operation was developed based on the consideration of the process of pressing the biomass of the larvae of the black lion fly (*Hermetia illucens*) as a viscous medium that obeys the static Ostwald-de Ville's law and the process of fat filtration based on Darcy's law.

It was found that the viscosity of the larval biomass varies from 51000 to 5300 mPa·s when the pressure is varied in the range of 1000 - 3000 Pa and the shear rate is 1-10 s⁻¹; the viscosity of fat varies from 15.3 to 6.3 mPa·s when the temperature is varied from 30 to 90 °C; the highest value of the fat filtration coefficient equal to 4.9 - 1013 m⁴/N·s is observed at a pressure of 10-11 MPa.

With a volumetric capacity of the screw press of 10 kg/hour, the rational diameter of the holes for the fat outlet should be 0.8 mm, the number of revolutions 20.5 min⁻¹, the diameter of the hole for the cake outlet 7.2 mm, the diameter of the sieve chamber 0.078 m, and the diameter of the screw 0.05 m. The specific energy consumption of the process is 0.2 kWh/kg, and the residual oil content of the cake is less than 10%.

Keywords: screw press, parameters, biomass, pressure, design, mode.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД І АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВІДЖИМУ ОЛІЙ І ЖИРІВ ІЗ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ СИРОВИНИ.....	10
РОЗДІЛ 2. ОБґРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ШНЕКОВОГО ПРЕСА ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ БІОМАСИ КОМАХ В БІОЛОГІЧНІ ДОБАВКИ.....	20
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ІНЖЕНЕРНОГО РОЗРАХУНКУ ШНЕКОВОГО ПРЕСА ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ОЛІЙНОЇ БІОМАСИ КОМАХ ТА РОЗРОБКА МОДЕЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ШНЕКОВОГО ПРЕСА.....	33
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. У собівартості виробництва продукції тваринництва, птахівництва та рибництва корми займають понад 70%. Для ефективного виробництва цих галузей склад кормів повною мірою має відповідати біологічним потребам, як власне видів тварин, птиці, риб, і їх віковим групам і видовим особливостям.

Так, у рекомендованій рецептурі годівлі великої рогатої худоби, свиней, птиці та риб широко використовується зерно різних сільськогосподарських культур, макухи та шроти, жири, білково-мінерально-вітамінні добавки включаючи рибне та м'ясо-кісткове борошно, премікси. В останні роки все більшого поширення набуває використання різних ферментів, пробіотиків та симбіотиків.

Світовий обсяг комбікормової продукції з кожним роком зростає. Це пов'язано насамперед зі збільшенням чисельності населення планети і, відповідно, збільшення попиту на продукти тваринного походження. За останній рік світове виробництво комбікормів зросло на 1% порівняно з минулим роком і склало 1187,7 млн. т.

Більше 50% всього світового обсягу виробленої комбікормової продукції посідає 8 країн, у яких входить Україна. Поряд із збільшенням обсягу виробництва комбікормів підвищуються ціни на них. За останні 5 років ціни на комбікорми зросли більш ніж у 2 рази. Це пов'язано насамперед із зростанням цін на сировину для їхнього виробництва. Крім того, комбікорми, що використовуються в Україні для аквакультури є переважно імпортними, що суттєво впливає на збільшення вартості кінцевої продукції. Незважаючи на зростання цін комбікормової продукції, спостерігається зниження витрати кормів виробництва одиниці виробленої продукції тваринництва (кг/кг). Так, у 2016 р. у птахівничому виробництві витрата кормів склала 1,8, у свинарському –

3,1, у 2020 році відповідно 1,65 та 2,9, і, за прогнозами, у 2025 році становитиме 1,4 та 2, 8.

Основним джерелом тваринного білка в комбікормах є рибне борошно. Збільшується зростання дефіциту рибного борошна, що спричиняє підвищення її фальсифікації, погіршення якості та підвищення цін. Однією з причин дефіциту рибного борошна є зменшення частки риби, що використовується для отримання рибного борошна та риб'ячого жиру. Найчастіше починають використовувати продукти переробки, що робить не стабільною якість кінцевого продукту.

За даними FAO (продовольчої та сільськогосподарської організації ООН), останнім часом неухильно зростає попит на рибу та рибну продукцію. У зв'язку з чим виникає гостра необхідність у нарощуванні обсягів виробництва комбікормів для риб. Комбікорми для риб відрізняються високим вмістом білка і жиру, недолік якого істотно впливає на організм тварини. Крім того, через травну систему риби разом з водою і їжею, що заковтується, постійно проходить величезна кількість мікроорганізмів, які можуть нашкодити організму тварини. Тому при годівлі риби необхідно враховувати ці фактори та підбирати рецептуру, що задовольняє її потреби.

Донедавна для лікування та профілактики інфекційних захворювань у тварин активно використовувалися антибіотики. Останні десятиліття проведено численні дослідження, що доводять негативний вплив антибіотиків на організм тварини. Однією з альтернатив антибіотикам все частіше використовуються пробіотики. Вони мають імуномодулюючу дію, підтримці нормальної мікробіоти, сприяють приросту м'язової маси, збільшенню конверсії корму.

Такі зміни спонукають шукати альтернативні джерела білка і жиру для виробництва комбікормів, у тому числі для аквакультури, що не поступаються за якістю рибного борошна та риб'ячого жиру. В якості таких джерел розглядаються морські зоопланктони – а саме, антарктичний криль і каланус. Така альтернатива має низку недоліків: активне їх використання викликає ризик

зміни харчових кіл; висока вартість кінцевого продукту; необхідність зниження фторидів.

Комахи становлять особливий інтерес як джерело білка та жиру. Серед різноманітності можливих видів комах для промислового розведення та використання особливий інтерес представляє муха Чорна левина (*Hermetia illucens*), а саме її личинка. Оскільки саме у личинці міститься велика кількість білка та жиру, порівняно з дорослою особиною. Личинка мухи Чорна левина (*Hermetia illucens*), має амінокислотний склад, схожий на склад рибного борошна. Жир личинки містить вітамін Е, бере участь у регулюванні репродуктивної функції тварини і знижує кормові витрати, а також пептиди і лауринову кислоту, що мають бактерицидну дію, пригнічують розвиток патогенної мікрофлори.

Відповідно до регламенту європейського парламенту ради № 999/200С, заборонено використовувати субпродукти комах як корм для сільськогосподарських тварин, у тому числі для аквакультури, тоді як оброблений тваринний білок, отриманий у тому числі з личинки мухи Чорна левина (*Hermetia illucens*), використовувати у годівлі тварин дозволено. Крім того, для кожного виду тварин вміст білка та жиру в кормі по-різному, тому поділ личинки мухи Чорна левина (*Hermetia illucens*) на білок і жир є актуальним завданням.

Отриманий білок можна використовувати як у кормах, так і як субстрат для створення пробіотичних препаратів з подальшим додаванням їх у корми.

Аналіз технології та обладнання для віджиму жиру показав, що існують прості технології прямої переробки (розмелювання висушеної личинки в борошно), а також існують поодинокі підприємства (Protix, Agriprotein, Enterra та ін.) технології яких дозволяють отримати продукт високої якості, проте інформація про технологічний процес є комерційною таємницею.

Ця ситуація не сприяє розвитку технології альтернативних джерел білка та жиру, оскільки відсутні фундаментальні основи технології глибокої переробки

комах у борошно. Також, виходячи з аналізу, виявлено, що машиною, здатною максимально витягти жир з личинки і при цьому зберегти всі корисні властивості жиру є шнековий прес.

Мета роботи – обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів шнекового пресу для переробки біомаси комах у технології виробництва протеїнового борошна та жиру з личинки мухи Чорна левина (*Hermetia illucens*) на кормові цілі.

Для реалізації поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі **завдання**:

- обґрунтувати технологічні особливості процесу та раціональні параметри роботи шнекового пресу для переробки личинки мухи Чорна левина (*Hermetia illucens*) на біологічно цінні добавки до кормів;
- обґрунтувати технологію та пресуюче обладнання для переробки олійної біомаси комах.

Об'єкт дослідження: технологічний процес переробки олійної біомаси личинки мухи Чорна левина (*Hermetia illucens*) шнековим пресом.

Предмет дослідження: конструктивно-технологічні залежності технологічного процесу переробки біомаси подрібненої личинки мухи Чорна левина (*Hermetia illucens*) на шнековому пресі.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Боровський В.М. **Петрук В.Р.** Огляд і аналіз обладнання для віджиму олій і жирів із сільськогосподарської сировини. Збірник тез IX-ї всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». м. Житомир, 5 квітня 2023 року. Житомир : ЖАТФК. С. 232-237.

2. Боровський В.М. **Петрук В.Р.** Розробка модельної конструкції шнекового преса. *Наукові читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та*

молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 19 квітня 2023 р. Житомир : Поліський національний університет, 2023. Т. 3. С. 103-106.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено шнековий прес для переробки личинки мухи Чорна левина (*Hermetia illucens*) на кормові добавки для малих та середніх фермерських рибницьких господарств.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 17 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 43 сторінки комп'ютерного тексту, містить 18 рисунків та 3 таблиці.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД І АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВІДЖИМУ ОЛІЙ І ЖИРІВ ІЗ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ СИРОВИНИ

Основною машиною в технології виробництва олії є шнековий або гідравлічний преса. Гідравлічні преси здебільшого використовуються в технології виробництва олії холодним віджиманням, а також при домашньому виробництві олії. Шнекові преси використовуються частіше як для промислового виробництва олії холодним і гарячим способом, так і для домашнього користування – побутові шнекові преси.

Гідравлічний прес являє собою пристрій вертикального типу з періодичною дією (рис. 1.1). Тиск у ньому створюється за рахунок рухомого плунжера, який приводиться в рух рідиною високого тиску. Масломісткий матеріал перебуває між двох плит, одна з яких нерухома.

Під час нагнітання тиску відбувається стиснення матеріалу і виділення з нього олії, яка витікає через отвори циліндра. На рис. 1.2 показано принципову схему гідравлічного преса.



Рис. 1.1. Загальний вигляд гідравлічного преса Akita jr AKJP-900

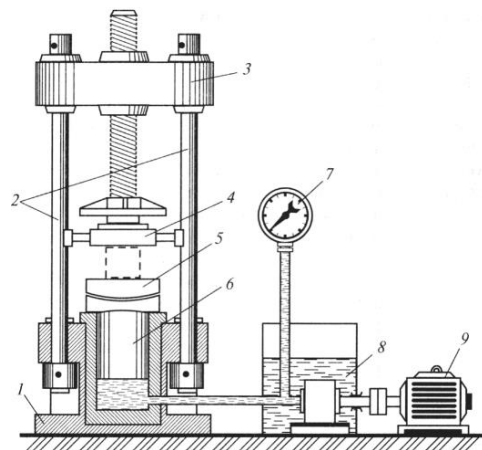


Рис. 1.2. Технологічна схема гідравлічного преса: 1 – основа; 2 – опори; 3 – траверса; 4 і 5 – плити; 6 – поршень; 7 – манометр; 8 - насос; 9 – електродвигун

Гідравлічні преси мають низку недоліків: гідравлічний прес має періодичність дії; у макусі залишається високий вміст олії (7...8 %); невисока продуктивність; енергоємний процес – гідравлічний прес відтискає олію за високих тисків – до 30 МПа. У технології отримання олії частіше використовується шнековий прес. Робочим органом преса є зеєрна камера та шнековий вал. Допоміжними органами є вихідний отвір для макухи, регульовальний тиск і ножі для запобігання повертання матеріалу.

Шнековий вал буває, як збірним, так і цілним. Збірний шнек використовується частіше, оскільки при зношуванні деяких витків, їх можна замінити. При цілісному шнеку такої можливості немає. На рис. 1.3 представлений збірний шнековий вал.



Рис. 1.3. Збірний шнековий вал преса: 1 – окремий збірний виток шнека; 2 – циліндричне проміжне кільце; 3 – конічне проміжне кільце

Внутрішня частина зеєрного циліндра 2 і шнек 1 (рис. 1.4) утворюють гвинтовий канал 3, геометрія якого впливає на ступінь віджимання та об'ємну продуктивність шнекового преса.

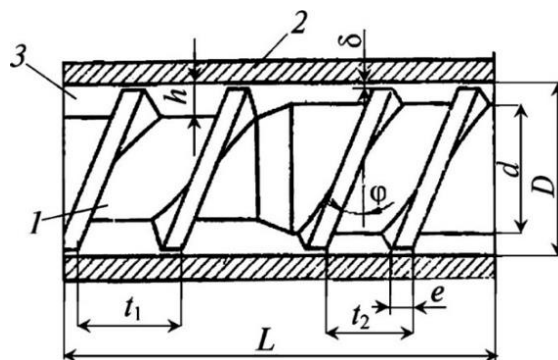
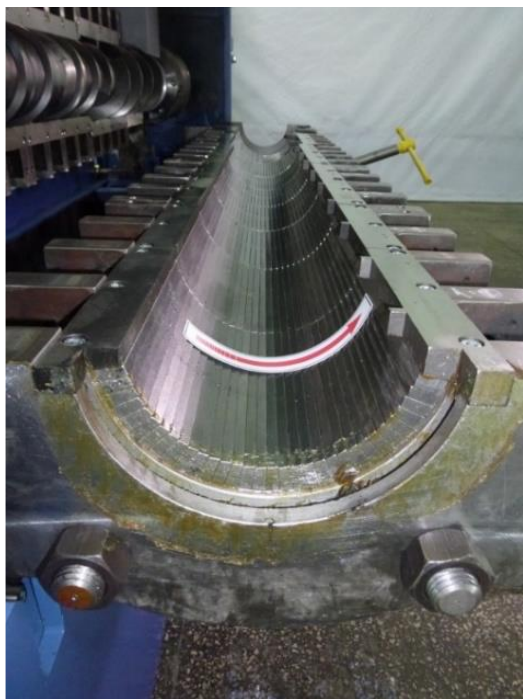
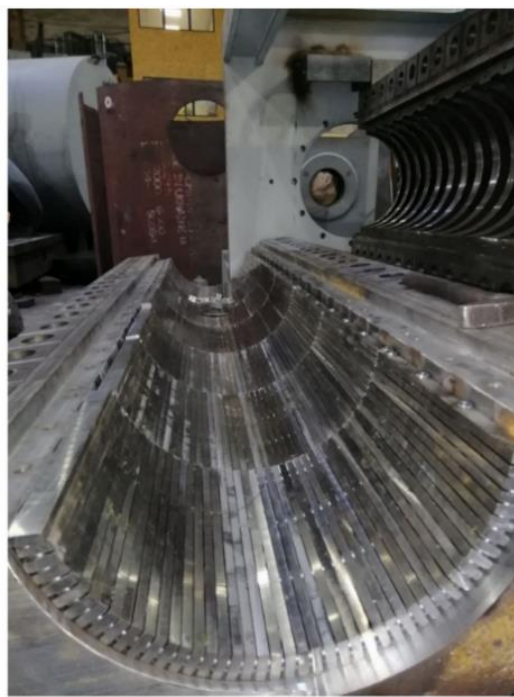


Рис. 1.4. Будова гвинтового каналу шнекового преса: 1 – шнек; 2 – зеєр; 3 – міжвитковий простір; h – глибина каналу; δ – зазор між зеєрним циліндром і витком шнека; L – довжина шнека; e – ширина витка; d – діаметр шнекового вала; D – діаметр зеєрної камери; δ – зазор між зеєрним циліндром і витком шнека.

Зеєрний циліндр складається з пластин (рис. 1.5) або з суцільнолитой камери з круглими отворами різного діаметра (рис. 1.6). Зазори між пластин регулюються за допомогою спеціальних припливів на них (рис. 1.5, а) або шайб різної товщини (рис. 1.5, б).



а



б

Рис. 1.5. Зеєрна камера щнекового преса: а – регулювання зазору між зеєрними пластинами за допомогою спеціальних приливів; б – регулювання зазору між зеєрними пластинами за допомогою шайб



Рис. 1.6. Шнековий прес із круглими отворами для виходу масла компанії Oeltech, Німеччина

Діаметр отворів для виходу олії або зазор між зеєрними планками повинен забезпечувати фільтрацію олії, але не пропускати тверді частинки олійного

матеріалу. У міру просування олійного матеріалу до виходу тиск наростає, тому розмір отворів повинен зменшуватися. Результати огляду літературних даних засвідчили, що розмір отворів варіюється від 0,15 до 1,5 мм залежно від олійного матеріалу, що переробляється.

Регулювальний пристрій регулює тиск у робочій камері преса. Величина регулювального отвору залежить від виду преса – форпрес або експелер і пресованого олійного матеріалу. Зазор на виході макухи створюється конусом, діафрагмою або кільцем.

Форпреси застосовують під час віджимання олії з подальшою екстракцією макухи, або при дворазовому пресуванні на стадії первинного знімання олії.

Форпреси віджимають основну частину олії, що міститься в насінні олійних культур – до 85 % і мають високу продуктивність 35-45 т/добу. Залишкова олійність макухи близько 17 %. Швидкість обертання шнека становить від 18 до 36 об/хв, величина вихідного отвору (регулювальний пристрій) становить від 8 до 12 мм. На рис. 1.7 показано загальний вигляд преса ФП, на рис. 1.8 його будова.



Рис. 1.7. Загальна
будова
форпреса ФП

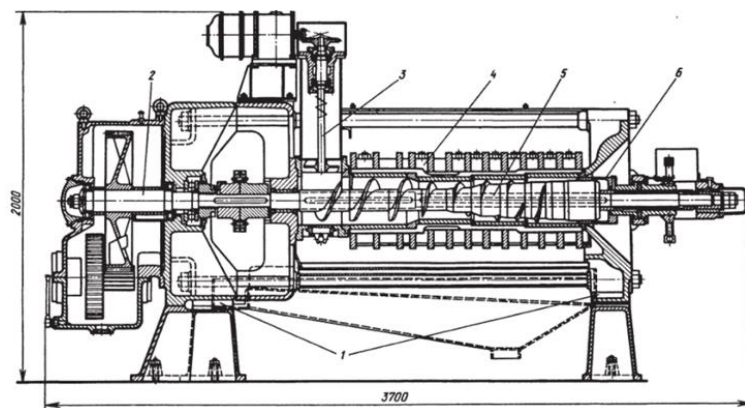


Рис. 1.8. Схема форпреса: ФП 1 – станина; 2 -
привід преса; 3 – вертикальний вал; 4 – зеєрний
барабан; 5 - шнековий вал; 6 – регулятор тиску
конусного типу

Зеєрна камера 4 шнекового преса і шнековий вал мають чотири ступені, що сприяють стисненню матеріалу. Величина зазору між зеєрними планками зменшується також ступінчасто. Регулювальний пристрій у пресі ФП конусний.

Експелери використовуються для остаточного віджимання при дворазовому пресуванні, а також при одноразовому пресуванні, після чого слідує екстракція розчинником. Продуктивність експелерів становить до 30 т/добу. Залишковий вміст олії в макусі до 7 %, число обертів шнека від 5 до 18 об/хв. Величина регульовального отвору від 3 до 7 мм. Експелер типу ЕП представлений на рис. 1.9.



Рис. 1.9. Експелерний агрегат ЕП

Експелер ЕП складається з тричастинної жаровні (на рис. не показано) і шнекового преса. Зеєрна камера і шнековий вал мають 4 ступені.

Преси шнекового типу виготовляють як з одним шнеком - найпоширеніша конструкція, так і з двома. Головною перевагою двошнекового преса перед одношнековим є те, що для створення тиску в зеєрній камері двошнековому пресу необхідно менше енергетичних витрат, ніж одношнековому. Проте, двошнековий прес не знайшов широкого застосування в олійно-жировій промисловості, оскільки його вартість значно вища за вартість одношнекових пресів при однаковому ступені віджимання - олійність макухи після преса з одним і двома шнеками становить 7...12 %.

Шнекові преси залежно від діаметра шнекового вала D і глибини витка h поділяються на чотири види:

- зеєрна камера і шнековий вал без ступенів (рис. 1.9, а);

- зеєрна камера без ступенів, шнековий вал ступінчастий (рис. 1.9, б);
- ступінчаста зеєрна камера і шнековий вал без ступенів (рис. 1.9, в);
- зеєрна камера і шнековий вал ступінчасті (рис. 1.9, г).

Шнекові преси з конструктивними параметрами, представленими на рис. 1.10 (а) не розвивають великого тиску і рідко використовуються для віджимання олії в промислових масштабах. Стиснення матеріалу відбувається тільки за рахунок зміни кроку витків. Частіше такі конструкції знаходять своє застосування в шнекових пресах для малих фермерських господарств або для використання в побуті.

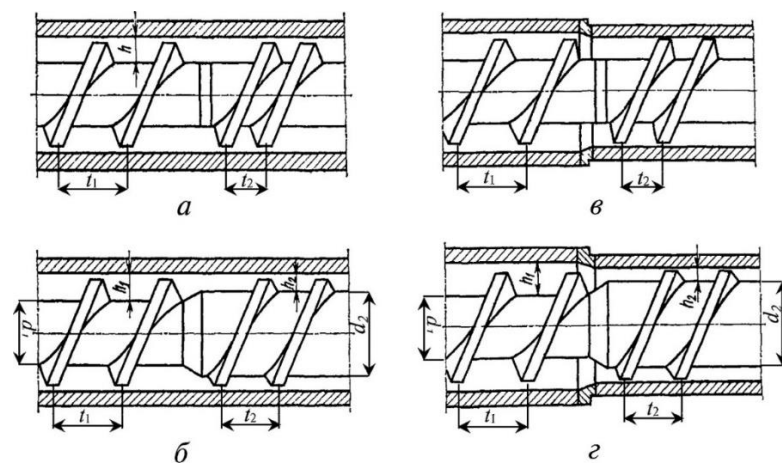


Рис. 1.10. Види шнекових пресів залежно від конструктивних параметрів

Порівняльний аналіз конструктивно-кінематичних параметрів шнекових пресів попереднього й остаточного віджимання зведено в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика параметрів преса попереднього та остаточного віджим

Параметри	Форпресс	Експеллер
Зазор для виходу жмиха, мм	8...12	3...7
Діаметр зеєрної камери, мм	220...250	130...155
Зазори зеєрних планок, мм	1,5...0,5	1,5...0,15
Число обертів шнека, об/хв.	18...36	5...18

Таким чином, було виявлено параметри, які впливають на ступінь віджимання олії. Враховуючи, що вміст жиру в личинці мухи Чорна левинка 1 2 t ,t 30 (*Hermetia Illucens*) становить 23-45 %, можна припустити, що ефективним пресом для віджимання жиру з такої сировини буде експелер. Такий прес призначений для віджимання низько- та середньоолійних культур, якою є досліджувана сировина. Також зміна діаметра шнекового вала, зєрного циліндра і кроку витків забезпечить необхідний тиск, за якого буде вилучено максимальну кількість жиру.

Процес віджиму олії з олійної сировини багато в чому залежить від фізико-механічних та технологічних властивостей вихідної сировини (щільність, гранулометричний склад, пружність, пластичність, в'язкість олії (жиру) та ін.). Крім того, в процесі віджиму в шнековому каналі преса властивості пресованої сировини змінюються: на початку пресування матеріал має сипкі властивості, але в процесі пресування і зближення частинок під дією тиску пресований матеріал набуває властивостей пластичного тіла.

У процесі пресування та віджиму на шнекових пресах дуже важливо знати пружні властивості мезги, так як це дозволяє визначити тиск, який створюється в пресі. Ці властивості мезги дозволяють також визначити роботу, що витрачається під час її пресування.

Пружні властивості мезги залежать від питомого тиску та ступеня стиснення. Ступінь стиснення - це відношення початкового обсягу мезги до кінцевого і в пресі є відношенням вільного обсягу попереднього витка до вільного обсягу наступного. Поєднання пластичних та пружних властивостей матеріалу забезпечують максимальне віджимання масла з пресованого матеріалу.

Основними факторами, що визначають пластичні та пружні властивості сировини та впливають на повноту віджиму олії є температура та вологість.

Вологість безпосередньо впливає на пружні та пластичні властивості мезги. Правильно підібраний вологотепловий режим обробки м'ятки олійного

матеріалу дозволяє зменшити навантаження на електродвигун преса та залишкову олійність макухи. Зниження пластичності мезги підвищує навантаження та зменшує вихід олії.

Як підвищена, так і знижена вологість мезги негативно впливає на процес віджиму та ефективність відділення олії. При підвищеній вологості мезга має високу пластичність, масло відокремлюється при невеликому стисканні, основний його вихід відбувається на початку зеєрної камери, маса, що пресується, не може проштовхнути по зеєру попереду лежачу масу мезги, у зв'язку з чим збільшується залишкова олійність.

Знижена вологість має низьку пластичність. Основний віджим масла відбувається в кінці зеєрної камери, макуха має безформну масу. За рахунок низької пластичності збільшується тертя, що додатково веде до перегріву та погіршення якості олії та білкового скелета.

Оптимальна вологість, при якій досягаються якісні показники роботи шнекового преса, залежить від виду сировини, що переробляється, і встановлюється дослідним шляхом. Вологість мезги олійних культур перед попереднім пресуванням становить 5-6%. Для шквари – продукту переробки тваринного жиру після процесу витоплення, оптимальне вміст води 6 %. Діапазон варіювання вмістом води від 3 до 10%. Нижче 3% шкварка має розсипчасту структуру і проходить разом із жиром через зеєрні планки. При вологості понад 10% шкварка має високу пластичність і проходить між зеєрними планками як пастоподібна маса.

Температура, при якій відбувається віджимання масла також впливає на залишкову олійність макухи. В'язкість жирів (масел) з підвищенням температури знижується, олія має більшу плинність, що сприяє інтенсивному його відділенню від білкової частини.

У джерелах вказано оптимальну температуру пресованої сировини та зеєрної камери 70–80 °С, з урахуванням, що внаслідок тертя пресованої сировини об стінки циліндра температура його додатково підвищиться. При

такій температурі масло (жир) стає менш в'язким і добре відокремлюється від скелетної частини сировини, що пресується. При підвищенні температури вище зазначеної, відбуваються небажані зміни в макусі та олії (жирі). Процес підготовки та віджиму олії не повинен перевищувати 105 °С. При нагріванні мезги до 120-140 ° С відбувається деструкція білка та жиру, виділення летких продуктів, що погіршує якість олії та макухи. У роботі Файвішевського М. Л. представлено опис негативного впливу високих температур на білки. Так, при температурі 122 ° С денатурація білків становить 86 %, при 114 ° С денатурація вже склала 70,7 %, а при температурі 102 ° С денатурація знизилася до 52,4 %.

Гранулометричний склад впливає на інтенсивність віджиму олії. Внаслідок подрібнення олійної сировини руйнується структура клітин, що полегшує вихід олії. Оптимальним розміром частинок є прохід через сито 1 мм не менше 60 % для м'яти і не менше 80 % для макухи при вторинному віджиму, однакового розміру, вміст дрібних частинок менше 1 мм має бути мінімальним. На ситі не повинно залишатися не розмелене насіння. Велика кількість дрібних частинок призводить до склеювання частинок між собою, запресування каналів, якими відбувається фільтрація масла і, як наслідок, підвищена залишкова олійність макухи.

В'язкість і щільність олії залежить від її жирнокислотного складу та температури. Зі збільшенням останнього, в'язкість і щільність жиру зменшуються, стаючи рідкішим і текучим.

Більшість масел є ньютонівськими рідинами і залежність в'язкості від швидкості зсуву описується наступним рівнянням:

$$\tau = \mu \cdot \gamma. \quad (1.1)$$

де τ – напруження зсуву в матеріалі, Па;

μ – динамічна в'язкість матеріалу, Па · с;

γ – швидкість зсуву, с⁻¹;

У разі, якщо досліджуваний матеріал відноситься до неньтонівських рідин і його в'язкість залежить від швидкості зсуву, така залежність добре описується законом Оствальда де Віля:

$$\tau = \mu \cdot \gamma^n. \quad (1.2)$$

де – індекс течії (показник нелінійності).

Також необхідно враховувати температуру плавлення та застигання олії, оскільки в твердому стані олія практично не відокремлюватиметься від твердої частини.

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ШНЕКОВОГО ПРЕСА ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ БІОМАСИ КОМАХ В БІОЛОГІЧНІ ДОБАВКИ

Процес ущільнення жиромісного матеріалу та віджиму з нього жиру, досліджений рядом авторів: Масліковим В.А., Копейковським В.М., Кошовим Є.П., Гавриленко І.В., Гарус А.А. Драган І.В. та іншими.

Найчастіше для опису процесу руху екструзії та віджиму жиру використовують рівняння Нав'є – Стокса. Тиск, що відповідає початку віджиму жиру, щільність матеріалу і закон зміни його в'язкості відомі. Приймаємо процес ущільнення та віджиму матеріалу термічним та постійним. Враховуючи прийняті припущення, рівняння Нав'є-Стокса виглядатиме так:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0, \frac{\partial p}{\partial y} = 0, \quad (2.1)$$

$$v \cdot \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\eta}{\rho} \cdot \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right), \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial z} = 0, \quad (2.3)$$

де v – швидкість пресованої маси вздовж осі OZ , м/с;

p – тиск у зерному циліндрі, Па.

Враховуючи, що тиск по осям ox і oy рівний нулю (2.2), швидкість потоку матеріалу в зерні шнекового преса розглянемо по осям x і y , $v = v(x, y)$. У відповідності з виразом (2.1) тиск створюється тільки по осі x , $p = p(x)$.

Тоді система рівнянь (2.1) - (2.3) набуде наступного вигляду (2.28):

$$\eta \cdot \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = \frac{dp}{dz} \quad (2.4)$$

Розглядаючи рівняння (2.4) можна дійти невтішного висновку у тому, що обидві частини рівняння окремо є постійними величинами, оскільки $\frac{dp}{dz}$ являється функцією від z , а $\eta \cdot (\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2})$ є функцією від x та y .

Тому позначимо функцію від z наступним чином:

$$\frac{dp}{dz} = \text{const} = -\frac{p_1 - p_2}{L} = -\frac{\Delta p}{L} \quad (2.5)$$

де $\Delta p = p_1 - p_2$ – тиск у камері шнекового преса, при якому відбувається віджимання жиру, Па.

Представимо рівняння (2.4) у площині у вигляді лінійного з похідними другого порядку:

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = -\frac{\Delta p}{L} \quad (2.6)$$

Схема отвору для виходу макухи представлена на рис. 2.1. Радіус R_2 залишається постійним, радіус r_2 змінюється в залежності від вибраного штуцера для регулювання протитечії та зміни тиску в зєрній камері.

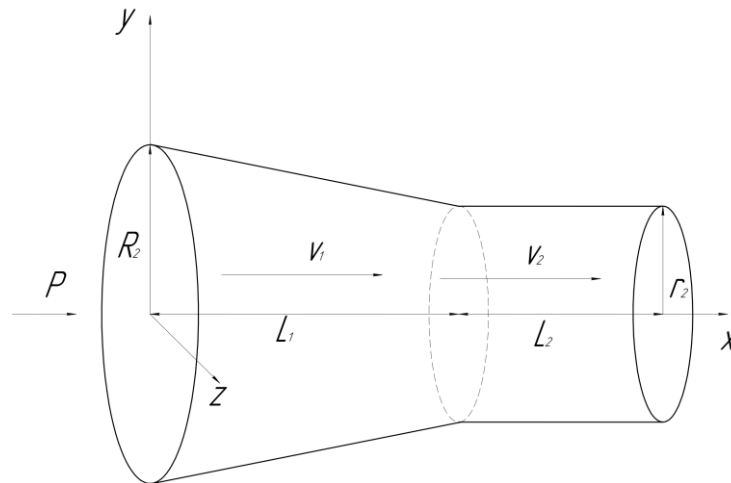


Рис. 2.1. Схема отвору для виходу макухи – білкової частини

Позначимо граничні умови рівняння (2.6): на стінках отвору швидкість переміщення біомаси комах дорівнює нулю:

$$v|_c = 0, \quad 0 \leq z \leq L, \quad (2.7)$$

де c – рівняння контуру нормального до осі oz перерізу, що є прямою циліндричної поверхні, що обмежує отвір.

Розглянемо окремий випадок контуру C , що представляє коло з параметрами, що змінюються вздовж осі y .

Контур отвору для виходу макухи має дві ділянки з різними діаметрами: R_2, r_2 в площині OXY , в основі якої коло. Тому контур отвору, що розглядається, у зазначеній площині подаємо у вигляді:

$$x^2 + y^2 = R^2, \quad (2.8)$$

Враховуючи рівняння (2.8) та граничні умови, представлені в рівнянні (2.6), швидкість макухи, що переміщається на першій ділянці з постійним діаметром отвору R_2 та довжиною L_1 матиме вигляд:

$$v_1 = A \cdot (R_2^2 - L_1^2 - r_2^2) \quad (2.9)$$

Для другої ділянки зі змінним радіусом r_2 та постійною довжиною L_2 швидкість визначаються наступним чином:

$$v_2 = A \cdot (r_2^2 - L_2^2 - r_2^2) = -A \cdot L_2^2 \quad (2.10)$$

Тоді, для того, щоб висловити постійну A , підставимо рівняння (2.9) в (2.7), отримаємо:

$$v_{xx}'' + v_{yy}'' = \frac{\Delta p}{\eta \cdot L}, \quad (2.11)$$

$$-2A - 2A = \frac{\Delta p}{L_1} \quad (2.12)$$

$$A = \frac{\Delta p}{-4\eta L_1} \quad (2.13)$$

Тоді швидкість переміщення макухи через першу і другу ділянку описуватиметься виразом:

$$v_1 = \frac{\Delta p}{4\eta L_1} \cdot (L_1^2 - R_2^2 + r_2^2) \quad (2.14)$$

$$v_2 = \frac{\Delta p}{-2\eta} \cdot L_2 \quad (2.15)$$

Поєднуючи знайдені швидкості переміщення макухи, отримаємо середню швидкість переміщення макухи у вихідному отворі:

$$v_{\text{ср}} = \frac{v_1 + v_2}{L_1 + L_2} = \frac{\frac{\Delta p}{4\eta L_1} \cdot (L_1^2 - R_2^2 + r_2^2) + \frac{\Delta p}{2\eta} \cdot L_2}{L_1 + L_2} \quad (2.16)$$

Процес фільтрації жиру через пористу білкову поверхню личинки розглянемо з урахуванням закону фільтрації рідини та газів у пористому середовищі – закону Дарсі.

Швидкість фільтрації рідини описується наступним рівнянням:

$$v = -\frac{\kappa}{\eta_{\text{ж}}} \cdot \text{grad}P \quad (2.17)$$

де κ – коефіцієнт проникності біомаси, Д ($1 \text{ Дарсі} = 1 \text{ м}^2$);

$\eta_{\text{ж}}$ – в'язкість жиру, Па · с.

$$\text{grad}P = \frac{\Delta p}{l} \quad (2.18)$$

де $\Delta p = p_1 - p_2$ – тиск у камері шнекового преса, при якому відбувається віджимання жиру, Па.

Тиск p_1 , що відповідає початку віджиму жиру, щільність матеріалу ρ і закон зміни його в'язкості η відомі. Приймаємо процес ущільнення та віджиму матеріалу термічним та постійним. Враховуючи прийняті припущення, рівняння Дарсі виглядатиме так:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0, \frac{\partial p}{\partial y} = 0, \quad (2.19)$$

$$v \cdot \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{p} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{k}{\eta_{ж} \cdot p} \cdot \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right), \quad (2.20)$$

$$\frac{\partial v}{\partial z} = 0, \quad (2.21)$$

де v – швидкість пресованої маси вздовж осі OZ , м/с;

p – тиск у зеєрному циліндрі, Па.

Враховуючи, що тиск по осям ox і oy рівний нулю (2.20), швидкість потоку матеріалу в зеєрі шнекового преса розглянемо по осям x і y , $v = v(x, y)$. У відповідності з виразом (2.19) тиск створюється тільки по осі x , $p = p(x)$.

Тоді система рівнянь набуде наступного вигляду:

$$\frac{k}{\eta_{ж}} \cdot \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = \frac{dp}{dz} \quad (2.22)$$

Розглядаючи рівняння (2.22) можна дійти висновку у тому, що обидві частини рівняння окремо є постійними величинами, оскільки $\frac{dp}{dz}$ являється функцією від z , а $\eta \cdot \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)$ є функцією від x та y .

Тому позначимо функцію від z наступним чином:

$$\frac{dp}{dx} = const = -\frac{p_1 - p_2}{l} = -\frac{\Delta p}{l} \quad (2.23)$$

де $\Delta p = p_1 - p_2$ – тиск у камері шнекового преса, при якому відбувається віджимання жиру, Па.

Представимо рівняння (2.22) у площині OXY у вигляді лінійного з похідними другого порядку:

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = -\frac{\Delta p}{l} \quad (2.24)$$

Схема отвору для виходу жиру в зеєрній камері шнекового преса представлена на рис. 2.2. Радіуси R_2 і r_2 залишаються постійними.

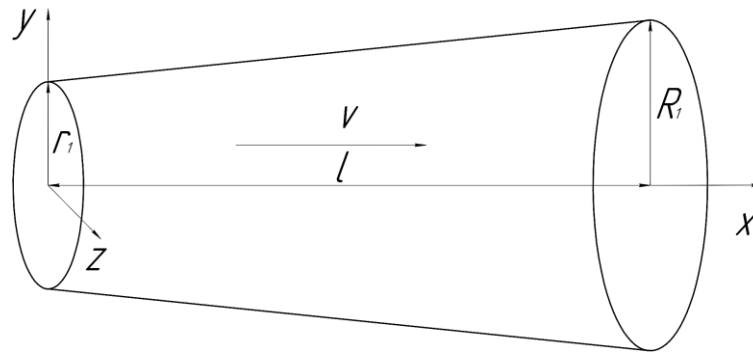


Рис. 2.2. Схема одного отвору для виходу жиру зєрної камери шнекового пресу

Позначимо граничні умови рівняння (2.24): на стінках отвору швидкість переміщення жиру личинки:

$$v|_C = 0, \quad 0 \leq z \leq l, \quad (2.25)$$

де C – рівняння контуру нормального до осі Oz перерізу, що є прямою циліндричної поверхні, що обмежує отвір.

Розглянемо окремий випадок контуру C , що представляє коло з параметрами, що змінюються вздовж осі x .

Контур отвору для виходу макухи має дві ділянки з різними діаметрами: R_1, r_1 в площині OXY , в основі якої коло. Тому контур отвору, що розглядається, у зазначеній площині подаємо у вигляді:

$$x^2 + y^2 = R^2, \quad (2.26)$$

Враховуючи рівняння (2.26) та граничні умови, представлені в рівнянні (2.24), швидкість макухи, що переміщається на першій ділянці з постійним діаметром отвору R_2 та довжиною L_1 матиме вигляд:

$$v = A(R_1^2 - l^2 - r_1^2) \quad (2.27)$$

Тоді, для того, щоб висловити постійну A , підставимо рівняння (2.9) в (2.24), отримаємо:

$$v''_{xx} + v''_{yy} = \frac{\Delta p}{\eta_{ж} \cdot l} \cdot k \quad (2.28)$$

$$-2A - 2A = \frac{\Delta p}{\eta_{ж} \cdot l} \cdot k \quad (2.29)$$

$$A = \frac{\Delta p}{-4\eta_{ж} \cdot l} \cdot k \quad (2.30)$$

Тоді швидкість перемещування жиру через отвори зєрної камери шнекового пресу:

$$v = \frac{\Delta p}{4\eta_{ж} \cdot l} (l^2 - R_1^2 + r_1^2) \cdot k \quad (2.31)$$

Коефіцієнт проникності k та фільтрації K_ϕ пов'язані співвідношенням:

$$\frac{k}{\eta_{ж}} = \frac{K_\phi}{\gamma} \quad (2.32)$$

де γ – питома вага, $\frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$

Питома вага дорівнює γ визначаємо за формулою:

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (2.33)$$

де, ρ – щільність пористого середовища, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

g – прискорення вільного падіння, $\frac{\text{Н}}{\text{кг}}$

Таким чином отримаємо швидкість фільтрації жиру через один отвір зєрної камери шнекового преса:

$$v = \frac{\Delta p}{4\eta_{ж} \rho g \cdot l} (l^2 - R_1^2 + r_1^2) \cdot K_\phi \quad (2.34)$$

Наступним етапом визначимо продуктивність шнекового преса по жиру та макусі.

Враховуючи реологічні параметри жировмісного матеріалу та геометричні параметри отворів зєрної камери та отвори для виходу макухи, прийmemo вираз для визначення продуктивності:

$$Q \approx Q_0, \quad (2.35)$$

де, Q – продуктивність преса, кг/год .

Q_0 – загальна об'ємна продуктивність зеєрної камери жиру $Q_{\text{жир}}$ та вихідного отвору для макухи $Q_{\text{мак}}$.

Загальна об'ємна продуктивність визначається за формулою:

$$Q_0 = Q_{\text{отв.з}} \cdot n_{\text{отв.з}} + Q_{\text{отв.м}} \cdot n_{\text{отв.м}} \quad (2.36)$$

де, $Q_{\text{отв.з}}$ – продуктивність одного отвору зеєрної камери преса, кг/год.

$Q_{\text{отв.м}}$ – продуктивність отвору для виходу макухи, кг/год.

$n_{\text{отв.з}}$ – кількість отворів у зеєрній камері преса.

$n_{\text{отв.м}}$ – кількість отворів для виходу макухи.

Конструктивні параметри зеєрного циліндра, а саме діаметр та довжина нам відомі. На їх підставі зробимо розрахунок оптимальної кількості отворів для виходу жиру.

Площу кола визначимо за формулою:

$$S_{\text{отв}} = \pi \cdot R^2 \quad (2.37)$$

Відстань між двома отворами зеєрної камери вздовж шнека δ_1 і δ_2 уперек. Введемо на розгляд використовувану площу зеєрної камери для виходу жиру і позначимо через $S_3 = h_3 \cdot l_3$, h_3 – ширина зеєрної камери, l_3 .

Використовувана площа зеєрної камери шнекового преса для виходу жиру обчислюється виходячи з «відступу від краю» (рис. 2.3) за формулою:

$$n_{\text{отв.з}} = \frac{S_3}{(R_1 + \delta_1)(R_1 + \delta_2)} \quad (2.38)$$

де, $n_{\text{отв.з}}$ – кількість отворів у зеєрній камері преса.

S_3 – площа зеєрної камери, м²;

R_1 – вихідний радіус отвору для жиру, м;

δ_1 – відстань між двома отворами вздовж площі s_1 , м.

δ_2 – відстань між двома отворами поперек площі s_1 , м.

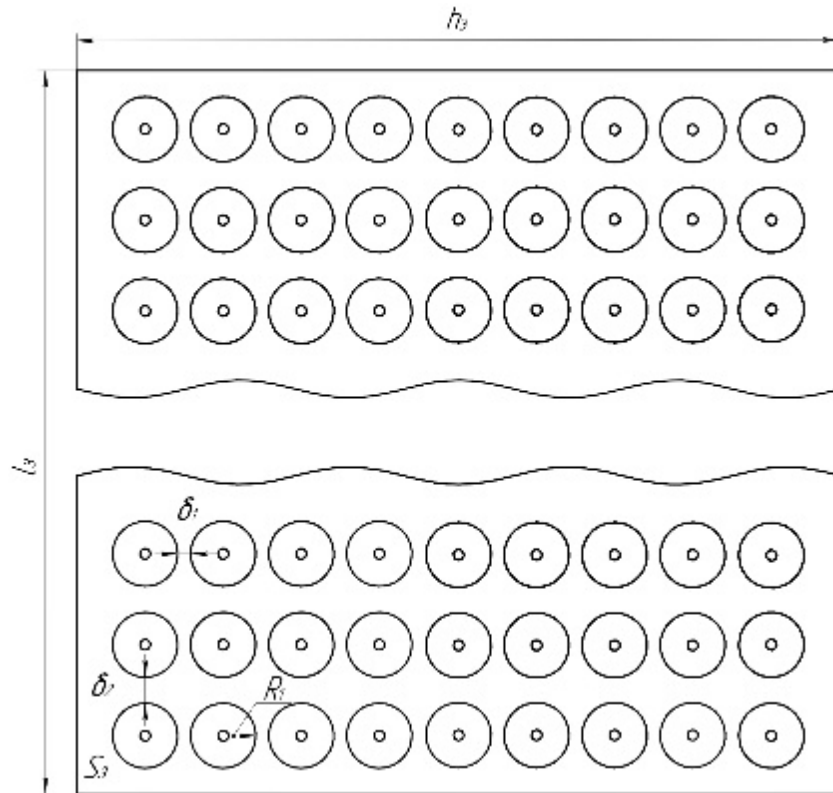


Рис. 2.3. Схема зерної камери шнекового пресу

Розрахуємо продуктивність одного отвору зерної камери шнекового преса за формулою:

$$Q_{\text{отв}} = v \cdot S_{\text{отв}} \quad (2.39)$$

Підставимо рівняння (2.31) і (2.37) в (2.39) і отримаємо продуктивність одного отвору зерної камери:

$$Q_{\text{отв.з}} = \frac{\Delta p}{4\eta_{\text{ж}} \rho g \cdot l} (l^2 - R_1^2 + r_1^2) \cdot K_{\phi} \cdot \pi \cdot R_1^2 \quad (2.40)$$

Загальну об'ємну продуктивність жиру через отвори зерної камери шнекового преса $Q_{\text{жир}}$, розрахуємо за формулою:

$$Q_{\text{жир}} = Q_{\text{отв.з}} \cdot n_{\text{отв.з}} \quad (2.41)$$

Знаючи продуктивність одного отвору зерної камери та оптимальну кількість цих отворів у зерній камері, підставимо отримані рівняння до рівняння:

$$Q_{\text{жир}} = \frac{S_3}{(R_1 + \delta_1)(R_1 + \delta_2)} \cdot \frac{\Delta p}{4\eta_{\text{ж}} \rho g \cdot l} (l^2 - R_1^2 + r_1^2) \cdot K_{\phi} \cdot \pi \cdot R_1^2 \quad (2.42)$$

де, $Q_{\text{жир}}$ – продуктивність жиру шнекового преса, кг/год;

S_3 – площа зеєрної камери, м²;

R_1 – вихідний радіус отвору для жиру, м;

δ_1 – відстань між двома отворами вздовж площі s_1 , м.

δ_2 – відстань між двома отворами поперек площі s_1 , м.

Δp – різниця тисків на вході та на виході з отвору, Па;

$\eta_{\text{ж}}$ – в'язкість жиру, Па · с.

ρ – щільність пористого середовища, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

g – прискорення вільного падіння, $\frac{\text{Н}}{\text{кг}}$

l – довжина одного отвору в зеєрній камері, м;

r_1 – внутрішній радіус одного отвору в зеєрній камері

K_{ϕ} – коефіцієнт фільтрації жиру, м⁴/Н · с.

Аналогічно об'ємна продуктивність по макусі обчислюється за формулою:

$$Q_{\text{мак}} = Q_{\text{отв.ж}} \cdot l = v_{\text{сп}} S_{\text{отв}} = \left(\frac{\frac{\Delta p}{4\eta L_1} \cdot (L_1^2 - R_2^2 + r_2^2) + \frac{\Delta p}{2\eta} \cdot L_2}{L_1 + L_2} \right) \cdot \pi \cdot R_2^2 \quad (2.43)$$

де, η – в'язкість біомаси, Па · с;

L_1, L_2 – довжина вихідного отвору для макухи, м.

R_2 – постійний внутрішній радіус вихідного отвору для макухи;

r_2 – перемінний внутрішній радіус вихідного отвору для макухи;

У результаті загальна об'ємна продуктивність преса обчислюється за такою формулою:

$$Q_o = Q_{жир} + Q_{маж} = \frac{S_3}{(R_1 + \delta_1)(R_1 + \delta_2)} \cdot \frac{\Delta p}{4\eta_{ж} \rho g \cdot l} (l^2 - R_1^2 + r_1^2) \cdot K_{\phi} \cdot \pi \cdot R_1^2 +$$

$$+ \left(\frac{\frac{\Delta p}{4\eta L_1} \cdot (L_1^2 - R_2^2 + r_2^2) + \frac{\Delta p}{2\eta} \cdot L_2}{L_1 + L_2} \right) \cdot \pi \cdot R_2^2 \quad (2.44)$$

Поряд із продуктивністю шнекового преса, не менш значущим показником є його потужність. Залежно від енергії, витрачену на виробництво жиру з личинки мухи Чорна левина, залежатиме його кінцева ціна. Розрахунок потужності шнекового преса дозволить визначити раціональні параметри приводу, необхідного для здійснення роботи на шнековому пресі, що розробляється.

Потужність шнекового преса, необхідна для віджиму жиру, можна розрахувати за формулою:

$$N = M_{кр} \cdot \omega \quad (2.45)$$

де, N – потужність, кВт

$M_{кр}$ – момент сили, Нм

ω – кутова швидкість, c^{-1} .

Для визначення моменту сили кожного витка шнекового валу позначимо умову, за якої тиск рівномірно розподіляється по всьому перерізу рівномірно. За такої умови сила осевого опору діє на кожен елементарну площадку гвинтової поверхні шнекового валу.

Виходячи з вищесказаного, визначимо елементарний момент зусилля, що прикладається до елементарного майданчика гвинтової поверхні:

$$dM = 2 \cdot \pi \cdot \tan \varphi \cdot \xi \cdot d\xi = p \cdot t \cdot \xi \cdot d\xi \quad (2.46)$$

де dM – елементарний момент зусилля;

p – тиск між витками шнека, Па;

φ – кут нахилу кромки витка шнека, град.

ξ – радіус кривизни шнека, м;

t – крок між витками шнека м.

Тоді:

$$M_{кр} = p \cdot t \cdot \int_{\xi_{\min}=0,5d}^{\xi_{\max}=0,5D} \xi \cdot d\xi = \frac{p \cdot t \cdot (D^2 - d^2)}{8}, \quad (2.47)$$

де D – діаметр шнека, м;

d – діаметр валу шнека, м.

Позначимо площу витка шнека S_b , м² наступним чином:

$$S_b = \pi \cdot D \cdot h \quad (2.48)$$

При малій висоті витків h буде приблизно дорівнювати:

$$h \approx \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \quad (2.49)$$

Тоді формула визначення моменту сили набуває наступного вигляду:

$$M_{кр} = \frac{p \cdot S_b \cdot D \cdot \operatorname{tg} \varphi}{2} \approx \frac{p \cdot \pi \cdot D^2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} \varphi}{2} \quad (2.50)$$

Визначимо максимальний утримуючий момент пресованої личинки мухи Чорна левина на внутрішній поверхні циліндра шнекового преса на кожному витку:

$$M_{ут} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot t \cdot \tau}{2}, \quad (2.51)$$

де τ – напруження зсуву в матеріалі, Па;

Визначимо найбільший тиск, який може виникнути на кожному витку шнекового преса:

$$M_{кр} = M_{ут} \quad (2.52)$$

Кутову швидкість визначимо із співвідношення за формулою:

$$\omega = \frac{v}{R}, \quad (2.53)$$

де v – лінійна швидкість, м/с.

R – радіус шнека, м.

Таким чином, підставимо в рівняння визначення потужності рівняння максимально утримуючого моменту і формулу кутової швидкості, отримаємо:

$$N = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot t \cdot \tau \cdot v}{2 \cdot R}, \quad (2.54)$$

Дане рівняння враховує конструктивно-кінематичні та реологічні властивості пресованого матеріалу. На підставі закону Оствальда-де Віля висловимо напруження зсуву τ і отримаємо формулу потужності шнекового преса:

$$N = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot t \cdot \mu \cdot (\gamma)^{n-1} \cdot v}{2 \cdot R} \quad (2.55)$$

де γ – швидкість зсуву, с^{-1}

n – індекс течії (показник нелінійності).

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ІНЖЕНЕРНОГО РОЗРАХУНКУ ШНЕКОВОГО ПРЕСА ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ОЛІЙНОЇ БІОМАСИ КОМАХ ТА РОЗРОБКА МОДЕЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ШНЕКОВОГО ПРЕСА

Ефективність роботи шнекових пресів залежить від геометрії робочих органів, режимів роботи (від тиску пресування, тривалості пресування, швидкості зміни тиску), фізико-механічних властивостей та інших факторів.

Вихідні дані:

$\eta_{\text{ж}}$ – в'язкість жиру, $\text{Па} \cdot \text{с}$.

ρ – щільність пористого середовища, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$K_{\text{ф}}$ – коефіцієнт фільтрації жиру, $\text{м}^4/\text{Н} \cdot \text{с}$.

F – олійність матеріалу, що надходить на віджимання, %

Розраховані величини:

Q – продуктивність, $\text{кг}/\text{год}$;

Δp – тиск, Па ;

n – кількість оборотів шнека, с^{-1}

N – потужність, що витрачається на привід шнека, кВт .

На рис. 3.1 представлено розрахункову схему шнекового преса.

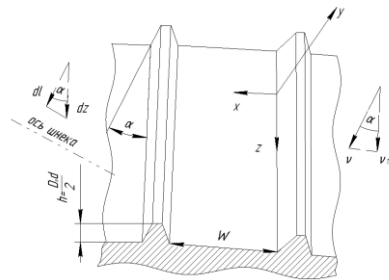


Рис. 3.1. Гвинтовий канал шнека: x, y, z – поточні координати; h – глибина витка, м ; D_z і d – діаметр зєра та маточини витка, м ; α – кут підйому витка шнека, град; W - ширина каналу біля основи, м .

Для розрахунку продуктивності зеєрної камери максимальної пропускної спроможності використовується формула (3.1):

$$Q_{\text{жир}} = \frac{S_3}{(R_1 + \delta_1)(R_1 + \delta_2)} \cdot \frac{\Delta p}{4n_{\text{ж}} \rho g \cdot l} (l^2 - R_1^2 + r_1^2) \cdot K_{\phi} \cdot \pi \cdot R_1^2 \quad (3.1)$$

де, $Q_{\text{жир}}$ – продуктивність зеєрної камери преса, кг/год;

S_3 – площа зеєрної камери, м²;

R_1 – вихідний радіус отвору для жиру, м;

δ_1 – відстань між двома отворами вздовж площі s_1 , м.

δ_2 – відстань між двома отворами поперек площі s_1 , м.

Δp – різниця тисків на вході та на виході з отвору, Па;

$\eta_{\text{ж}}$ – в'язкість жиру, Па · с.

ρ – щільність пористого середовища, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

g – прискорення вільного падіння, $\frac{\text{Н}}{\text{кг}}$

l – довжина одного отвору в зеєрній камері, м;

R_1 – зовнішній радіус одного отвору в зеєрній камері, м

r_1 – внутрішній радіус одного отвору в зеєрній камері, м

K_{ϕ} – коефіцієнт фільтрації жиру, м⁴/Н · с.

Аналогічно об'ємна продуктивність за макуху обчислюється за формулою:

$$Q_{\text{мак}} = Q_{\text{отв. ж}} \cdot l = v_{\text{ср}} S_{\text{отв}} = \left(\frac{\frac{\Delta p}{4\eta L_1} \cdot (L_1^2 - R_2^2 + r_2^2) + \frac{\Delta p}{2\eta} \cdot L_2}{L_1 + L_2} \right) \cdot \pi \cdot R_2^2 \quad (3.2)$$

де, η – в'язкість біомаси, Па · с;

L_1, L_2 – довжина вихідного отвору для макухи, м.

R_2 – постійний внутрішній радіус вихідного отвору для макухи;

r_2 – перемінний внутрішній радіус вихідного отвору для макухи;

У результаті загальна об'ємна продуктивність преса обчислюється за такою формулою:

$$Q_o = Q_{жир} + Q_{мак} = \frac{S_3}{(R_1 + \delta_1)(R_1 + \delta_2)} \cdot \frac{\Delta p}{4\eta_{ж} \rho g \cdot l} (l^2 - R_1^2 + r_1^2) \cdot K_\phi \cdot \pi \cdot R_1^2 +$$

$$+ \left(\frac{\frac{\Delta p}{4\eta L_1} \cdot (L_1^2 - R_2^2 + r_2^2) + \frac{\Delta p}{2\eta} \cdot L_2}{L_1 + L_2} \right) \cdot \pi \cdot R_2^2 \quad (3.3)$$

Потужність шнекового преса, необхідна для віджиму жиру, можна розрахувати за формулою:

$$N = M_{кр} \cdot \omega \quad (3.4)$$

де, N – потужність, кВт

$M_{кр}$ – момент сили, Нм

ω – кутова швидкість, c^{-1} .

Максимальний утримуючий момент біомаси личинки мухи Чорна левина на внутрішній поверхні циліндра шнекового преса на кожному витку визначається за формулою:

$$M_{ут} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot t \cdot \tau}{2}, \quad (3.5)$$

де τ – напруження зсуву в матеріалі, Па;

Визначимо найбільший тиск, який може виникнути на кожному витку шнекового преса:

$$M_{кр} = M_{ут} \quad (3.6)$$

Кутову швидкість визначимо із співвідношення за формулою:

$$\omega = \frac{v}{R}, \quad (3.7)$$

де v – лінійна швидкість, м/с.

R – радіус шнека, м.

Таким чином, підставивши в рівняння визначення потужності рівняння максимально утримуючого моменту і формулу кутової швидкості, отримаємо рівняння потужності шнекового преса:

$$N = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot t \cdot \tau \cdot v}{2 \cdot R}, \quad (3.8)$$

Дане рівняння враховує конструктивно-кінематичні та реологічні властивості пресованого матеріалу. На підставі закону Оствальда-де Віля висловимо напруження зсуву τ і отримаємо формулу потужності шнекового преса:

$$N = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot t \cdot \mu \cdot (\gamma)^{n-1} \cdot v}{2 \cdot R} \quad (3.9)$$

де γ – швидкість зсуву, с^{-1}

n – індекс течії (показник нелінійності).

Вихідні дані до розрахунку шнекового преса представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку шнекового преса

Найменування параметру	Позначення	Одиниця виміру	Числове значення
Використовувана площа зеєрної камери	S_3	м^2	0,021
Вхідний радіус отвору для жиру	R_1	м	0,003
Відстань між двома отворами по ширині зеєрної камери	δ_1	м	0,001
Діаметр шнека	D	м	0,050
Діаметр зеєрної камери	D_3	м	0,078
Відстань між двома отворами по довжині зеєрної камери	δ_2	м	0,002
Різниця тисків на вході та на виході з отвору	Δp	Па	$5 \cdot 10^6 - 6 \cdot 10^6$
Число оборотів шнека	n	хв^{-1}	5-36
В'язкість жиру	$\eta_{\text{ж}}$	$\text{Па} \cdot \text{с}$	$8,7 \cdot 10^{-3}$
Довжина шнека	L	м	0,29
Щільність пористого середовища	ρ	кг/м^3	691-693
Товщина витка шнека	e	м	0,005
Довжина одного отвору у зеєрній камері	l	м	0,003
Глибина витка шнека	h	м	0,0015
Зовнішній радіус одного отвору у зеєрній камері	R_1	м	0,003
Кут нахилу гвинтової лінії	φ	°	8
Крок між витками шнека	t	м	0,020
Внутрішній радіус одного отвору у зеєрній камері	r_1	м	0,001
Коефіцієнт фільтрації жиру	$K_{\text{ф}}$	$\text{м}^4/\text{Н} \cdot \text{с}$	5 - 8
В'язкість біомаси	η	$\text{Па} \cdot \text{с}$	320-340

Довжина вихідного отвору для макухи	L_1	м	0,025
Довжина вихідного отвору для макухи	L_2	м	0,042
Постійний внутрішній радіус вихідного отвору для макухи	R_2	м	0,021
Змінний внутрішній радіус отвору для виходу макухи	r_2	м	0,006; 0,007;0,009; 0,011;0,012

Експериментальні дослідження проводилися на експериментальній установці - шнековому пресі. Схема шнекового преса представлена на рис. 3.2, загальний вигляд – на рис. 3.3.

Експериментальна установка складається з таких основних пристроїв: як робочі органи – зерна камера з круглими отворами в кількості 405 шт., діаметром 0,8 мм - оптимальний розмір отворів, за якого відбувається максимальне віджимання жиру без проходу твердого скелета - білкової маси, шнек і регульований за допомогою змінних насадок отвір для виходу макухи. За рахунок приводу вмикається варіатор 4 для зміни частоти обертання шнекового вала в діапазоні від 5 до 36 хв⁻¹. Шнековий прес розвиває тиск 23 до 25 МПа. Набір змінних насадок із різним діаметром отвору для виходу макухи (рис. 3.4) дає змогу регулювати тиск у камері, а також впливає на об'ємну продуктивність преса.

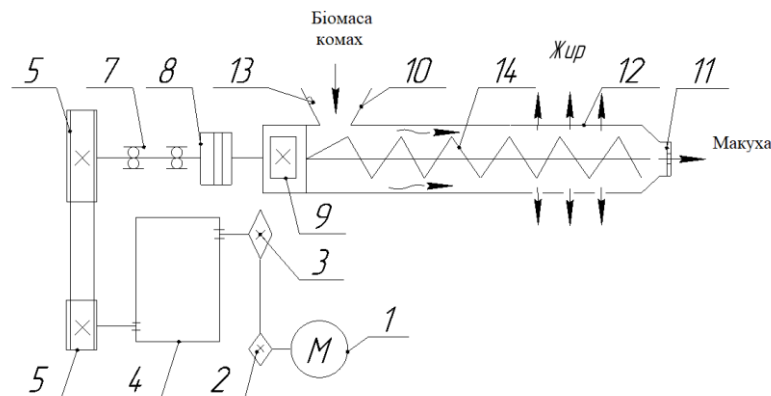


Рис. 3.2. Схема експериментальної установки :1 – електродвигун; 2,3 – зірочка; 4 – варіатор; 5,6 – шків; 7 – підшипники; 8 – муфта; 9 - редуктор; 10 – бункер; 11 – вихідний отвір для макухи; 12 – зерна камера; 13 – зерна камера; 9 – редуктор; 10 – бункер; 11 – вихідний отвір для макухи; 13 – магнетрон; 14 – шнек.

Експериментально було доведено, що НВЧ-нагрівання позитивно впливає на процес віджиму жиру, зменшуючи тиск, який потрібно докласти для віджиму жиру. Для цього в завантажувальному бункері встановили Джерело НВЧ-енергії з магнетроном SAMSUNG OM75P (31), 1000 Вт MCW352SA для нагрівання біомаси комах до температури 60 °С. Оскільки під час роботи магнетрон виділяє багато тепла і нагрівається, на його корпус встановлюється радіатор для охолодження (рис. 3.5).



Рис. 3.3. Загальний вигляд експериментальної установки: 1 – приймальний бункер зі встановленим усередині магнетроном для нагрівання біомаси; 2 – електропривід; 3 – зерна камера; 4 – нагрівальний елемент для підтримання температури преса.



Рис. 3.4. Змінні штуцери зі змінним діаметром для виходу макухи.

Шнековий прес є універсальним і може бути переналаштований для різних перероблюваних олійновмісних матеріалів, що відрізняються за фізико-механічними, фізико-хімічними та реологічними властивостями.

Новизною шнекового преса є удосконалення приймального бункера, оснащеного пристроєм для НВЧ-обробки матеріалу, що надходить на

пресування. Така обробка дає змогу витягувати жир із личинки за меншого тиску завдяки руйнуванню клітин, що містять жир. У таблиці 3.2 представлено технічні характеристики розроблюваного шнекового преса.

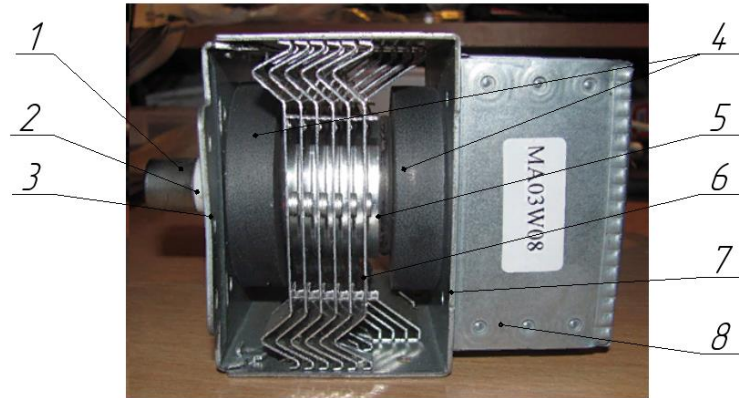


Рис. 3.5. Магнетрон із радіатором : 1 – випромінювач; 2 – ізолятор; 3 – фланець кріплення; 4 – постійні магніти; 5 – тіло магнетрона; 6 – ребра радіатора; 7 - корпус; 8 – коробка фільтра.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики шнекового преса

Найменування показника	Величина
Продуктивність преса	до 15 кг/год
Тиск у зєєрній камері	до 25 МПа
Число обертів шнека	5...36 хв ⁻¹
Діаметр отворів для виходу макухи	6; 7,8; 10,5; 13,2; 15,0 мм
Габарити	
довжина	1250 мм
ширина	950 мм
висота	680 мм
Маса	250 кг
Електродвигун	
марка	BN112M4
число обертів	1430 хв ⁻¹
потужність	2,2 кВт
Редуктор	
марка	W11-OU-P112-B5
передавальне число	1,78
крутний момент	1184 Н·м

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Обґрунтовано вибір технологічного процесу та шнекового преса як базову машину для переробки личинки мухи Чорна левина (*Hermetia illucens*) на кормові добавки для малих та середніх фермерських рибницьких господарств.

Розроблено теорію та математичну модель роботи шнекового преса на основі розгляду процесу пресування біомаси личинки мухи Чорна левина (*Hermetia illucens*) як в'язкого середовища, що підпорядковується статичному закону Оствальда-де Віля та процесу фільтрації жиру на основі закону Дарсі.

Встановлено, що в'язкість біомаси личинки при варіюванні тиску в діапазоні 1000 – 3000 Па та швидкості зсуву 1-10 с⁻¹ змінюється з 51000 до 5300 мПа·с; в'язкість жиру при варіюванні температури від 30 до 90 °С змінюється в діапазоні від 15,3 до 6,3 мПа·с; Найбільше значення коефіцієнта фільтрації жиру дорівнює $4,9 \cdot 10^{13}$ м⁴/Н·с спостерігається при тиску 10-11 МПа.

При об'ємній продуктивності шнекового преса 10 кг/годин раціональний діаметр отворів для виходу жиру повинен бути 0,8 мм, кількість обертів 20,5 хв⁻¹, діаметр отвору для виходу макухи 7,2 мм, діаметр зерної камери 0,078 м, діаметр шнека 0,05 м. Питома енергоємність процесу при цьому становить 0,2 кВт·год/кг, а залишкова олійність макухи менше 10%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рогатинський Р. М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з сировиною сільськогосподарського виробництва: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11. Київ, 1997. 425 с.
2. Надикто В. Т. Основи агрегаткування модульних енергетичних засобів: дис... д-ра техн. наук: 05.20.01 / Ін-т механізації та електрифікації сіл. гос-ва УААН. Глеваха, 2000. 36 с.
3. Горбенко О. А., Стрельцов В. В., Катрич О. О. Обґрунтування конструктивного рішення шнекового пресу з пропарюючим пристроєм. Вісник аграрної науки Причорномор'я. Миколаїв, 2009. Вип. 2. С. 225-232.
4. Гудзенко М. М., Василенков В. С. Дослідження причин виходу з ладу нагрівальних елементів прес-екструдера. SWorld. 2019. № 1. С. 22-27.
5. Братішко В. В. Механіко-технологічні основи приготування повнораціонних комбікормів гвинтовими грануляторами: дис. ... докт. техн. наук: 05.05.11. Глеваха. 2017. 372 с.
6. Горюнов А. И. Ямалиев Р. Р. Ахмедзянов Д. А. Метод структурного и параметрического синтеза и анализа энергоустановок. Молодой учёный. 2011. № 2(25), т. 1. С. 16-19.
7. Надикто В. Т. Основи наукових досліджень: підручник. Херсон: Олді-плюс, 2017. 268 с.
8. Підручник дослідника: навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей / О. М. Васильковський, С. М. Лещенко, К. В. Васильковська, Д. І. Петренко. Кіровоград, 2016. 204 с.
9. Чебанов А. Б., Верецага О. Л. Вдосконалення конструкції шнекових пресів. Сучасні наукові дослідження на шляху до Євроінтеграції: матеріали міжнародного науковопрактичного форуму. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. Ч. 1. С. 173-175.

10. Дідур В. В., Верещага О. Л. Методика вимірювання зусилля у шнековому пресі при віджиманні олії з рослинної сировини. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки. Мелітополь, 2019. Вип. 19, т. 2. С. 41-47.

11. Оптимізація конструктивно-технологічних параметрів шнекового преса для віджимання мезги насіння рицини / А. Б. Чебанов, В. А. Дідур, О. Л. Верещага, О. П. Назарова, В. В. Дідур. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2019. Вип. 19, т. 4: Технічні науки. С. 21-32. DOI: 10.31388/2078-0877-19-4-21-32.

12. Влізло В. В. Лабораторні методи досліджень у біології, тваринництві та ветеринарній медицині: довідник. Львів: Сполом, 2012. 764 с..

13. Андреева Л. В., Вербицький П. І., Віщур О. І. Фізіолого-біохімічні методи досліджень у біології, тваринництві та ветеринарній медицині: Довідник. Львів, 2004. С. 399.

14. Левченко В. І., Новожицький Ю. М., Сахнюк В. В. Біохімічні методи досліджень крові. К., 2004. С. 85-93

15. Ніколаєвич В. І., Корнієнко О. В. Електронний посібник "Анатомія і фізіологія сільськогосподарських тварин". Технолого-економічний коледж Білоцерківського національного аграрного університету. Біла Церква. 2013. С. 441.

16. Боровський В.М. Петрук В.Р. Огляд і аналіз обладнання для віджиму олій і жирів із сільськогосподарської сировини. Збірник тез IX-ї всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». м. Житомир, 5 квітня 2023 року. Житомир : ЖАТФК. С. 232-237.

17. Боровський В.М. Петрук В.Р. Розробка модельної конструкції шнекового преса. Наукові читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та

молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 19 квітня 2023 р. Житомир : Поліський національний університет, 2023. Т. 3. С. 103-106.