

Національна академія аграрних наук України
Інститут олійних культур

**АЛІЄВ Ельчин Бахтияр огли
ПАЦУЛА Олександр Миколайович
ГРИЦЕНКО Віктор Трохимович**

**ТЕХНОЛОГІЯ КОМПЛЕКСНОЇ БЕЗВІДХІДНОЇ ПЕРЕРОБКИ
МАКУХИ З НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР З ОДЕРЖАННЯМ
ВИСОКОЯКІСНИХ ПОВНОЦІННИХ ПРОТЕЇНОВИХ ДОБАВОК
У ВИГЛЯДІ ПЕЛЕТ ТА ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА**

Науково-методичні рекомендації

Електронний аналог друкованого видання (електронна книга)



Запоріжжя
СТАТУС
2017

УДК 631.36
ББК 40.711
А45

Алієв, Е. Б.

А45 Технологія комплексної безвідхідної переробки макухи з насіння олійних культур з одержанням високоякісних повноцінних протеїнових добавок у вигляді пелет та твердого біопалива : Науково-методичні рекомендації / Е. Б. Алієв, О. М. Пацула, В. Т. Гриценко ; Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України. — Електронний аналог друкованого видання (електронна книга). — Запоріжжя : СТАТУС, 2017. — 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см.

ISBN 978-617-7353-59-0

У науково-методичних рекомендаціях висвітлені основні аспекти технології комплексної безвідхідної переробки макухи з насіння олійних культур з одержанням високоякісних повноцінних протеїнових добавок у вигляді пелет та твердого біопалива. Розглянуті проблеми розробки технічних засобів для реалізації запропонованої технології. Представлені результати теоретичних і експериментальних досліджень процесів роботи роторного просіювача подрібненої макухи, установки для виготовлення паливних брикетів і установки для виготовлення кормових пелет.

Науково-методичні рекомендації призначені для науковців, аспірантів, конструкторів сільськогосподарської техніки, студентів і фахівців сільськогосподарського виробництва.

Робота виконана в Інституті олійних культур Національної академії аграрних наук України.

Рецензенти:

О. І. Поляков, доктор сільськогосподарських наук, завідувач відділу агротехнології та впровадження Інституту олійних культур Національної академії аграрних наук України ;

Ю. О. Чурсінов, доктор технічних наук, професор, академік Академії інженерних наук України, завідувач кафедри технології зберігання та переробки сільськогосподарської продукції Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету;

В. Ю. Дудін, кандидат технічних наук, доцент кафедри механізації виробничих процесів у тваринництві Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету.

Схвалено до друку вченою радою Інституту олійних культур Національної академії аграрних наук України (протокол № 11 від 30 листопада 2015 р.).

ISBN 978-617-7353-59-0

© Е. Б. Алієв, О. М. Пацула, В. Т. Гриценко, 2017

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ТЕХНОЛОГІЯ КОМПЛЕКСНОЇ БЕЗВІДХІДНОЇ ПЕРЕРОБКИ.....	5
2 ЩІТКОВИЙ РОТОРНИЙ ПРОСІЮВАЧ ПОДРІБНЕНОЇ МАКУХИ	12
2.1 Аналіз конструкцій просіювачів макухи	12
2.2 Розрахунок параметрів щіткового роторного просіювача подрібненої макухи.....	18
2.3 Методика експериментальних досліджень щіткового роторного просіювача	23
2.4 Результати експериментальних досліджень щіткового роторного просіювача.....	29
3 УСТАНОВКА ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ	30
3.1 Аналіз конструкцій	30
3.2 Методика експериментальних досліджень установки для виготворення паливних брикетів.....	35
3.3 Результати експериментальних досліджень.....	36
4 УСТАНОВКА ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КОРМОВИХ ПЕЛЕТ.....	42
4.1 Аналіз технічних засобів для отримання кормових та паливних пелет	42
4.2 Теоретичні дослідження технологічного процесу формування пелет з білкового порошку	54
4.3 Методика експериментальних досліджень технологічного процесу формування пелет з білкового порошку	63
4.4 Результати експериментальних досліджень технологічного процесу формування пелет з білкового порошку	73
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ.....	81
ВИСНОВКИ.....	88
ЛІТЕРАТУРА	89

ВСТУП

Збільшення виробництва і покращення якості білкових кормів, як однієї з найважливіших задач в підвищенні продуктивності тварин та птиці, може бути здійснено за рахунок удосконалення технології переробки макухи, яка на сьогодні обмежується подрібненням з подальшим введенням в комбікорми.

Удосконалена в Інституті олійних культур технологія переробки макухи за рахунок введення додаткової операції механічного фракціонування подрібненої макухи на білкову і лушпинну фракції дозволяє виділити більш як 40 % білкового порошку з вмістом протеїну не менше 38 %.

Лушпинна фракція, що включає основну масу клітковини, використовується для виготовлення паливних брикетів.

Вміст в білковому порошку 8–12 % олії сприяє швидкому його окисленню, що призводить до зниження якості протеїнової добавки. Для збільшення часу проходження процесу окислення запропоновано виготовляти білкову фракцію у вигляді пелет.

Крім уникнення швидкого окислення, завдяки процесу пелетування, будуть зменшені об'єми збереження пелет у складських приміщеннях та зменшені затрати на їх транспортування. Тому вирішення питань механізації переробки макухи за рахунок удосконалення технології та устаткування для розділення її на білкову фракцію у вигляді пелет і лушпинну у вигляді паливних брикетів є досить актуальним [1].

1 ТЕХНОЛОГІЯ КОМПЛЕКСНОЇ БЕЗВІДХІДНОЇ ПЕРЕРОБКИ

Існуюче устаткування для переробки макухи, одержаної із нешеретованого насіння соняшнику, забезпечує лише процес подрібнення з подальшим введенням в комбікорми [2], в зв'язку з чим використання її для годівлі свиней і птиці неефективне через підвищений вміст клітковини, тому для поліпшення поживної цінності й розширення сфери використання високолушпинної макухи для годівлі усіх видів тварин і птиці необхідна додаткова операція з розділення її на білкову і лушпинну фракції – сепарація.

Білкова фракція може бути використана на кормові цілі в якості гранул (пелет), а лушпинна – в якості сировини для твердого біопалива (паливних брикетів). Технологія отримання твердого біопалива із рослинної сировини основана на ущільненні біомаси під впливом високого тиску до 30 МПа. При цьому клітинна структура матеріалу руйнується, численні порожнечі зникають, в результаті чого щільність матеріалу збільшується в десятки разів від свого первинного стану і становить 900–1400 кг/м³ [3].

Для визначення основних етапів технології комплексної безвідхідної переробки макухи олійних культур проведемо аналіз існуючих технологій виготовлення паливних брикетів і кормових пелет (гранул).

Виробництво біопаливних гранул зі свіжозрубаної деревини (сирого матеріалу) складається з наступних етапів. Спочатку з деревини шляхом попереднього дроблення отримують тріску, підсушують її, видаляючи зайву вологу, і знову подрібнюють до тирсоподібного стану. Під час сушіння важко отримати оптимальну вологість матеріалу, тому пересушену деревину зволожують до необхідного значення і піддають гранулюванню. Потім гранули охолоджують, просіюють і фасують. Технологічна схема отримання паливних гранул зі свіжозрубаної деревини наведена на рисунку 1.1 [4]

Для попереднього подрібнення деревину подають транспортером 1 до двох послідовно розміщених дробарок 2 і 3. Після цього зрубки деревини пневмотранспортером подають до бункера 22, звідки вони шнековим 5 та стрічковим 6 транспортерами направляються до барабанної сушарки 7. Для якісного гранулювання вологість сировини повинна бути в межах 8–10 %. Тому деревні відходи піддають сушінню. Після сушіння зрубки деревини пневмотранспортером 8 подаються на кінцеве дроблення до дробарки 9, яка подрібнює сировину на частки розміром не більше 4 мм, після чого подрібнений матеріал пневмотранспортером 8 подається до бункера-накопичувача 10. В подальшому сировина з вологістю до 8 % через дозатор 11 за допомогою шнекового транспортера 12 подається на змішувач 24, куди також подається гаряча вода або пара. Після цього суміш подається до прес-гранулятора 13, де відбувається виробництво біопаливних гранул, температура яких сягає 70–90 °С. Для їх охолодження використовується охолоджувач 16, до якого гранули подаються за допомогою норії 15. Пил,

який вловлюється системою пиловловлювання 17, і дрібна фракція, виділена за допомогою вібраційного сита 18, направляються на повторне використання. Кондиційні гранули за допомогою стрічкового транспортера 19 та норії 20 подаються до бункера готової продукції 21, звідки йдуть на зважування та фасування до пакувальної машини 23.

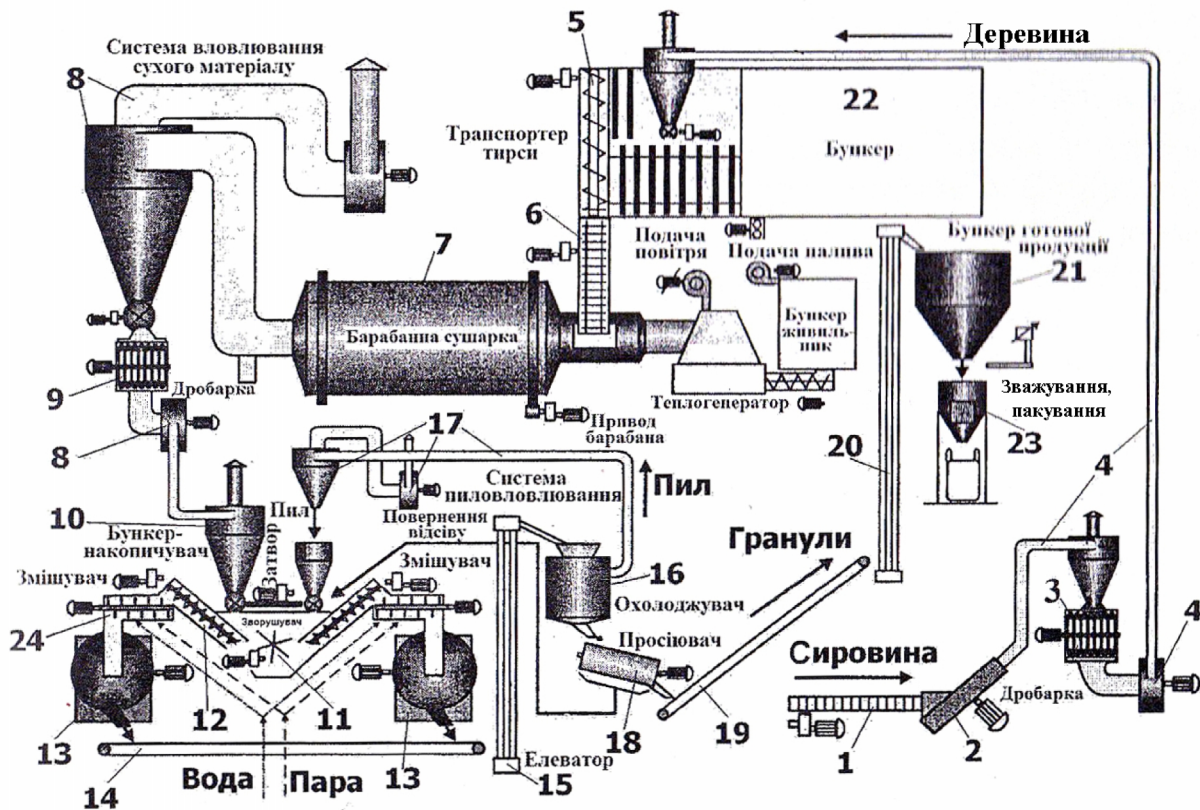


Рисунок 1.1 – Технологічна схема виробництва гранульованого біопалива з вологих матеріалів: 1, 6, 14, 19 – стрічковий транспортер; 2, 3, 9 – дробарка; 4, 8 – пневмотранспортер; 5, 12 – шнековий транспортер; 7 – барабанна сушарка; 10 – бункер-накопичувач; 11 – дозатор; 13 – прес-гранулятор; 15, 20 – норія; 16 – охолоджувач; 17 – система пиловловлювання; 18 – просіювач; 21 – бункер готової продукції; 22 – бункер; 23 – пакувальна машина; 24 – змішувач

Технологічна схема виробництва біопаливних гранул (пелет) із соломки наведена на рисунку 1.2 [4].

Подрібнення тюків соломки відбувається в дві стадії. Спочатку тюки подрібнюються в різальній машині 2, потім на дробарці 4, де соломка подрібнюється до розмірів, необхідних для грануляції. Після цього тонкоподрібнений матеріал змішується з парою в змішувачі 6 і пресується у гранули на грануляторі 7. Після грануляції продукт за допомогою норії 8 подається до охолоджувача 9, після чого просіюється на вібраційному ситі 11.

Норією 12 гранули подаються до бункера готової продукції 13, а потім до пакувальної машини 14.

Аналогічно виробництву пелет сировина для виготовлення паливних брикетів поділяється на вологу (деревна тирса) і суху (солома).

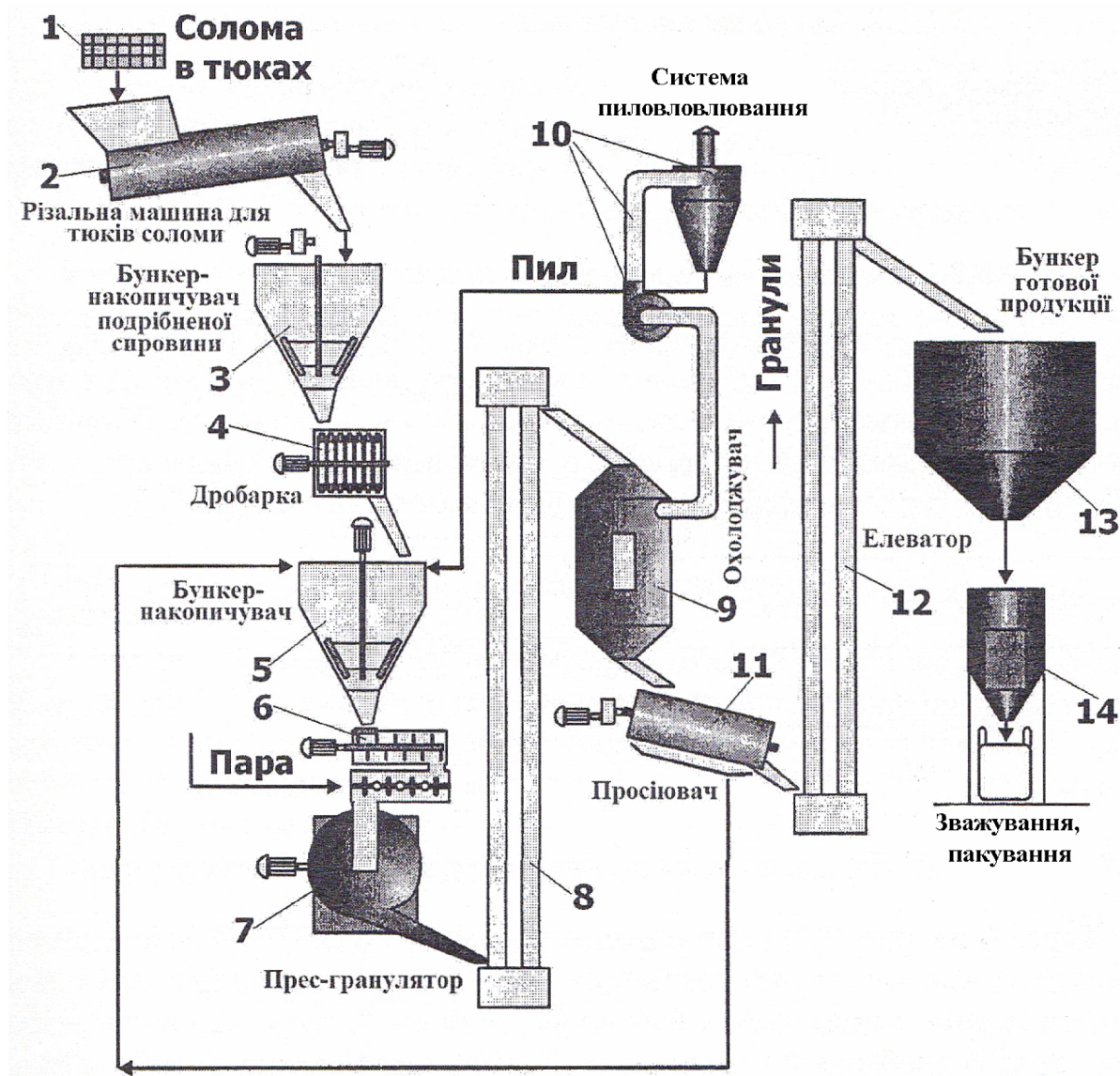


Рисунок 1.2 – Технологічна схема виробництва біопаливних гранул із сухого матеріалу: 1 – солома в тюках; 2 – різальна машина для тюків соломи; 3 – бункер-накопичувач подрібненої сировини; 4 – дробарка; 5 – бункер-накопичувач розмеленої сировини; 6 – змішувач; 7 – прес-гранулятор; 8, 12 – норія; 9 – охолоджувач; 10 – система пиловловлювання; 11 – просіювач; 13 – бункер готової продукції; 14 – пакувальна машина

Технологічна схема виробництва паливних брикетів з тирси представлена на рисунку 1.3 [5].

Тирса підгрібаючим шнеком 1 подається до сита 2, де виділяються крупні частки, які подаються на дробарку 6 для подрібнення. Дрібна тирса подається до бункера сирової тирси 3, куди також подається дрібна тирса з дробарки 6 через циклон 7. Далі матеріал направляється до барабанної сушарки 4, після чого розділяється на два потоки. Частина подається до бункера-накопичувача 9, звідки подається до котла 10, з якого топочні гази трубопроводом 11 подаються до барабанної сушарки 4. Інша частина сухої тирси шнековим транспортером 12 поступає до прес-брикетувальника 13.

Технологія виробництва паливних брикетів із соломи відрізняється від технології отримання паливних брикетів із тирси відсутністю операції сушіння.

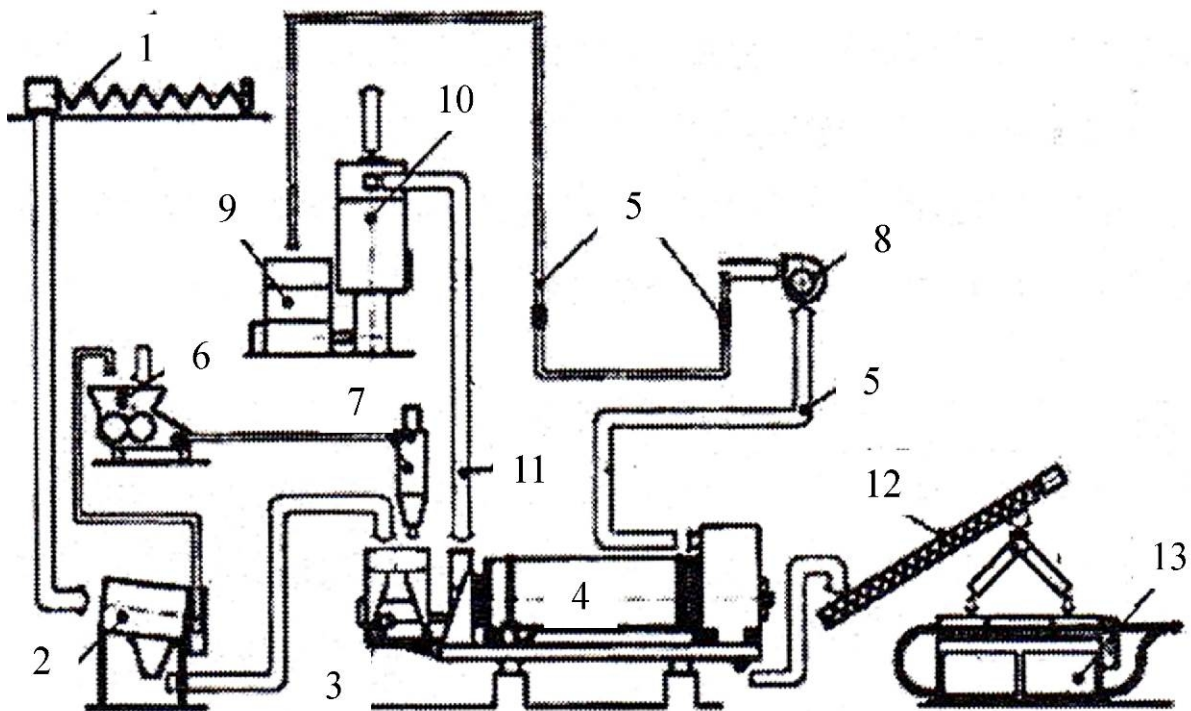


Рисунок 1.3 – Технологічна схема виробництва паливних брикетів з тирси: 1 – підгрібаючий шнек; 2 – сито; 3 – бункер сирової тирси; 4 – барабанна сушарка; 5 – пневмотранспортер; 6 – дробарка; 7 – циклон; 8 – вентилятор; 9 – бункер-накопичувач; 10 – котел; 11 – трубопровід; 12 – шнековий транспортер; 13 – прес-брикетувальник

Технологічна схема виробництва паливних брикетів із соломи представлена на рисунку 1.4 [5].

Для виробництва паливних брикетів із соломи найчастіше застосовуються механічні шнекові преси.

Солома насипом подається до роторної дробарки 1, звідки через направляючий лоток 2 – до завантажувального бункера 3, із якого за допомогою ворушильника 4 направляється до прес-брикетувальника 6, де пресу-

ється за допомогою конічного шнека 5. Для полегшення брикетування со-
лома нагрівається нагрівачем 7. Щільність брикетів на виході регулюється
підпресовувачем 8.

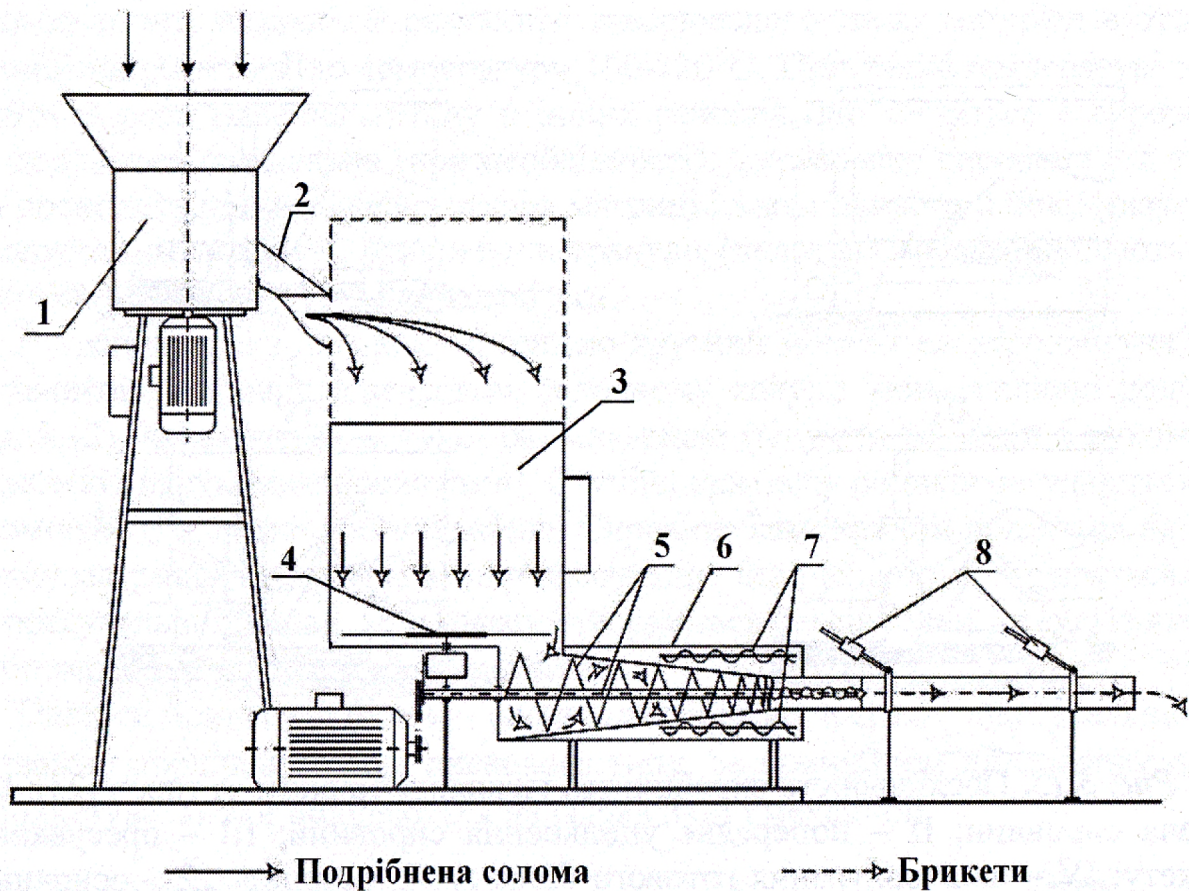


Рисунок 1.4 – Технологічна схема виробництва паливних брикетів із соломи: 1 – роторна дробарка; 2 – направляючий лоток; 3 – завантажувальний бункер; 4 – ворушильник; 5 – конічний шнек; 6 – корпус прес-брикетувальника; 7 – електронагрівачі; 8 – механізм для регулювання щільності брикетів (підпресовувач)

В Інституті олійних культур НААН розроблена технологія переробки макухи з насіння олійних культур з отриманням протеїнових добавок та твердого біопалива з лушпинної фракції [6, 7, 8, 9, 10].

Технологічна схема виготовлення паливних брикетів з лушпинних фракцій макухи насіння олійних культур представлена на рисунку 1.5.

Насіння олійних культур шнековим транспортером 1 подається до прес-екструдера 2, де відбувається видавлювання олії і отримання макухи. Макуха шнековим транспортером 3 подається до молоткової дробарки 4, подрібнюється і направляється на механічне фракціонування до щіткового роторного просіювача 6. Просіяна білкова фракція накопичується в нако-

пичувачі 7, а сходова лушпинна фракція подається до прес-брикетувальника 13. Видавлена олія самопливом заповнює ємність 9, звідки насосом 10 через фільтр 11 направляється до накопичувальної ємності 12. При відсутності процесу екструдерного чавлення насіння олійних культур макуха шнековим транспортером 8 подається до молоткової дробарки 4. При відсутності процесу екструдерного чавлення насіння олійних культур макуха шнековим транспортером 8 подається до молоткової дробарки 4.

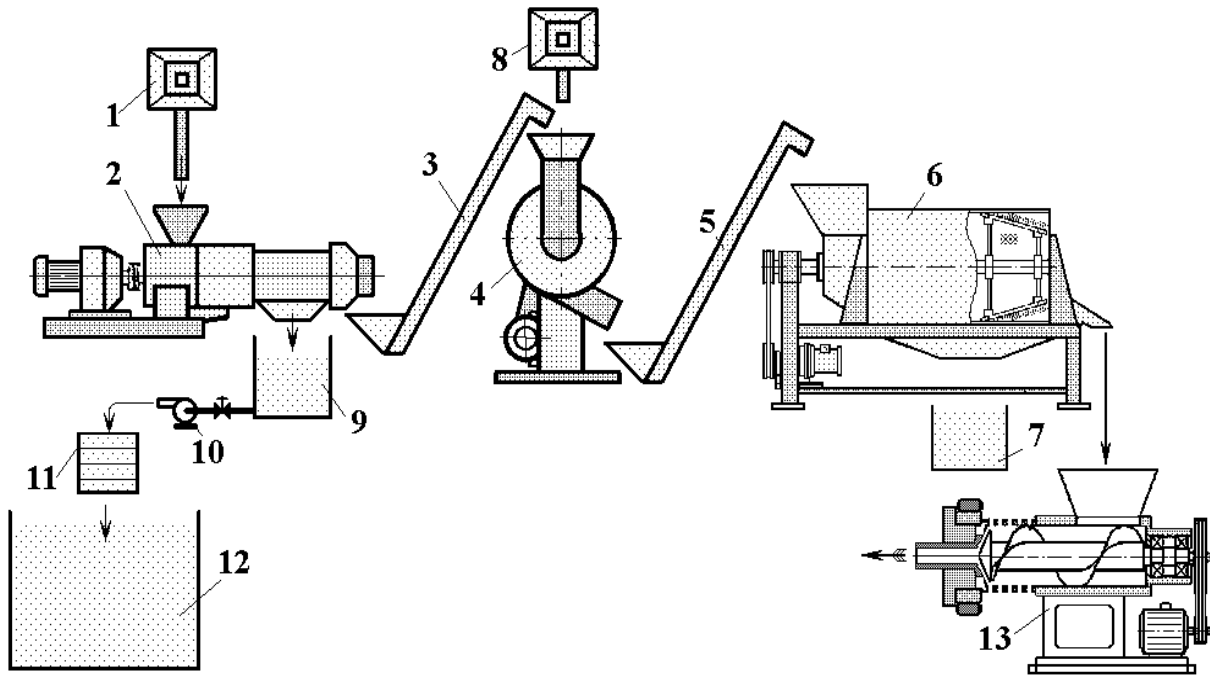


Рисунок 1.5 – Технологічна схема виробництва паливних брикетів з лушпинних фракцій макухи насіння олійних культур: 1, 3, 5, 8 – шнековий транспортер; 2 – прес-екструдер; 4 – молоткова дробарка; 6 – щітковий роторний просіювач; 7 – накопичувач білкової фракції; 9 – проміжна ємність для олії; 10 – насос; 11 – фільтр; 12 – накопичувальна ємність для олії; 13 – прес-брикетувальник

Допрацьована розроблена в ІОК НААН технологія переробки макухи з насіння олійних культур введенням в її конструктивно-технологічну схему розробленої конструктивної схеми гвинтової установки для виготовлення пелет (рисунок 1.6).

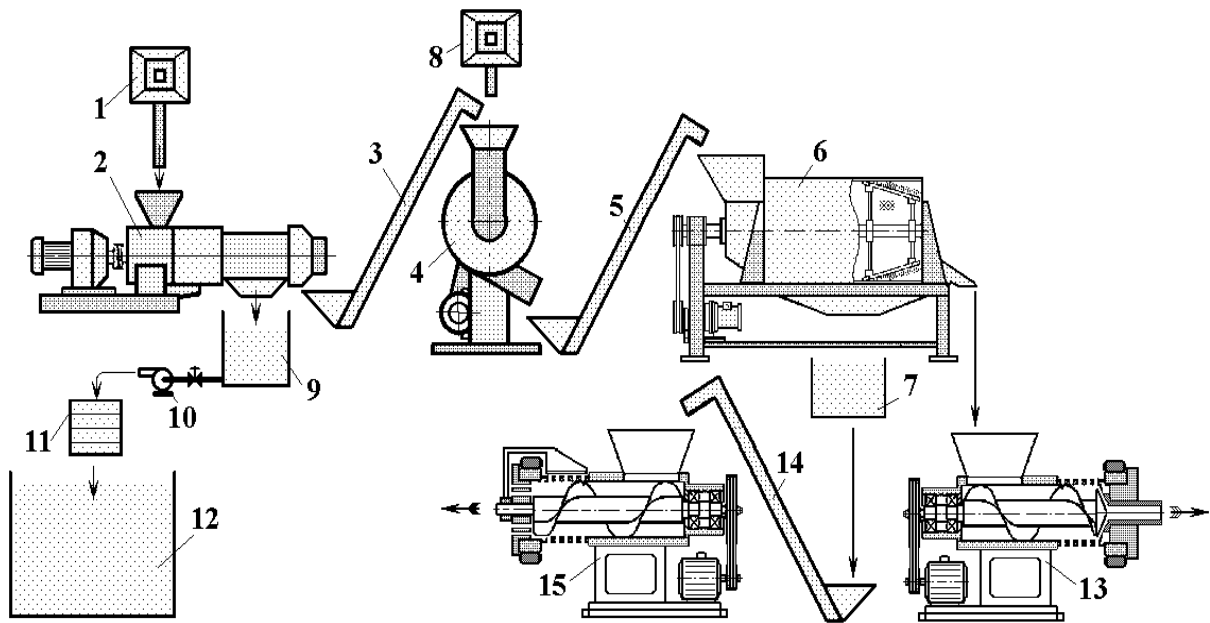


Рисунок 1.6 – Технологічна лінія комплексної безвідхідної переробки макухи з насіння олійних культур з одержанням високоякісних повноцінних протеїнових добавок у вигляді пелет та твердого біопалива: 1, 3, 5, 8, 14 – шнековий транспортер; 2 – прес-екструдер; 4 – молоткова дробарка; 6 – щітковий роторний просіювач; 7 – накопичувач білкової фракції; 9 – проміжна ємність для олії; 10 – насос; 11 – фільтр; 12 – накопичувальна ємність для олії; 13 – прес-брикетувальник; 15 – пелетератор

2 ЩІТКОВИЙ РОТОРНИЙ ПРОСІЮВАЧ ПОДРІБНЕНОЇ МАКУХИ

2.1 Аналіз конструкцій просіювачів макухи

Основним із способів переробки макухи з насіння олійних культур є подрібнення [2]. У його задачу входить одержання часток оптимальних розмірів, придатних для виконання наступних технологічних операцій, наприклад, додавання до комбікорму з наступним змішуванням інгредієнтів.

Макуха з олійного насіння подрібнюється послідовно на гвинтових ломачах, дискових млинах або однопарних рифлених вальцьових станках, молоткових дробарках. Після подрібнення макухове борошно повинно бути максимально однорідним і містити 80 % часток, які в змозі пройти через сито з отвором 1 мм для соняшникової й лляної макухи [2].

Основними вимогами до макухи з насіння соняшнику згідно з ГОСТ 80–96 [11] є:

- масова частка води і летких речовин у макусі не повинна перебільшувати 8,5 %;
- масова частка сирого протеїну у перерахунку на абсолютно суху речовину – не менше 38 %;
- масова частка сирієї клітковини у перерахунку на абсолютно суху речовину – не більше 12 %.

У зв'язку із створенням нових підприємств з переробки нешеретованого насіння соняшнику, ріпаку, льону, гірчиці тощо із застосуванням прес-екструдерів, виробництво макухи поступово збільшується. Наявність підвищеного вмісту клітковини у цій макусі за рахунок лушпинної фракції знижує її якість, обмежує процентний вміст у комбікормах для свиней і птиці і не відповідає нормативним вимогам (таблиця 2.1) [12].

Таблиця 2.1 – Хімічний склад макухи з насіння соняшнику, %

Вид макухи	Суха речовина	Протеїн	Клітковина	Жир	Безазотисті екстрактивні речовини	Зола
Макуха з нешеретованого насіння	94,2	19–24	16–19	9–13	26–29	8,4
Макуха з шеретованого насіння	93,5	26–32	12–14	10–15	24–28	7,1

Аналізуючи таблицю 2.1, можна зробити висновок, що як макуха з нешеретованого насіння соняшнику, так і з шеретованого не відповідає нормативним показникам.

Тому вирішення питань механізації переробки макухи за рахунок удосконалення технології та устаткування з метою виділення білкової фракції є досить актуальним.

У процесі подрібнення макухи утворюються частки, які різняться за розміром, формою, щільністю, аеродинамічними властивостями [13]. Це пов'язано з тим, що подрібнена макуха є сипкою сумішшю і складається з подрібненого й частково знежиреного ядра, що містить основну кількість протеїну і подрібненого лушпиння, яке складається переважно з клітковини. Це дає змогу сепарувати подрібнену макуху на білкову фракцію ядра і лушпинну фракцію, що складається переважно з клітковини.

Найбільш широке розповсюдження для просіювання сипких матеріалів одержала механічна сепарація [13]. При ній розділення сипкого матеріалу, наприклад, продуктів подрібнення зерна, відбувається на просіювачах, класифікація яких наведена на рисунку 2.1, і які можуть бути використані для розділення подрібненої макухи на білкову і лушпинну фракції.

Технічні характеристики деяких машин для просіювання сипких матеріалів представлені в таблицях 2.2–2.6.

Таблиця 2.2 – Технічна характеристика розсівів шафового типу

Показники	Марка	
	ЗРШ-4М	ЗРШ-6М
Кількість ситових рам в секції, шт.	16	16
Корисна площа сит, м ²	17,0	25,5
Частота обертів, об/хв.	220	240
Радіус траєкторії, мм	40–50	40–50
Потужність двигуна, кВт	3	4
Витрати повітря, м ³ /год.	360	480
Габаритні розміри, мм:		
довжина	2400	3060
ширина	1390	1994
висота	2370	2370
Маса, кг	1920	2972

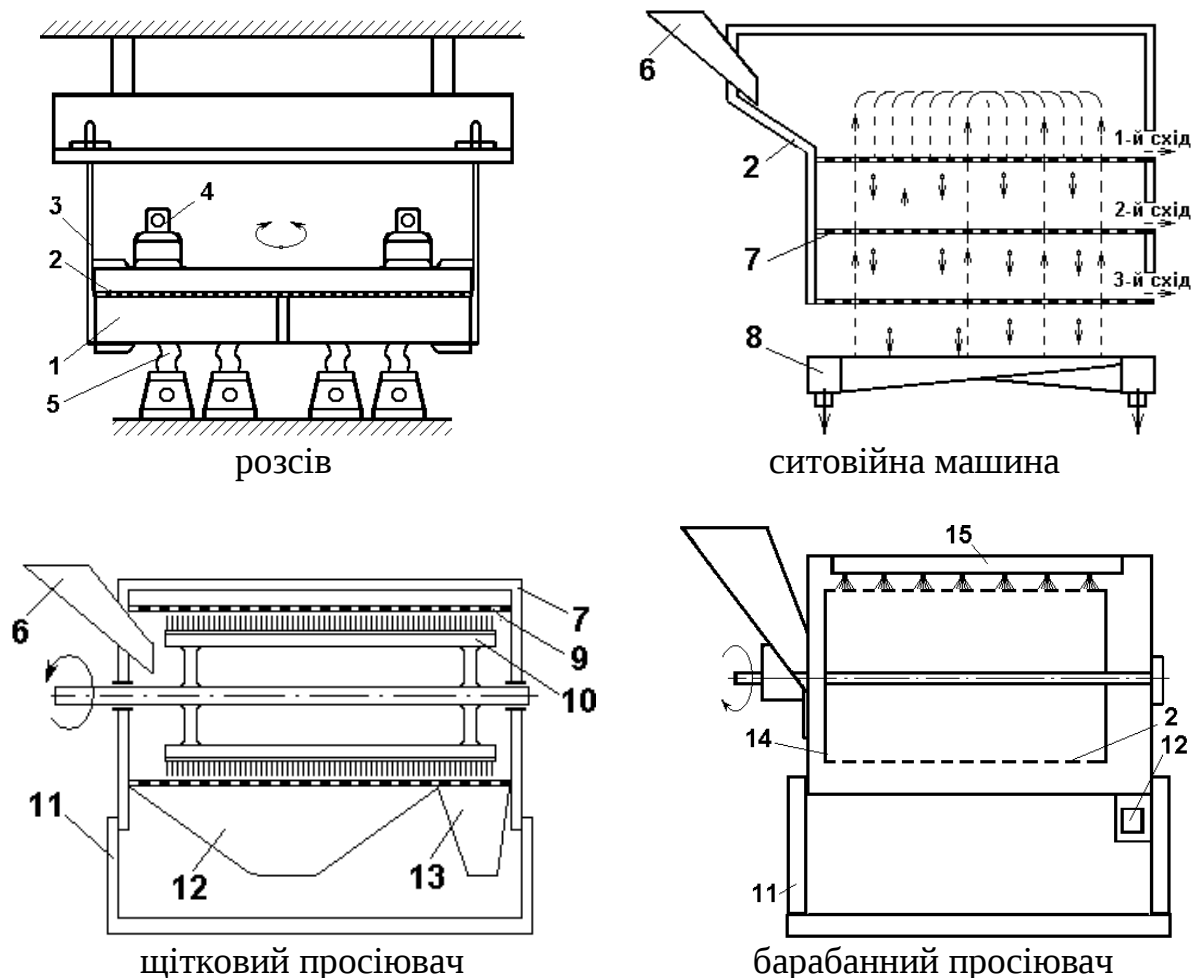


Рисунок 2.1 – Конструктивно-технологічні схеми просіювачів: 1 – ситова рама; 2 – сито; 3 – трос; 4 – приймальний рукав; 5 – випускний рукав; 6 – лійка; 7 – корпус; 8 – вивантажувальний короб; 9 – решето; 10 – щітковий барабан; 11 – рама; 12 – вивантажувальне вікно; 13 – вивантажувальна горловина; 14 – барабан; 15 – щітка

Таблиця 2.3 – Технічна характеристика розсівів рамного типу

Показники	Марка	
	ЗРМ	ЗРМ-2М
Корисна площа сит, м ²	22,5-29,4	22,5-29,4
Частота обертів вала балансира, об/хв.	210	210
Радіус колових коливань, мм	45	45
Розміри ситових рам, мм	1600 x 930	1600 x 930
Витрати повітря, м ³ /с	0,15	0,15
Потужність двигуна, кВт	2,8	1,7
Маса, кг	2000	2000

Таблиця 2.4 – Технічна характеристика розсівів „Планостар” і „Квадростар” фірми „Бюлер” (Швейцарія)

Марка	Число секцій, шт.	Число сит в секції, шт.	Корисна площа сит, м ²	Габаритні розміри, мм				Маса, кг	Об'єм, м ³
				Довжина	Ширина	Висота шафи	Висота до прий- мальної дошки		
„Планостар” МРАД									
412	4	12	10,6	2770	1085	1365	2085	1920	9,7
422	4	22	19,5	2770	1085	2036	2760	2570	12,0
612	6	12	15,8	3730	1085	1365	2085	2320	12,2
622	6	22	29,0	3730	1085	2036	2760	3140	16,1
712	7	12	15,2	3730	1085	1365	2085	2430	12,2
722	7	22	27,7	3730	1085	2036	2760	3320	16,1
812	8	12	14,4	3730	1085	1365	2085	2450	12,2
822	8	22	26,4	3730	1085	2036	2760	3370	16,1
„Квадростар” МРАЕ									
414	4	14	13,4	1708	2330	1364	2084	1915	10,3
417	4	7	16,5	1708	2330	1364	2084	1990	10,3
418	4	18	17,5	1708	2330	1700	2420	2150	12,1
422	4	22	21,0	1708	2330	1700	2420	2250	12,1
423	4	23	22,0	1708	2330	2036	2756	2410	13,0
427	4	27	25,8	1708	2330	2036	2756	2500	13,0
614	6	14	20,2	2430	2330	1364	2084	2630	14,0
617	6	17	24,6	2430	2330	1364	2084	2750	14,0
618	6	18	26,0	2430	2330	1700	2420	2960	16,5
622	6	22	31,6	2430	2330	1700	2420	3120	16,5
623	6	23	33,0	2430	2330	2036	2756	3330	19,0
627	6	27	39,0	2430	2330	2036	2756	3400	19,0

Аналізуючи переваги і недоліки обладнання для сепарації сипких матеріалів, можна зробити висновок, що найбільш прийнятними для просіювання білкової фракції із подрібненої макухи можуть бути вимольні машини з щітковим ротором за умови, що щітки будуть виконувати роль як транспортуючого робочого органа, так і очисника [14, 15, 16, 17, 18].

Таблиця 2.5 – Технічна характеристика ситовійних машин

Показники	Марка		
	ЗМС-2-2	ЗМС-2-4	ЗМС-1-4
Продуктивність, т/год.	1,0–2,0	1,0–2,0	0,75–1,0
Число паралельних прийомів крупок, шт.	2	4	4
Ширина приймального сита, мм	400 x 2	200 x 4	200 x 4
Амплітуда коливань ситового кузова, мм	5,0–5,5	5,0–5,5	5,0
Частота коливань, 1/хв.	530–550	530–550	530–550
Витрати повітря на аспірацію, м ³ /год.	3600	3300	2400
Потужність двигуна, кВт	0,8	0,8	0,6
Габаритні розміри, мм:			
довжина	3180	3155	200
ширина	1230	1300	1240
висота	1550	1600	1600
Маса, кг	800	835	670

Таблиця 2.6 – Технічна характеристика щіточних машин

Показники	Марка	
	ЩМА	БЩО-1,5
Продуктивність, кг/с.	1,0	0,45
Площа ситового барабана, м ²	3	2,75
Діаметр ситового барабана, мм	800	750
Частота обертів щітчного барабана, об/хв.	300	300
Частота обертів ситового барабана, об/хв.	8	18
Потужність двигуна, кВт	2,8	5,5
Маса, кг	870	930

Лушпинну фракцію, яка залишається, можна використовувати для годівлі ВРХ, виготовлення паливних брикетів або пелет.

Як показали попередні аналітичні і експериментальні дослідження, у якості просіювача найбільш прийнятним для виділення білкової фракції з подрібненої макухи може бути вимольна машина з щітковим ротором, переобладнана для просіювання сипкого заолієного матеріалу і за умови, що щітки будуть виконувати роль як транспортуючого робочого органа, так і очисника. Для цього необхідно щоб щітки примикали до поверхні сита і були розташовані по відношенню до нього по гвинтовій лінії.

Пропонований щітковий просіювач, наведений на рисунку 2.2, представляє собою раму 1, на якій кріпиться привод 2 і корпус 3 із двома боковинами 4 і 5, між якими розміщено ротор, що складається з вала 6, на якому розташовані бобишки 7 з пальцями 8, до яких жорстко закріплені пластини 9. До суміжних пластин закріплюються щітки 10. Бобишки мають мо-

жливість обертатися відносно вала, змінюючи кут закручування щіток. Між боковинами 4 і 5 натягнуто сито 11 так, що щітки 10 при обертанні копіюють його поверхню, створюючи коливний рух [19, 20, 21].

До корпусу примикає завантажувальна 12 і вивантажувальна 13 горловина. Під ситом розташоване вивантажувальне вікно 14, закріплене до рами. Сито у верхній частині закрито кожухом 15.

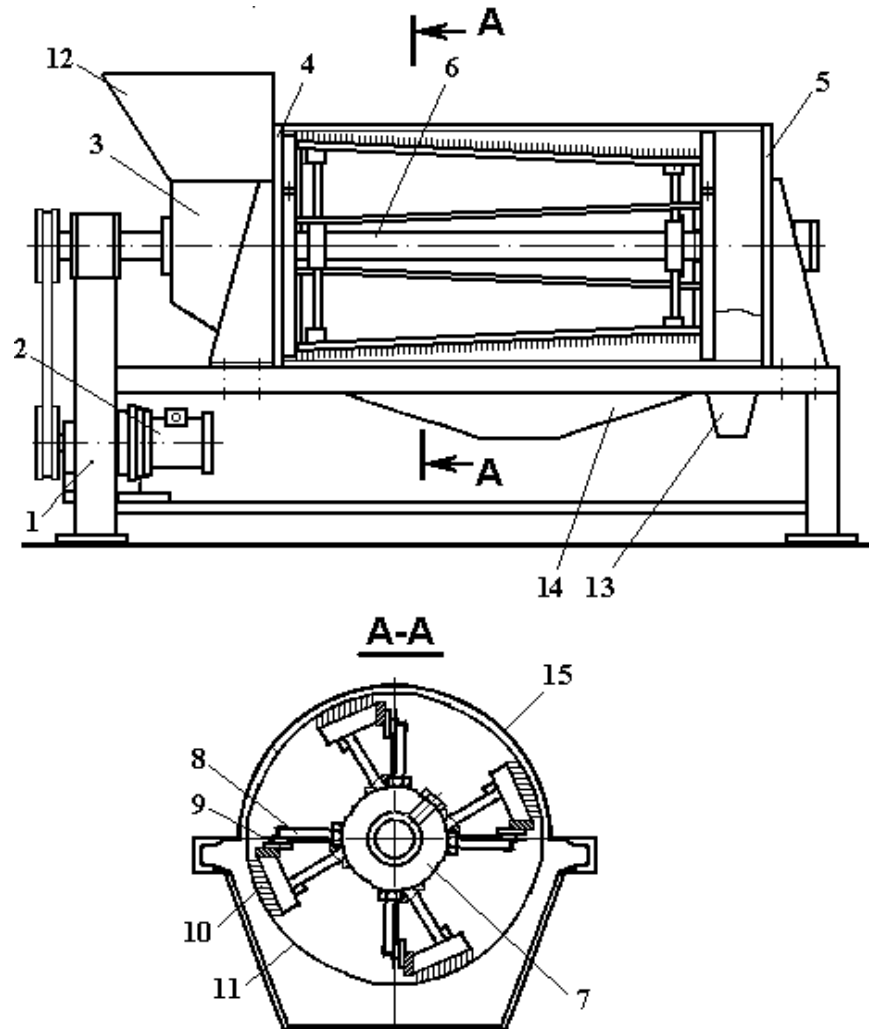


Рисунок 2.2 – Конструктивно-технологічна схема щіткового роторного просіювача: 1 – рама; 2 – привод; 3 – корпус; 4, 5 – боковини; 6 – вал; 7 – бобишка; 8 – палець; 9 – пластина; 10 – щітка; 11 – сито; 12 – завантажувальна горловина; 13 – вивантажувальна горловина; 14 – вивантажувальне вікно; 15 – кожух

Подрібнена макуха рівномірно подається до завантажувальної горловини 12, звідки через вікно в боковині 4 потрапляє до робочої зони між щітками 10 і ситом 11. Захоплюючись щітками при обертанні вала 6, прохідна протеїнова фракція просівається через отвори сита 11 і виводиться у вигляді дрібнодисперсного порошку через вивантажувальне вікно 14. Непро-

сіяна макуха, що має більш велику фракцію, виводиться через вивантажувальну горловину 13. Просіяна фракція може бути використана як білкова добавка в комбікорми свиням і птиці, а також в якості харчового продукту, залежно від вмісту в ній білка і клітковини, що регулюється змінними ситами. Сходова фракція – лушпинна, в своєму складі вміщує переважно клітковину і може бути використана для годівлі ВРХ і виготовлення паливних брикетів.

Особливістю пропонованого щіткового просіювача є те, що додаткове очищення сита здійснюється струшуванням його у процесі обертання ротора. За час перебування подрібненої макухи на поверхні сита прохідний матеріал повинен повністю просіятися через його вічка. Крім того циліндричне сито закріплено тільки на початку і в кінці зони просіювання.

2.2 Розрахунок параметрів щіткового роторного просіювача подрібненої макухи

Розглядаючи подрібнену макуху як однорідне сипуче суцільне середовище, можна використати методи механіки суцільних середовищ і застосувати ці методи для визначення процесів та їх характеристик у випадку переміщення матеріалу щітками просіювача. При цьому виникає необхідність встановити параметри ліній сковзання, які виникають за умови граничного напруженого стану середовища [22, 23].

До основної задачі можна віднести: визначення бокової лінії сковзання по ходу руху підпірної стінки (в подальшому будемо називати щіткою) в шарі суцільного середовища (в подальшому – матеріал) і параметрів цієї лінії.

Із емпіричних методів побудови ліній сковзання для сипких матеріалів найбільш близьку збіжність з аналітичним дає метод Оде. Цей метод передбачає форму лінії сковзання, яка складається з двох складових. Перша являє собою логарифмічну спіраль (рисунок 2.3).

$$r_i = r_0 e^{\theta_i \operatorname{tg} \varphi}, \quad (2.1)$$

де r_i – поточний радіус розгортки спіралі;
 r_0 – початковий радіус розгортки спіралі;
 θ_i – поточний кут розгортки спіралі;
 φ – кут внутрішнього тертя матеріалу;
 μ – кут осипання;
 $r_{\min}$ – мінімальний радіус розгортки спіралі;
 $r_{\max}$ – максимальний радіус розгортки спіралі;
 L – виліт носка спіралі.

Друга – це пряма лінія, похідна від спіралі в точці А, яка згідно з теорією Кулона-Мора утворює кут $\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}$.

Проаналізуємо згідно з рисунком 2.3 взаємодію щітки і матеріалу.

Щітка на матеріал діє зусиллям Р, розподіленим по довжині ВЕ. Тоді всередині однорідної маси виникають напруження, які можна розділити на

три зони. Перша зона, обмежена щіткою і логарифмічною спіраллю (зона АВЕ), має стан двовісного стиснення, яке виникає при дії сили P , при цьому напруження $\sigma_x = \text{const}$ і $\sigma_y = \text{const}$.

Напруження по осі y передається по лінії АВ на сито і при русі матеріалу прохідні його частки найбільш інтенсивно просіюються крізь отвори сита. Щітка при цьому очищає сито від застряглих часток макухи. Друга зона обмежується спіраллю і лінією осипання матеріалу (зона АСD) та має стан одновісного стиснення вздовж лінії сковзання (по спіралі). Під дією цього напруження шар АСD переміщується вгору по спіралі, накопичується там і сходить вниз по лінії осипання CD. Цей шар по лінії AD контактує з ситом і матеріал має можливість просіюватися. Третя зона обмежується лінією осипання і вільною поверхнею KE. Тут матеріал вільно рухається по лінії CD, досягає сита, контактує з ним, просівається, накопичується. Цей процес повторюється допоки матеріал не просіється або не зійде з сита у вигляді крупної фракції.

Рух матеріалу вздовж осі просіювача обумовлений нахилом щітки до твірної циліндричного сита. Розглянемо рух деякої частки матеріалу в загальному об'ємі, розділяючи цей рух на цикли. У цілому цикл складається з двох кроків. Перший крок – підймання частки разом з середовищем по логарифмічній спіралі. Цей рух проходить перпендикулярно твірній циліндра сита, якщо уявити це в плані. Математично розглянути цей рух важко. Взагалі нас цікавить переміщення частки вздовж осі. При першому кроці цього переміщення немає (лінія ВС), рисунок 2.3.

Другий крок – опускання частки з загальною масою матеріалу по лінії осипання (рисунок 3.4). Тут АС – твірна циліндра; АВ – лінія щітки; K_1C – лінія підймання; CD – лінія опускання; K_1D – переміщення частки.

Цей рух відбувається перпендикулярно щітці (лінія CD). Таким чином за один цикл частка переміститься вздовж сита на величину K_1D , яку визначаємо з рисунку 2.4

$$K_1D = (CD)\sin\alpha, \quad (2.2)$$

де α – кут закручування щітки.

Якщо уявити, що частка в своєму русі за один цикл проходить дві фази – підймання тривалістю t_n і сповзання тривалістю t_c , загальна тривалість $t_{\text{ц}}$ циклу становить:

$$t_{\text{ц}} = t_n + t_c. \quad (2.3)$$

Підставивши значення t і беручи до уваги, що $\omega_{\text{пер}} = v_p/R$, отримаємо:

$$t_{\text{ц}} = 5,16 \sqrt{\frac{0,48h_{\text{щ}} R^2}{1,33gR^2 - v_p^2(h_{\text{щ}} - R)}}, \quad (2.4)$$

де v_p – радіальна швидкість переміщення частки.

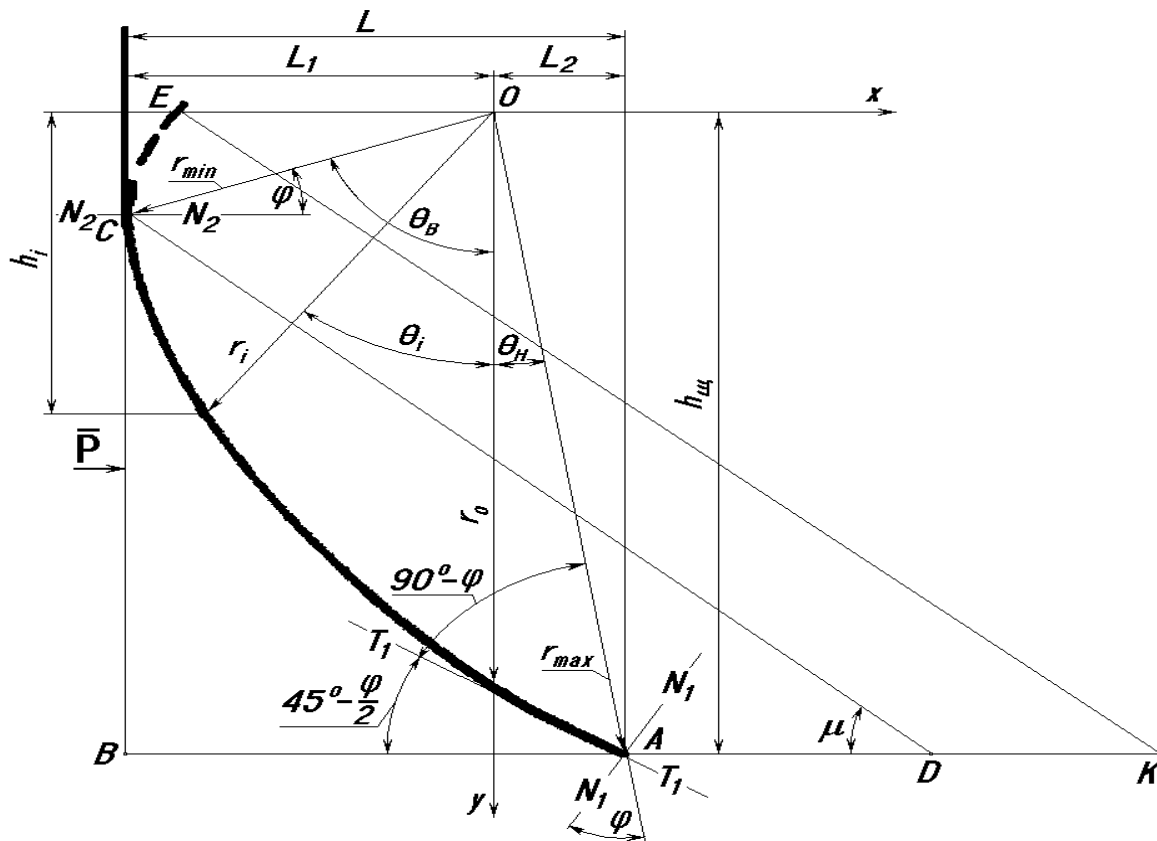


Рисунок 2.3 – Схема ліній сковзання для сипких матеріалів

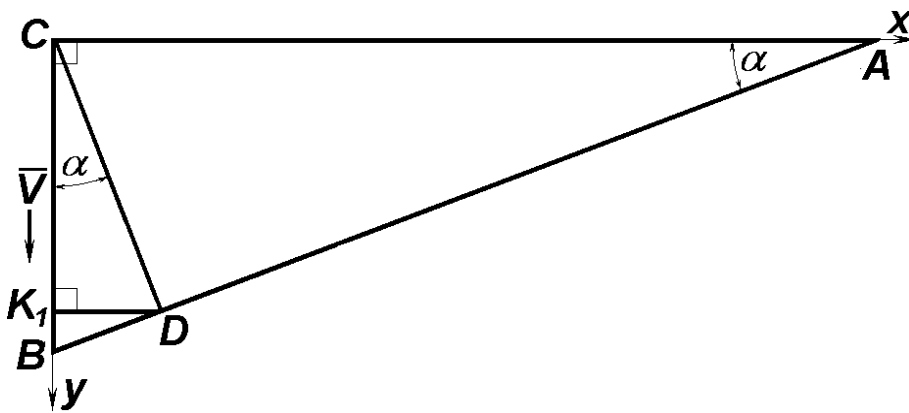


Рисунок 2.4 – Схема переміщення деякої частки в загальній масі матеріалу за один цикл

Виходячи з рисунку 2.4, за годину t_c частка переміститься на відстань $K_1 D$, при цьому середня швидкість переміщення дорівнює:

$$V_{cp} = \frac{0,208h_{\text{ш}} \sin \alpha}{\sqrt{\frac{0,48h_{\text{ш}} R^2}{1,33gR^2 - v_p^2(h_{\text{ш}} - R)}}}. \quad (2.5)$$

Значення кута α знаходиться в залежності:

$$\alpha = \arcsin \left[0,38 v_p \sqrt{\frac{0,48 h_{\text{щ}}}{1,33 g R^2 - v_p^2 (h_{\text{щ}} - R)}} \operatorname{ctg} \mu \right]. \quad (2.6)$$

Графічна інтерпретація цієї залежності наведена на рисунку 2.5, де представлено залежність кута закручування щітки α від радіуса ситової поверхні R і швидкості v_p переміщення по ній частки.

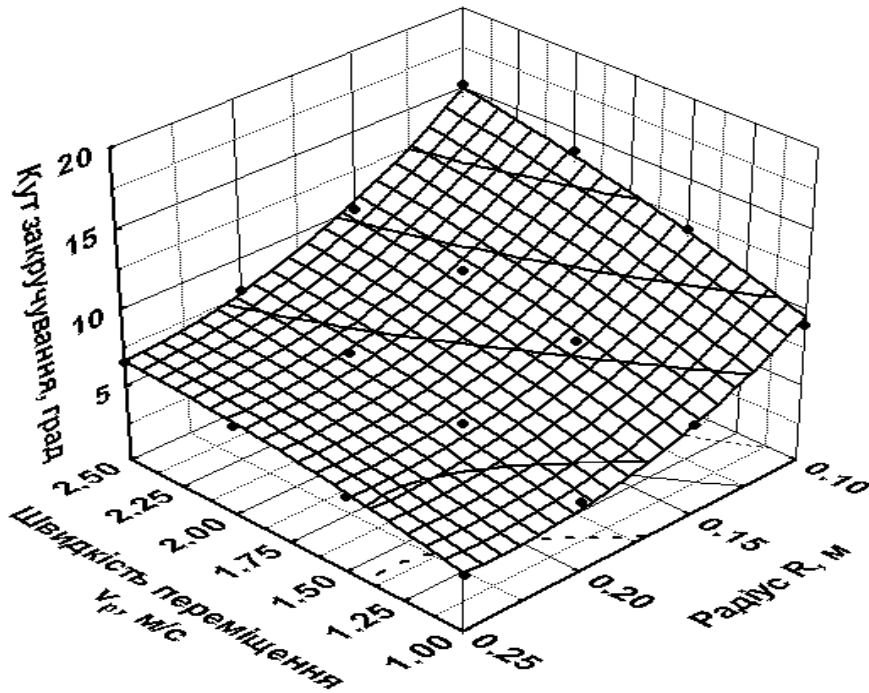


Рисунок 2.5 – Залежність кута закручування щітки від швидкості переміщення матеріалу по ситі та його радіуса

З рисунку 2.5 видно, що при збільшенні швидкості переміщення частки по ситовій поверхні кут закручування щітки збільшується, причому чим менший радіус ситової поверхні при одних і тих же значеннях v_p , тим більший кут закручування щітки. Так, при $R_2 = 0,15$ м і зміні швидкості v_p з 1 до 2,5 м/с кут закручування щітки варіює в межах 6–13°.

Для складання диференційного рівняння кінцевих коливань прямого стрижня необхідно прийняти такі допущення [24]:

1. Пружна вісь стрижня прямолінійна і збігається з лінією центрів тяжіння поперечних перетинів стрижня і цю вісь приймають за координатну вісь „X”, від якої відлічують відхилення елементів стрижня при поперечних коливаннях.

2. Вважають, що відхилення окремих точок осі стрижня відбувається перпендикулярно до осі „X” і паралельними переміщеннями відносно осі нехтують.

3. Припускають, що відхилення точок осі стрижня проходить в одній площині.

4. Такі відхилення вважають малими, тобто відновлюючи сили, залишаються в межах пропорційності.

Тоді відхилення точок осі стрижня при поперечних коливаннях подають у вигляді функції двох перемінних:

$Y = Y(x, t)$, де x – координата; t – час.

При вільних поперечних коливаннях функція „ Y ” задовольняє лінійне диференціальне рівняння в приватних похідних четвертого порядку. Для його побудови вводимо позначення:

μ – маса одиниці довжини стрижня, $\text{кг сек}^2/\text{см}^2$;

E – модуль пружності, $\text{кг}/\text{см}^2$;

J – момент інерції поперечного перерізу стрижня, см^4 ;

E, J – жорсткість на прогин.

Щітку просіювача можна представити як суцільний однорідний стрижень, шарнірно обпертий по кінцях, рисунок 2.6 [25, 26].

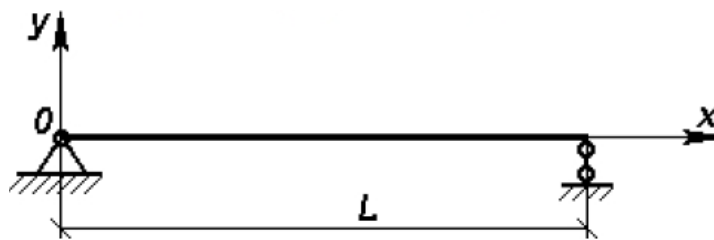


Рисунок 2.6 – Схема шарнірного закріплення щітки просіювача у вигляді суцільного однорідного стрижня

Згідно з [25, 26] рівнянням коливання щітки можна записати у вигляді (рисунок 2.7):

$$y(x, t) = \sum_{i=1}^{t=\infty} [M_i \cos(p_i t) + N_i \sin(p_i t)] \sin \frac{i\pi x}{L}, \quad (2.7)$$

де постійні M_i і N_i знаходяться з початкових умов.

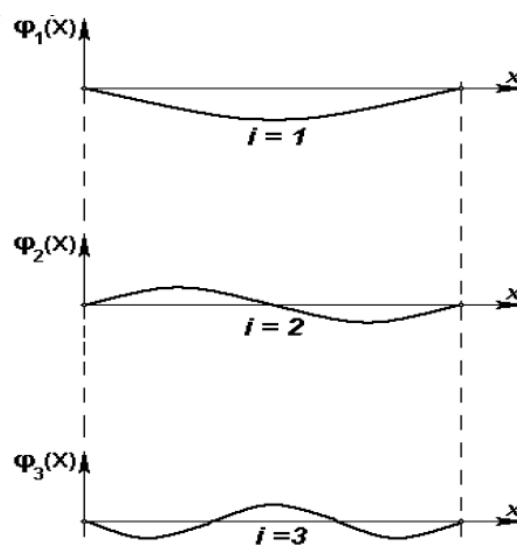


Рисунок 2.7 – Власні форми коливань стрижня

Нехай до стрижня в точці $x = x_1$, (рисунок 2.8) прикладена зосереджена гармонійна сила $Q = Q_0 \sin(\omega t + \alpha_n)$, де α_n – початкова фаза збуджуючої сили.

Згідно з [25, 26] рівнянням коливання щітки при прийнятій умові (рисунок 2.8) можна записати у вигляді:

$$y(x,t) = \frac{2Q_0 L^3}{\pi^4 EJ(1 - \alpha^2)} \sin(\omega t) \sin \frac{\pi x}{L}. \quad (2.8)$$

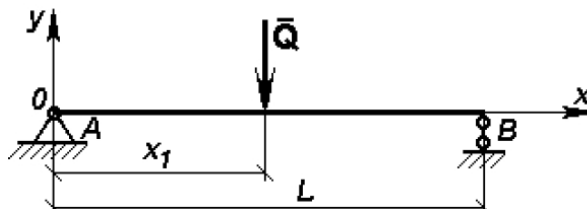


Рисунок 2.8 – Схема прикладення до стрижня гармонійної сили

При виборі конструктивно-технологічної схеми просіювача для просіювання подрібненої макухи, яка включає переважно білкову фракцію, лушпинну і частково олію, в якості інтенсифікатора може виступати сама щітка, яка за умови примикання до циліндричної ситової поверхні з певною амплітудою і частотою збуджує в неї коливальні рухи. Тому підставляючи числові значення в рівняння (2.7)–(2.8), маємо наступні конструктивно-режимні параметри просіювача: довжина просіювача – 0,8 м; радіус камери – 0,3 м; частота обертів ротора – 140 об/хв.

Продуктивність роторного просіювача згідно з [13] можна визначити за формулою:

$$Q = F \times \omega \times R \times \varphi \times \rho, \quad (2.9)$$

де F – площа рамки із щітками, м^2 ;

ω – кутова швидкість обертання рамки, $1/\text{с}$;

R – радіус рамки, м ;

ρ – щільність продукту, $\text{кг}/\text{м}^3$;

φ – коефіцієнт використання обсягу робочої камери, що враховує неповне заповнення площі рамки продуктом ($\varphi = 0,1 \dots 0,3$).

Підставляючи в (2.9) числові значення, отримуємо значення продуктивності розробленого просіювача $0,42 \text{ кг/с}$ (1512 кг/год).

Для забезпечення розрахованої частоти обертання рамки із щітками та продуктивності будемо використовувати мотор-редуктор потужністю $3,2 \text{ кВт}$.

2.3 Методика експериментальних досліджень щіткового роторного просіювача

Програма була розроблена на основі раніше проведених теоретичних та експериментальних досліджень.

У програму експериментальних досліджень входить:

– дослідження впливу завантаження матеріалу q , частоти обертання ротора n та кута α закручування щіток на ступінь просіювання білкової фракції η_p .

– визначення оптимальних параметрів щіткового просіювача.

Для проведення досліджень згідно з програмою була розроблена і змонтована експериментальна лінія (рисунок 2.9), яка складається з подрібнювача 1, живильника 2 і роторного просіювача 3.

Загальний вигляд просіювача і щітковий барабан представлені на рисунку 2.10.

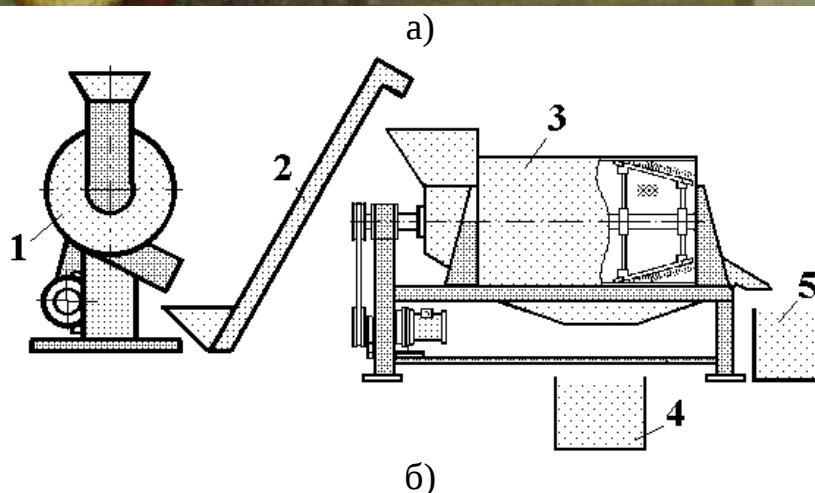
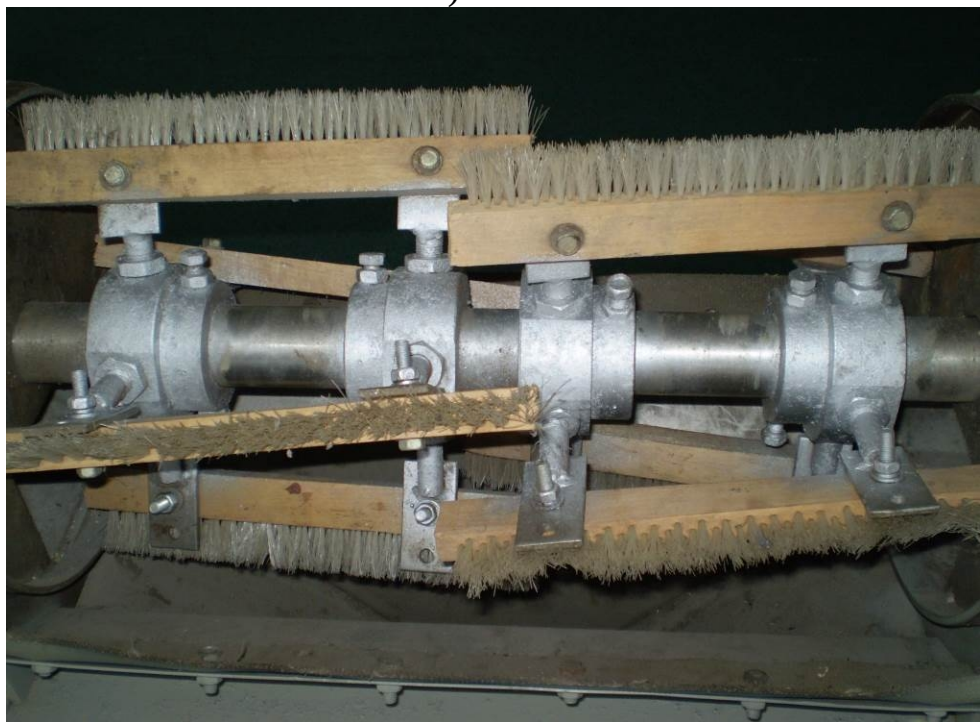


Рисунок 2.9 – Експериментальна лінія переробки макухи насіння олійних культур: а – загальний вигляд; б – технологічна схема; 1 – дробарка; 2 – живильник; 3 – щітковий просіювач; 4 – приймач білкового порошку; 5 – приймач лушпинного порошку



а)



б)

Рисунок 2.10 – Роторний щітковий просіювач: а – загальний вигляд; б – щітковий барабан просіювача

Основними робочими органами роторного просіювача (рисунок 3) є щітки 10 і сито 11. Щітки розміщені відносно вала ротора під певним кутом закручування.

Ситова поверхня виконана з капронових або поліамідних ниток з числом вічок на 1 см довжини, яке дорівнює 29.

У якості об'єкта досліджень бралася макуха із насіння гібрида соняшнику Запорізький 28, яка подрібнювалася на дробарці.

Подрібнену макуху масою 10 кг засипали в бункер живильника. Вмикали двигун просіювача, а потім живильника. Після просіювання матеріал, який пройшов крізь вічка сита, зважували і визначали ступінь просіювання $\eta_{\text{п}}$.

При проведенні досліджень використовувалося сито № 29 з розмірами вічок 258 мкм.

Подачу матеріалу регулювали живильником 2 (рисунок 2.9) за рахунок переміщення заслінки шнека, розміщеного над його кожухом, змінюючи при цьому об'єм захвату матеріалу шнеком.

Частоту обертів ротора просіювача регулювали перетворювачем частоти (рисунок 2.11).



Рисунок 2.11 – Загальний вигляд перетворювача частоти

Для контрольного виміру завданого параметра користувались тахометром (рисунок 2.12).

Кут закручування α встановлювався за рахунок взаємного зміщення бобишок відносно вала ротора, які фіксувалися гвинтами.

У процесі експериментів фіксували потужність двигуна за допомогою приладу РП-50 (рисунок 2.13).



Рисунок 2.12 – Загальний вид тахометра



Рисунок 2.13 – Загальний вигляд приладу РП-50

У якості варійованих факторів брали такі параметри процесу:

- завантаження матеріалу q , кг/с;
- частота обертів ротора n , 1/хв.;
- кут закручування щіток α , град.

Інтервали і рівні варіювання факторів роторного просіювача представлені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Інтервали і рівні варіювання факторів при дослідженні щіткового просіювача

Позначення факторів		Найменування факторів та одиниці вимірювання	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
кодоване	натуральне		+1	0	−1	
X ₁	q	Завантаження матеріалу, кг/с.	0,6	0,4	0,2	0,2
X ₂	n	Частота обертання ротора, 1/хв.	120	100	80	20
X ₃	α	Кут закручування щіток, град.	15	10	5	5

Для планування досліджень використовувалася стандартна трирівнева матриця оптимального плану Бокса-Бенкіна другого порядку для трьох факторів (таблиця 2.8).

Для опису області оптимуму використовуємо план другого порядку, що дає можливість одержати математичну модель у вигляді функції відгуку Y, представленій поліномом другого порядку.

$$Y = b_0 + b_i x_i + b_{ij} x_i x_j + b_{ii} x_i^2, \quad (2.10)$$

де b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – коефіцієнти регресії.

Коефіцієнти математичної моделі другого порядку розраховуються за допомогою ЕОМ. Перевірка їхньої значимості виконується за критерієм Стюдента.

Таблиця 2.8 – Трирівнева матриця оптимального плану Бокса-Бенкіна другого порядку для трьох факторів

№. досліджу	Фактор			№. досліджу	Фактор		
	X ₁	X ₂	X ₃		X ₁	X ₂	X ₃
1	1	1	0	9	0	1	1
2	−1	−1	0	10	0	−1	−1
3	1	−1	0	11	0	1	−1
4	−1	1	0	12	0	−1	1
5	1	0	1	13	0	0	0
6	−1	0	−1	14	0	0	0
7	1	0	−1	15	0	0	0
8	−1	0	1				

2.4 Результати експериментальних досліджень щіткового роторного просіювача

Результати експериментальних досліджень процесу роботи роторного просіювача, виконаних згідно плану Бокса-Бенкіна (таблиця 2.8) на рівнях варіювання факторів для сита № 29, представлені у таблиці 2.9 [27, 28, 29].

У результаті обробки даних отримано рівняння регресії, яке описує залежність ступеня просіювання η_n (у %) від варійованих факторів:

$$\eta_n = 26,9 + 0,525n - 0,5125\alpha - 0,4750qn - 0,425n\alpha - 0,8583n^2 - 1,7667\alpha^2. \quad (2.11)$$

Оптимальною точкою роботи просіювача із ситом № 29 (розмір вічок 258 мкм), виходячи з умови одержання максимального ступеня просіювання, є $q = 0,2$ кг/с, $n = 112,7$ 1/хв., $\alpha = 8,9^\circ$. При цьому ступінь просіювання становить $\eta_n = 27,28\%$.

Розроблено методику інженерного розрахунку технологічних режимів та конструктивних елементів роторного просіювача, що дало змогу визначити його параметри:

- конструктивні – довжина барабана $L_c = 75$ см, радіус $R = 15$ см, кут закручування щітки $\alpha = 9^\circ$, довжина щітки $L_{щ.} = 76$ см, їхня кількість на роторі становить $z = 4$;
- кінематичні – швидкість $v_p = 1,77$ м/с.;
- технологічні – максимальне завантаження матеріалу $q_m = 0,214$ кг/с;
- потужність двигуна $N = 1,1$ кВт.

Таблиця 2.9 – Результати досліджень із визначення ступеня просіювання η_n , %

№	Значення замірів			Середнє Y_{cp}	№	Значення замірів			Середнє Y_{cp}
	Y_1	Y_2	Y_3			Y_1	Y_2	Y_3	
1	27,5	24,9	24,7	25,7	9	25,1	22,8	22,6	23,5
2	25,9	23,2	25,6	24,9	10	25,2	22,5	24,9	24,2
3	26,1	24,6	24,6	25,1	11	26,6	25,1	25,1	25,6
4	28,8	25,2	28,2	27,4	12	25,0	21,9	24,5	23,8
5	24,3	23,6	24,8	24,2	13	29,1	26,4	26,1	27,2
6	25,7	24,4	26,2	25,4	14	26,9	25,5	27,4	26,6
7	25,6	24,6	25,1	25,1	15	27,4	26,4	26,9	26,9
8	25,9	23,0	25,2	24,7					

3 УСТАНОВКА ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ

3.1 Аналіз конструкцій

Брикети виготовляються методом екструдерного пресування при високих температурах, зв'язуючою речовиною є лігнін – натуральний продукт, що виділяється при нагріванні, такий вид палива не містить ніяких додаткових хімічних добавок. Основні етапи виробництва паливних брикетів складаються з:

- подрібнення сировини до фракції, яка підходить для брикетування;
- сушки сировини до рівня вологості 12 % або нижчого;
- пресування сировини екструдерним методом.

Деяка сировина, така як наприклад соняшник, не потребує подрібнення та сушки додатковим обладнанням, а достатньо тільки гранулювання екструдерним методом. Це тому, що його вологість нижча ніж 12 %, а фракція достатньо м'яка. Для більш твердої сировини, як дерево, рекомендується включати процес подрібнення та сушки. Дане обладнання не вимагає ніякої спеціальної ліцензії, воно поки що не стандартне і виготовляється за техзавданням. В якості приміщення для виробництва підійде будь-який ангар, підігрів і водопостачання не обов'язкові. Навчання персоналу відбувається, як правило, під час пусконаладжувальних робіт.

Лушпинну фракцію, яка залишається, можна використовувати для годівлі ВРХ, виготовлення паливних брикетів, або пелет.

Сировиною для виробництва паливного брикету може бути тирса м'яких і твердих порід дерев, лушпиння соняшнику, гречки, солома та інші рослинні відходи.

Вимоги до сировини та паливних брикетів наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вимоги до сировини та паливних

Сировина	Характеристики вихідної сировини			Характеристики брикету
	Насипна маса, кг/м ³	Вологість, %	Фракція, мм	Питома вага, кг/м ³
Лушпиння соняшнику	100	4–9	6–10	1150
Лушпиння соняшнику (подрібнене)	260	6–9	2–5	1090
Лушпиння гречки	160	5–12	2–5	1030
Рисове лушпиння	125	5–12	2–6	1010
Тирса дубова	270	6–12	2–5	1250
Тирса соснова	125	6–8	2–5	1150

Брикети, незалежно від того з якої сировини їх виготовляють, різні – це може бути «цеглина» чи циліндрична і шестигранна форма з отвором

всередині або без. Стандартних розмірів у цього виду палива немає. Загальноприйнята довжина брикету 20–30 см.

Основним фактором, який визначає механічну міцність, водостійкість і калорійність брикету, є його питома вага. Чим більша питома вага брикету, тим вищі показники його якості. Наприклад, якщо питома вага брикету 650–750 кг/м³, калорійність дорівнює 12–14 МДж/кг; при питомій вазі 1200–1300 кг/м³ калорійність складає 25–31 МДж/кг.

Якість брикетів значною мірою залежить від вологості вихідної сировини. Оптимальна вологість брикетів знаходиться в межах 4–10 %.

Для виготовлення паливних брикетів використовуються шнекові брикетні преси або преси ударної дії.

На рисунку 3.1 представлений шнековий прес ПШ-250, розроблений фірмою «Ера», м. Марганець.

Продуктивність преса – 250 кг/год. Встановлена потужність двигуна – 15 кВт. Вологість сировини – 12 %. Розмір фракції – 8 мм. Процес пресування проходить при температурі 250–400 °С залежно від виду сировини.

Вихід готового брикету у вигляді прямокутного бруса, з отвором у центрі.



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд прес-брикетувальника ПШ-250

На рисунку 3.2 представлений прес ударної дії РВ-500, розроблений ТОВ «ЧеркасиЕлеваторМаш». Продуктивність преса – 500 кг/год. Встановлена потужність двигуна – 35 кВт. Вологість сировини – 10–12 %. Розмір фракції – 12 мм.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд ударного преса РВ-500

Найбільше поширення отримали шнекові преси. Технічна характеристика найбільш розповсюджених пресів представлена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Технічна характеристика шнекових прес-брикетувальників

Марка преса. Розробник	Продуктивність, кг/год	Потужність двигуна, кВт	Вологість сировини, %	Розмір фракції, мм
ПШ-200 ДП «Тривад», м. Київ	180–230	11	8–10	до 5
ШБП-700 ТОВ «Теплодар», м. Полтава	650–700	67	8–10	до 10
ПБ-300 Вільнянська ви- правна колонія	400–500	46	до 10	до 8
BIOMASSER Національний аграрний університет	50–60	8,2	10–12	до 16
Екструдер ЄВ-350-70 ТОВ «Черкаси- ЕлеваторМаш»	350–400	47,2	10–12	до 20

Максимальний розмір фракції 16–20 мм допускається при виготовленні паливних брикетів з соломи. При виготовленні брикетів з лушпиння соняшникового насіння, гречки, тирси розмір фракції повинен бути не більше 10 мм.

Вологість сировини в усіх випадках не перевищує 12 %. Значна питома енергоємність виготовлення брикетів до 100 кВт/т стримує їх широкомасштабне виробництво. Однак завдяки тому, що теплотворність паливних брикетів знаходиться на рівні теплотворності кам'яного вугілля, 15–18 МДж/кг, їх виробництво може бути перспективним.

Дослідження [30], проведені нами на експериментальному обладнанні лінії з механічного фракціонування подрібненої макухи, показали, що при першому подрібненні і просіюванні білкової фракції з подальшим подрібненням лушпинної фракції і додатковим просіюванням можна одержати білкової фракції на 8 % більше ніж при одноразовому подрібненні і просіюванні (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Результати досліджень виходу білкової фракції від кількості подрібнень

Приклад	Кількісні і якісні показники макухи	Величина показників
1	Вихід борошна, %	$26,6 \pm 0,77$
	Вміст білка, %	$39 \pm 0,75$
	Вміст клітковини, %	$6,3 \pm 0,61$
2	Вихід борошна, %	$34,7 \pm 0,82$
	Вміст білка, %	$38,2 \pm 0,78$
	Вміст клітковини, %	$6,6 \pm 0,57$

В першому випадку на молотковій дробарці було встановлено решето з діаметром отворів 3 мм. При подрібненні лушпинної фракції було встановлено решето з діаметром отворів 2 мм.

Попередні дослідження з виготовлення паливних брикетів з лушпинних фракцій насіння ріпаку і гірчиці на шнековому пресі ПШ-250 показали, що питома енергоємність процесу брикетування знижена до 25–30 кВт/т. Зниження енергоємності відбулося за рахунок того, що лушпинна фракція в своєму складі має деяку кількість олії, 8–12 %, і процес брикетування проходить при температурі 100–110 °С.

Прес ПШ-250 може бути аналогом при розробці брикетувальника лушпинної фракції.

Запропонована установка (рисунок 3.3) складається з рами 1, до якої закріплено електропривод 2, що приводить в обертовий рух вал 3, розміщений в циліндричному корпусі 4 з підшипниковим вузлом 5. Над циліндричним корпусом закріплено завантажувальний бункер 6, з якого матеріал подається на гвинт 7, що примикає до вала 3, і виконаний у формі

гвинта з конусом на торці. Гвинт обертається в перфорованій гільзі 8 з отворами 9, яка з одного боку примикає до циліндричного корпусу 5, а з іншого – до фільтри 10, яка має конічну з переходом в циліндричну поверхню 14. Фільтри знаходиться в стакані 11 і має можливість переміщуватись відносно гайки 12, на зовнішній поверхні якої закріплено електронагрівач 13.

Установка для виготовлення паливних брикетів працює таким чином. Лушпинна фракція подається до завантажувального бункера 6 і далі самопливом – на гвинт 7, який обертається в підшипниковому вузлі 5, розміщеному в циліндричному корпусі 4. Обертання гвинта відбувається через вал 3 від електропривода 2, закріпленого на рамі 1. Гвинтом матеріал транспортується до камери стиснення, яка знаходиться між конічними поверхнями гвинта 7 і фільтри 10. Переміщення стакана 11 з фільтрою 10 відносно гайки 12 дає можливість регулювати об'єм зони пресування і таким чином сам тиск, що при певних режимах роботи установки призводить до виходу олії через отвори 9 гільзи 8. При проході через зону пресування матеріал, маючи в своєму складі певну кількість олії, з метою запобігання її загорання нагрівається до температури 120–150 °С електронагрівачем 13. Наявність олії значно знижує затрати на брикетування [31].

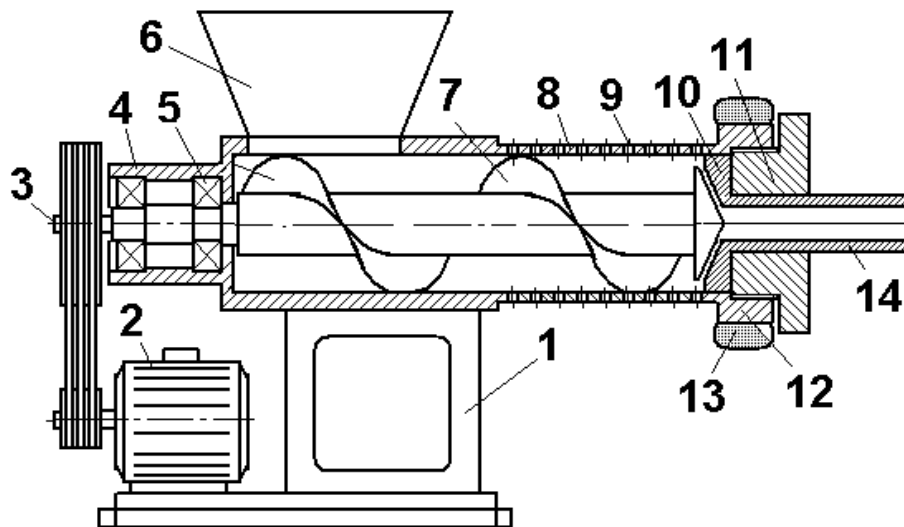


Рисунок 3.3 – Конструктивно-технологічна схема установки для виготовлення паливних брикетів: 1 – рама; 2 – електропривод; 3 – вал; 3, 4 – корпус; 5 – підшипниковий вузол; 6 – бункер; 7 – гвинт; 8 – перфорована гільза; 9 – отвори; 10 – фільтри; 11 – стакан; 12 – гайка; 13 – електронагрівач; 14 – циліндрична частина фільтри

3.2 Методика експериментальних досліджень установки для виготовлення паливних брикетів

Лушпинну фракцію, яка залишається після механічного фракціонування подрібненої макухи, можна використовувати для годівлі ВРХ або виготовлення паливних брикетів.

Для дослідження процесу брикетування лушпинної фракції був використаний прес-екструдер для віджиму олії. Брикети отримували за рахунок установки фільєр попереду пресуючого гвинта.

Програмою досліджень передбачено:

- визначення залежності продуктивності Q (т/год.) та потужності приводу N (кВт) від діаметра фільєри D , мм;
- визначення залежності показників роботи преса (продуктивність Q , т/год.; потужність приводу N (кВт) від довжини фільєри L (мм) і частоти обертання гвинта n (об/хв.).

Для виконання програми було змонтовано установку, представлену на рисунках 3.3 і 3.4.



Рисунок 3.4 – Загальний вигляд установки для виготовлення паливних брикетів

Об'єктом для дослідження була лушпинна фракція з макухи насіння соняшнику.

Лушпинна фракція в кількості 10 кг засипалась в бункер 6 установки для виготовлення паливних брикетів. Вмикався двигун і за допомогою приладу РП-50 визначалась потужність двигуна.

Продуктивність брикетування визначалась за допомогою секундоміра.

Дослідження проводились з установкою почергово на прес-екструдер фільтр діаметром 40, 50, і 60 мм в триразовій повторності. Середнє арифметичне значення показників заносилось до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати досліджень виходу білкової фракції від кількості подрібнень

Діаметр фільтри, D, мм	Продуктивність, Q, кг/год.	Затрати потужності, N, кВт
40	189	11,6
50	264	9,3
60	276	5,8

3.3 Результати експериментальних досліджень

Залежність продуктивності Q (т/год.), потужності приводу N, кВт від діаметра фільтри D, мм представлена відповідно виразами [32, 33, 34, 35]:

$$Q = -0,315D^2 + 35,85D - 741, \quad (3.1)$$

$$N = -0,006D^2 + 0,31D + 8,8, \quad (3.2)$$

які графічно наведені на рисунку 3.5.

Значення коефіцієнтів детермінації обох виразів наближаються до одиниці, що свідчить про достовірність математичного опису отриманих даних.

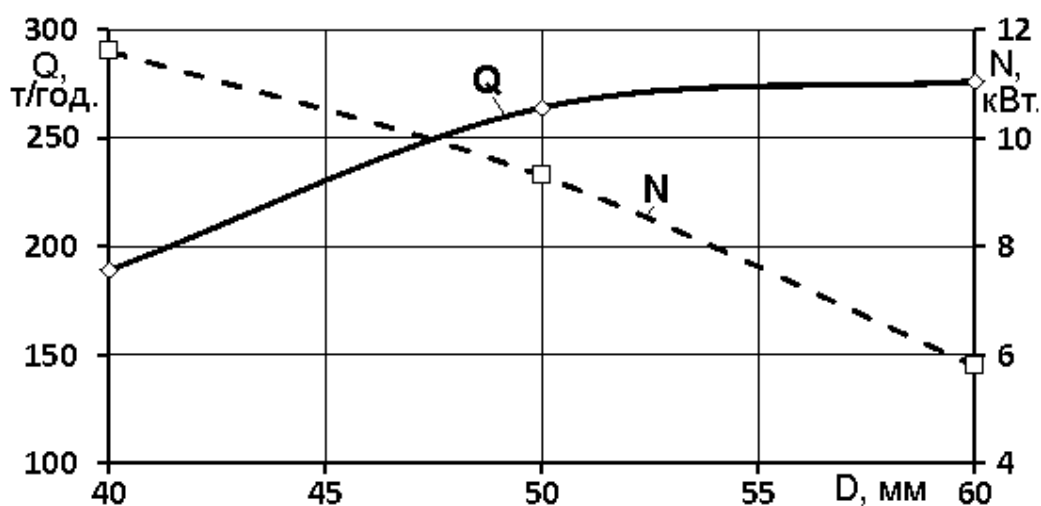


Рисунок 3.5 – Залежність продуктивності Q (т/год.) та потужності приводу N, кВт від діаметра фільтри D, мм.

Виходячи з аналізу аналітичних і експериментальних досліджень, найбільш прийнятною фільєрою установки для виготовлення паливних другого пункту брикетів є фільєра діаметром 50 мм.

Згідно з програмою у якості варійованих факторів брали такі параметри процесу брикетування (таблиця 3.5): довжина фільєри L , мм; частота обертів гвинта n , об/хв.

Таблиця 3.5 – Інтервали і рівні варіювання факторів при експериментальних дослідженнях установки для виготовлення паливних брикетів

Позначення факторів		Найменування факторів та одиниці вимірювання	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
Кодове	Натуральне		+1	0	– 1	
X_1	L	Довжина фільєри, мм	180	150	120	30
X_2	n	Частота обертів гвинта, об/хв.	360	240	120	120

Для планування досліджень використовувалася трирівнева матриця оптимального плану Бокса-Бенкіна другого порядку для двох факторів (таблиця 3.6).

Таблиця 3.6 – Трирівнева матриця оптимального плану Бокса другого порядку для двох факторів

Фактор	№ досліду								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_1	1	–1	1	–1	1	–1	0	0	0
X_2	1	1	–1	–1	0	0	1	–1	0

У результаті експериментальних досліджень процесу роботи установки для виготовлення паливних брикетів з фільєрою діаметром 50 мм отримано результати, представлені в таблицях 3.7–3.9.

При дослідженнях продуктивності за отриманими даними маємо, що на 95 % рівні довірчої ймовірності дисперсії однорідні та значення критерію Кохрена $G = 0,2412$, що менше критичного табличного значення, яке становить $G = 0,4775$.

У результаті статистичної обробки даних за допомогою ППП Statistica отримано рівняння функції відгуку, тобто регресійну модель продуктивності брикетування у вигляді квадратичного полінома, а її графічне представлення подано на рисунку 3.6.

$$Q = 295,4456 - 0,6946 L + 0,344 n + 0,0026 L^2 - 0,0021 L n + 0,0003 n^2. \quad (3.3)$$

Статистична оцінка отриманої функції відгуку продуктивності брикетування представлена у таблиці 3.10.

Таблиця 3.7 – Результати досліджень визначення продуктивності брикетування Q (кг/год.)

№	Значення замірів			Середнє Y_{cp}
	Y_1	Y_2	Y_3	
1	283	286	279	283
2	321	328	318	322
3	258	249	251	253
4	264	261	263	262
5	267	263	272	267
6	295	289	295	293
7	304	311	299	305
8	263	267	261	264
9	272	266	268	269

Таблиця 3.8 – Результати досліджень визначення потужності приводу N, кВт

№	Значення замірів			Середнє Y_{cp}
	Y_1	Y_2	Y_3	
1	6,1	6,3	6,4	6,27
2	5,4	5,2	5,5	5,37
3	9,8	9,4	9,2	9,47
4	8,5	8,8	8,6	8,63
5	7,2	7,3	6,9	7,13
6	7,4	7,2	7,5	7,37
7	6,6	6,5	6,8	6,63
8	8,8	8,5	8,7	8,67
9	6,9	6,7	6,8	6,8

Таблиця 3.9 – Зведені дані щодо результатів експериментальних досліджень

Довжина фільтри L, мм	Частота обертів гвинта n, об/хв.	Продуктивність бри- кетування Q, кг/год.	Потужність приводу N, кВт
180	360	283	6,27
120	360	322	5,37
180	120	253	9,47
120	120	262	8,63
180	240	267	7,13
120	240	293	7,37
150	380	305	6,63
150	120	264	8,67
150	240	269	6,8

Таблиця 3.10 – Статистична оцінка математичної моделі продуктивності брикетування

Оціночний показник	Значення
Дисперсія неадекватності математичної моделі, S^2	37,6862
Дисперсія похибки дослідів, S_s^2	16,7407
Критерій Фішера, $F_{05(5, 30)}$	2,2512
Множинний коефіцієнт регресії моделі, R	0,9864
Коефіцієнт детермінації моделі, R^2	0,9730

Згідно з оцінкою за критерієм Фішера модель адекватна, оскільки $P = 0,1173 > P\{F_{v1, v2}\} = 0,05$.

Характерні точки рівняння регресії, тобто мінімальні, максимальні значення продуктивності та її значення в нульовій точці наведені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Характерні точки математичної моделі продуктивності брикетування

Показник	Максимальне значення	Мінімальне значення	Значення в нульовій точці
Довжина фільтри, мм	120	180	150
Частота обертання ротора, 1/хв.	360	120	240
Продуктивність, кг/год.	323,565	254,898	269

За даними таблиць 3.10 і 3.11 бачимо, що розбіжність між експериментальними значеннями продуктивності брикетування і отриманими за рівнянням регресії для максимального і мінімального значень не перевищують 1 %.

За результатами дослідження потужності процесу брикетування видно, що на 95 % рівні довірчої ймовірності дисперсії однорідні та значення критерію Кохрена $G = 0,3256$, що менше критичного табличного значення, яке становить $G = 0,4775$.

У результаті статистичної обробки даних за допомогою ППП Statistica отримано рівняння функції відгуку, тобто регресійну модель потужності процесу брикетування у вигляді квадратичного полінома:

$$N = 10,5281 + 0,0105L - 0,0292 n - 1,061 \cdot 10^{-5} L^2 + 4,1667 \cdot 10^{-6} L n + 3,5328 \cdot 10^{-5} n^2. \quad (3.4)$$

Статистична оцінка отриманої функції відгуку потужності процесу брикетування представлена у таблиці 3.12.

Згідно з оцінкою за критерієм Фішера модель адекватна з достовірністю 0,416686, проте коефіцієнт детермінації моделі становить $R^2 = 0,9218$, тобто він перевищує 0,75, що свідчить про її роботоздатність.

Таблиця 3.12 – Характерні точки математичної моделі продуктивності брикетування

Оціночний показник	Значення
Дисперсія неадекватності математичної моделі, S^2	0,3603
Дисперсія похибки дослідів, S_s^2	0,0319
Критерій Фішера, $F_{05(5, 30)}$	11,3114
Множинний коефіцієнт регресії моделі, R	0,9601
Коефіцієнт детермінації моделі, R^2	0,9218

Характерні точки рівняння, тобто мінімальні, максимальні значення потужності та її значення в нульовій точці наведені в таблиці 3.13.

За даними таблиці 3.13 бачимо, що розбіжність між експериментальними значеннями продуктивності брикетування і отриманими за рівнянням регресії для максимального значення становить 3,3 % і для мінімального 7,1 %, тобто знаходиться у допустимих межах для інженерних розрахунків.

Таблиця 3.13 – Характерні точки математичної моделі потужності процесу брикетування

Показник	Максимальне значення	Мінімальне значення	Значення в нульовій точці
Довжина фільери, мм	180	120	150
Частота обертання ротора, об/хв.	120	360	240
Потужність, кВт	9,158	5,824	6,8

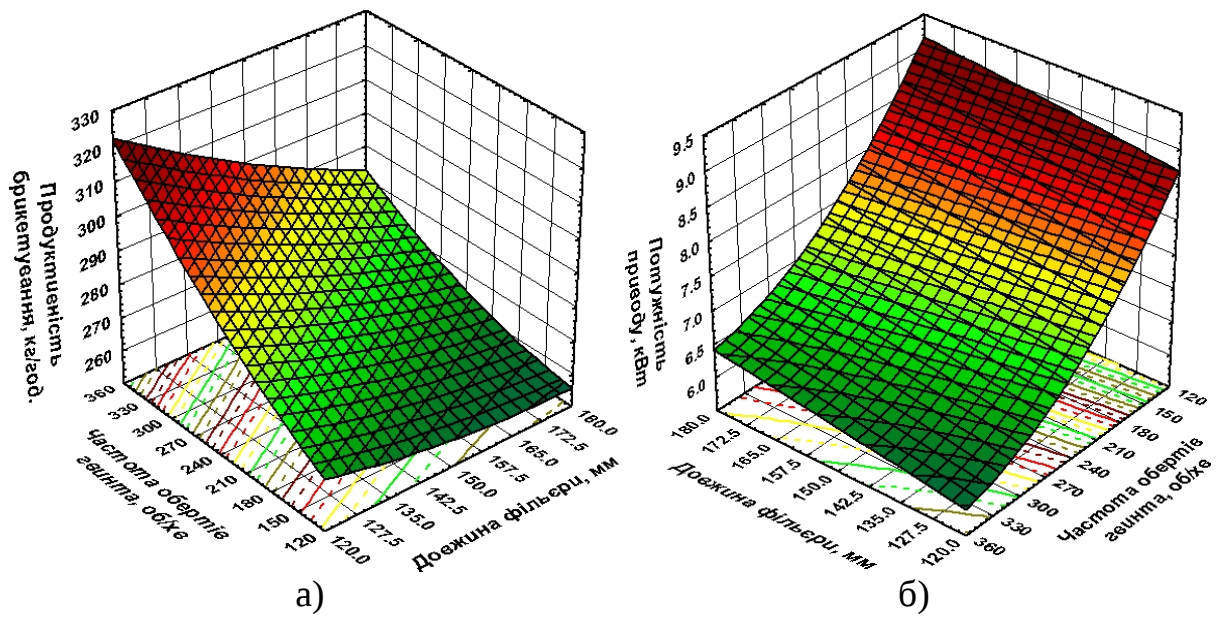


Рисунок 3.6 – Залежність показників роботи преса від довжини фільтри L (мм) і частоти обертання гвинта n (об/хв.): а – продуктивність Q , т/год.; б – потужність приводу N , кВт

4 УСТАНОВКА ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КОРМОВИХ ПЕЛЕТ

4.1 Аналіз технічних засобів для отримання кормових та паливних пелет

Пелети (пілети, пеллетс, кормові гранули) являють собою циліндричної форми пресовані продукти із сільськогосподарської сировини та продуктів його переробки, відходів маслопереробного та інших виробництв. За кордоном кормові пелети широко використовуються для відгодівельних автоматизованих ліній як корм для тварин як домашнього, так і промислового рівня за рахунок того, що володіють збалансованим складом, мають значну екологічну складову і підвищену енергетичну цінність. Особливо популярні пелети в Польщі, Данії, Австрії та Швеції. Ці країни є також лідерами в області виробництва обладнання з використання кормових пелет.

Гранулювання – це процес перетворення порошкоподібного матеріалу в частинки (зерна-гранули) певної величини – укрупнення з утворенням форми і поверхні.

Гранулювання дає можливість поліпшити технологічні властивості гранульованого матеріалу: запобігає його спіканню (злипання); збільшує сипкість, що важливо для забезпечення можливості використання матеріалу дрібними порціями; полегшує вантаження, транспортування, зберігання та ін.

Основне призначення гранулювання:

- поліпшення сипучості матеріалу;
- для запобігання розшаровування сумішей сипучих матеріалів;
- для запобігання злипанню частинок різної величини і питомої щільності.

Розрізняють такі види грануляції:

1) суха грануляція – розмел до певної величини з попереднім ущільненням (брикетуванням), або без нього;

2) волога грануляція – здійснюється продавлюванням вологих мас, у зваженому шарі з наступним розпилювальним або контактним висушуванням;

3) структурна грануляція (грануляція в псевдозрідженому шарі).

Машини, призначені для грануляції (прес-гранулятори), працюють за принципом видавлювання: сипучі корми, корми, оброблені парою, або змішані з водою, мелясою, потрапляючи на матрицю, видавлюються через її отвори пресувальними механізмами. Формування довжини гранули відбувається за допомогою відрізного механізму.

Гранульовані комбікорми мають, як правило, форму невеликих циліндрів діаметром від 2,4 до 20 мм, довжина їх зазвичай не перевищує 15–20 мм. Розміри гранул (рисунок 4.1) залежать від їх застосування [36]. Дрібні гранули від 2,5–3 мм призначені переважно для молодняка птахів (кур-

чат, каченят і т. д.); гранули розміром близько 5 мм використовують для дорослої птиці, риби; 8 мм – порослятам-від'ємишам; дорослим свиням – 10 мм; великій рогатій худобі – 10–14 мм. При гранулюванні зернової сировини можна додавати вітаміни та профілактичні препарати для профілактики різних захворювань і кращого росту тварин і птахів.



Рисунок 4.1 – Загальний вид кормових пелет

Гранульовані комбікорми мають наступні переваги перед розсипними: в кожній гранулі склад комбікорму однаковий, і при годуванні тварини отримують максимум поживних речовин; втрат комбікорму при годуванні гранулами немає; гранульовані комбікорми легко піддаються транспортуванню та зберіганню, менше піддаються впливу зовнішнього середовища, займають менший об'єм; при переміщенні гранул немає самосорткування, зменшується розпил продукту. Гранульовані корми краще ніж розсипні зберігають поживні речовини і вітаміни, швидко з'їдаються і добре засвоюються тваринами.

Кожна гранула являє собою повноцінний набір всіх поживних речовин, укладених у комбікормі, тоді як при годуванні розсипним комбікормом птахи їдять тільки те, що їм подобається, залишаючи частину комбікорму. Гранульовані комбікорми також важливі для жуйних тварин і свиней. Зручні гранули і для риб, оскільки мають високу водостійкість, і таким чином ціла гранула довго може перебувати у воді, зберігаючи поживні речовини.

Машини для гранулювання кормів класифікують за основним вузлом преса, або гранулятора – пресувальний робочий орган, призначений для безпосереднього стиснення кормів з метою отримання гранул або брикетів. Робочі органи для гранулювання кормів можна розділити на чотири групи: штемпельні (плунжерні), вальцові, матричні (роликові) і шнекові.

Штемпельні преси здійснюють процес грануляції шляхом зворотно-поступального руху штемпеля (плунжера) в пресувальному каналі відкритого або закритого типу.

У відкритому каналі робочий процес відбувається так. Сипуча кор-

мова суміш подається до пресувального каналу, де стискається штемпелем. При досягненні зусилля, що перевищує силу тертя спресованого матеріалу об стінки каналу, матеріал виштовхується з наступним поділом на окремі елементи. Протитиск тут створюється в результаті тертя спресованого матеріалу об стінки каналу.

Канал умовно можна розділити на дві частини: першу, де корм ущільнюється, і другу, де знаходяться порції корму, спресовані раніше. Перша частина каналу називається каналом ущільнення, друга – каналом опору. Регулюючи поперечний переріз останнього на виході, можна змінювати опір пересуванню спресованого матеріалу і тим самим щільність брикетування.

В закритому пресувальному каналі процес відбувається так. Матеріал, поданий до каналу ущільнення, стискається між штемпелем і упором. При досягненні штемпелем крайнього положення формується пелета, яка виштовхується з каналу наступним ходом штемпеля при відведеному упорі. Робота виштовхування при цьому значно менша, ніж при пресуванні у відкритому каналі, що є значною перевагою. Однак, незважаючи на меншу енергоємність, закриті канали в промислових конструкціях пресів застосування не знайшли. Пояснюється це тим, що для отримання корму рівної щільності необхідна строго однакова подача матеріалу на кожен хід штемпеля, здійснення якої є завданням надзвичайно складним. Крім того, витримка під тиском в такому каналі мала, що погіршує і якість пелет.

У промислових конструкціях таких пресів реалізовані штемпельні робочі органи з відкритим пресувальним каналом. Такі робочі органи забезпечують мінімальне дроблення матеріалу, що пресується, витримку під тиском більш тривалий час, і отже, отримання пелет кращої якості з різних кормів. Енергоємність процесу пресування у них порівняно невелика. Основний недолік штемпельних пресів – обмежена продуктивність, що залежить від числа ходів штемпеля, числа пресувальних каналів і площі їх поперечного перерізу.

Вальцюві гранулятори кормів мають робочі органи у вигляді вальців, працюючих за принципом прокатки. Вони являють собою пару обертових один назустріч іншому циліндрів, які захоплюють пресований матеріал і ущільнюють його між собою в нескінченну стрічку. Якщо поверхня вальців гладка, то є необхідним додатковий пристрій для поділу стрічки на окремі частини. Однак цю операцію можна здійснювати і під час процесу, для чого один або обидва вальці постачають гострими зубами. Захоплююча здатність вальців при цьому підвищується. В таких машинах енергоємність менша за енергоємності інших, проте спроба їх практичного застосування успіху не мала через низку причин. Для отримання великою мірою ущільнення корму, яке має місце при гранулюванні, необхідні вальці дуже великих діаметрів, що призводить до високої матеріаломісткості конструкції. Багатоступінчасте ущільнення декількома парами вальців дозволяє застосовувати вальці малих діаметрів, але при цьому ускладнюється конс-

трукція. Для отримання однакової щільності подача матеріалу на один оберт вальця повинна бути постійною, що є важкоздійсненним завданням.

Крім того вальцьовий робочий орган може забезпечити необхідну для отримання якісних гранул витримку спресованого матеріалу під тиском тільки при дуже низьких швидкостях обертання вальців, що веде до зниження продуктивності преса.

Найбільше застосування і поширення у виробництві гранульованого комбікорму отримали прес-гранулятори матричного типу (рисунок 4.2) [37].

Оскільки вони не складні в ремонті і обслуговуванні, мають малу вагу і габаритні розміри, що часто дозволяє робити їх пересувними, і застосовувати як при веденні домашнього, або фермерського господарств, так і в малотоннажному виробництві. Розглянемо їх далі.

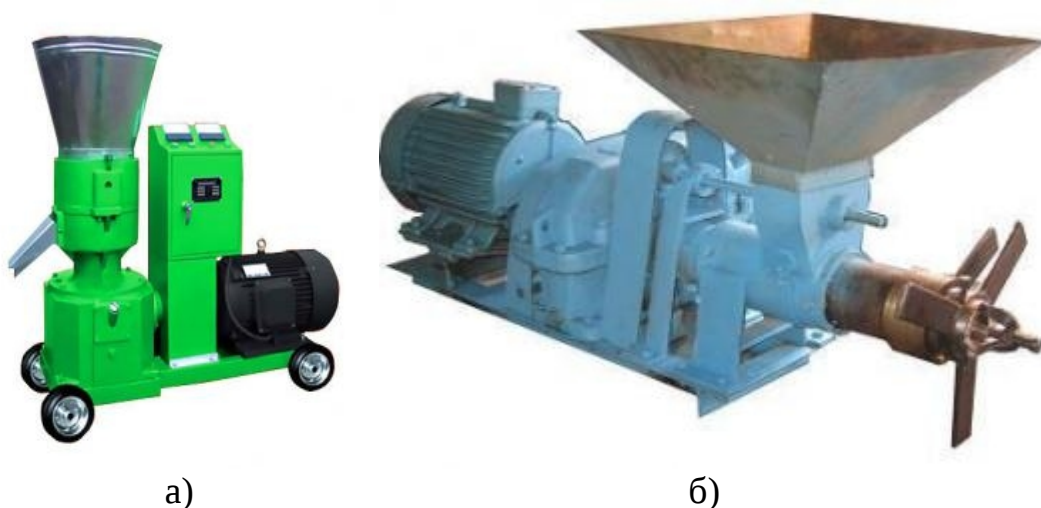


Рисунок 4.2 – Прес-гранулятори кормів: а – матричного типу; б – шнекового типу

Матричні преси складаються з матриці з пресувальними каналами і пресувальних вальців (рисунок 4.3, а). Вони бувають як з кільцевою (рисунок 4.3, б), так і з плоскою матрицею (рисунок 4.3, в) [38]. Кільцеві матриці можна встановлювати горизонтально і вертикально, плоскі матриці – тільки горизонтально. Кільцеві матриці можуть обертатися або бути нерухомими. В пресах з матрицею, яка обертається, пресувальні вальці встановлюють на нерухомих осях. Обертові матриці застосовують для гранулювання кормів. Перетин пресувальних каналів круглий, з діаметром від 2,5 до 25 мм.

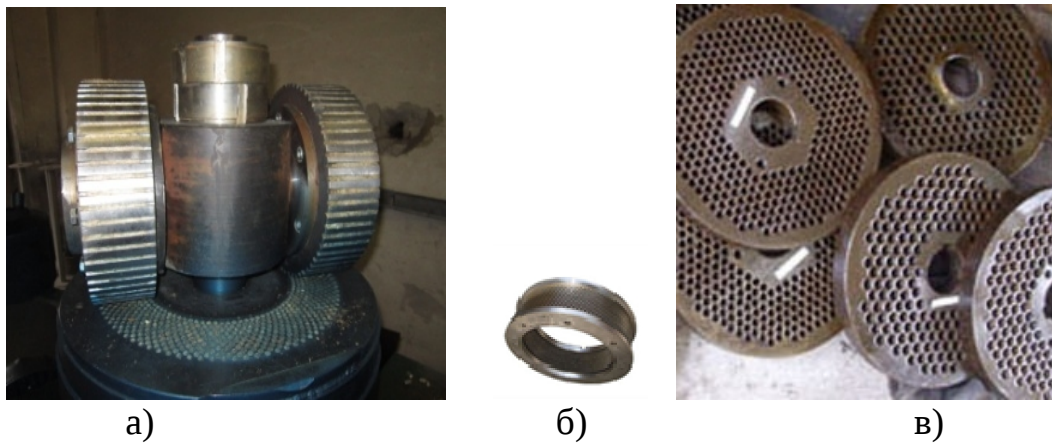


Рисунок 4.3 – Робочі органи матричного гранулятора: а – пресувальні ролики; б – кільцева матриця; в – плоска матриця

При гранулюванні кормів на пресах з нерухомою матрицею зменшується руйнування пелет, оскільки відсутні відцентрові сили, під дією яких на пресах з матрицею, яка обертається, пелети кришаться від ударів об кожух преса. На пресах з нерухомою матрицею пресувальні елементи встановлені на обертовому валу.

Перевагою пресів з вертикальними кільцевими матрицями є можливість швидкої і легкої зміни матриці і вальців. Кільцеві матриці можуть мати різні пресувальні елементи, що відрізняються захоплюючою здатністю пресувальної пари. Матричні преси поділяється на преси з легкими пресувальними елементами і з обертовими пресувальними елементами, які отримали найбільше поширення.

Преси з обертовими пресувальними елементами поділяються на преси з вальцями, які вільно обертаються, встановлені на нерухомих осях, і преси з примусово обертовими. Пресувальні вальці, які вільно обертаються, можуть бути гладкими і з рифленою бічною поверхнею.

Обертаються вальці за рахунок сил тертя матеріалу щодо внутрішньої поверхні матриці і бічної поверхні вальців. Захоплення і запресовування корму роликами з гладкою робочою поверхнею здійснюється недостатньо ефективно, тому що частина шару не захоплюється роликом, а штовхається ним.

Певний інтерес представляють конструкції пресів, в яких для підвищення захоплюючої здатності вальці виконані з рифленою, хвилястою або насіченою бічною поверхнею. Такі поверхні сприяють зменшенню прослизання матеріалу і, як наслідок, підвищенню продуктивності преса за рахунок збільшення коефіцієнтів тертя. Пресувальні вальці таких грануляторів можуть бути циліндричними або конічними. Окружні швидкості конічних вальців в центрі і на периферії однакові, але через різницю діаметрів вальця захоплююча здатність його по довжині неоднорівна, що призводить до втрати продуктивності преса, зважаючи на нерівномірну подачу матеріалу

по площі матриці і до нерівномірного її зносу.

У одних конструкцій пресів з плоскою матрицею в обертання приводиться водило з вальцями, а матриця нерухома, у інших обертається матриця, а осі вальців нерухомі. Процес ущільнення в такому робочому органі відбувається так. Поданий до робочої зони матеріал, утворений внутрішньою поверхнею матриці та зовнішньою поверхнею вальця, на початку стискається, а потім вдавлюється в прохідні канали матриці. У міру їх заповнення опір просуванню матеріалу збільшується, у зв'язку з чим тиск пресування зростає і досягає максимального значення при повністю заповнених каналах.

Як тільки тиск пресування стає рівним силі тертя спресованого матеріалу об стінки каналів, він виштовхується у вигляді гранул.

Шнекові преси здійснюють гранулювання циліндричним або конічним шнеком у відкритій пресувальній камері. Шнеки можуть бути з постійним або змінним кроком (рисунк 4.4, а). Незважаючи на простоту конструкції, ці робочі органи отримали малу промислову реалізацію через енергоємності процесу і невисоку продуктивність. В таких пресах частина енергії витрачається на подолання тертя матеріалу об поверхню шнека і стінки корпусу, що викликає знос їх і нагрів корму.

Процес пресування в таких машинах проходить наступним чином: шнек захоплює і подає подрібнену сировину, при цьому створюючи тиск 25–35 атм. до матриці (рисунк 4.4, б). Внаслідок цього матеріал розігрівається до 90–110 °, стискається до визначеної щільності і продавлюється через отвори матриці. На виході отримується гранула – гаряча й пластична. При охолодженні і висиханні вона зберігає придбану при пресуванні форму.



а)



б)

Рисунок 4.4 – Робочі органи шнекового прес-гранулятора кормів:
а – прес-шнек; б – матриця

За способом подачі сипучого корму для пресування до робочих органів гранулятори поділяють на:

– гравітаційні, в яких матеріал подається в камеру пресування під ді-

єю сили тяжіння;

– примусові, в яких матеріал подається різними пристроями.

Гравітаційні системи подачі сипучого корму застосовують у пресах з горизонтальними кільцевими або плоскими матрицями. Вони відрізняються простотою завантаження, однак не забезпечують рівномірного розподілу матеріалу по ширині матриці, оскільки під дією сили тяжіння він збирається в нижній частині кільцевої матриці, встановленої горизонтально. Останнє викликає нерівномірний знос матриці.

При примусовій подачі матеріалу ускладнена конструкція преса, однак стабільніший технологічний процес.

Розглянуто типи робочих органів для пелетування біомаси (рисунок 4.5) [4]. Брикетні машини за типом робочих органів класифікують на поршневі, штемпельні (пуансони) та шнекові (гвинтові). Найбільш розповсюдженими машинами для брикетування є машини з робочими органами гвинтового типу.

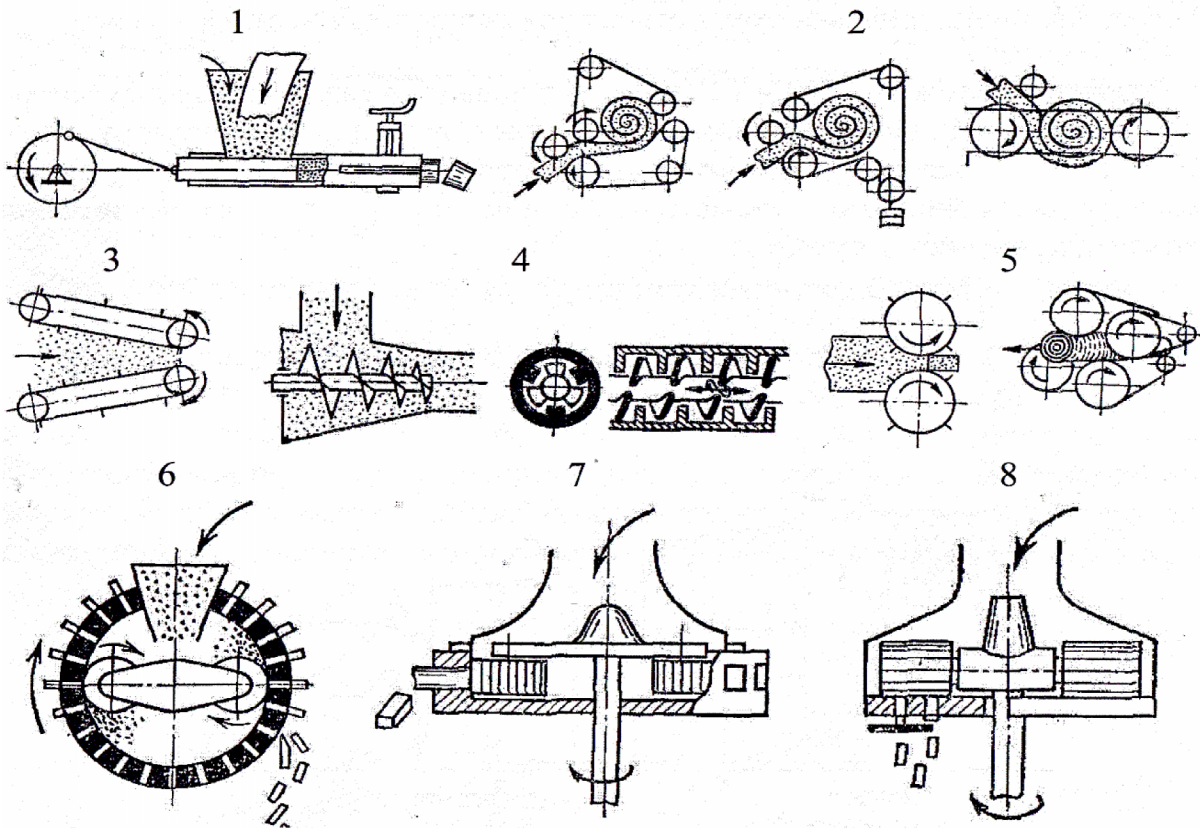


Рисунок 4.5 – Типи робочих органів для пелетування біомаси:
1 – поршневі; 2 – рулонні; 3 – транспортерні; 4 – шнекові;
5 – вальцові; 7, 8 – матричні

Технічних засобів для гранулювання кормів різних типів і виробників існує безліч [39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49]. Основні характеристики деяких з них наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічні засоби для гранулювання кормів

Назва або серія машини (Виробник)	Характеристика
НТ-20 (36) «ТОВ "Артмаш"» 	Продуктивність – 220 кг/ч (850 кг/ч) Потужність – 7,5 кВт (36 кВт) Розміри (мм) – 1000×430×950 (1300×580×1080) Маса (кг) – 190 (470)
УПГМ-150 (600) 	Продуктивність – 150 кг/ч (600 кг/ч) Потужність – 7,5 кВт (22,5 кВт) Розміри (мм) – 1100×520×1000 (1400×600×1200) Маса (кг) – 200 (500)
КЛ-230 В (400 В) ТМ «Фора-Захід»	Продуктивність – 300 кг/ч (900 кг/ч) Потужність – 11 кВт (30 кВт) Розміри (мм) – 1140×470×970 (1470×600×1150) Маса (кг) – 290 (550)
ППМ-2000 	Продуктивність – 2000 кг/ч Потужність – 90 кВт Розміри (мм) – 2350×1400×1750 мм Маса (кг) – 3600

Назва або серія машини (Виробник)	Характеристика
КЛ-400 (600) 	Продуктивність – 400 кг/ч (600 кг/ч) Потужність – 38 кВт (45 кВт) Розміри (мм) – 1600×850×1700 (1600×900×1700) Маса (кг) – 1200 (1250)
ГК-200 (700) ТОВ «Запоріжспецмаш» 	Продуктивність – 200 кг/ч (700 кг/ч) Потужність – 5,5 кВт (12 кВт) Розміри (мм) – 1110×420×870 (1430×620×1110) Маса (кг) – 250 (450)
ГШ-120 (180) НВФ «Сота-сталь» 	Продуктивність – 120 кг/ч (180 кг/ч) Потужність – 7,5 кВт (11 кВт) Розміри (мм) – 1150×500×1400 (1160×500×1400) Маса (кг) – 230 (270)
ПГ-150 ПАТ «Електромотор» 	Продуктивність – 150 кг/ч Потужність – 7,5 кВт Розміри (мм) – 1150×550×1000 Маса (кг) – 210

Назва або серія машини (Виробник)	Характеристика
ГРШ-50 ЗАТ «УкрСтройДім» 	Продуктивність – 50 кг/ч Потужність – 4кВт Розміри (мм) – 1440×570×970 Маса (кг) – 150
ГР-160 ВАТ «Гарантагро» 	Продуктивність – 160 кг/ч Потужність – 7,5 кВт Розміри (мм) – 1150×500×1400 Маса (кг) – 230
ПП «Лаврін» Г-200 (600) 	Продуктивність – 200 кг/ч (600 кг/ч) Потужність – 7,5 кВт (22,5 кВт) Розміри (мм) – 1100×600×1000 (1300×700×1700) Маса (кг) – 270 (740)

Для того щоб порівняти і оцінити ефективність технічних засобів для гранулювання кормів розглянемо їх питому енергоємність в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Питома енергоємність технічних засобів для гранулювання кормів

Тип машини	Назва, серія машини	Питома енергоємність, кВт·год/кг
Матричні (роликові) прес-гранулятори	НТ-20(36)	0,034(0,042)
	УПГМ-150(600)	0,05(0,038)
	КЛ-230В(400В)	0,037(0,033)
	ППМ-2000	0,045
	КЛ-400(600)	0,095(0,075)
	ГК-200 (700)	0,028(0,020)
	ПГ-150	0,05
	Г-200(600)	0,038(0,038)
Шнекові прес-гранулятори	ГШ-120(180)	0,05(0,061)
	ГРШ-50	0,050
	ГР-160	0,046

З таблиці 4.2 видно, що найменшою питомою енергоємністю при гранулюванні кормів і відповідно високою ефективністю відрізняється матричний прес-гранулятор ГК-200 (700).

Матричні і шнекові гранулятори відносяться до примусових систем подачі матеріалу і є машинами безперервної дії. Порівняно з пресами періодичної дії технологічний процес пресування корму протікає при постійних навантаженнях і в більш сприятливих умовах.

Основні переваги матричних і шнекових пресів – безперервність процесу, відсутність знакозмінних навантажень, менша матеріаломісткість. Велика кількість пресувальних каналів в матриці забезпечує достатню пропускну здатність преса. Недоліки пресів – енергоємність процесу, дроблення ущільнюваного матеріалу, підвищені вимоги до пресованих матеріалів за однорідністю подрібнення і рівномірністю вологості, складність виготовлення матриць, високий нагрів як підшипникових, так і робочих вузлів.

Питома енергоємність матричних пресів для гранулювання кормів дечим відрізняється від енергоємності шнекових, що зумовлює високу ефективність їх застосування.

На основі проведених патентно-інформаційних досліджень сучасних технологій та аналізу конструкцій робочих органів пресувальних машин встановлено, що найбільш прийнятною конструкцією може бути гвинтова установка. В зв'язку з цим розроблена конструктивна схема гвинтової установки для виготовлення пелет з білкової фракції макухи насіння олійних культур (рисунок 4.6).

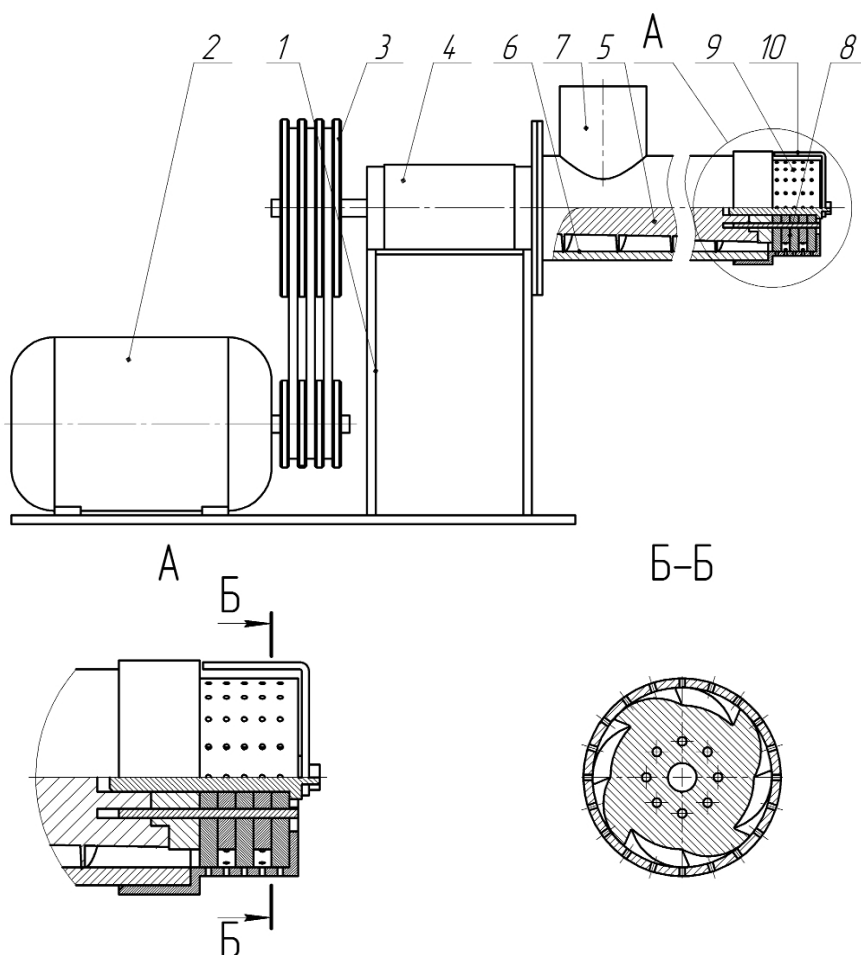


Рисунок 4.6 – Конструктивно-технологічна схема установки для виготовлення пелет (пелетератора): 1 – рама; 2 – електродвигун; 3 – шківи; 4 – підшипниковий вузол; 5 – гвинт; 6 – циліндричний корпус; 7 – завантажувальний бункер; 8 – формуючий кулачок; 9 – циліндрична матриця; 10 – ніж

Установка для виготовлення пелет складається з рами 1, електродвигуна 2, шківів 3, підшипникового вузла 4, гвинта 5, циліндричного корпусу 6, завантажувального бункера 7, п'яти формуючих кулачків 8, циліндричної матриці 9, ножа 10.

Установка працює таким чином. Вся установка встановлена на рамі 1. Білкова фракція з макухи насіння олійних культур рівномірно подається до завантажувального бункера 7, з якого потрапляє на гвинт 5. Гвинт 5, виконуючи обертовий рух за допомогою системи електродвигуна 2, шківів 3 та підшипникового вузла 4, переміщує білкову фракцію до формуючих кулачків 8. При цьому відбувається ущільнення білкової фракції за рахунок зменшення висоти витків на гвинту 5. Потрапивши на формуючий кулачок 8, який виконує обертовий рух, білкова фракція ущільнюється і видавлюється крізь нерухому циліндричну матрицю 9. Далі ніж 10 зрізає ущільнену білкову фракцію. В результаті чого отримуємо циліндричні пелети.

4.2 Теоретичні дослідження технологічного процесу формування пелет з білкового порошку

Для розроблення математичної моделі процесу пресування білкової фракції макухи формуючими кулачками приймемо такі припущення й спрощення [50]:

– білкову фракцію макухи приймаємо як однорідне і ізотропне середовище;

– процес пресування білкової фракції макухи формуючими кулачками представляє собою задачу про контактну взаємодію абсолютно твердих тіл з псевдорідиною [51, 52, 53, 54];

– деформація шару білкової фракції макухи в зоні контакту формуючих кулачків відбувається по поверхні у вигляді вузької полоси, ширина якої значно менша у порівнянні з її довжиною, тому поставлену задачу вирішуємо як плоску задачу теорії пружності.

На вході в зону стискання шар білкової фракції макухи рухається повільніше, ніж робочі поверхні формуючих кулачків, оскільки він прослизав назад. В свою чергу на виході шар макухи рухається швидше, оскільки він прослизав вперед. У деякій точці О в зоні стискання, яка називається «нейтральною точкою», шар макухи рухається з тією ж швидкістю, що й формуючі кулачки. У цій точці прослизання і напруження тертя змінюють свій напрям.

Згідно з розробленою конструктивно-технологічною схемою розглянемо ділянку взаємодії білкової фракції макухи із формуючим кулачком (рисунок 4.7). На рисунку 4.7 показано шар зволоженої білкової фракції макухи із коефіцієнтом внутрішнього тертя η , який знаходиться між нерухомою матрицею і формуючим кулачком, який обертається із кутовою швидкістю ω . Розглядаючи двомірну задачу, умову рівноваги для переміщення зволоженої білкової фракції можна представити у вигляді [53]:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial \tau}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial V}{\partial z} \right) = \eta \frac{\partial^2 V}{\partial z^2}, \quad (4.1)$$

де V – швидкість руху, м/с;

p – тиск, Па;

τ – дотична напруженість, Па;

η – коефіцієнт внутрішнього тертя білкової фракції макухи, Па·с²/м;

x, z – координати, м.

Оскільки $\partial p / \partial x$ не залежить від z , то рівняння (4.1) можна проінтегрувати по z :

$$V(z) = \frac{1}{2\eta} \frac{dp}{dx} z^2 + C_1 z + C_2, \quad (4.2)$$

де C_1, C_2 – константи інтегрування.

З рисунку 4.7 видно, що на границях виконуються умови:

$$\begin{aligned} V(\sqrt{R_1^2 - x^2}) &= 0, \\ V\left(\sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B\right)^2}\right) &= \omega\sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B\right)^2}, \end{aligned} \quad (4.3)$$

де ω – кутова швидкість обертання формуючих кулачків, c^{-1} .

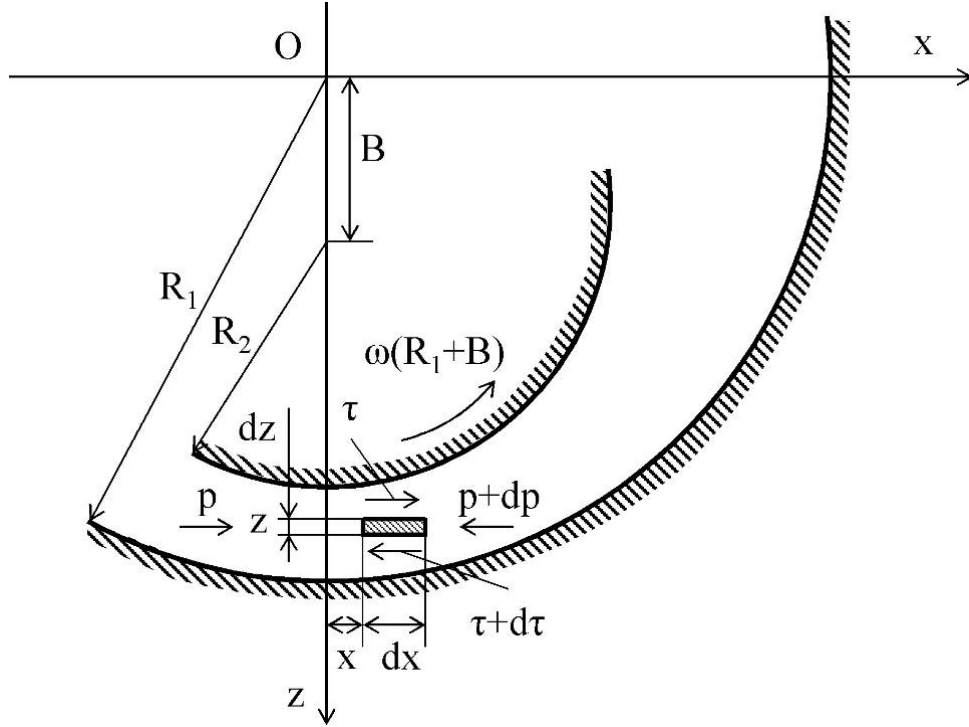


Рисунок 4.7 – Розрахункова схема для визначення конструктивних параметрів формуючих кулачків

Підставляючи (4.3) в (4.2) отримуємо:

$$\begin{cases} V(\sqrt{R_1^2 - x^2}) = \frac{1}{2\eta} \frac{dp}{dx} (R_1^2 - x^2) + C_1 \sqrt{R_1^2 - x^2} + C_2 = 0, \\ V\left(\sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B\right)^2}\right) = \frac{1}{2\eta} \frac{dp}{dx} \left(\sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B\right)^2}\right)^2 + \\ + C_1 \left(\sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B\right)^2}\right) + C_2 = \omega\sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B\right)^2}. \end{cases} \quad (4.4)$$

З системи рівнянь (4.4) знаходимо константи інтегрування:

$$\begin{cases}
C_1 = \frac{-\frac{1}{2\eta} \frac{dp}{dx} (R_1^2 - x^2) + \frac{1}{2\eta} \frac{dp}{\partial x} \left(x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B \right)^2 \right)}{-\sqrt{R_1^2 - x^2} + \sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B \right)^2} - \omega \sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B \right)^2}} - \\
- \frac{-\sqrt{R_1^2 - x^2} + \sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B \right)^2}}{-\sqrt{R_1^2 - x^2} + \sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B \right)^2}}, \\
C_2 = -\frac{1}{2\eta} \frac{dp}{dx} (R_1^2 - x^2) + \\
+ \frac{\sqrt{R_1^2 - x^2} \left(-\frac{1}{2\eta} \frac{dp}{dx} (R_1^2 - x^2) + \frac{1}{2\eta} \frac{dp}{\partial x} \left(x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B \right)^2 \right) \right)}{-\sqrt{R_1^2 - x^2} + \sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B \right)^2} - \omega \sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B \right)^2}} - \\
- \frac{\sqrt{R_1^2 - x^2} \omega \sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B \right)^2}}{-\sqrt{R_1^2 - x^2} + \sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B \right)^2}}.
\end{cases} \quad (4.5)$$

Підставляючи вирази для констант (4.5) в (4.2) остаточно маємо функцію розподілу швидкостей:

$$\begin{aligned}
V(x, z) = & \frac{1}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial x} z^2 + \frac{-\frac{1}{2\eta} \frac{dp}{dx} (R_1^2 - x^2) + \frac{1}{2\eta} \frac{dp}{\partial x} \left(x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B \right)^2 \right)}{-\sqrt{R_1^2 - x^2} + \sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B \right)^2} - \omega \sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B \right)^2}} z - \\
& - \frac{\omega \sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B \right)^2}}{-\sqrt{R_1^2 - x^2} + \sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B \right)^2} - \omega \sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B \right)^2}} z - \frac{1}{2\eta} \frac{dp}{dx} (R_1^2 - x^2) + \\
& + \frac{\sqrt{R_1^2 - x^2} \left(-\frac{1}{2\eta} \frac{dp}{dx} (R_1^2 - x^2) + \frac{1}{2\eta} \frac{dp}{\partial x} \left(x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B \right)^2 \right) \right)}{-\sqrt{R_1^2 - x^2} + \sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B \right)^2} - \omega \sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B \right)^2}} - \\
& - \frac{\sqrt{R_1^2 - x^2} \omega \sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B \right)^2}}{-\sqrt{R_1^2 - x^2} + \sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B \right)^2} - \omega \sqrt{x^2 + \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} + B \right)^2}}.
\end{aligned} \quad (4.6)$$

Швидкість переміщення об'єму матеріалу крізь переріз розраховується за формулою:

$$\begin{aligned}
 Q &= \int_{\sqrt{x^2 + (\sqrt{R_2^2 - x^2} + B)^2}}^{R_1} V(z) h dz = \\
 &= \frac{h}{16\eta} \left(-6 \frac{dP}{dx} (-R_1^2 + x^2) \left(-R + \sqrt{B^2 + R_2^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - x^2}} \right) - \right. \\
 &\quad \left. - \frac{3(B^2 + R_2^2 - R_1^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - x^2})}{\sqrt{R_2^2 - x^2} - \sqrt{B^2 + R_2^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - x^2}}} \times \right. \\
 &\quad \times \left(\frac{dP}{dx} (B^2 + R_2^2 - R_1^2 + x^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - x^2}) - 2\eta\omega\sqrt{B^2 + R_2^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - x^2}} \right) + \\
 &\quad \left. \frac{6\sqrt{R_2^2 - x^2} \left(R - \sqrt{B^2 + R_2^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - x^2}} \right) \times \left(\frac{dP}{dx} (B^2 + R_2^2 - R_1^2 + x^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - x^2}) - 2\eta\omega\sqrt{B^2 + R_2^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - x^2}} \right)}{-\sqrt{R_2^2 - x^2} + \sqrt{B^2 + R_2^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - x^2}}} \right) \quad (4.7)
 \end{aligned}$$

де h – товщина формуючого кулачка, м.

Приймаючи умову нерозривності білкової фракції макухи, як псевдорідини, маємо:

$$Q = \frac{\omega \left(R_1 + \sqrt{x^2 + (\sqrt{R_2^2 - x^2} + B)^2} \right) h}{2}. \quad (4.8)$$

Прирівнюючи вирази (4.7) і (4.8) отримуємо рівняння, рішенням якого є:

$$\begin{aligned}
 \frac{dP}{dx} &= \left(- \frac{\sqrt{B^2 + R_2^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - x^2}} (B^2 + R_2^2 - R_1^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - x^2}) \omega}{2 \left(\sqrt{R_1^2 - x^2} - \sqrt{B^2 + R_2^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - x^2}} \right)} + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{\sqrt{R_2^2 - x^2} \sqrt{B^2 + R_2^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - x^2}} \left(R - \sqrt{B^2 + R_2^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - x^2}} \right) \omega}{-\sqrt{R_1^2 - x^2} + \sqrt{B^2 + R_2^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - x^2}}} + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{2} \left(R_1 + \sqrt{x^2 + (B + \sqrt{R_2^2 - x^2})^2} \right) \omega \right) \div \\
 &\quad \div \left(- \frac{(B^2 + R_2^2 - R_1^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - x^2}) (B^2 + R_2^2 - R_1^2 + x^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - x^2})}{4 \left(\sqrt{R_2^2 - x^2} - \sqrt{B^2 + R_2^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - x^2}} \right) \eta} - \right. \\
 &\quad \left. - \frac{(-R_1^2 + x^2) \left(-R_1 + \sqrt{B^2 + R_2^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - x^2}} \right)}{2\eta} + \right) \quad (4.9)
 \end{aligned}$$

$$+ \frac{\sqrt{R_1^2 - x^2} (B^2 + R_2^2 - R_1^2 + x^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - x^2})}{2(-\sqrt{R_2^2 - x^2} + \sqrt{B^2 + R_2^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - x^2}})} \times$$

$$\times \left(R_1 - \sqrt{B^2 + R_2^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - x^2}} \right) + \frac{R_1^3 - (B^2 + R_2^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - x^2})^{3/2}}{6\eta}$$

Кутову швидкість обертання формуючих кулачків можна представити у вигляді:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}, \quad (4.10)$$

де n – частота обертання формуючих кулачків, об/хв.

Для забезпечення ефективного пресування необхідно щоб тиск на матеріалі набував максимального значення в певній точці з координатою x . Для цього з використанням програмного пакета Mathematica вирішуємо чисельними методами ірраціональне рівняння $\frac{dp}{dx} = 0$ при умові $R_1 = 0,05$ м, $B = 0,019$ м; $\eta = 0,0009$ Па·с²/м [5], $n = 30$ – 90 об/хв. В результаті розрахунку встановлено, що при будь-якій частоті обертання максимум тиску спостерігається в точці з координатами $x_1 = 0,00653$ м і $x_2 = 0,01845$ м при радіусі кулачка $R_2 = 0,03$ м.

Наступним етапом досліджень є визначення сил тертя білкової фракції макухи матеріалу.

Білкова фракція макухи рухається по прямому каналу, що утворюється пазом і гладкою поверхнею формуючого кулачка. На неї діє тільки сила осевого тиску і сили тертя. Розглянемо їх докладніше на прикладі елементарного об'єму (рисунк 4.8).

Згідно з третім законом Ньютона:

$$dF_{\text{трп}} = dF'_{\text{трп}} + 2dF''_{\text{трп}} + dF_{\text{трв}}, \quad (4.11)$$

де $dF_{\text{трв}}$ – тертя елементарного об'єму білкової фракції об поверхню формуючого кулачка, Н,

$$dF_{\text{трв}} = P_{\text{уп}} \xi dS_{\text{в}} f_{\text{км-м}} \cos \gamma \quad (4.12)$$

$P_{\text{уп}}$ – тиск упору, Па;

ξ – коефіцієнт бічного розпору;

$dS_{\text{в}}$ – площа зіткнення елементарного об'єму білкової фракції з поверхнею формуючого кулачка, м²;

$f_{\text{км-м}}$ – коефіцієнт тертя білкової фракції об метал;

γ – кут між векторами відносної й абсолютної швидкостей руху білкової фракції.

Значення кута γ залежить від швидкості руху білкової фракції і в процесі роботи постійним не є. За експериментальними даними його значення знаходиться в межах 30–45 °.

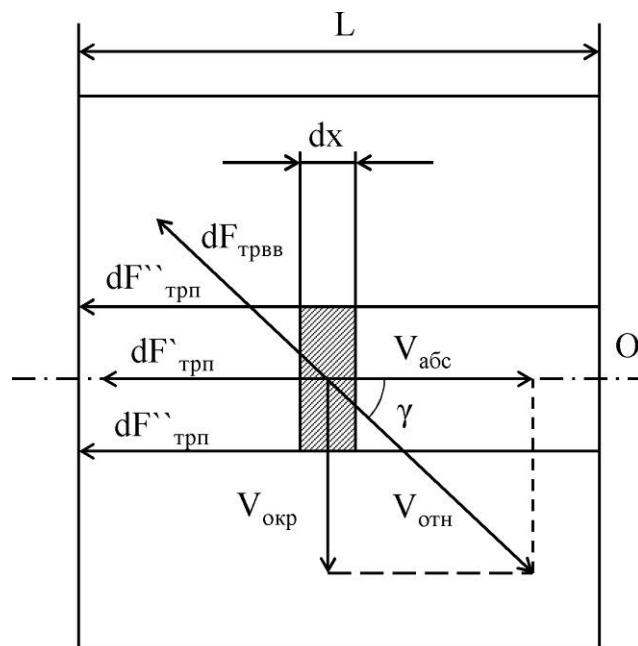


Рисунок 4.8 – Діаграма швидкостей білкової фракції макухи і сил тертя в пазу матриці (матрицю умовно не відображено)
 $V_{окр}$ – окружна швидкість формуючого кулачка;
 $V_{абс}$ – абсолютна швидкість білкової фракції; $V_{отн}$ – відносна швидкість руху білкової фракції щодо формуючого кулачка

Розглянемо зміну тиску упору на даній ділянці при русі вздовж осі шнека, яку позначимо як вісь Ох. Точку, яка знаходиться на поперечній площині, що проходить по зрізу фільтри, приймемо за початок відліку. Очевидно, що в кінці ділянки тиску упору не існує. Проведемо поперечний переріз на відстані dx від початку відліку [55], рівному довжині елементарного об'єму білкової фракції макухи. На цю площину діє тиск упору $dP_{уп1}$, створюваний першим об'ємом білкової фракції, обумовлений його силою тертя об металеві поверхні. Сила тертя, у свою чергу, виникає через залишковий бічний тиск q_0 . У зв'язку з цим перепишемо формулу (1) в більш зручному вигляді:

$$dF_{трп} = q_0 \Pi_n dx \cdot f_{км-м}, \quad (4.13)$$

де Π_n – наведений периметр формуючого кулачка на даній ділянці, м,

$$\Pi_n = 2b_n + h_n + u_n \cos \gamma, \quad (4.14)$$

b_n – ширина формуючого кулачка, м;

h_n – довжина ділянки паза, м;

u_n – довжина дуги кола формуючого кулачка, що перекриває паз, м.

Звідси тиск упору, створюваний першим елементарним об'ємом білкової фракції:

$$dP_{yn1} = \frac{q_0 \cdot \Pi_{\Pi} \cdot dx \cdot f_{KM-M}}{S_{торп}}. \quad (4.15)$$

Сила тертя другого елементарного об'єму білкової фракції визначається наступним чином:

$$dF_{трп2} = \left(q_0 + \xi \frac{dF_{трп1}}{S_{торп}} \right) \cdot \Pi_{\Pi} \cdot dx \cdot f_{KM-M}. \quad (4.16)$$

Для третього:

$$dF_{трп3} = \left(q_0 + \xi \frac{dF_{трп1} + dF_{трп2}}{S_{торп}} \right) \cdot \Pi_{\Pi} \cdot dx \cdot f_{KM-M} \quad (4.17)$$

і так далі.

Очевидно, що цей закон є прогресією, залежний від числа елементарних обсягів білкової фракції, яка на даній ділянці знаходиться за формулою:

$$k = \frac{L_{уч}}{dx}, \quad (4.18)$$

де $L_{уч}$ – ширина формуючих кулачків, м.

Число k повинно бути цілим. Суму членів даної прогресії можна розрахувати за формулою

$$\sum_{i=1}^k a_i = \frac{a[(p+1)^k - 1]}{p}, \quad (4.19)$$

де a – перший член прогресії,

$$a = q_0 \cdot \Pi_{\Pi} \cdot dx \cdot f_{KM-M}, \quad (4.20)$$

p – множник прогресії,

$$p = \xi \frac{\Pi_{\Pi} \cdot dx \cdot f_{KM-M}}{S_{торп}}. \quad (4.21)$$

Для визначення P_{yn} на початку ділянки необхідно знайти сумарну силу тертя всіх елементарних обсягів білкової фракції об поверхню кулачка. Сумарне тертя визначиться як межа суми [56, 57, 58] k -тих членів прогресії:

$$F_{тр} = \lim_{dx \rightarrow 0} \frac{q_0 \cdot f_{KM-M} \cdot \left[\left(\frac{\xi \cdot \Pi_{\Pi} \cdot dx \cdot f_{KM-M}}{S_{торп}} \right)^{\frac{L_{уч}}{dx}} - 1 \right] S_{торп}}{\xi \cdot f_{KM-M}}. \quad (4.22)$$

Звідси знайдемо тиск упору на початку ділянки:

$$P_{ynD} = \frac{F_{тр}}{S_{торп}}. \quad (4.23)$$

Продуктивність шнекового пелетатора залежить від продуктивно-

сті самого шнека і пропускної здатності матриці. Зниження продуктивності шнека при цьому відбувається за рахунок витoku кормового матеріалу із зони високого тиску в завантажувальну зону через зазори між витками шнека і стінкою корпусу, а також через провертання маси разом зі шнеком.

У загальному вигляді продуктивність шнекових пресів знаходиться за формулою [59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66]:

$$Q = 3600 \cdot \frac{K_{\phi} \cdot K_{\text{шн1}}}{K_{\text{шн2}} + K_{\phi}} \cdot \omega \cdot \rho. \quad (4.24)$$

де K_{ϕ} – коефіцієнт геометрії формуючого органа;
 $K_{\text{шн1}}$ і $K_{\text{шн2}}$ – параметри геометрії шнекового нагнітача, м;
 ω – частота обертання шнека, с^{-1} ;
 ρ – щільність кормового матеріалу, кг/м^3 .

$$K_{\text{шн1}} = \pi D \cos \lambda B H / 2. \quad (4.25)$$

$$K_{\text{шн2}} = \frac{B H^3}{12 L}. \quad (4.26)$$

D – діаметр внутрішньої поверхні корпусу, м;

λ – кут підйому гвинтової лінії шнека;

B – ширина шнекового каналу, м;

H – висота шнекового каналу, м;

L – довжина шнекового каналу, м.

Невідомим параметром тут є коефіцієнт геометрії формуючого органу. Для його знаходження в залежності від форми каналів існують стандартні формули. Але оскільки дана матриця не є стандартною, то обчислити цей коефіцієнт можна за формулою для знаходження тиску в предматричній камері:

$$\Delta p = \frac{K_{\text{шн1}}}{K_{\text{шн2}} + K_{\phi}} \mu \omega, \quad (4.27)$$

де μ – в'язкість білкової фракції в формуючій головці, $\text{Па} \cdot \text{с}$.

В даному випадку $\Delta p = P_{\text{уп.ф.}}$. Звідси виразимо K_{ϕ} , оскільки протитиск, створюваний формуючою головкою, нам відомий.

$$K_{\phi} = \frac{K_{\text{шн1}} \mu \omega}{P_{\text{уп.ф.}}} - K_{\text{шн2}}. \quad (4.28)$$

Продуктивність формуючої головки визначається за формулою:

$$Q_{\phi} = \frac{K_{\phi} P_{\text{уп.ф.}}}{\mu}. \quad (4.29)$$

Знаючи коефіцієнт геометрії формуючого органа, приведемо вираз для продуктивності до наших умов:

$$Q = 3600 \cdot \frac{K_{\text{шн1}} \left(\frac{K_{\text{шн1}} \mu \omega}{P_{\text{уп.ф.}}} - K_{\text{шн2}} \right)}{K_{\text{шн2}} + \left(\frac{K_{\text{шн1}} \mu \omega}{P_{\text{уп.ф.}}} - K_{\text{шн2}} \right)} \cdot \omega \cdot \rho = . \quad (4.30)$$

$$= 3600 \cdot \frac{P_{\text{уп.ф.}} \cdot \rho}{\mu} \left(\frac{K_{\text{шн1}} \mu \omega}{P_{\text{уп.ф.}}} - K_{\text{шн2}} \right).$$

Підставляючи в (4.30) числові значення отримуємо продуктивність преса в залежності від частоти обертання (рисунок 4.9).

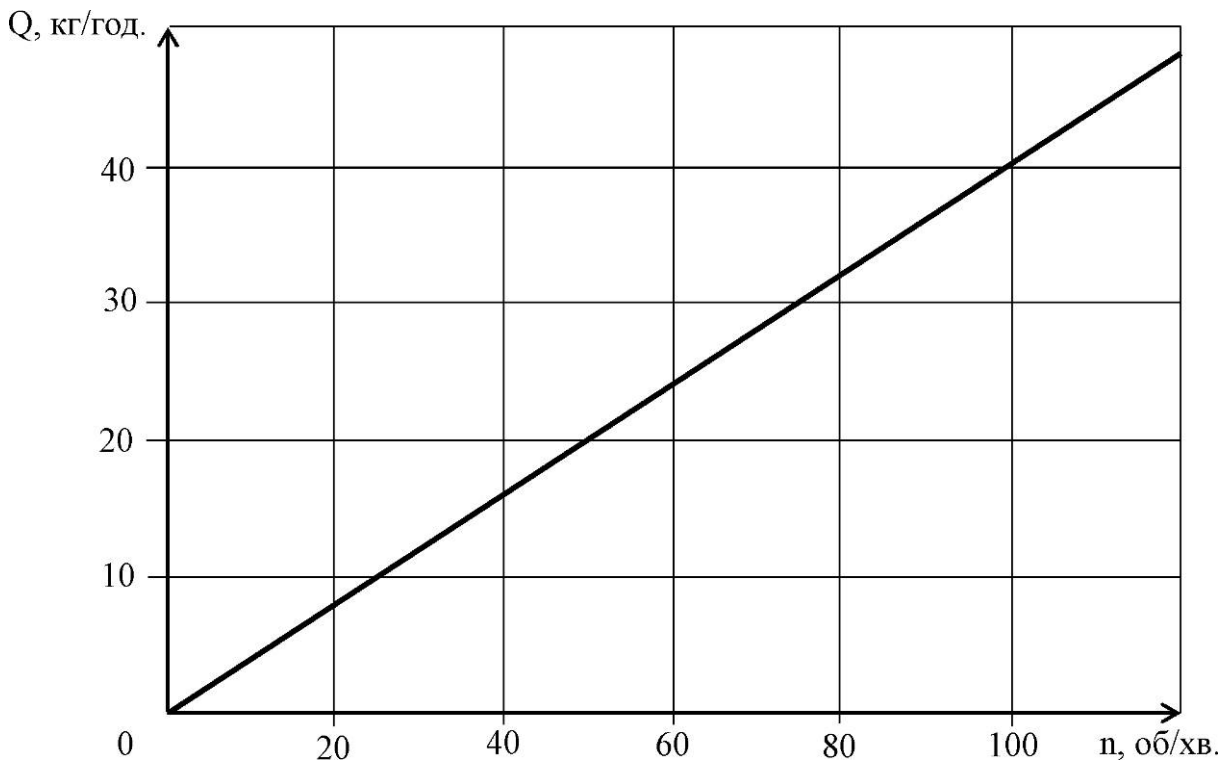


Рисунок 4.9 – Залежність продуктивності пелетератора від частоти обертання

У загальному вигляді потужність, затрачену на роботу преса, можна знайти за формулою:

$$N = N_{\text{xx}} + N_{\text{шн}} + N_{\text{фк}}, \quad (4.31)$$

де N_{xx} – потужність, споживана гранулятором на холостому ході, Вт;
 $N_{\text{шн}}$ – потужність, витрачається на просування маси по шнеку, Вт;
 $N_{\text{фк}}$ – потужність, витрачається на просування маси в формуючій головці, Вт;

$$N_{\text{фк}} = M_{\text{фк}} \cdot \omega,$$

$M_{\text{фк}}$ – момент опору обертанню формуючих кулачків, Н·м;

ω – частота обертання втулки, с^{-1} .

Момент опору виникає тільки через тертя поверхні формуючого ку-

лачка об білкову фракцію макухи:

$$M_{\text{фк}} = F_{\text{тр}} \cdot \sin \gamma \cdot z \cdot R_1 \quad (4.32)$$

4.3 Методика експериментальних досліджень технологічного процесу формування пелет з білкового порошку

Для проведення досліджень макетного зразка установки для виготовлення пелет виготовлено лабораторний стенд (рисунок 4.10-4.11), який складається з макетного зразка преса, матриці, гільзи та пуансона. Між пуансоном і гвинтом преса розміщений динамометр ДОСМ. Білкова фракція з макухи насіння соняшнику засипається в гільзу на поверхню матриці на задану висоту. За допомогою гвинта преса через динамометр і пуансон білкова фракція стискувалася і видавлювалася через отвір матриці. При цьому визначалася величина сили, необхідної для продавлювання досліджуваного матеріалу. При дослідженні брались матриці товщиною 4, 6 і 8 мм з діаметрами отворів 2, 4 і 6 мм. Після отримання пелети визначалась її питома вага.

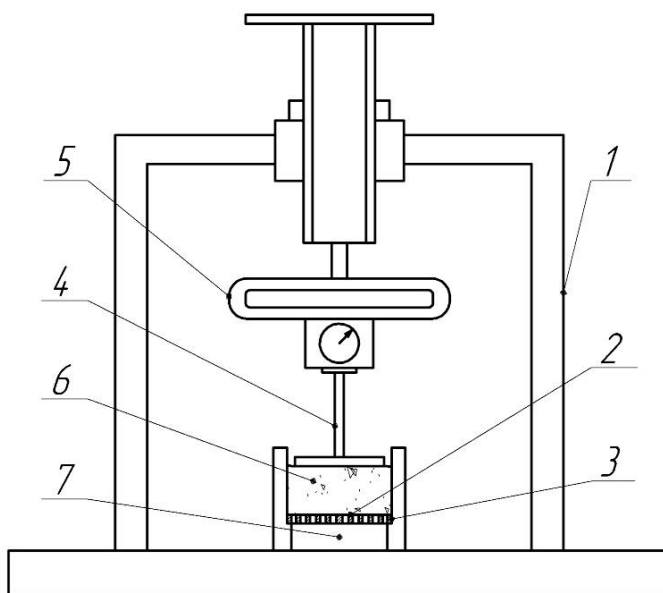


Рисунок 4.10 – Схема установки для проведення досліджень з виготовлення пелет: 1 – макетний зразок преса; 2 – матриця; 3 – гільза; 4 – пуансон; 5 – динамометр ДОСМ; 6 – білкова фракція; 7 – пелети

Залежність сили видавлювання та питомої ваги пелети від діаметра отвору матриці та її товщини представлено в таблиці 4.1.

Експериментальні дослідження макетного зразка установки для виготовлення пелет з білкової фракції макухи насіння олійних культур проводилися з використанням математичного методу планування експерименту, який дозволяє визначити математичні моделі процесів у вигляді рівнянь

регресії (полінома) другого порядку [67]:

$$y = a_0 + \sum_{k=1}^k a_i x_i + \sum_{k=1}^k a_{ij} x_i x_j + \sum_{k=1}^k a_{ii} x_i^2, \quad (4.33)$$

де a_0, a_i, a_{ij}, a_{ii} – коефіцієнти регресії;
 x_i, x_j – незалежні змінні фактори.



Рисунок 4.11 – Загальний вигляд установки для проведення досліджень з виготовлення пелет

Рівняння регресії другого порядку визначаються у кодованому вигляді. Кодування факторів здійснюється за формулою:

$$X_i = \frac{A_i - A_{oi}}{\varepsilon}, \quad (4.34)$$

де X_i – кодоване значення фактора (безрозмірна величина, рівні: верхній, нижній і в центрі позначаються відповідно +1; -1; 0);

A_i – натуральне значення фактора;

A_{oi} – натуральне значення фактора на нульовому рівні;

ε – натуральне значення інтервалу варіації фактора.

Обробка результатів досліджень, проведених методом математичного факторного планування експериментів [68], виконувались за допомогою комп'ютерної програми «Mathematica».

Об'єкт дослідження – процес виготовлення пелет з білкової фракції макухи насіння олійних культур (соняшник, гірчиця, рижій) для птиці.

Предмет дослідження – закономірності впливу конструктивно-технологічних параметрів установки для виготовлення пелет на кількісні та якісні характеристики готової продукції.

Таблиця 4.1 – Залежність сили видавлювання P та питомої ваги ρ пелети від товщини матриці t та діаметра d отвору

Товщина матриці t , мм	Діаметр отвору матриці d , мм	Показники	
		Сила видавлювання P , Н	Питома вага ρ , кг/м ³
4	2	1234,8	624
4	4	901,6	569
4	6	715,4	482
6	2	1597,4	731
6	4	1254,4	628
6	6	921,2	534
8	2	1901,2	785
8	4	1558,2	711
8	6	1234,8	664

Дослідження будуть проводитись з метою визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів установки для виготовлення пелет з білкової фракції макухи насіння для відповідної олійної культури.

Це завдання виконується на базі попередніх досліджень науково-виробничої лабораторії механізації та полівництва ІОК НААН та інших дослідників: О. Гауфе, Г. Гелетути, П. Гринька, В. Долинського, В. Дубровіна, Г. Калетніка, М. Калінчика, М. Корчемного, Х. Лінса, Ю. Матвєєва, М. Мельничука, В. Мироненка, М. Мхітаряна, В. Поліщука, О. Шпичака, Г. Штрюбеля, Х. Шульца.

Виконання робіт буде проведено відповідно до ДСТУ 3973-2000 «Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання науково-дослідних робіт» [69] і оформлено згідно з ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення» [70].

Місце проведення: виробниче приміщення науково-виробничої лабораторії механізації та полівництва ІОК НААН.

За результатами досліджень складається звіт про НДР.

Дослідження проводяться відповідно до договору Національної академії аграрних наук України з Інститутом олійних культур НААН за планом науково-дослідних робіт на 2014–2015 роки з виконання завдання 33.01.00.65П «Доопрацювати технологію комплексної безвідхідної переробки макухи з насіння олійних культур з одержанням високоякісних повноцінних протеїнових добавок у вигляді пелет та твердого біопалива» [71].

Календарний план ІОК НААН на 2015 рік затверджений 2 лютого 2015 р. методичною комісією ІОК НААН (протокол № 3).

Метою проведення досліджень є визначення раціональних параметрів робочих органів установки для виготовлення пелет з білкової фракції

макухи насіння.

Програма досліджень містить методи визначення конструктивних, кінематичних і технологічних параметрів робочих органів установки для виготовлення пелет.

Програма досліджень передбачає наступне:

1. Визначення залежності витрат потужності для виготовлення пелет від частоти обертів та конфігурації робочого органа, подачі матеріалу та його вологості.

2. Визначення залежності питомої ваги отриманих пелет від частоти обертів та конфігурації робочого органа, подачі матеріалу та його вологості.

3. Розрахунок похибок вимірювання контрольованих параметрів.

4. Оптимізація параметрів робочих органів установки для виготовлення пелет за показником питомих енерговитрат.

Для дослідження технологічного процесу виготовлення пелет з макухи насіння олійних культур розроблено конструктивно-технологічну схему й створено експериментальну установку (рисунок 4.12) для його реалізації.

В установці для виготовлення пелет є можливість встановлення необхідної конфігурації розміщення формуючих кулачків 5.

До складу установки входить циліндрична матриця 6 з відповідними діаметрами отворів – 3 мм.

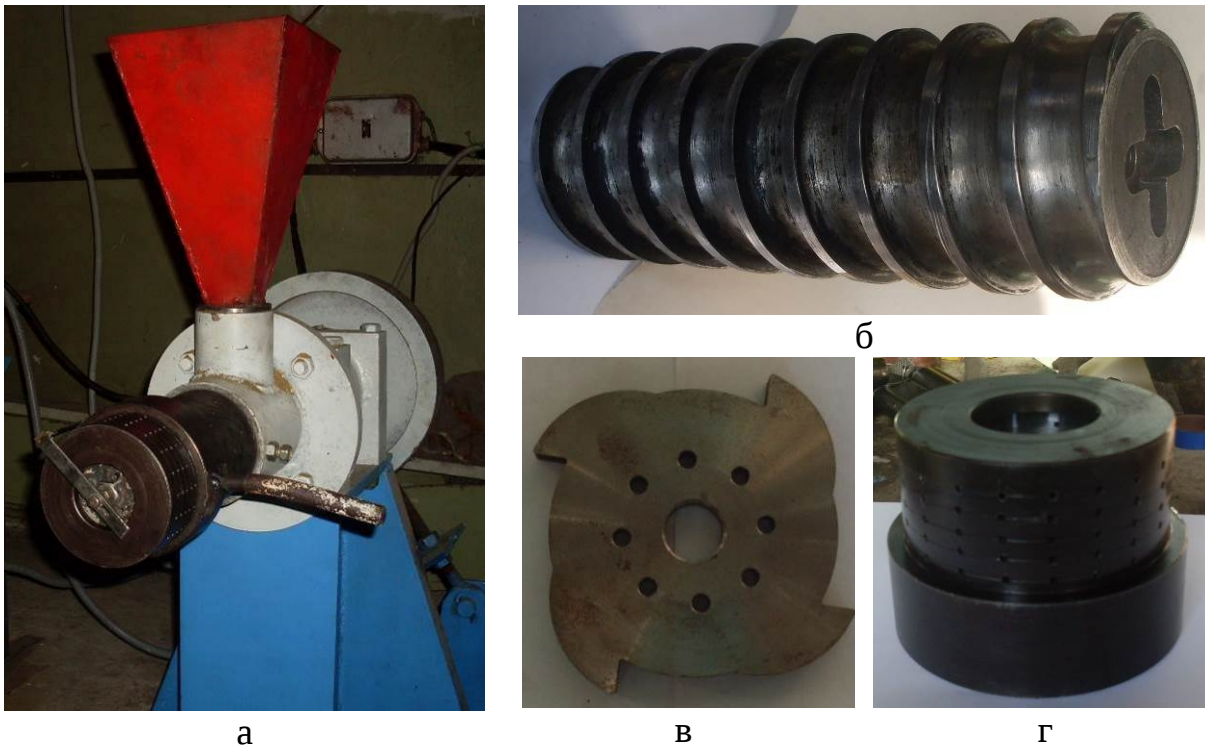


Рисунок 4.12 – Експериментальний зразок установки для виготовлення пелет (пелетератора): а – загальний вигляд; б – гвинт; в – формуючий кулачок; г – циліндрична матриця

Установка для виготовлення пелет приєднується через вал привода 1 до мотор-редуктора максимальної потужності – 7,5 кВт, який з'єднується із частотним перетворювачем Danfoss VLT Micro Drive. З використанням частотного перетворювача є можливість змінювати частоту обертання вала привода в діапазоні – 0–100 об/хв. Схема електрична принципова підключення частотного перетворювача Danfoss VLT Micro Drive до електродвигуна мотор-редуктора представлена на рисунку 4.13.

Задана подача білкової фракції до завантажувального бункера 4 здійснюється за допомогою регулюючої заслінки. Швидкість подачі білкової фракції можна змінювати в діапазоні – 0–80 кг/год.

Перед початком експериментальних досліджень необхідно визначити умови проведення досліджень та підготувати білкову фракцію насіння олійних культур (соняшник, гірчиця, ріжій) масою 10 кг для кожного досліді.

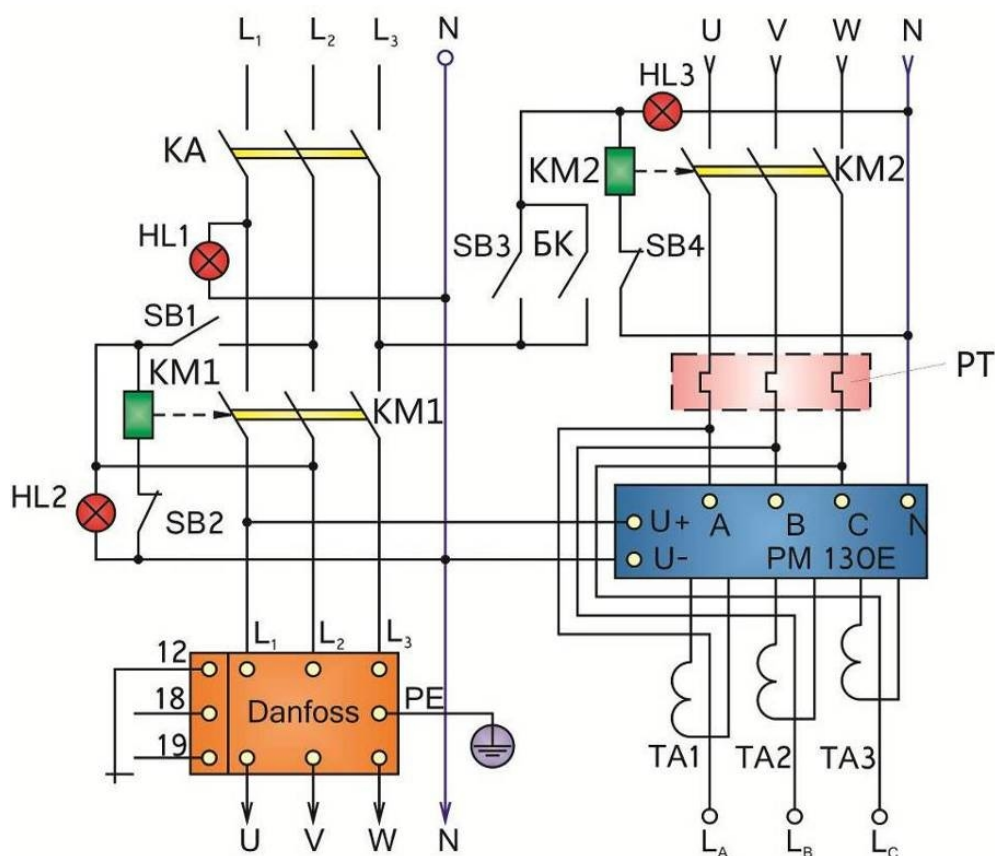


Рисунок 4.13 – Схема електрична принципова підключення частотного перетворювача Danfoss VLT Micro Drive до електродвигуна мотор-редуктора: L₁, L₂, L₃, A, B, C – фазні проводи на вході та виході шафи керування відповідно; N – нульовий провід; KA – комутаційний апарат (автоматичний вимикач); KM1, KM2 – контактори; SB1, SB3 – кнопки «Пуск»; SB2, SB4 – кнопки «Стоп»

Для кожної порції білкової фракції насіння олійних культур необхідно визначити вологість за ГОСТ 27548-97 «Корми рослинні. Методи визначення вологи» [72], олійність за ГОСТ 13496.15-97 «Корми, комбікорми, комбікормова сировина. Методи визначення вмісту сирого жиру» [73], вміст білка за ДСТУ 7169: 2010 «Корми, комбікорми, комбікормова сировина. Методи визначення вмісту азоту і сирого протеїну» [74].

Об'ємна маса кожної порції білкової фракції насіння олійних культур визначається за методикою [75], яка передбачає зважування маси білкової фракції, розміщеної в ящику розмірами не менше 10 см × 10 см × 10 см без ущільнення та врівень з його краями, при вільному падінні білкової фракції з висоти 10 см від його верхнього краю. Маса зразка білкової фракції визначається шляхом статичного зважуванням на електронних вагах АА-200.

Перед кожним дослідом на установку для виготовлення пелет встановлюється відповідна конфігурація розташування формуючих кулачків.

Для проведення дослідів вмикається електродвигун мотор-редуктор і за допомогою частотного перетворювача Danfoss VLT Micro Drive встановлюється необхідна частота обертання вала привода установки для виготовлення пелет.

Білкова фракція масою 10 кг засипається у бункер і за допомогою відкаліброваної регулюючої заслінки встановлюється задана швидкість подачі матеріалу в установку для виготовлення пелет.

В процесі дослідження фіксується значення потужності електродвигуна, яка витрачається, на частотному перетворювачі Danfoss VLT Micro Drive і час проходження 10 кг матеріалу крізь установку для виготовлення пелет.

Тривалість виробничого циклу заміряється секундоміром. Початком виробничого циклу вважався процес завантаження вихідного матеріалу. Закінчення виробничого циклу – по завершенні процесу накопичення пелет.

В кінці дослідів установка вимикається і готується до наступного.

Отримані пелети підлягають визначенню геометричних розмірів, маси і насипної об'ємної маси.

В якості олійної культури обрано соняшник.

Дослідження будуть проводитися для варіанта конфігурації розташування формуючих кулачків (рисунок 4.14) – формуючі кулачки розташовані послідовно без зміщення.

Факторами досліджень є частота обертів вала привода, швидкість подачі білкової фракції та її вологість. Інтервали і рівні варіювання факторами наведені в таблиці 4.2.

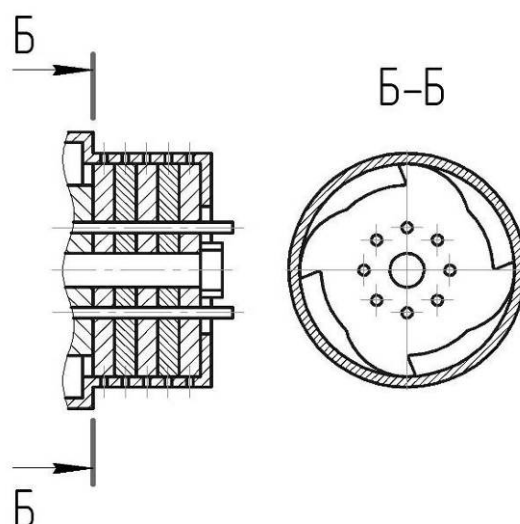


Рисунок 4.14 – Варіанти конфігурації розташування формуючих кулачків установки для виготовлення пелет

Таблиця 4.2 – Інтервали і рівні варіювання факторів при експериментальних дослідженнях установки для виготовлення пелет

Позначення факторів		Найменування факторів та одиниця вимірювання	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
Кодове	Натуральне		-1	0	+1	
x_1	q	Швидкість подачі матеріалу, кг/год.	25	50	75	25
x_2	n	Частота обертів робочого органа, об/хв.	30	60	90	30
x_3	W	Вологість білкової фракції, %	20	30	40	10

Дослідження проводяться за планом трьохфакторного експерименту 3^3 , при варіюванні факторів використовувалась матриця планування експериментів Бокса-Бенкіна. Досліди проводяться у триразовій повторності.

За критерії досліджень обрано продуктивність виробничого процесу створення пелет Q , об'ємна маса пелет ρ і потужність електродвигуна P , що витрачається на здійснення процесу.

Продуктивність виробничого процесу визначається шляхом розрахунку за формулою:

$$Q = m / t, \quad (4.35)$$

де m – маса білкової фракції, $m = 10$ кг;
 t – тривалість виробничого циклу, год.

В якості критерію оптимізації факторів досліджень обрано питомі енерговитрати, які визначаються за формулою:

$$E = P / Q, \quad (4.36)$$

Відтворення дослідів визначається за однорідністю результатів вимірювань. Умови однорідності формалізуються так, щоб усі вимірювання, які входять у дану сукупність, могли виглядати як значення однієї випадкової величини, підпорядкованої нормальному розподілу.

Умови однорідності дослідів припускають приблизно однаковий вплив помилок за усіма точками у плані дослідів. Для перевірки відтворення дослідів, які виконувалися у трьохкратній повторності, використовують критерій Кохрена. Це відношення максимальної дисперсії до суми усіх дисперсій:

$$G_p = \frac{\sigma_i^2 \max}{\sum_{i=1}^N \sigma_i^2}, \quad (4.37)$$

де $\sigma_i^2 \max$ – найбільша порядкова дисперсія;

$\sum_{i=1}^N \sigma_i^2$ – сума порядкових дисперсій.

Дисперсія обчислюється за формулою:

$$\sigma_i^2 = \frac{\sum_{u=1}^m (y_{iu} - \bar{y}_u)^2}{m-1}, \quad (4.38)$$

де y_{iu} – значення критерію оптимізації в u -му досліді по i -й повторюваності;

$\bar{y}_u$ – середнє значення критерію оптимізації в u -му досліді;

m – кількість повторів у досліді.

Обчислюване значення дисперсії порівнюється з табличним, причому дисперсії вважаються однорідними за умови $\sigma_p \leq \sigma_{\text{табл.}}$. При $\sigma_p > \sigma_{\text{табл.}}$ необхідно підвищити точність вимірів або встановити менші інтервали варіації факторів та збільшити кількість повторів у досліді.

Табличне значення дисперсії визначається для 95 % рівня довірчої вірогідності та ступеня свободи: $x = m - 1$.

При визначенні похибки результатів дослідів враховується, що відхилення від середнього арифметичного значення не повинно перевищувати межі помилки $\pm 3\sigma$ (σ – середньоквадратичне відхилення). Тому відхилення, яке перевищує за своїм значенням $\pm 3\sigma$, показує, що його треба виключити з розгляду [76].

Довірчі межі випадкової похибки результатів вимірювань обчислюються за критерієм Стюдента:

$$\tau = t \cdot \sigma_{x_i}, \quad (4.39)$$

де t – коефіцієнт Стюдента для довірчої вірогідності p (ГОСТ 8.207-76 [77]);

σ_{x_i} – середньоквадратичне відхилення результатів вимірювань.

Більш грубі помилки вимірювань визначаються з наступного виразу:

$$\frac{x_{n+1} - \bar{x}}{\sigma_i} \geq t, \quad (4.40)$$

де x_{n+1} – сумнівне значення показника;
 $\bar{x}$ – середньоарифметичне значення вимірюваного показника;
 σ_i – середньоквадратичне відхилення результату вимірювань.

Коефіцієнт варіації визначається за формулою:

$$V = (\sigma_i / X_{cp}) \cdot 100 \%. \quad (4.41)$$

Середньоквадратичне відхилення дорівнює:

$$\sigma_i = \left[\left[\sum_{i=1}^m (X_i - X_{cp})^2 \right] / (m - 1) \right]^{0.5}. \quad (4.42)$$

Середньоарифметичне значення вимірюваної величини:

$$X_{cp} = (\sum X_i) / m, \quad (4.43)$$

де X_i – значення вимірюваної величини;
 m – кількість вимірювань у досліді.

Абсолютна похибка середнього арифметичного значення відхилення визначається за формулою:

$$\Delta = \pm 3 \sigma_i. \quad (4.44)$$

Похибка досліді розраховується за виразом:

$$\Pi = \pm 3 \sigma_i / X_{cp} \cdot 100 \%. \quad (4.45)$$

З метою перевірки гіпотези на адекватність моделі другого порядку проводиться статистичний аналіз рівнянь регресії.

Адекватність моделі перевіряється за допомогою критерію Фішера:

$$F_p = \frac{S_{LF}^2}{S_y^2}, \quad (4.46)$$

де S_{LF}^2 – дисперсія неадекватності математичної моделі;
 S_y^2 – дисперсія помилки досліді.

Для адекватності моделі повинна виконуватись умова $F_p \leq F_{табл.}$

Значимість коефіцієнтів регресії перевіряється за допомогою визначення довірчого інтервалу для коефіцієнтів регресії. Коефіцієнт регресії вважається значимим, якщо його абсолютне значення перевищує величину довірчого інтервалу Δb_i , який визначається за формулою:

$$\pm \Delta b_i = \pm t S_{bi}, \quad (4.47)$$

де S_{bi} – квадратична похибка коефіцієнта регресії;
 t – табличне значення t-критерію при числі ступенів свободи для S_y^2 .

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}}, \quad (4.48)$$

де N – кількість дослідів.

Якщо коефіцієнти значимі, це означає, що дія одного з них залежить від рівня, на якому знаходиться інший фактор. Якщо він має позитивний знак, то величина критерію оптимізації підвищується, тобто обидва факто-

ри одночасно знаходяться на верхніх рівнях (або на нижніх). Якщо коефіцієнт має негативний знак, тоді підвищенню критерію оптимізації сприяють сполучення факторів на різних рівнях.

Фізичне значення коефіцієнта B_{ij} полягає в кількісній зміні параметра оптимізації при зміні фактора на величину одного інтервалу варіювання (при закодованих факторах) або на одиницю вимірювання фактора (при розкодованих значеннях).

Знак плюс або мінус перед B_i вказує на збільшення або зменшення критеріїв оптимізації. Коефіцієнт B_0 має приблизно середнє значення критерію оптимізації.

Після отримання математичної моделі процесу визначаються оптимальні значення факторів (координати оптимуму поверхні відгуку) та вивчаються властивості цієї поверхні біля оптимуму для зразка преса. Пошук оптимуму ведеться методом канонічного перетворення математичної моделі у форму наступного вигляду:

$$Y - Y_s = B_{11} X_1^2 + B_{22} X_2^2 + \dots + B_{kk} X_k^2, \quad (4.49)$$

де Y_s – значення критерію оптимізації в оптимальній точці;

$X_1, X_2, \dots, X_k$ – нові осі координат, повернуті відносно старих $x_1, x_2, \dots, x_k$.

$B_{11}, B_{22}, \dots, B_{kk}$ – коефіцієнти регресії у канонічній формі.

Канонічне перетворення моделі виконується за встановленою методикою. Результатом перетворення рівняння регресії є форма поверхні відгуку та оптимальні координати поверхні відгуку або оптимальні значення факторів процесу роботи вакуумного насоса. Після цього проводять аналіз поверхні відгуку за допомогою двомірних перетинів. Побудування двомірних перетинів виконуються з використанням програмного пакета «Mathematica».

Пошук оптимуму ведеться рішенням компромісної задачі, після визначення математичних моделей процесу за оцінювальними показниками та визначення оптимальних параметрів. На початку виділяються найбільш значимі фактори по кожній моделі та їхні оптимальні параметри, потім із загального списку визначаються спільні фактори і аналізується діапазон їхніх оптимальних значень.

За результатами експериментальних досліджень буде побудовано математичну модель залежності продуктивності виробничого процесу виготовлення пелет, потужності, необхідної для виготовлення пелет та їхньої об'ємної маси від швидкості подачі матеріалу, його вологості і частоти обертів вала привода для двох варіантів конфігурації розташування формуючих кулачків та кожної олійної культури – соняшнику, гірчиці, ріжю.

Визначені похибки вимірювання і адекватність розробленої математичної моделі.

Розраховані раціональні конструктивні, кінематичні та технологічні параметри робочих органів установки для виготовлення пелет за критерієм питомих енерговитрат виробничого процесу.

4.4 Результати експериментальних досліджень технологічного процесу формування пелет з білкового порошку

В результаті пресування білкового порошку на лабораторному стенді отримані пелети з макухи насіння гірчиці (рисунок 4.15, а) і соняшнику (рисунок 4.15, б).

В результаті обробки експериментальних даних одержані математичні моделі залежності сили, необхідної для продавлювання білкової фракції через отвори матриць, та питомої ваги отриманих при цьому пелет (рисунки 4.16, 4.17):

$$P = 834,634 + 190,284 d - 158,841 t - 9,1875 d t + 7,35 t^2 \quad (4.50)$$

$$\rho = 649,0556 + 10,6667 d - 47,5417 t + 2,0417 d^2 + 1,3125 d t \quad (4.51)$$

де P – сила видавлювання, Н;

ρ – питома вага пелет, кг/м³;

d – діаметр отвору матриці, мм;

t – товщина матриці, мм.



Рисунок 4.15 – Загальний вигляд пелет з насіння гірчиці (а) і соняшнику (б)

Виходячи з проведених досліджень, можна зробити висновок, що при збільшенні товщини матриці і зменшенні діаметра отворів сила видавлювання білкового порошку і питома вага отриманих пелет збільшуються.

Дослідження конструктивно-технологічних параметрів установки для виготовлення пелет проводились із застосуванням методу математичного планування багатофакторного експерименту, який дозволяє визначити математичні моделі процесів у вигляді рівнянь регресії [78, 79].

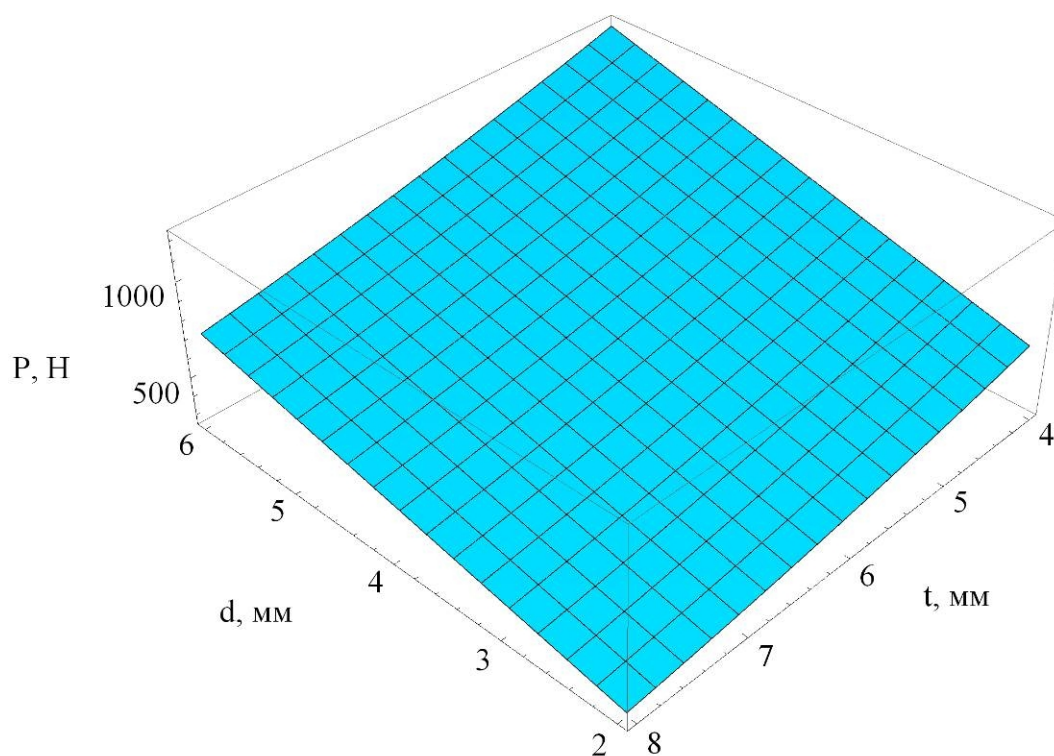


Рисунок 4.16 – Залежність сили видавлювання P від діаметра отворів матриці d та товщини матриці t

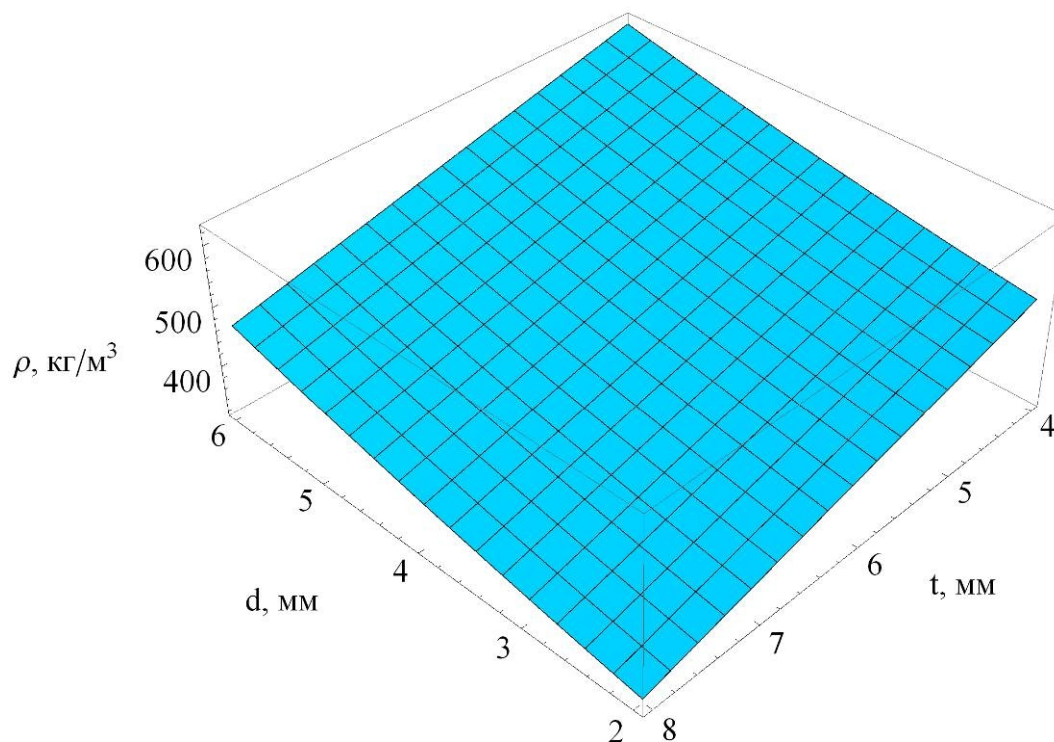


Рисунок 4.17 – Залежність питомої ваги пелет ρ від діаметра отворів матриці d та товщини матриці t

Загальний вигляд процесу проведення експериментальних дослі-

джені представлено на рисунку 4.18, зразки отриманих пелет з білкової фракції макухи соняшнику приведені на рисунку 4.21.



Рисунок 4.18 – Загальний вигляд процесу проведення експериментальних досліджень



Рисунок 4.19 – Зразки отриманих пелет з білкової фракції макухи соняшнику

Згідно з результатами досліджень було створено математичну модель впливу досліджуваних факторів на ефективність технологічного процесу формування пелет з білкового порошку.

Отримана математична модель впливу досліджуваних факторів на об'ємну масу пелет мала вигляд:

$$y_1 = 638,778 + 1,08333 x_1 + 0,444444 x_1^2 + 92,8333 x_2 + 1,16667 x_1 x_2 - 27,2222 x_2^2 + 88,9167 x_3 - 2 x_1 x_3 + 2,16667 x_2 x_3 - 21,7222 x_3^2. \quad (4.52)$$

Для цього рівняння на 95 % рівні довірчої ймовірності дисперсії однорідні та значення критерію Кохрена $G = 0,1674 < G_{0,05}(2, 15) = 0,3346$.

Дисперсія адекватності математичної моделі $S_{ад}^2 = 7,66$; дисперсія похибки дослідів $S_y^2 = 4,15$; значення критерію Фішера $F = 1,8469 < F_{0,05}(7, 30) = 2,33$; модель є адекватною на будь-якому рівні довірчої ймовірності.

За розрахованими значеннями коефіцієнтів кореляції та критерію Стюдента значущими на рівні довірчої ймовірності більше 95 % є відповідні коефіцієнти, при яких рівняння регресії прийме вигляд:

$$y_1 = 638,778 + 92,8333 x_2 - 27,2222 x_2^2 + 88,9167 x_3 + 2,16667 x_2 x_3 - 21,7222 x_3^2. \quad (4.53)$$

У розкодованому вигляді модель має вигляд:

$$\rho = -119,194 - 0,0302469 n^2 + 6,50741 n + 0,00722222 W n + 21,8917 W - 0,217222 W^2 \quad (4.54)$$

Аналізуючи рівняння (4.54), можна стверджувати, що на об'ємну масу пелет впливає лише вологість вихідного матеріалу і частота обертів робочого органа. При цьому зі збільшенням зазначених факторів збільшується і об'ємна маса пелет. Оптимальним значенням для даного рівняння є:

$$\rho (n = 90 \text{ об/хв.}, W = 40 \%) = 775 \text{ кг/м}^3 \quad (4.55)$$

Графічна інтерпретація рівняння (4.54) представлена на рисунку 4.20.

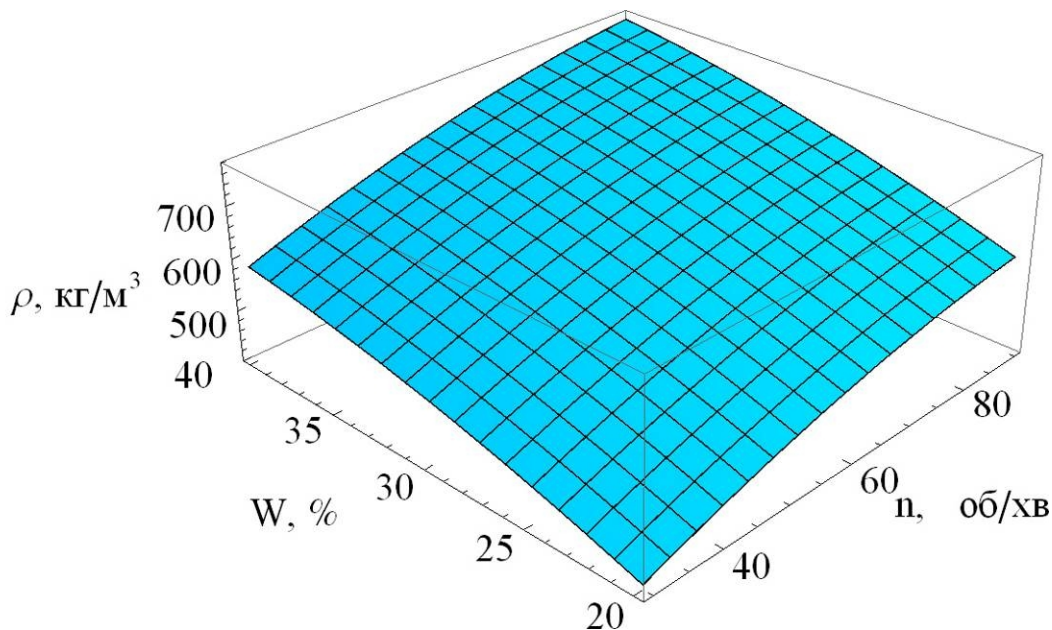


Рисунок 4.20 – Залежність об'ємної маси пелет від факторів, що досліджуються

Отримана математична модель впливу досліджуваних факторів на продуктивність виробничого процесу створення пелет мала вигляд:

$$y_2 = 57,8333 + 9,1375 x_1 - 5,23333 x_1^2 + 4,475 x_2 + 7,70833 x_1 x_2 - 9,525 x_2^2 + 15,7125 x_3 + 0,116667 x_1 x_3 - 0,125 x_2 x_3 - 9,83333 x_3^2. \quad (4.56)$$

Для цього рівняння на 95 % рівні довірчої ймовірності дисперсії однорідні та значення критерію Кохрена $G = 0,1685 < G_{0,05}(2, 15) = 0,3346$.

Дисперсія адекватності математичної моделі $S_{ад}^2 = 0,872$; дисперсія похибки дослідів $S_y^2 = 0,91$; значення критерію Фішера $F = 0,9583 < F_{0,05}(7, 30) = 2,33$; модель є адекватною на будь-якому рівні довірчої ймовірності.

За розрахованими значеннями коефіцієнтів кореляції та критерію Стюдента значущими на рівні довірчої ймовірності більше 95 % є відповідні коефіцієнти, при яких рівняння регресії прийме вигляд:

$$y_2 = 57,8333 + 9,1375 x_1 - 5,23333 x_1^2 + 4,475 x_2 + 7,70833 x_1 x_2 - 9,525 x_2^2 + 15,7125 x_3 - 9,83333 x_3^2 \quad (4.57)$$

У розкодзованому вигляді модель має вигляд:

$$Q = -133,229 - 0,0105833 n^2 + 0,905278 n + 0,0102778 q n + 0,586167 q - 0,00837333 q^2 + 7,47125 W - 0,0983333 W^2 \quad (4.58)$$

Графічна інтерпретація рівняння (4.58) представлено на рисунку 4.21.

Аналізуючи рівняння (4.58), можна стверджувати, що на продуктивність виробничого процесу створення пелет впливають всі фактори. При цьому зі збільшенням вологості вихідного матеріалу збільшується і продуктивність, а при варіюванні значень частоти обертів робочого органа і подачі вихідного матеріалу спостерігається максимум. Оптимальним значенням для даного рівняння є:

$$Q (q = 75 \text{ кг/год.}, n = 79,2 \text{ об/хв.}, W = 37,9 \%) = 71,91 \text{ кг/год.} \quad (4.59)$$

Отримана математична модель впливу досліджуваних факторів на споживану потужність електродвигуна мала вигляд:

$$y_3 = 1447,78 + 574,167 x_1 + 143,611 x_1^2 + 1071,25 x^2 + 482,5 x_1 x_2 + 1059,44 x_2^2 + 498,75 x_3 - 9,16667 x_1 x_3 - 6,66667 x_2 x_3 + 617,778 x_3^2. \quad (4.60)$$

Для цього рівняння на 95 % рівні довірчої ймовірності дисперсії однорідні та значення критерію Кохрена $G = 0,1447 < G_{0,05}(2, 15) = 0,3346$.

Дисперсія адекватності математичної моделі $S_{ад}^2 = 14572$; дисперсія похибки дослідів $S_y^2 = 16192$; значення критерію Фішера $F = 0,8999 < F_{0,05}(7, 30) = 2,33$; модель є адекватною на будь-якому рівні довірчої ймовірності.

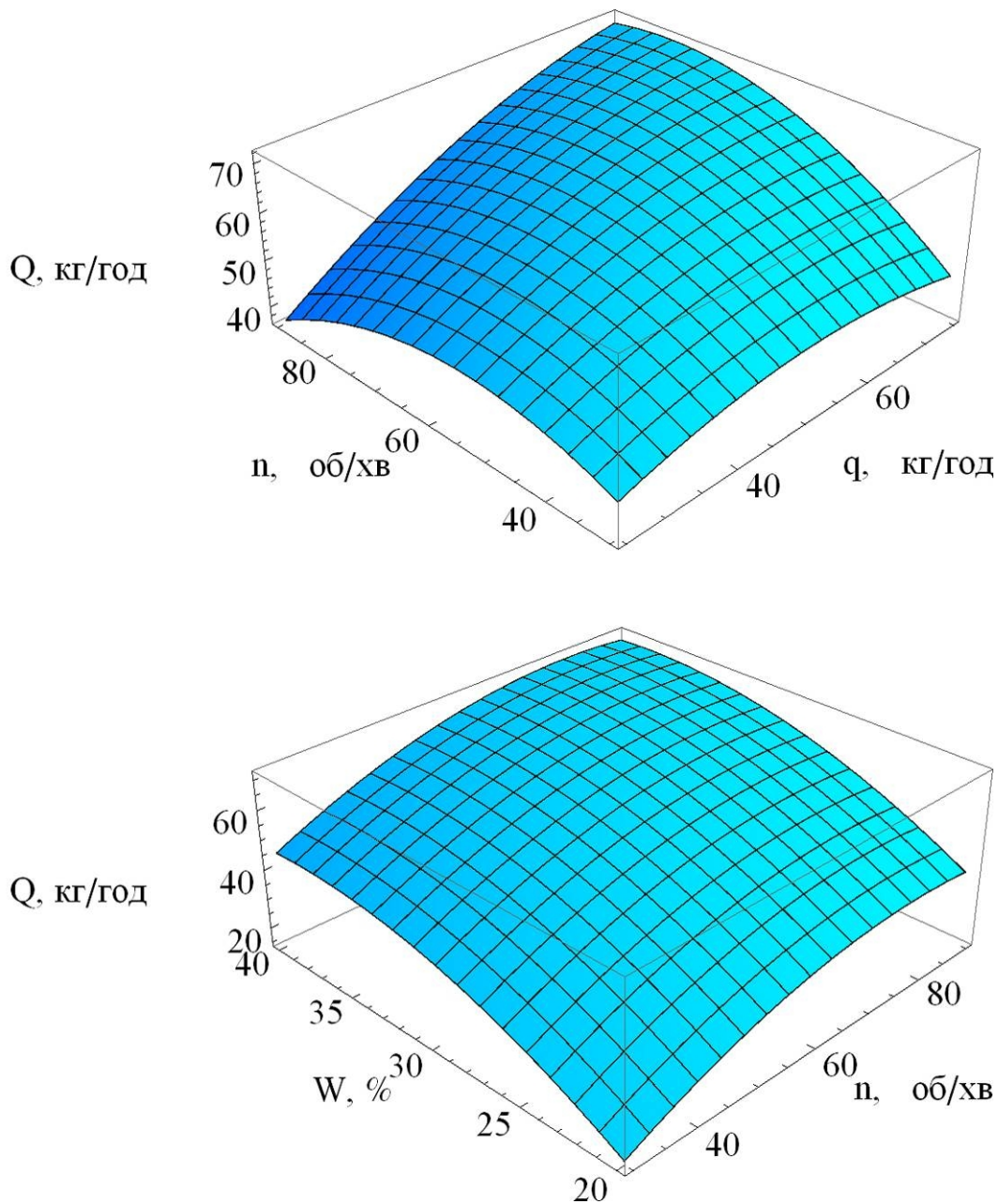


Рисунок 4.21 – Залежність продуктивності виробничого процесу від факторів, що досліджуються при фіксованих оптимальних значеннях (4.59)

За розрахованими значеннями коефіцієнтів кореляції та критерію Стюдента значущими на рівні довірчої ймовірності більше 95 % є відповідні коефіцієнти, при яких рівняння регресії прийме вигляд:

$$y_3 = 1447,78 + 574,167 x_1 + 143,611 x_1^2 + 1071,25 x_2^2 + 482,5 x_1 x_2 + 1059,44 x_2^2 + 498,75 x_3 + 617,778 x_3^2. \quad (4.61)$$

У розкодованому вигляді модель має вигляд:

$$P = 8962,92 + 1,17716 n^2 - 137,718 n + 0,643333 q n - 38,6111 q + 0,229778 q^2 - 320,792 W + 6,17778 W^2. \quad (4.62)$$

Графічна інтерпретація рівняння (4.62) представлена на рисунку 4.22.

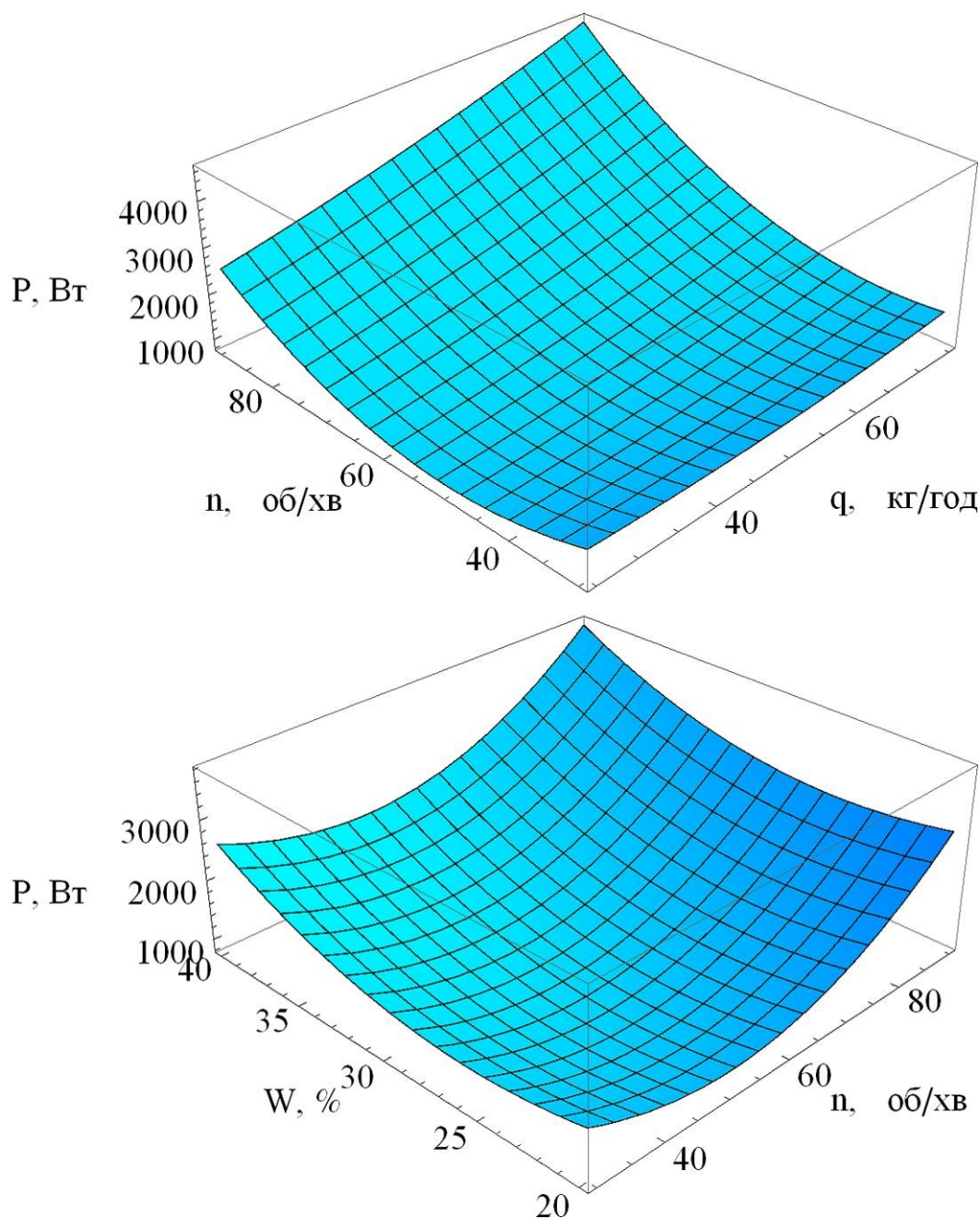


Рисунок 4.22 – Залежність споживаної потужності електродвигуна від факторів, що досліджуються при фіксованих оптимальних значеннях (4.63)

Аналізуючи рівняння (4.62), можна стверджувати, що на споживану потужність електродвигуна впливають всі фактори. При цьому зі збільшенням вологості вихідного матеріалу збільшується і потужність, а при варіюванні значень частоти обертів робочого органа і подачі вихідного матеріалу спостерігається мінімум. Оптимальним значенням для цього рів-

няння є:

$$P(q = 25 \text{ кг/год.}, n = 51,7 \text{ об/хв.}, W = 25,9 \%) = 834 \text{ кВт.} \quad (4.63)$$

Завданням вирішення компромісної задачі була мінімізація витрат споживаної потужності електродвигуна при максимальному значенні продуктивності пелетератора. При цьому об'ємна маса отриманих пелет не повинна бути меншою за 600 кг/м^3 :

$$\begin{cases} P(q, n, W) \rightarrow \min; \\ Q(q, n, W) \rightarrow \max; \\ \rho(q, n, W) > 600 \text{ кг/м}^3. \end{cases} \quad (4.64)$$

Взявши відношення споживаної потужності до продуктивності, перетворимо поставлену задачу (4.64) до вигляду:

$$\begin{cases} E(q, n, W) = \frac{P(q, n, W)}{Q(q, n, W)} \rightarrow \min; \\ \rho(q, n, W) > 600 \text{ кг/м}^3. \end{cases} \quad (4.65)$$

Вирішення задачі (4.65) за допомогою програмного пакета «Mathematica» призвели до оптимальних конструктивно-технологічних параметрів установки для виготовлення пелет:

$$\begin{aligned} P(q = 35,7 \text{ кг/год.}, n = 50,5 \text{ об/хв.}, W = 28,9 \%) &= 20,2 \text{ Вт} \cdot \text{год/кг}, \\ \rho(q = 35,7 \text{ кг/год.}, n = 50,5 \text{ об/хв.}, W = 28,9 \%) &= 601 \text{ кг/м}^3. \end{aligned} \quad (4.66)$$

При даних оптимальних значеннях конструктивно-технологічних параметрів споживана потужність електродвигуна установки для виготовлення пелет складає 973 Вт, а її продуктивність – 48 кг/год.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ

Визначення економічної ефективності технології виділення протеїнового концентрату з макухи насіння олійних культур виконується методом послідовного порівняння абсолютних значень показників базового й пропонованого варіантів [80].

За базовий варіант було обрано загальноприйнятую лінію переробки насіння олійних культур (рисунок 5.1), до складу якої входять: живильник, прес-екструдер, приймальна місткість для олії, насос, фільтр, накопичувач для олії.

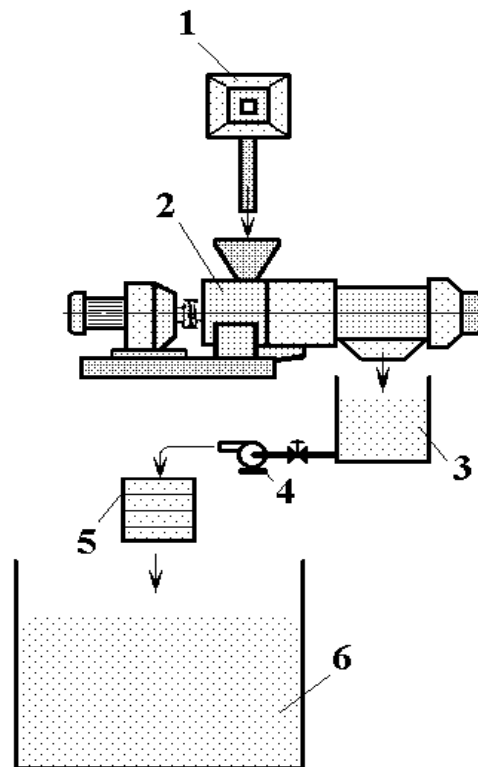


Рисунок 5.1 – Існуюча конструктивно-технологічна схема лінії переробки насіння олійних культур: 1 – живильник; 2 – прес-екструдер; 3 – приймальна місткість для олії; 4 – насос; 5 – фільтр; 6 – накопичувач для олії

Технічні характеристики обладнання для загальноприйнятої лінії переробки насіння олійних культур представлені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Технічні характеристики обладнання для загальноприйнятої лінії переробки насіння олійних культур

Показник	Транспортер для преса	Прес- екструдер	Лінія фільтрації	Всього
Марка	ШТ-3	ММШ-130	ЛФ-2	
Продуктивність, кг/год.	3000	130	70	
Потужність, кВт	2,2	7,5	2,2	
Вихід олії	0	0,36	0	
Ціна, грн	5250	26900	12900	45050,00

За проектний варіант прийнято розроблену конструктивно-технологічну схему лінії одержання кормових пелет і паливних брикетів із макухи олійного насіння (рисунк 5.2), до складу якої входять: шнекові транспортери, прес-екструдер, молоткова дробарка, щітковий роторний просіювач, накопичувач білкової фракції, проміжна ємність для олії, насос, фільтр, накопичувальна ємність для олії, прес-брикетувальник, пелетератор.

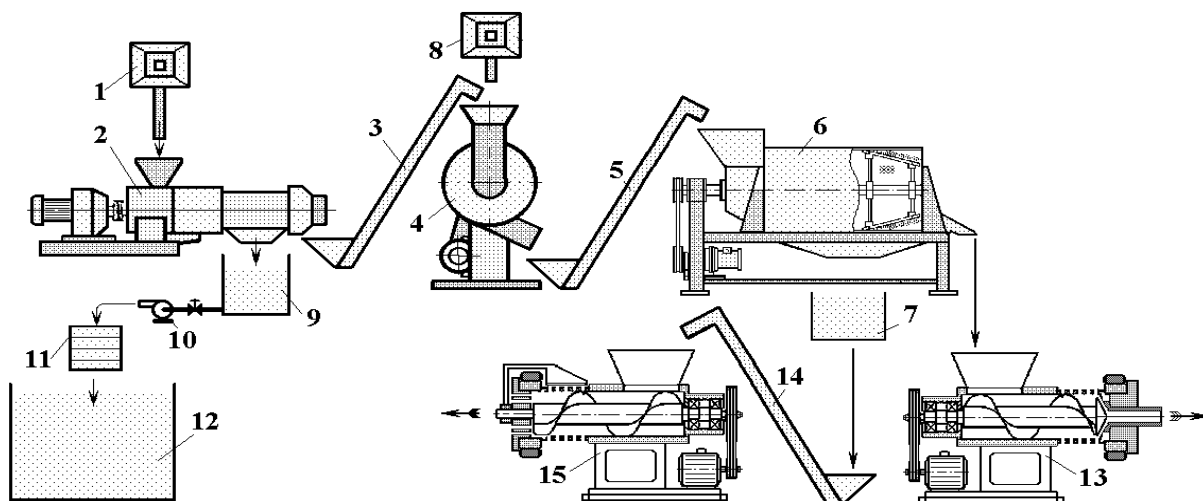


Рисунок 5.2 – Пропонована конструктивно-технологічна схема лінії одержання кормових пелет і паливних брикетів із макухи олійного насіння: 1, 3, 5, 8, 14 – шнековий транспортер; 2 – прес-екструдер; 4 – молоткова дробарка; 6 – щітковий роторний просіювач; 7 – накопичувач білкової фракції; 9 – проміжна ємність для олії; 10 – насос; 11 – фільтр; 12 – накопичувальна ємність для олії; 13 – прес-брикетувальник; 15 – пелетератор

Технічні характеристики обладнання для запропонованої конструктивно-технологічної схеми лінії одержання кормових пелет і паливних брикетів із макухи олійного насіння представлені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Технічні характеристики обладнання для пропонованої конструктивно-технологічної схеми лінії одержання кормових пелет і паливних брикетів із макухи олійного насіння

Показник	Транспортер для преса	Прес-екструдер	Лінія фільтрації	Транспортер для дробарки	Дробарка
Марка	ШТ-3	ММШ-130	ЛФ-2	ШТ-3	МД-210
Продуктивність, кг/год.	3000	130	70	3000	210
Потужність, кВт	2,2	7,5	2,2	2,2	2,2
Вихід олії	0	0,36	0	0	0
Ціна, грн	5250	26900	12900	5250	9400
Показник	Транспортер для просіювача	Щітковий роторний просіювач	Прес-брикетувальник	Пелетератор	Всього
Марка	ШТ-3	Власна розробка	Власна розробка	Власна розробка	
Продуктивність, кг/год.	3000	500	300	100	
Потужність, кВт	2,2	2,2	7,5	7,5	
Вихід олії	0	0	0	0	
Ціна, грн	5250	17700	23400	25400	131450,00

Вихідні параметри для розрахунку економічної ефективності представлені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Вихідні параметри для розрахунку економічної ефективності

Показник	Значення
Маса насіння соняшнику, кг	50000
Маса отриманої олії, кг	18000
Маса отриманої макухи, кг	32000
Маса білкової фракції (пелет), кг	8000
Маса лушпинної фракції (брикетів), кг	24000
Вартість 1 кг насіння соняшнику, грн/кг	8
Вартість 1 кг олії, грн/кг	25
Вартість 1 кг кормових пелет, грн/кг	11,3
Вартість 1 кг брикетів, грн/кг	2
Вартість 1 кг макухи, грн/кг	2,5
Кількість робочих годин за 1 день, год.	8
Кількість робочих днів	250
Тарифна ставка робітника, грн/год.	25
Вартість 1 кВт електроенергії, грн	1,81

Розрахунки виконані згідно з методом економічного оцінювання техніки на етапі випробування, яка є галузевим стандартом України ДСТУ 4397: 2005 [81], і загальноприйнятою методикою [82, 83, 84, 85]. На основі отриманих розрахунків визначені показники експлуатаційних затрат для кожного з видів обладнання для базового (таблиця 5.4) і проектного (таблиця 5.5) варіантів.

Таблиця 5.4 – Експлуатаційні затрати для кожного з видів обладнання для базового варіанта

Показник	Транспор-тер для преса	Прес-екструдер	Лінія фільт-рації	Всього
Марка	ШТ-3	ММШ-130	ЛФ-2	
Час роботи установки, год.	16,67	384,62	257,14	658,42
Кількість робітників, люд.	0	1	0	1
Затрати праці, люд.·год.	0,00	384,62	0,00	384,62
Прямі затрати праці, грн	0,00	9615,38	0,00	9615,38
Питомі затрати праці, грн/кг	0,00	0,19	0,00	0,19
Затрати електроенергії, кВт·год.	36,67	2884,62	565,71	3487,00
Прямі затрати електроенергії, грн	66,37	5221,15	1023,94	6311,46
Питомі затрати електроенергії, грн/кг	0,00	0,10	0,02	0,13
Затрати на амортизацію обладнання, грн	6,13	724,23	232,20	962,56
Питомі затрати на амортизацію обладнання, грн/кг	0,00	0,01	0,00	0,02
Затрати на ремонт і технічне обслуговування, грн	6,56	775,96	248,79	1031,31
Питомі затрати на ремонт і технічне обслуговування, грн/кг	0,00	0,02	0,00	0,02

Таблиця 5.5 – Експлуатаційні затрати для кожного з видів обладнання для проектного варіанта

Показник	Транспортер для преса	Прес-екструдер	Лінія фільтрації	Транспортер для дробарки	Молоткова дробарка
Марка	ШТ-3	ММШ-130	ЛФ-2	ШТ-3	МД-210
Час роботи установки, год.	16,67	384,62	257,14	10,67	152,38
Кількість робітників, люд.	0	1	0	0	1
Затрати праці, люд.·год.	0,00	384,62	0,00	0,00	152,38
Прямі затрати праці, грн	0,00	9615,38	0,00	0,00	3809,52
Питомі затрати праці, грн/кг	0,00	0,19	0,00	0,00	0,08
Затрати електроенергії, кВт·год.	36,67	2884,62	565,71	23,47	335,24
Прямі затрати електроенергії, грн	66,37	5221,15	1023,94	42,47	606,78
Питомі затрати електроенергії, грн/кг	0,00	0,10	0,02	0,00	0,01
Затрати на амортизацію обладнання, грн	6,13	724,23	232,20	3,92	100,27
Питомі затрати на амортизацію обладнання, грн/кг	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Затрати на ремонт і технічне обслуговування, грн	6,56	775,96	248,79	4,20	107,43
Питомі затрати на ремонт і технічне обслуговування, грн/кг	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Марка	ШТ-3	Власна розробка	Власна розробка	Власна розробка	
Час роботи установки, год.	10,67	64,00	80,00	80,00	1056,14
Кількість робітників, люд.	0	0	0	0	2

Показник	Транспортер для преса	Прес-екструдер	Лінія фільтрації	Транспортер для дробарки	Молоткова дробарка
Затрати праці, люд.·год.	0,00	0,00	0,00	0,00	537,00
Прямі затрати праці, грн	0,00	0,00	0,00	0,00	13424,91
Питомі затрати праці, грн/кг	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27
Затрати електроенергії, кВт·год.	23,47	140,80	600,00	600,00	5209,97
Прямі затрати електроенергії, грн	42,47	254,85	1086,00	1086,00	9430,04
Питомі затрати електроенергії, грн/кг	0,00	0,01	0,02	0,02	0,19
Затрати на амортизацію обладнання, грн	3,92	79,30	131,04	142,24	1423,24
Питомі затрати на амортизацію обладнання, грн/кг	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
Затрати на ремонт і технічне обслуговування, грн	4,20	84,96	140,40	152,40	1524,90
Питомі затрати на ремонт і технічне обслуговування, грн/кг	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03

Провівши порівняння базового і проектного варіантів за економічними показниками (таблиця 5.6) встановлено, що застосування запропонованої технології виділення протеїнового концентрату з макухи насіння олійних культур у порівнянні з існуючою дає значний економічний ефект.

Таблиця 5.6 – Порівняння базового і проектного варіантів за економічними показниками

Показник	Проектний	Базовий
Сукупні експлуатаційні затрати, грн	25803,09	17920,71
Питомі експлуатаційні затрати, грн/кг	0,52	0,36
Вартість насіння соняшнику, грн	400000,00	400000,00
Вартість отриманої олії, грн	450000,00	450000,00
Вартість кормових пелет, грн	90400,00	0,00
Вартість брикетів, грн	48000,00	0,00

Показник	Проектний	Базовий
Вартість макухи, грн	0,00	80000,00
Питома вартість отриманої олії, грн	9,00	9,00
Питома вартість кормових пелет, грн	1,81	0,00
Питома вартість брикетів, грн	0,96	0,00
Питома вартість макухи, грн	0,00	1,60
Питомі затрати на логістику, грн/кг	0,80	0,80
Затрати на логістику, грн	40000,00	40000,00
Оренда приміщення, грн/год.	12,00	12,00
Питомі затрати на оренду приміщення, грн/кг	0,17	0,17
Затрати на оренду приміщення, грн	8571,43	8571,43
Вартість отриманої продукції, грн	588400,00	530000,00
Питома вартість отриманої продукції, грн/кг	11,77	10,60
Сукупні затрати, грн	474374,52	466492,14
Сукупні питомі затрати, грн	9,49	9,33
Прибуток, грн	114025,48	63507,86
Питомий прибуток, грн	2,28	1,27
Економічний ефект, грн	50517,63	-
Питомий економічний ефект, грн/кг	1,01	-
Різниця вартості обладнання, грн	86400,00	-
Строк окупності, рік	1,71	-

ВИСНОВКИ

1. На основі проведених патентно-інформаційних досліджень сучасних технологічних ліній переробки макухи створено технологію комплексної безвідхідної переробки макухи з насіння олійних культур з одержанням високоякісних повноцінних протеїнових добавок у вигляді пелет та твердого біопалива.

2. Розроблено конструкцію щіткового роторного просіювача подрібненої макухи. Створено методику інженерного розрахунку технологічних режимів та конструктивних елементів роторного просіювача, що дало змогу визначити його параметри: довжина барабана $L_c = 75$ см, радіус $R = 15$ см, кут закручування щітки $\alpha = 9^\circ$, довжина щітки $L_{щ.} = 76$ см, їх кількість на роторі становить $z = 4$; швидкість переміщення щітки $v_p = 1,77$ м/с.; максимальне завантаження матеріалу $q_m = 0,214$ кг/с; потужність двигуна $N = 1,1$ кВт.

3. Розроблено конструкцію і експериментально обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри установки для виготовлення паливних брикетів. Встановлено, що найбільш ефективним є установка на брикетувальник фільтри діаметром 50 мм. При цьому продуктивність брикетування становить 264 кг/год, затрати потужності на брикетування – 7,2 кВт

4. Розроблено конструкцію гвинтової установки для виготовлення кормових пелет з білкової фракції макухи насіння олійних культур у складі технологічної лінії. Оптимальними конструктивно-технологічними параметрами установки для виготовлення пелет є швидкість подачі матеріалу $q = 35,7$ кг/год., частота обертів робочого органа $n = 50,5$ об/хв., вологість білкової фракції $W = 28,9$ %. При цьому потужність установки $P = 973$ Вт, а її продуктивність $Q = 48$ кг/год.

5. В результаті техніко-економічної оцінки ефективності розробленої технології комплексної безвідхідної переробки макухи з насіння олійних культур з одержанням високоякісних повноцінних протеїнових добавок у вигляді пелет та твердого біопалива встановлено, що питомий економічний ефект складає 1,01 грн/кг, а строк окупності обладнання – 1,71 року.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гриценко В. Т. Перспективи отримання білкових добавок і біопалива з насіння олійних культур / В. Т. Гриценко, Р. О. Бакарджиев // Механізація та електрифікація сільського господарства. Міжвідомчий тематичний науковий збірник Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства». – Глеваха, 2013. – Т. 2. – Вип. 98. – С. 152–157.
2. Технология производства растительных масел ; под ред. проф. В. М. Копейковского и доц. С. И. Данильчук. – М. : Лёгкая и пищевая промышленность, 1982. – 415 с.
3. Біопалива (технології, машини і обладнання) / В. О. Дубровін, М. О. Корчемний, І. П. Масло [та ін.]. – К. : ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. – 256 с.
4. Дубровін В. О. Напрямки розвитку вітчизняної техніки для твердопаливних виробництв / В. О. Дубровін, О. І. Єременко // Механізація та електрифікація сільського господарства. Міжвідомчий тематичний науковий збірник Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства». – Глеваха, 2013. – Том 2. – Вип. 97. – С. 13–24.
5. Гриценко В. Т. Способы получения белкового порошка из семян подсолнечника / В. Т. Гриценко // Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур УААН. – Запоріжжя, 2003. – Вип. 8. – С. 279–283.
6. Гриценко В.Т. Розробка технології переробки насіння олійних культур та їх макух / В.Т. Гриценко, Ю.О. Дурін // Современные вопросы создания и использования сортов и гибридов масличных культур : сб. тезисов Междунар. конф. ИМК УААН. – Запорожье, 2002. – С. 25.
7. Пат. 87579, Україна, МПК C10L 5/40. Спосіб одержання паливних брикетів з олійної сировини / Гриценко В. Т., Чехов А. В.; заявник і патентовласник Запорізький Інститут олійних культур УААН. – № 200712549 ; заявл. 12.11.2007 ; опубл. 27.07.2009, Бюл. № 14, 2009.
8. Пат. 74880, Україна, МКИ А 23 j 1/14. Спосіб одержання білкового борошна із макухи олійного насіння / Гриценко В. Т., Чехов А. В. – № 2003109430; заявл. 20.10.2003; опубл. 15.11.2005, Бюл. № 11, 2005.
9. Гриценко В. Т. Розробка конструктивно-технологічної схеми лінії переробки макухи з насіння олійних культур / В. Т. Гриценко // Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур. – Запоріжжя, 2011. – Вип. 16. – С. 153–156.
10. Гриценко В. Т. Технологічний процес виділення білкової фракції з макухи насіння олійних культур / В. Т. Гриценко // Каталог інноваційних технологій за результатами Всеукраїнського конкурсу інноваційних технологій. – К., 2006. – С. 139–143.
11. Жмых подсолнечный. Технические условия: ГОСТ 80-96. – М.: Госкомитет по стандартам, 1996. – 4 с.

12. Зайцева Н. И. Использование шротов масличных культур в кормлении животных / Н. И. Зайцева, Ю. Т. Коваленко, А. П. Тихомирова. – Л. : Колос, 1968. – 77 с.
13. Технология переработки зерна ; под ред. проф. Г. А. Егорова. – М. : Колос, 1977. – 35 с.
14. Рогач Ю. П. Пошуки раціональної конструктивно-технологічної схеми просіювача / Ю. П. Рогач, В. Т. Гриценко, С. В. Коломієць // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2004. – Вип. 24. – С. 129–132.
15. Гриценко В. Т. Технології і лінії переробки олійного насіння з використанням екструдерного методу віджимання олії / В. Т. Гриценко, Ю. О. Дурін // Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур УААН. – Запоріжжя, 2002. – Вип. 7. – С. 181–183.
16. Гриценко В. Т. Способы получения белкового порошка из семян подсолнечника / В. Т. Гриценко // Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур УААН. – Запоріжжя, 2003. – Вип. 8. – С. 279–283.
17. Гриценко В. Т. Розробка технології переробки насіння олійних культур та їх макух / В. Т. Гриценко, Ю. О. Дурін // Современные вопросы создания и использования сортов и гибридов масличных культур: сб. тезисов Междунар. конф. – Запорожье, 2002. – С. 25.
18. Чехов А. В. Технологія одержання білкових порошків з макух олійного насіння / А. В. Чехов, В. Т. Гриценко, Ю. О. Дурін // Перспективные направления развития пищевой промышленности: сборник статей. – Одесса. : ЦНТИ, 2003. – С. 22–24.
19. Гриценко В. Т. Аналіз досліджень процесу сепарації сипкого матеріалу / В. Т. Гриценко // Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур. – Запоріжжя, 2011. – Вип. 16. – С. 136–141.
20. Пат. № 66901А Україна, МКИ В07В1/08. Установка для просіювання матеріалів / Гриценко В. Т., Захарченко С. В. – № 2001085637; заявл. 08.08.01; опубл. 15.06.04, Бюл. № 6, 2004.
21. Пат. 89851 Україна, МКИ В07В 1/08. Роторний щітковий просіювач / Гриценко В. Т., Чехов А. В. – № 200803973; заявл. 31.03.08; опубл. 10.03.10, Бюл. № 5, 2010.
22. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – М. : Мир, 1989. – 508 с.
23. Гриценко В. Т. Технологічний процес виділення білкової фракції з макухи насіння олійних культур / В. Т. Гриценко // Каталог інноваційних технологій за результатами Всеукраїнського конкурсу інноваційних технологій. – К., 2006. – С. 139–143.
24. Бабаков И. М. Теория колебаний / И. М. Бабаков. – М. : Наука, 1965. – 560 с.

25. Вибрации в технике: в 6 томах; под ред. чл.-кор. АН СССР В. В. Болотина. – М. : Машиностроение, 1978. – Т. 1. – 352 с.
26. Вибрации в технике: в 6 томах; под ред. д-ра физ.-мат. наук И. И. Блехмана. – Т.2. – 351 с.
27. Рогач Ю. П. Експериментальні дослідження роторного просіювача / Ю. П. Рогач, В. Т. Гриценко // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь. – 2004. – Вип. № 22. – С. 116–123.
28. Гриценко В.Т. Результати попередніх випробувань щіткового роторного просіювача / В. Т. Гриценко, О. М. Пацула, В. Л. Кутіщев, Є. С. Міхно // Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. – Запоріжжя, 2013. – Вип. 19. – С. 117-122. – ISSN 2078-7316.
29. Алієв Е. Б. Результати експериментальних досліджень щіткового роторного просіювача / Е.Б. Алієв, О. О. Колбасін, І. А. Ручий // Збірник тез Міжнародної наукової інтернет-конференції «Олійні культури. тенденції та перспективи» (1 листопада 2016 р.). – Запоріжжя: ІОК НААН, 2016. – С. 132-133.
30. Гриценко В. Т. Технології і лінії переробки олійного насіння з використанням екструдерного методу віджимання олії / В. Т. Гриценко, Ю. О. Дурін // Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур УААН. – Запоріжжя, 2002. – Вип.7. – С. 181–183.
31. Бакарджієв Р. О. Параметри кулісного коромисло-повзунного преса-брикетувальника / Р. О. Бакарджієв, В. Т. Гриценко // Збірник наук. праць Таврійського державного агро-технологічного університету. – Т.3, вип.13. – Мелітополь : ТДАТУ, 2013. – С. 23–31.
32. Алієв Е. Б. Результати експериментальних досліджень макетної установки для виготовлення пелет з білкової фракції макух насіння олійних культур / Е. Б. Алієв, О. М. Пацула // Технічні системи і технології тваринництва : Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Х., 2015. – Вип. 157. – С. 222–226.
33. Гриценко В. Т. Результати попередніх випробувань установки для виготовлення паливних брикетів / В. Т. Гриценко, О. М. Пацула, В. Л. Кутіщев, Є. С. Міхно // Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. – Запоріжжя, 2014. – Вип. 20. – С. 219–223. – ISSN 2078-7316.
34. Гриценко В. Т. Експериментальні дослідження брикетувальника лушпинної фракції з макухи насіння олійних культур / В. Т. Гриценко, О. М. Пацула, В. Л. Кутіщев, Є. С. Міхно // Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур. – Запоріжжя, 2013. – Вип. 19. – С. 110–116.
35. Алієв Е.Б. Результати експериментальних досліджень установки для виготовлення паливних брикетів з лушпинної фракції макух насіння олійних культур / Е.Б. Алієв, О.М. Пацула, О.С. Гаврильченко // Технічні системи і технології

тваринництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка – Харків, 2016. – Вип. 170. – С. 3-7.

36. Компания Политруб [Электронный ресурс] / Сетевой ресурс www.politraude.com.ua, Компания Политруб. – Режим постоянного доступа: <http://www.politraude.com.ua>. – Дата последнего просмотра 20.05.2014.

37. Компания АгроГрупп [Электронный ресурс] / Сетевой ресурс www.borex.com.ua, Компания АгроГрупп. – Режим постоянного доступа: <http://www.borex.com.ua>. – Дата последнего просмотра 20.05.2014.

38. ООО «Артмаш» [Электронный ресурс] / Сетевой ресурс www.tokrab.com.ua, ООО «Артмаш». – Режим постоянного доступа: <http://www.tokrab.com.ua>. – Дата последнего просмотра 20.05.2014.

39. ЧП «БизнесСтрой» [Электронный ресурс] / Сетевой ресурс www.biznesstroy.com.ua, ЧП «БизнесСтрой». – Режим постоянного доступа: <http://www.biznesstroy.com.ua>. – Дата последнего просмотра 20.05.2014.

40. Компания ФОРА-ЗАХІД [Электронный ресурс] / Сетевой ресурс www.fora-zakhid.com.ua, Компания ФОРА-ЗАХІД – Режим постоянного доступа: <http://www.fora-zakhid.com.ua>. – Дата последнего просмотра 20.05.2014.

41. ООО «КЛЗ» [Электронный ресурс] / Сетевой ресурс 138392.ua.all.biz, ООО «КЛЗ» – Режим постоянного доступа: <http://138392.ua.all.biz>. – Дата последнего просмотра 20.05.2014.

42. ЗАО "УкрСтройДом" [Электронный ресурс] / Сетевой ресурс www.ukrstroydom.com.ua/contact.html, ЗАО "УкрСтройДом" – Режим постоянного доступа: <http://www.ukrstroydom.com.ua/contact.html>. – Дата последнего просмотра 20.05.2014.

43. Компания «Агровектор» [Электронный ресурс] / Сетевой ресурс [agrovektor.com/index.php](http://www.agrovektor.com/index.php), Компания «Агровектор» – Режим постоянного доступа: <http://www.agrovektor.com/index.php>. – Дата последнего просмотра 20.05.2014.

44. НПФ «Сота Сталь» [Электронный ресурс] / Сетевой ресурс 167125.ua.all.biz, НПФ «Сота Сталь» – Режим постоянного доступа: <http://167125.ua.all.biz>. – Дата последнего просмотра 20.05.2014.

45. ПАО «Электромотор» [Электронный ресурс] / Сетевой ресурс www.elmotor.com.ua/contak, ПАО «Электромотор» – Режим постоянного доступа: <http://www.elmotor.com.ua/contak>. – Дата последнего просмотра 20.05.2014.

46. Компания «Все блоки» [Электронный ресурс] / Сетевой ресурс www.vsebloki.com.ua, Компания «Все блоки» – Режим постоянного доступа: <http://www.vsebloki.com.ua>. – Дата последнего просмотра 20.05.2014.

47. ООО «Грант Агро» [Электронный ресурс] / Сетевой ресурс www.garantagro.com/content/36, ООО «Грант Агро» – Режим постоянного доступа: <http://www.garantagro.com/content/36>. – Дата последнего просмотра 20.05.2014.

48. ЧП «Лаври» [Электронный ресурс] / Сетевой ресурс lavrin.all.biz, ООО «Грант Агро – Режим постоянного доступа: [http:// www. lavrin.all.biz](http://www.lavrin.all.biz). – Дата последнего просмотра 20.05.2014.
49. Красовский Г. И. Планирование эксперимента: учеб. пособие / Г. И. Красовский, Г. Ф. Филаретов. – Мн. : Изд-во БГУ, 1982. – 302 с.
50. Алієв Е.Б. Визначення конструктивних параметрів формуючих кулачків установки для виготовлення пелет / Е.Б. Алієв, Ю.М. Лабатюк, О.М. Пацула // Вісник Степу. Науковий збірник. «Стан та перспективи розвитку агропромислового виробництва України». – Вип. 13. – Кіровоград, КОД, 2016. – С. 125-128. – ISBN 978-617-653-010-7.
51. Полумисков С. А. Гидродинамическая модель течения жидкости в пористом материале при его обработке валковыми устройствами текстильного отделочного оборудования / С. А. Полумисков, В. И. Смирнов // Изв. Вузов. Технология текст. пром-сти. – 1996. – №1. – С. 82-85.
52. Лейбензон Л. С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде / Л. С. Лейбензон. – М. : ОГИЗ, 1947. – 246 с.
53. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон – М. : Мир, 1989. – 508 с.
54. Александров В. М. Введение в механику контактных взаимодействий / В. М. Александров, М. И. Чебаков. – Ростов-на-Дону : ООО «ЦВВР», 2007. – 114 с.
55. Андоров И. К. Математика для техникумов / И. К. Андоров. – М. : Высшая школа, 1965. – 822 с.
56. Аленицин А. Г. Краткий физико-математический справочник / А. Г. Аленицин. – М. : Наука, 1990. – 364 с.
57. Выгодский М. Я. Справочник по элементарной математике / М. Я. Выгодский. – М. : Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1956. – 412 с.
58. Шипачев В. С. Высшая математика / В. С. Шипачев. – М. : Высшая школа, 2001. – 479 с.
59. Кавецкий Г. Д. Процессы и аппараты пищевых производств / Г. Д. Кавецкий. – М. : Агропромиздат, 1991. – 432 с.
60. Кавецкий Г. Д. Процессы и аппараты пищевых технологий / Г. Д. Кавецкий. – М. : Колос, 2000. – 552 с.
61. Калошин Ю. А. Практикум по расчетам оборудования хлебопекарного и макаронного производств / Ю. А. Калошин. – М. : Агропромиздат, 1991. – 158 с.
62. Мачихин Ю. А. Современное оборудование в обработке пищевых материалов давлением / Ю. А. Мачихин, С. Н. Панфилов, Г. П. Зурабишвили. – М. : ВЗПИ, 1991. – 308 с.
63. Медведев Г. М. Технология макаронного производства / Г. М. Медведев. – М. : Колос, 2000. – 270 с.

64. Николаев А. П. Процессы и аппараты пищевых производств. Примеры и задачи / А. П. Николаев. – К. : Высшая школа, 1992. – 232 с.
65. Остапчук Н. В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств / Н. В. Остапчук. – К. : Высшая школа, 1991. – 366 с.
66. Чернов М. Е. Оборудование предприятий макаронной промышленности / М. Е. Чернов. – М. : Агропромиздат, 1988. – 262 с.
67. Мельников В. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / В. В. Мельников, В. Р. Алёшкин, П. М. Рощин. – Л. : Колос, 1972. – 194 с.
68. Калоша В. К. Математическая обработка результатов эксперимента / В. К. Калоша, С. И. Лобко, Т. С. Чикова. – Мн. : Высшая школа, 1982. – 103 с.
69. ДСТУ 3973-2000. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання науково-дослідних робіт. – К. : Держстандарт України, 2001. – 20 с.
70. ДСТУ 3008-95. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. – К. : Держстандарт України, 1995. – 38 с.
71. Алієв Е. Б. Методика експериментальних досліджень установки для виготовлення пелет з білкової фракції макухи насіння олійних культур / Е. Б. Алієв, О. М. Пацула, В. Л. Кутіщев // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природовикористання України. Серія Техніка та енергетика АПК. – К., 2015. – Вип. 212, ч.1. – С. 63–69.
72. ГОСТ 27548-97. Корма растительные. Методы определения содержания влаги. М. : ИПК Издательство стандартов, 1998 : Стандартиформ, 2005.
73. ГОСТ 13496.15-97. Корма, комбикорма, комбикормовое сырьё. Методы определения содержания сырого жира. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1998 ; Стандартиформ, 2011. – 12 с.
74. ДСТУ 7169: 2010. Корми, комбікорми, комбікормова сировина. Методи визначення вмісту азоту і сирого протеїну, 2011.
75. Методики исследований в животноводстве / Ф. Ф. Эйсер (отв. ред.), А. И. Виноградский, В. К. Гавриш [и др.]. – К. : Урожай, 1965. – С. 102–132.
76. Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения: ГОСТ 8.207-76. – Действителен от 1977-01-01. – М. : Стандартиформ, 1982. – 8 с.
77. Кривцов А. М. Деформация и разрушение твердых тел с микроструктурой / А. М. Кривцов. – М. : Физматлит, 2007. – 304 с.
78. Алієв Е.Б. Результати досліджень конструктивно-технологічних параметрів установки для виготовлення пелет/ Е.Б. Алієв, О.М. Пацула // Збірник тез Міжнародної наукової інтернет-конференції «Перспективи та стратегія адаптивного і

ресурсозберігаючого вирощування олійних культур в умовах зміни клімату» (30 жовтня 2015 р.). – Запоріжжя: ІОК НААН, 2015. – С. 146-147.

79. Алієв Е.Б. Результати експериментальних досліджень установки для виготовлення пелет з білкової фракції макухи олійних культур / Е.Б. Алієв, О.М. Пацула // Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН – Запоріжжя, 2015. – Випуск 22. – С. 150-158. – ISSN 2078-7316.

80. Алієв Е. Б. Техніко-економічна оцінка ефективності технології комплексної безвідхідної переробки макухи з насіння олійних культур / Е.Б. Алієв, О. М. Пацула // Збірник тез Міжнародної наукової інтернет-конференції «Олійні культури. тенденції та перспективи» (1 листопада 2016 р.). – Запоріжжя: ІОК НААН, 2016. – С. 136-137.

81. ДСТУ 4397: 2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. – К. : Держспоживстандарт України, 2005. – 15 с.

82. Косачев Г. Г. Экономическая оценка сельскохозяйственной техники / Г. Г. Косачев. – М. : Колос, 1978. – 240 с.

83. Типовая методика комплексной энергетической оценки технологии кормопроизводства. – М. 29.040 85, Дослідницьке, 1985. – 35 с.

84. Шпилько А. В. Методы определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники / А. В. Шпилько. – М. : Минсельхозпрод РФ. Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, 1998.

85. ГОСТ 23729-88. Методы экономической оценки специализированных машин. Введ. 01.01.1988. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1988. – 6 с.

ІНСТИТУТ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

АЛІЄВ Ельчин Бахтияр огли
ПАЦУЛА Олександр Миколайович
ГРИЦЕНКО Віктор Трохимович

**ТЕХНОЛОГІЯ КОМПЛЕКСНОЇ БЕЗВІДХІДНОЇ ПЕРЕРОБКИ
МАКУХИ З НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР З ОДЕРЖАННЯМ
ВИСОКОЯКІСНИХ ПОВНОЦІННИХ ПРОТЕЇНОВИХ ДОБАВОК
У ВИГЛЯДІ ПЕЛЕТ ТА ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА**

*Науково-методичні рекомендації
Електронний аналог друкованого видання (електронна книга)*

Редагування і коректування **І. М. Михайлова**
Комп'ютерна верстка і художнє оформлення **Е. Б. Алієв**
Текст публікується в авторській редакції.

Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України
вул. Інститутська, 1, селище Сонячне,
Запорізький район, Запорізька область, Україна, 69093
тел.: (061) 223 99 99, (061) 223 99 59
тел./факс: (061) 223 99 50, (061) 223 99 75
e-mail: iocnaas@gmail.com, imk.zp.ua



Видавець:
ТОВ «Видавництво „СТАТУС“»
Адреса редакції: Україна, 69035, м. Запоріжжя,
Соборний просп., д. 158, оф. 249.
моб. +38 (068) 448-11-28, mail@status.zp.ua

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру
видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ДК № 5316 від 03.04.2017 р.

Здано в набір 22•VI•2017. Підписано до друку 03•VII•2017. Формат PDF.
Гарнітура Times New Roman. Об'єм 4,42 Mb. Обл.-вид. арк. 2,84.
Тираж 100 прим. Замовлення № 8556/06.2017-А.

ISBN 978-617-7353-59-0