

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
« магістр »
бакалавр, магістр

на тему: «Обґрунтування технологічного процесу та конструктивних
параметрів шнекового пресу»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
назва ОПП
спеціальності 133 Галузеве
машинобудування
код та найменування спеціальності
ступеня вищої освіти «магістр» групи 1
Гнатенко Олександр Сергійович
Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти
Керівник: Попов С.В.
Прізвище та ініціали керівника
Рецензент: Горбенко О.В.
Прізвище та ініціали рецензента

Полтава – 2022 року

ВСТУП

Розвиток тваринництва, підвищення його продуктивності та високі результати від реалізації продукції тваринництва тісно пов'язані з поліпшенням кормовиробництва.

Складна соціально-економічна ситуація в країні посилила негативні процеси в розвитку кормовиробництва, призвела до різкого спаду виробництва кормів. Однією з основних причин цього є висока вартість енергоресурсів і відсутність сучасних енергозберігаючих технологій. Переведення тваринництва на промислову основу потребує прогресивної технології заготівлі кормів [1].

Екструдери дозволяють поєднати ряд операцій в одній машині, виробляти їх швидко і безперервно (складати композиції з декількох компонентів, перемішувати, стискати, нагрівати, варити, стерилізувати, формувати практично одночасно).

Шнекові прес-екструдери, що використовуються в даний час для виробництва екструдованих кормів, мають великі енерговитрати на виробництво одиниці продукції (100-300 кВт-год/т), що стримує їх впровадження у вітчизняне кормовиробництво [1, 2].

Тому розробка ефективної енергозберігаючої технології та технічних засобів для виробництва екструдованих продуктів є перспективним напрямком.

У зв'язку з цим метою цієї роботи є: зниження енерговитрат технологічного процесу екструдювання зернового матеріалу за рахунок удосконалення конструктивних параметрів шнека прес-екструдера

Об'єкт розробки – шнековий прес-екструдер; технологічний процес екструдювання зернового матеріалу на шнековому пресі і визначення параметрів обладнання.

Предмет розробки – конструктивні параметри шнекового пресу.

Мета кваліфікаційної роботи магістра – удосконалення конструкції і визначення основних параметрів енергозберігаючого шнекового пресу.

Практична значущість:

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- розроблення даної конструкції дозволить стиснення зернового матеріалу в шнеку циліндричної форми витки якого спільно з зеєром утворюють канал, що має форму сегментної частини циліндра зі змінною висотою сегмента по довжині каналу.

- встановлено оптимальні та раціональні значення для визначення геометричних параметрів гвинтового каналу шнека для заданої продуктивності та ступеня стиснення.

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 СТАН ПИТАННЯ І ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Технологічна лінія виробництва екструдованих продуктів

Прес-екструдери, які використовуються в сільському господарстві, знайшли своє використання в технологічних лініях при виробництвах масла і макухи з олійних культур, для виготовлення комбікормів, карбамідних концентратів (рис.1.1-1.3).



Рисунок 1.1 – Технологічна схема виробництва комбікормів

Технологічний процес виробництва комбікормів з екстрагованим зерном здійснюється за традиційною схемою (рис.1), в якому основною технологічною операцією являється екструдування [3].

В останні роки широке поширення отримав прогресивний метод виготовлення високопротеїнового концентрату методом екструзії суміші крохмаломісткого продукту, наприклад зерна злакових, і карбаміда на прес-екструдерах.

Технологічний процес отримання амідоконцентрованих добавок представлено на рис.1.2.



Рисунок 1.2 – Технологічна схема виробництва карбомідного концентрата

Екструзія масляного насіння дозволяє отримувати високоякісні рослинні олії з тривалим терміном зберігання. Отримана при цьому макуха не потребує додаткового теплового обробітку для вигодовування тварин та птахів [3, 4].

Проаналізувавши енергетичні показники відомих технологічних ліній , можна зробити висновок, що екструдкування являє собою енергомісткий процес в технологічних лініях. Процес екструдкування в даних технологічних лініях являє собою 60-70% від загальних енергетичних витрат виробництва екструдованих продуктів [4].

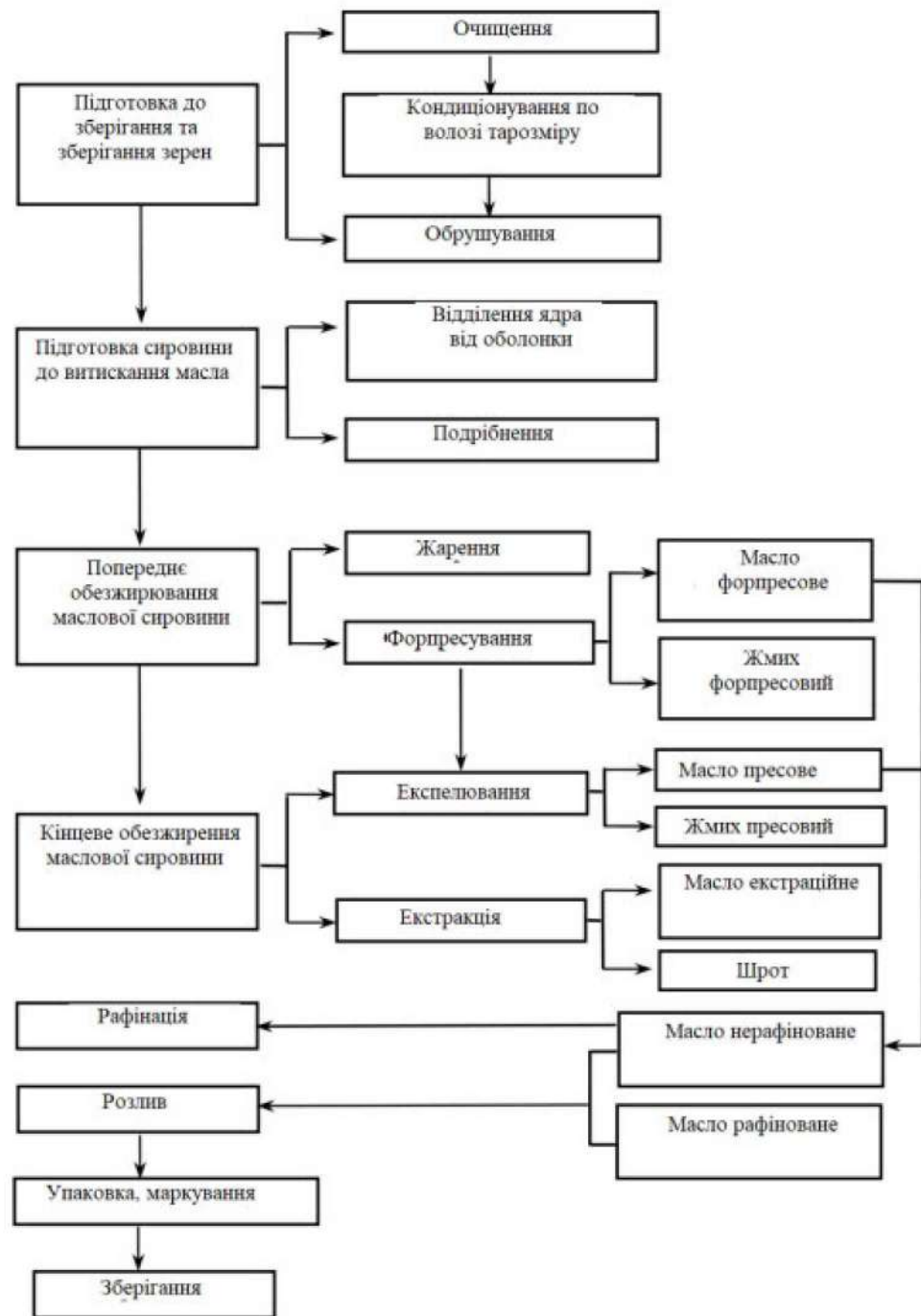


Рисунок 1.3 – Технологічна схема виробництва рослинного масла

1.2 Технологічних процес екструдуювання матеріалів рослинного походження

Обробка тиском матеріалів рослинного походження являє собою основу багатьох технологій виробництва кормів і продуктів сільського господарства. На даний час найбільш дослідженим в теоретичному та експериментальному плані

являється процес екструзії полімерів, який відображено в ряді зарубіжних і вітчизняних робіт [4, 5].

Для виготовлення кормів шляхом екструдування використовують фуражне зерно, бобові, залишки зернопереробного виробництва (лущиння гречки, висівки, насіння трави). Макуха масляних культур (соняшник, ріпак).

Для екструдування цей матеріал можна вважати сипучим, пружньо-еластичним середовищем з незначними силами зв'язку між окремими елементами. Зерновий матеріал по структурі – капілярно-пористе тіло. Між клітинами і тканинами зерна існують мікрокапіляри, макрокапіляри та пори. Рідина в капілярах та порах утримується під тиском сил поверхневого натягу.

В процесі пресування відбувається віджим рідини частини продукту з твердої складової. Фізична суть даного процесу полягає в наступному.

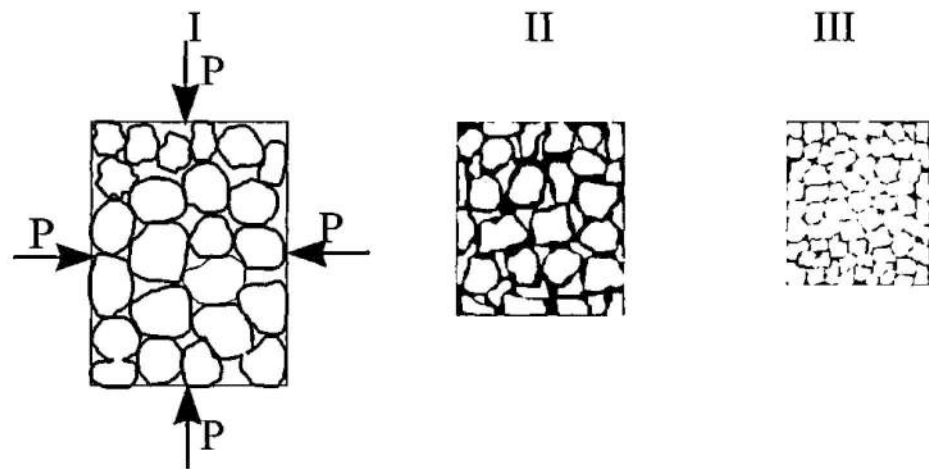
При віджиманні відбувається зближення зовнішніх і внутрішніх поверхонь частин матеріалу під дією тиску. Внаслідок зближення цих поверхонь відбувається два процеси, які можна піднести до рідини і до твердої частини: 1) віджимання рідини з проміжків між зовнішніми та внутрішніми поверхнями и 2) з'єднання внутрішніх і зовнішніх поверхонь – частин матеріалу, творення при глибокому віджиманні більш-менш міцного брикету – макухи.

Початковий етап – відокремлення рідини від твердої частини. При зближенні зовнішніх і внутрішніх поверхонь відбувається віджимання рідини з проміжків між поверхнями до тих пір, доки товщина шару рідини не зменшиться до дуже незначних величин. Витікання віджатої вологи підраховується гідродинамічним законом в'язкості рідини, мономолекулярні шари, які утримуються на поверхнях їх силовим молекулярним полем і нерухомі.

На другому етапі відбувається з'єднання окремих частин із утворенням брикету. Під дією тиску частини зближаються за рахунок наявних між ними порожнин (рис.1.4). Після безпосереднього зіткнення частинок, вони починають чинити одна на одну тиск, що постійно збільшується. Починається деформація окремих елементів та їх об'єднання в місцях розриву. Таким чином, у ході пресування настає період, коли матеріал перестає вести себе як сипуче тіло, і

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

починає проявляти властивості цілісного еластичного об'єкта. Тобто при пресування з'єднання частин призводить до утворення пористого тіла – брикету макухи.



I – початковий (вихідний) матеріал; II – початкова деформація частин, з'єднання частин у містах окремих контактів, зменшення об'єму проміжків між частинками, вивільнення повітря, віджим рідини; III – завершення процесу об'єднання частин, різке зменшення поперечних перерізів каналів.

Рисунок 1.4 – Спрощена схема процесу віджимання матеріалу

Для обробки матеріалів тиском використовуються гідравлічні і шнекові преси. Перевага надається шнековим пресам, так як вони повністю механізують процес пресування і дають можливість вести його безперервно.

В порівнянні з гідравлічними пресами, загальна технологічна схема пресування з використанням шнекового преса значно скорочується. Відсутня необхідність використання гідравлічних приладів (насос, акумулятори, розподілювач тиску і т.п.) [5, 6].

Процес пресування на шнекових пресах необхідно розглядати не лише як механічний процес пресування матеріалу, а як тривалий фізико-хімічний. Встановлено, що в процесі пресування продовжується денатурація білкової речовини і матеріал, що піддається пресуванню отримує новий стан.

Сильне руйнування будови частинок матеріалу, що піддається пресуванню пов'язано з самим характером роботи шнекового механізму (руйнування і

стирання рухомих частин при їх терті по робочим поверхням і один об одного) і діями високого тиску (пресування матеріалу).

Таким чином, в процесі екструзії під діями тиску і сил зрушення відбувається подрібнення сировини, розщеплення білкових структур, знищення мікроорганізмів та токсинів, часткова дезінфекція, що забезпечує більш повного засвоєння білка тваринами, підвищує травлення і енергетичну цінність продукції.

Спільним для всіх типів шнекових процесів є наявність одного або декількох шнеків, що обертаються у відповідному корпусі, що має завантажувальний і вихідний отвори.

В таких пресах відбуваються наступні процеси: рух перероблюваного матеріалу до видавлюючого кінця шнеку; нагрівання його до необхідної температури за допомогою зовнішніх нагрівальних елементів або за рахунок внутрішнього перетворення механічної енергії в теплову; пластикація чи плавлення; перемішування і гомогенізація і, нарешті, вичавлення через формувальний інструмент (рис.1.5.)

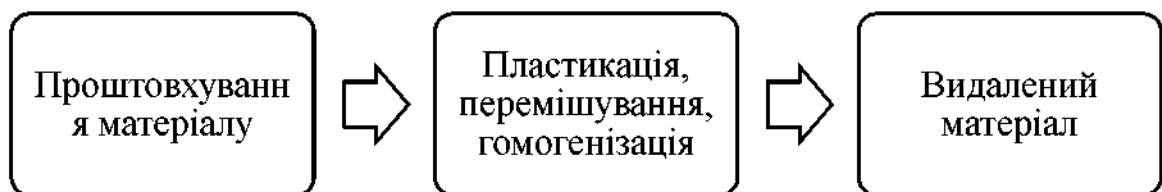


Рисунок 1.5 – Процеси, що відбуваються в шнековому пресі

Нагнітаючий матеріал опиняється ув'язненим між рухомими поверхнями (основною та боковими стінками шнекового каналу) і нерухомою внутрішньою поверхнею зеєра.

При обертанні шнекового валу рухома поверхня витків взаємодіє з частинами матеріалу, чинивши на них тиск, який і передається середнім частинкам, що не перебувають в безпосередньому контакті з витками.

Під час пресування на шнекових пресах відбувається значне тертя частинок по робочим поверхням, тертя частин одне з одним і внутрішнє тертя в частинках, пов'язане з їх пластиною деформацією, що приводить до більших витрат енергії при роботі шнекового преса.

Проаналізувавши вищесказане, можна зробити висновок, що технічний процес екструдуювання і його енергоємність в основному визначається конструкцією шнека.

1.3 Конструкція та аналіз прес-екструдерів

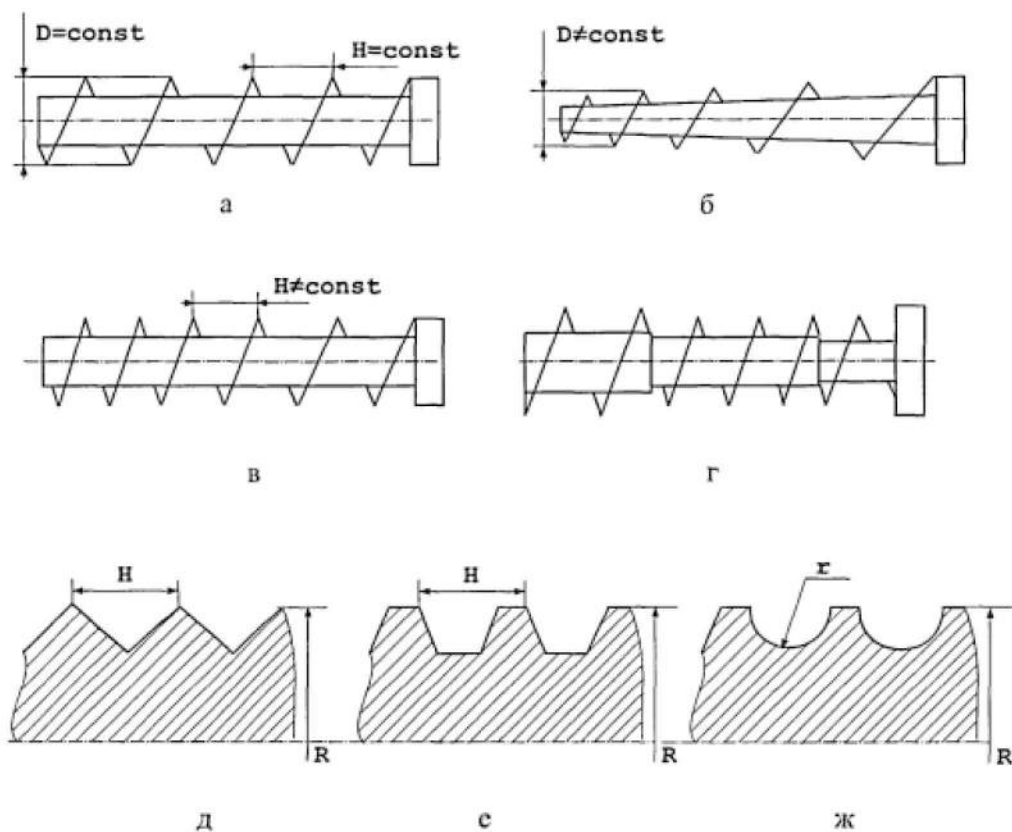
За конструкцією прес-екструдери можна розділити на типи, що характеризуються режимами роботи, способом екструдуювання, параметрами основної робочої частини [6, 7].

За режимами роботи прес-екструдери діляться на дві групи, головна відмінність яких полягає в їх термодинамічних властивостях. При автогенному режимі теплова енергія, яка необхідна для здійснення технічного процесу, генерується тільки за рахунок перетворення механічної енергії (сили тертя).

В другій групі прес-екструдерів з метою досягнення необхідного температурного режимі його автоматичного регулювання використовують зовнішній підігрів (політропний режим), що дозволяє швидко вийти на робочий режим та стабілізувати його. За способом переробки установки розділяють на дві групи: «сухого» та «вологого» екструдуювання. В установках «вологого» екструдуювання зернова маса піддається гідродинамічній обробці безпосередньо в робочому органі або в спеціальних «змішувачах-запарниках».

За конструкцією шнекові преси розділяють на одношнекові і багатошнекові, в яких шнек може бути з постійним діаметром (циліндричний) і зі змінним діаметром (конічним, ступінчастим). Шнеки можуть бути з постійним і змінним кроком, відрізняються за формою гвинтового каналу, можуть бути суцільні чи наборні [7].

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



а – циліндричний шнек з постійним кроком; б – конічний шнек; в – циліндричний шнек зі змінним кроком; г – ступінчастий шнек; д- гвинтова канавка у формі трикутника; е – гвинтова канавка у формі трапеції; ж – гвинтова канавка у формі півкола

Рисунок 1.6 – Види шнеків

Класифікацію основних типів прес-екструдерів для виготовлення кормів в залежності від виду шнека можна представити у вигляді наступної схеми (рис.1.7).

Запропонована класифікація дозволяє здійснити аналіз конструкцій прес-екструдерів, виокремити основні напрямки при створенні і виготовленні машин даного типу.

За кордоном широко поширені екструдери «сухого» екструдювання, що працюють в автономному режимі. Шнековий вал екструдера циліндричної форми і розділений на зони за допомогою «нагрівальних шайб». Для виробництва амідоконцентратних домішків шляхом сухого екструдювання використовується прес-екструдер розроблений інститутом «Укрніпластмаш» - ПЕК 125×8. Шнек екструдера створено наборним.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Рисунок 1.7 – Класифікація прес-екструдерів

ОАО «Укрндіпластмаш» (м. Київ) представлено на 6-й міжнародній виставці «Агропродмаш – 2001» типовим рядом одношнекових прес-екструдерів марок ПЕК – 40×5В, ПЕК – 63×5, ПЕК – 125×6, ПЕК – 125×8С для екструзійної переробки фуражного зерна (кукурудзи, гороху, ячменю, пшениці та їх комбінацій) і багатокomпонентних сумішей.

АО «ЧеркасиЕлеваторМАш» (м. Черкаси) виготовляв екструдери під торгівельною маркою «BRONO» для отримання гранульованих комбікормів (рис.1.8). Екструдери моделей ЕЗ – 150, ЕЗ – 210М, ЕЗ – 310М, ЕЗ – 500 зі шнеком циліндричної форми широко використовуються у виробництві комбікормів для екструзійної переробки зерна пшениці, ячменю, кукурудзи, гороху, бобів і сої [8].



Рисунок 1.8 – Прес-екструдер «Brono»

Американська компанія «Insta-Pro» розробила та запатентувала «сухі» екструдери ще у 1969р.

Перші екструдери «Insta-Pro» (рис.1.9) потрапили в нашу країну на початку 70-х років і слугували прототипом для створення вітчизняних екструдерів.



Рисунок 1.9 – Прес-екструдер «Insta-Pro»

Конструкція прес-екструдера «Insta-Pro» являються найбільш розробленою із всіх зарубіжних екструдерів. Ця установка з невеликими змінами в конструкціях англійської фірми «Triple F» використовується для отримання концентрату Golden Pro. Дані екструдери є одношнековими, а сам шнековий вал має циліндричну форму. Технологія екструдювання компанії «Insta-Pro» передбачають як "суху" екструзію, так і можливість використання при екструдюванні пари. Для цього екструдер оснащується камерою попередньої обробки сировини паром (кондиціонером) [9]

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Моделі екструдерів, що випускаються в даний час компанією «Insta-Pro» та розрізняють продуктивністю та використовуваною енергією, представлені в таблиці 1.1[9].

За кордоном для переробки зернових кормів знайшли широке застосування установки "вологого" екструдювання. В екструдерах фірми «Anderson» (моделі М-10, М-8, М-6, М-4) гаряча вода або пара під тиском не менше 1 МПа подається в робочий циліндричний орган, куди в сухому стані надходить вихідна суміш.

Таблиця 1.1 – Основні технічні показники вітчизняних та зарубіжних прес-екструдерів

Прес-екструдери		Продуктивність, кг/г	Потужність електрод., кВт	Енергоємність, кВт·г/кг
Фірма	Модель			
Bronto	E3-150	150	19	0,127
	E3-210M	250	37	0,148
	E3-500	500	55	0,110
Insta-Pro	600	280...300	30	0,100-0,107
	2000R	590...900	52,5	0,058-0,089
	2500	900...1350	95,5	0,070-0,106
	9600	2700...3600	266,5	0,074-0,098
Anderson	M-4	200...270	18,5	0,068-0,092
	M-6	700...900	26,0	0,029-0,037
Sprout-Woldron	M-775	3500	100	0,028
Sprout-Bauer	450A	200...250	67,0	0,268-0,335
Wenger	X-150	4000	100	0,025
	X-200	5200	185	0,035
	TX-52	100...160	22,5	0,140-0,225
	TX-80	500-550	75,0	0,136-0,150
Walter	PIKO-1	600...1000	75,0	0,075-0,125
Dievet	Inotek-50	350...500	37,0	0,074-0,105
	Inotek-100	800...1000	75,0	0,075-0,094
	Inotek-150	900...1200	90,0	0,075-0,100
НВП «Екструдер»	EK-75/1200	160	13	0,081
Промінвестсервіс	Vital	4000...6000	90	0,023...0,015

Аналогічні екструдери з попередньою обробкою вихідної суміші пором випускає американська фірма "Sprout-Bauer" (модель 450A).

Прес-екструдер М-775 випускається фірмою «Sprout-Woldron» і складається з трьох частин: завантажувальної зони з шнеком, що подає, змішувальної камери і шнекового преса з циліндричним шнековим валом.

Фірми "Walter" (ФРН) та "Buhler-MIAG" (Швейцарія-ФРН) виробляють одношнекові екструдери моделей PIKO та DNEA (DNBB) для виробництва комбікормів, які також забезпечені паровими кондиціонерами.

Екструдери Inotec фірми "Dievet" (Франція) компактні, надійні в роботі, відрізняються високою якістю екструдювання. У даних моделях вода або пара подається під тиском безпосередньо в робочий орган, що екструдує.

Фірма "Wenger" (США) – одна з провідних з виготовлення та постачання на зовнішній ринок екструдерів для переробки зерна. Більшість моделей (X, TX та ін) обладнані змішувачем-пропарювачем, де вихідний матеріал попередньо обробляється паром. Пресуючий шнек складається з кількох взаємозамінних секцій. Залежно від призначення продукту та необхідних режимів екструзії встановлюються 5...8 секцій. Прес-екструдери X-150 і X-200 [6] безперервної дії фірми Wenger мають шнек, що складається з конічних секцій.

Більшість екструдерів «вологого» екструдювання мають додаткові нагрівачі робочого органу. Технології екструдювання з попередньою паровою обробкою характеризуються високою енергоємністю процесу. На виробництво 1 т продукції витрата електроенергії становить 60...150 кВт-год, пара – 80...170 кг. Крім того, парова обробка вихідної сировини перед екструдюванням вимагає значних капітальних витрат на виробництво пари та її видалення, застосування обладнання для кондиціювання зерна, сушіння та охолодження готового продукту, що завжди економічно доцільно, особливо у умовах господарств.

Для одноразового вилучення олії використовуються шнекові преси МП-1, МП-2 та МП-21 [10].

Шнековий прес МП-1 є агрегатом, що складається з жаровні і власне преса. Жаровня служить для волого-теплової обробки мезги, що надходить пресування. Прес складається з станини, в яку вмонтовані зеєр і шнековий вал. Зеєр преса діаметром 152 мм складається з обойм, у яких по горизонталі укладено чотири ряди планки-колосники, що утворюють між собою зеєрні зазори. Шнекові збірні вали складаються із шнекових витків та проміжних кілець, набраних на осі.

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вертикальний шнековий вал має два витки з кроком 210 мм і п'ять витків з кроком 80 мм. Діаметр витків по зовнішній поверхні 150 мм. Горизонтальний шнековий вал має чотири витки діаметром 150 мм; крок першого пресуючого витка 308 мм; трьох наступних витків 63 мм.

Шнекові прес МП-2 призначається для одноразового вилучення масла і відноситься до агрегатів подвійної дії. Агрегат складається з жаровні та власне преса. Прес складається із двох зеєрів. Мезга, призначена для пресування, проходить послідовно вертикальний і горизонтальний зеєри, в яких відбувається віджимання олії.

Мезга піддається обробці в два ступені, тому преси даної конструкції називають пресами двоступеневої дії.

Усередині кожного зеєра є самостійний шнековий вал. Вертикальний шнековий вал являє собою вісь, на якій набрані окремі шнекові витки, за кріплені загальною шпонкою. Між витками розташовані проміжні кільця. Зовнішній діаметр всіх витків дорівнює 150 мм; перший приймальний виток має крок 214 мм, інші пресуючі витки 80 мм.

Горизонтальний шнековий вал із зовнішнім діаметром витків 150 мм має один приймальний виток з кроком 98 мм і три пресуючі витки з кроком 84-82 мм.

Шнекові прес МП-21 відноситься агрегатам подвійної дії, обробка мезги в ньому проводиться в два етапи, у вертикальному і горизонтальному зеєрах.

Агрегат складається з циліндричної барабанної жаровні, барабана, що темперує, і преса [10].

Прес має вертикальний та горизонтальний зеєри з відповідними шнековими валами. Вертикальний зеєр діаметром 155 мм складається з трьох секцій, набраних із колосників із зазорами між ними. Вертикальний шнековий вал, що робить 35 хв-1 набраний з окремих шнекових витків і проміжних кілець. Горизонтальний зеєр діаметром 152 мм та довжиною 840 мм складається з трьох секцій колосників.

Шнековий вал набраний на осі шнековими витками і проміжними кільцями. Діаметр зовнішньої поверхні шнекових витків дорівнює 150 мм. Вал складається з п'яти шнекових витків, перший приймальний виток має крок - 110 мм, другий 82

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мм, два наступні витка 72 мм, п'ятий виток 82 мм. Відмінною особливістю горизонтального валу є те, що вісь валу має наскрізний канал, який підводиться пара або вода. Цей пристрій дозволяє стабілізувати ступінь нагрівання шнекового валу та зеєра під час роботи преса.

Для попереднього (першого) вилучення олії в маслodobувній промисловості застосовують шнекові преси марок ФП, ЛЦ і УМП [10]. Шнековий вал преса ФП має 18 деталей, зібраних на осі валу, що складаються з 8 шнекових витків і 10 проміжних муфт. Вал складається з чотирьох щаблів з зменшується по ходу руху матеріалу, що пресується, кроком і висотою витків [10, 11]

Внутрішня поверхня зеєра, що утворюється з колосників, має чотири ступені, відповідно ступінь шнекового валу. Перший ступінь зеєра по ходу пресованого мезги має діаметр 250 мм, другий 200 мм, третій 220 мм і четвертий 240 мм. Ширина зазорів між колосниками встановлюється залежно від якості мезги, що переробляється. Шнековий вал робить 25 об/хв.

Шнековий прес ЛЦ складається із загальної станини, в якій вмонтовані зеєр із шнековим валом і редуктор, що приводить у обертання вал від електродвигуна. Зеєр преса загальною довжиною 1460 мм ділиться на три частини (сходи) з різним діаметром поперечного перерізу. Перший ступінь зеєра (по ходу пресованого мезги) має довжину 210 мм і діаметр 280 мм, другий ступінь довжину 405 мм і діаметр 210 мм і третій ступінь довжину 845 мм, діаметр 180 мм [12].

Усередині зеєра проходить шнековий вал, що складається з осі з насадженими на неї дев'ятьма шнековими витками двома циліндричними муфтами, трьома конічними муфтами та однієї конусної втулки. Зважаючи на змінний діаметр витків та їх змінного кроку мезга, що пересувається по зеєру, спресовується і виділяє масло, що витікає через зазори між колосниками зеєра.

Шнековий прес УМП має зеєр, що складається з чотирьох ступенів: діаметр першого ступеня 250 мм, другий 200 мм, третій 220 мм, четвертої 240 мм [12].

Для вторинного вилучення олії застосовують шнекові преси ЕП, МД, МП-1 [10].

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шнековий прес МД складається з наступних основних вузлів: завантажувальної лійки з приймальною камерою, зеєра, шнекового валу, затискного конуса і приводного пристрою [10]. Зеєр преса має два ступені – перший довжиною 262 мм і діаметром 260 мм і другий довжиною 844 мм і діаметром 170 мм. Шнековий вал складається з осі, на якій надіто сім шнекових витків і шість проміжних циліндричних та конусних муфт. Шнекові витки валу по ходу просування пресованого мезги мають крок, що зменшується. Стиснення з одночасним інтенсивним перемішуванням (як і в кожному шнековому пресі) пресованого мезги досягається змінним кроком витків валу, сходами зеєра та затискним конусом, що обмежує вихід відпресованої мезги (макухи із зеєра).

НВП «Екструдер» (Україна, м. Харків) розроблено і з 1990 р. випускається прес-екструдер ЕК-75/1200, за допомогою якого реалізується спосіб одноразового двошнекового пресування [12].

Основні технічні показники вітчизняних та зарубіжних прес-екструдерів наведено у таблиці 1.1.

Аналіз розглянутих вище машин показує, що екструдери, що застосовуються в кормовиробництві мають, в основному, шнек циліндричної форми, і прес-екструдери марок Х-150 і Х-200 мають шнек конічної форми.

Преси для вилучення олії з олійних культур мають шнек циліндричної форми з постійним діаметром по всій довжині, або шнек, що складається з кількох секцій різного діаметра (ступінчастий шнек). Переваги конічних шнеків визначається наступними основними особливостями пресів. Установка такого шнека в циліндр може бути виконана простіше, ніж шнеків циліндричної форми. Опір скручування конічного шнека більше, ніж у циліндричних шнеків, особливо з глибиною нарізки, що змінюється. Найбільш напруженою є початкова частина шнека, тому саме її підсилюють шляхом надання конічної форми.

Зменшення діаметра шнека від завантажувальної до вихідної зони створює можливість інтенсифікації процесів, що відбуваються в ньому. Поліпшення умов завантаження є наслідком збільшеного діаметра шнека у початковій зоні. При відповідних глибинах нарізки шнека в початковій зоні виходять більші окружні

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

швидкості, ніж у вихідній зоні, що сприяє посиленому перемішуванню матеріалу, що переробляється, яке починається в зоні завантаження. Завдяки сильному зменшенню обсягу паз нарізки до виходу матеріалу в головку з'являється можливість створення більшої компресії.

Конструкції пресів з конічною формою шнека мають, однак, і ряд недоліків: Надання шнеку особливої форми призводить до додаткових конструктивних ускладнень і виробничо-технічних витрат. Узгодження режимів роботи всіх зон (завантажувальної, середньої та вихідної), що забезпечує правильну роботу преса з максимальною продуктивністю, є складним [13].

При дуже малому зазорі між втулкою циліндра і шнеком конічної форми виникає небезпека появи різноманітних ушкоджень, як, наприклад, тріщин на шнеку і внутрішньої поверхні втулки циліндра (внаслідок відмінності теплових розширень).

Аналізуючи показники енергоємності розглянутих вище прес-екструдерів (таблиця 1.1), можна з'ясувати, як впливає конструктивне виконання шнека на енерговитрати прес-екструдерів.

Для порівняння марок прес-екструдерів з різними видами конструкцій шнека по питомих енерговитратах покажемо порівняльну діаграму (рис. 1.8) питомих енерговитрат прес-екструдерів, розглянутих раніше. З порівняльної діаграми видно, що прес-екструдери з циліндричним шнеком споживають значно більше енергії (0,062-0,300 кВт-год/кг), ніж прес-екструдери з конічними (0,025-0,035 кВт-год/кг) і ступінчастими шнеками (0,0 -0,041 кВт-год/кг).

Зниження питомих енерговитрат прес-екструдерів з конічними та ступінчастими шнеками відбувається за рахунок створення більшої продуктивності прес-екструдера у зв'язку з можливістю збільшення міжвиткового простору в завантажувальній зоні при однаковій споживаній потужності, а також за рахунок зменшення зворотного потоку матеріалу через зменшення глибини нарізки у вихідній зоні. Наприклад, подвоєння глибини нарізки призводить до посилення зворотного потоку у вісім разів, якщо при цьому не враховувати зниження тиску маси [13].

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, можна припустити, що напрямом зниження енергоємності прес-екструдера є вдосконалення конструктивних параметрів шнека, тобто об'єднання переваг шнеків конічної форми зі шнеками циліндричної форми.

1.4 Висновки з розділу

В результаті проведеного аналізу технологічного процесу екструдювання та конструкцій шнекових прес-екструдерів за літературними джерелами можна зробити такі висновки.

1. Екструдювання – перспективний технологічний процес, що дозволяє отримувати різноманітні корми для сільськогосподарських тварин з великою питомою цінністю, оскільки в результаті дії високої температури, тиску і зсувних зусиль відбувається подрібнення сировини, розщеплення білкових структур, знищення мікроорганізмів і токсинів, часткове зневоднення, що підвищує перетравність і енергетичну цінність продукції.

2. Для екструдювання використовують шнекові преси, головним робочим органом яких є шнек, який може бути циліндричний, ступінчастий або конічний; з постійним чи змінним кроком; цільним чи складовим.

3. Зеєр із встановленим у ньому шнеком утворюють робочу камеру прес-екструдера (гвинтовий канал), від форми та параметрів якої залежить енергоємність процесу екструдювання.

4. Порівняльний аналіз відомих прес-екструдерів показав, що прес-екструдери з конічним шнеком забезпечують процес екструдювання з меншою енергоємністю, порівняно з прес-екструдерами з циліндричним шнеком, однак, шнек конічної форми ускладнює узгодження роботи всіх зон

(завантажувальної, середньої та вихідної) прес-екструдера і складний у виготовленні.

5. Перспективним напрямом зниження енергоємності, очевидно, є вдосконалення конструктивних параметрів шнека, тобто об'єднання переваг шнеків конічної форми зі шнеками циліндричної форми.

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРУДУВАННЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОПОНУЮЧОГО ШНЕКА

2.1 Енергоємність процесу екструдуювання зернового матеріалу

Пресуючий механізм одношнекового прес-екструдера утворений гвинтовим шнеком і шнековим циліндром (зеєром). Математично описати рух матеріалу в просторі пресуючого механізму дуже важко, так як цей простір має складну конфігурацію. Тому більшість дослідників [14].

Шнекового механізму використовують його модель у вигляді розгортки коаксіальних циліндричної поверхні шнекового циліндра і циліндричних поверхонь шнека на кілька пар необмежених паралельних площин. Тоді рух пресованого матеріалу можна уявити рухом між парами паралельних площин (рис. 2.2).

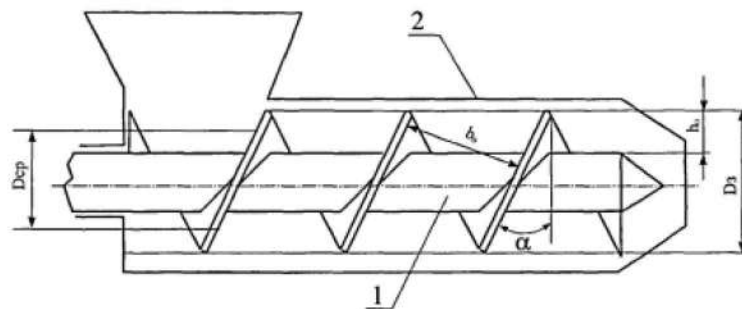


Рисунок 2.1 – Схема пресуючого механізму одношнекового прес-екструдера

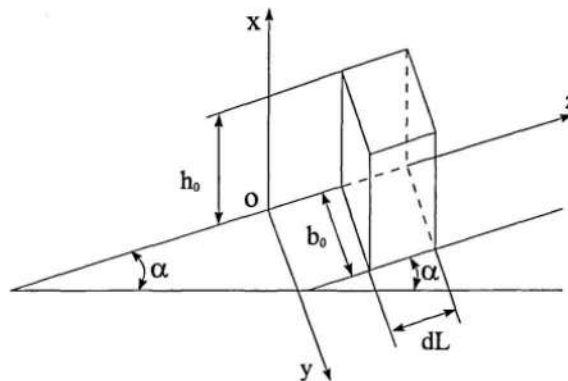


Рисунок 2.2 – Розгортка контактних поверхонь шнека та шнекового циліндра

У цій моделі (рис.2.1) пресований матеріал рухається прямокутними каналами, утвореними розгортками контактних поверхонь шнека і шнекового циліндра. Енергія, що витрачається на прес екструдювання, витрачається на стиск і роздавлювання продукту, його переміщення та подолання сил тертя.

Таким чином, потужність, що витрачається на екструдювання, скрадатимуться з наступних складових

$$N = N_{\text{ст}} + N_z + N_{\text{ш}}, \quad (2.1)$$

де N – потужність, що витрачається на екструдювання, Вт;

$N_{\text{ст}}$ – потужність, що витрачається на стиск матеріалу, Вт;

N_z – потужність, що витрачається на подолання сил тертя матеріалу про зеєр, Вт;

$N_{\text{ш}}$ – потужність, що витрачається на подолання сил тертя матеріалів по поверхності шнека, Вт.

Продуктивність прес-екструдера [14]:

$$Q = 0,785 \cdot D_z^2 \cdot l \cdot (1 - \psi) \cdot n \cdot \rho \cdot (1 - k), \quad (2.2)$$

де Q – продуктивність прес-екструдера, кг/сек;

D_z – діаметр зеєра в зоні живильного витка, м;

l – довжина живильного витка, м;

ψ – коефіцієнт заповнення зеєрної камери в зоні живильного витка;

n – частота обертання шнека, с^{-1} ;

ρ – щільність пресованого матеріалу, кг/м^3 ;

k – коефіцієнт повернення, що залежить від ширини вихідної щілини (визначається за таблицею [14]).

Згідно з дослідженнями В.А. Маслікова [14], потужність, що витрачається на стиск матеріалу, визначається за такою формулою:

$$N_{\text{ст}} = 846 \cdot \frac{a \cdot Q_0 \cdot n \cdot (\varepsilon - 1)^{6,5}}{e^{0,022 \cdot W}}, \quad (2.3)$$

де $N_{\text{ст}}$ – потужність, що витрачається на стиск матеріалу, Вт;

a – досвідчений коефіцієнт, що залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу [14];

Q_0 – кількість матеріалу, що надходить у прес на 1 оборот шнекового валу, кг/об;

n – частота обертання шнека, c^{-1} ;

W – вологість сировини, %;

ε – ступінь стиснення матеріалу у пресі;

e – основа натурального логарифму.

Формула (2.3), за В.А. Маслікова є емпіричною і, на нашу думку, не розкриває повністю складові потужності, що витрачається на стиск матеріалу.

В результаті теоретичних досліджень необхідно отримати формулу для визначення потужності, що витрачається на стиск матеріалу, яка дозволить враховувати геометричні параметри шнека

$$N_z = M_z \cdot \omega, \quad (2.4)$$

Потужність на подолання сили тертя про зеєр

$$M_z = P_{\text{тр1}} \cdot \frac{D_z}{2}, \quad (2.5)$$

де M_z – момент від сили тертя матеріалу про поверхню зеєра, Н·м;

$P_{\text{тр1}}$ – сила тертя матеріалу про поверхню зеєра, Н;

D_z – внутрішній діаметр зеєра (рис. 2.1), м.

Відповідно

$$P_{\text{тр1}} = b \cdot f_1 \cdot q \cdot L_z, \quad (2.6)$$

де b – ширина каналу, м;

f_1 – коефіцієнт тертя матеріалу по поверхні зеєра;

q – тиск у аналізованому каналі, Н/м²;

L – довжина каналу, м.

Потужність на подолання сили тертя про шнек

$$N_{\text{ш}} = M_{\text{ш}} \cdot \omega, \quad (2.7)$$

де $N_{\text{ш}}$ – потужність на подолання сили тертя про шнек, Вт;

$M_{\text{ш}}$ – момент від сили тертя про шнек, Н·м

$$M_{\text{ш}} = P_{\text{тр2}} \cdot \frac{D_{\text{ср}}}{2}, \quad (2.8)$$

де $P_{\text{тр2}}$ – сила тертя матеріалу поверхню шнека, Н;

$D_{\text{ср}}$ – середній діаметр витка шнека (рис. 2.1), м.

Згідно [89]

$$P_{\text{тр2}} = (b + 2h + bf_2s \sin \beta) f_1 q L, \quad (2.9)$$

де b, h – ширина та глибина каналу, відповідно, м;

f_1, f_2 – коефіцієнти тертя матеріалу по поверхні зеєра та шнека, відповідно;

β – кут між напрямком руху матеріалу і плоскістю робочої бічної поверхні гвинтового каналу, град.;

q – тиск у аналізованому каналі, Н/м²;

L – довжина каналу, м.

Підставляючи у вираз (2.1) формули (2.3, 2.4, 2.7), отримуємо, що розрахункова потужність, що витрачається на екструдкування

$$N = 846 \cdot \frac{a \cdot Q \cdot n \cdot (\varepsilon - 1)^{6,5}}{e^{0,022 \cdot W}} + \omega \cdot P_{\text{тр1}} \cdot \frac{D_3}{2} + \omega \cdot P_{\text{тр2}} \cdot \frac{D_3}{2}, \quad (2.10)$$

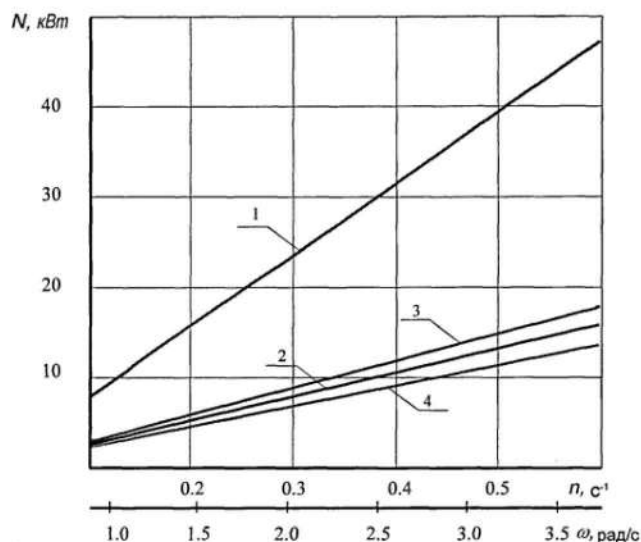
у вираз (2.10) підставляємо (2.6, 2.9) і, перетворивши, отримуємо:

$$N = 846 \cdot \frac{a \cdot Q \cdot n \cdot (\varepsilon - 1)^{6,5}}{e^{0,022 \cdot W}} + \omega \cdot \frac{D_{\text{ср}}}{2} \cdot q \cdot (f_1 L (b + 2h + bf_2 \sin \beta) + bf_1 L). \quad (2.11)$$

З формули (2.11) видно, що потужність, що витрачається на екструдкування, буде збільшуватися зі збільшенням частоти оборотів шнека, діаметра шнека, а також зі збільшенням тиску в робочому каналі преса.

Аналіз виразу (2.11) показує, що потужність, що витрачається на привід шнека, залежить від конструктивно-технологічної схеми шнека.

На рисунку 2.3 представлені закономірності зміни $N_{\text{тр}}$, $N_{\text{ш}}$, N_3 та N від частоти обертання шнека n , розраховані за виразом (2.11).



1 – потужності, що витрачається на екструдювання N ; 2 – потужності, що витрачається на стиск матеріалу $N_{тр}$; 3 – потужності, що витрачається на подолання сил тертя матеріалу про зеро N_z ; 4 – потужності, що витрачається на подолання сил тертя матеріалу про поверхню шнека $N_{ш}$

Рисунок 2.3 – Залежність зміни потужності від частоти n обертання шнека
Аналізуючи залежність рис. 2.3, можна зробити висновки:

- потужність, що витрачається на екструдювання, і її складові потужності збільшуються з підвищенням частоти обертання шнека по лінійній залежності;
- потужність, що витрачається на стиск матеріалу, становить 33,5% від повної витрачається потужності (додаток 1).

Для зниження енергоємності процесу екструдювання необхідно розглянути можливість зменшення енергоємності процесу стиснення матеріалу в робочому каналі екструдера.

2.2 Зниження енергоємності процесу екструдювання матеріалу

2.2.1 Процес стиснення матеріалу у ступінчастому каналі

Тиск у робочому каналі прес-екструдера створюється за рахунок ущільнення матеріалу та опору, що виявляється матеріалом цього ущільнення, що відбувається внаслідок конструктивних особливостей преса [16]:

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

- площа перерізу вихідної кільцевої щілини менша, ніж площа перерізу простору між валом та внутрішньою поверхнею зеєра, внаслідок чого виникає значний опір при проході матеріалу через вихідну кільцеву щілину. Регулювання ширини вихідної кільцевої щілини може змінювати у відомих межах тиск у прес-екструдері.

- у більшості конструкцій крок витків зменшується у напрямку руху матеріалу, так що кожен наступний виток з меншим кроком може пересунути за один оберт шнекового валу менший об'єм, ніж попередній виток з більшим кроком.

- у більшості конструкцій площа перерізу робочого простору між валом і внутрішньою поверхнею зеєра зменшується у напрямку руху матеріалу в одних конструкціях за рахунок збільшення діаметра вала, в інших - за рахунок збільшення діаметра вала і зміни діаметра зеєра, так що робочий канал має кілька ступенів різного діаметра. Отже, тиск у робочому каналі прес-екструдера різко зростатиме в місцях переходу від одного ступеня більшого обсягу до наступного ступеня з меншим обсягом. Це можна описати наступною схемою (рис. 2.4).

Швидкість руху матеріалу у гвинтовому каналі прес-екструдера

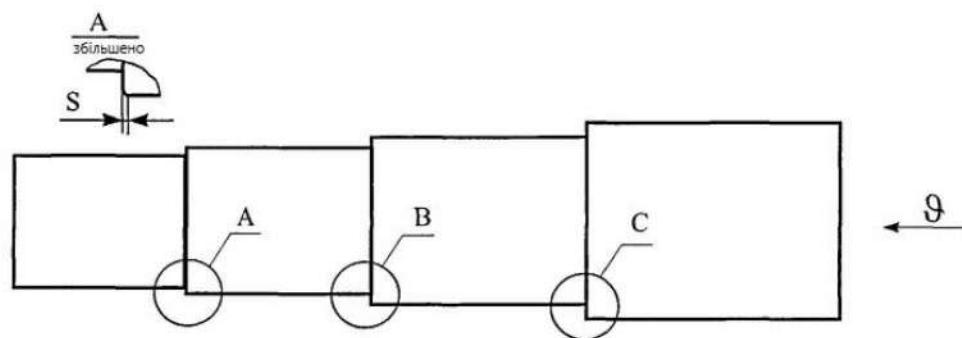
$$v_0 = \pi \cdot D_{\text{ср}} \cdot n \cdot \cos \alpha, \quad (2.12)$$

де v_0 – швидкість руху матеріалу у гвинтовому каналі пресу, м/с;

$D_{\text{ср}}$ – середній діаметр шнека, м;

n – частота обертання шнека, с^{-1} ;

α – кут підйому гвинтової лінії, град.



A, B, C – місця переходу ступенів

Рисунок 2.4 – Схема створення тиску у робочому каналі чотириступінчастого пресу

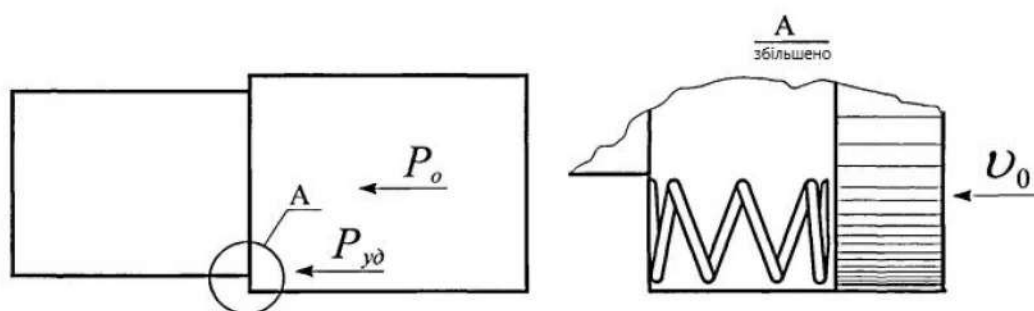


Рисунок 2.5 – Механічна модель стискання матеріалу в ступінчастому каналі прес-екструдера

Тоді час проходження матеріалу з одного ступеня в наступний ступінь можна обчислити за такою формулою:

$$t = \frac{S}{\pi \cdot D_{cp} \cdot n \cdot \cos \alpha'} \quad (2.13)$$

де t – час проходження матеріалу з одного ступеня в наступний ступінь, с;

S – шлях, який проходить матеріал при переході з одного ступеня в наступний, м.

Проводячи обчислення за формулою (2.12) для існуючих прес-екструдерів, з'ясувалося, що час проходження матеріалу з одного ступеня в наступний ступінь становить 0,05...0,006 секунди (додаток 2).

Швидко змінюється навантаження в опорі матеріалів – це ударне навантаження. Тобто, можна прийняти, в місцях переходу матеріалу з одного ступеня в наступний, матеріал відчуватиме безперервне ударне навантаження. Тоді процес стиснення матеріалу в каналі прес-екструдера (рис. 2.4) у місцях переходу від однієї ступеня в наступний ступінь можна описати наступною механічною моделлю.

У цій моделі пружина замінює деформований матеріал [16], що знаходиться в місцях переходу з однієї щаблі на наступний ступінь, а поршень моделює процес руху зернової маси в гвинтовому каналі.

Розглянемо, як сприймається ударне навантаження. Поршень масою m (рис. 2.5) рухається у горизонтальному напрямку зі швидкістю v_0 і зупиняється пружним елементом, зображеним на рис. 2.5 як пружини. Масу пружини вважатимемо малою порівняно з масою поршня. Після того як поршень торкнувся пружини, швидкість його почне зменшуватися. Коли вся кінетична енергія поршня перейде в потенційну енергію стиснутої пружини, поршень зупиниться, а сила, що стискає пружину, досягне максимуму.

Найбільша величина сили, що стискає пружину, P_{max} може бути визначена з умови енергетичного балансу. Прирівнюючи кінетичну енергію вантажу, що рухається потенційної енергії стиснутої пружини, отримаємо [16]

$$K_0 = U, \quad \frac{mv^2}{2} = \frac{1}{2}P_{max}^2\delta_{11}, \quad (2.14)$$

звідки

$$P_{max} = v_0 \sqrt{\frac{m}{\delta_{11}}} = \frac{v_0}{\omega\delta_{11}}, \quad (2.15)$$

де m – маса поршня, кг;

v_0 – швидкість поршня, м/с;

δ_{11} – переміщення маси під дією прикладеної одиничної сили, м/Н.

Так як

$$\delta_{11} = \frac{\lambda_{cm}}{mg}, \quad (2.16)$$

де λ_{cm} – переміщення під дією статично прикладеної сили, м;

$$\lambda_{cm} = \frac{mg}{c}, \quad (2.17)$$

де c – коефіцієнт жорсткості системи, Н/м.

При простому стисканні, згідно [7]

$$c = \frac{EA}{l}, \quad (2.18)$$

де E – модуль нормальної пружності, Н/м²;

A – переріз тіла, що деформується при стисканні, м;

l – довжина деформованого тіла при стисканні, м.

Тоді, на підставі формул (2.15-2.18), ударна сила визначатиметься за наступним виразом

$$P_{yc} = v_0 \sqrt{mc} = v_0 \sqrt{\frac{mEA}{l}}. \quad (2.19)$$

Оскільки швидкість руху матеріалу в шнековому каналі прес-екструдера, м/с

$$v_0 = \pi \cdot D_{cp} \cdot n \cdot \cos \alpha, \quad (2.20)$$

то, підставивши вираз (2.20) в (2.19), отримаємо форму для визначення P

$$P_{yc} = \pi \cdot D_{cp} \cdot n \cdot \cos \alpha \cdot \sqrt{\frac{mEA}{l}}, \quad (2.21)$$

де D_{cp} – середній діаметр шнека, м;

n – частота обертання шнека, c^{-1} ;

α – кут підйому гвинтової лінії, град;

E – модуль нормальної пружності матеріалу, Н/м²;

A – переріз частини здавленого матеріалу, м;

l – довжина частини здавленого матеріалу, м.

Очевидно, що з урахуванням ударного навантаження для прес-екструдера, який має кілька ступенів, повна сила стиснення матеріалу за наявності місць переходу з одного ступеня в наступний дорівнюватиме

$$P_{cc} = P_0 + P_{yc}, \quad (2.22)$$

де P_{cc} – сила стиснення матеріалу, Н;

P_0 – осьове зусилля в каналі, Н;

P_{yc} – ударна сила, що виникає в місцях переходу з одного ступеня до іншого (2.21), Н.

Відповідно до [14], осьове зусилля в каналі визначається виразом

$$P_0 = q \cdot F, \quad (2.23)$$

де q – питомий тиск, що діє на матеріал при його стисканні, Н/м²;

згідно з дослідженням [15]

$$q = \frac{25,5 \cdot 10^5 \cdot a \cdot \varepsilon^{5,5}}{e^{0,022W}}, \quad (2.24)$$

де ε – ступінь стиснення матеріалу, $\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$ (V_1, V_2 – обсяг попереднього ступеня та обсяг наступного ступеня, відповідно);

a – дослідний коефіцієнт, що залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу [14];

W – вологість матеріалу, %;

e – основа натуральних логарифмів;

F – площа поперечного перерізу камери тиску, м^2 .

Приймаємо, що екструдований матеріал рухається прямокутним каналом (рис. 2.2), утвореним розгортками контактних поверхонь шнека і шнекового циліндра, тоді площа поперечного перерізу каналу

$$F = b \cdot h, \quad (2.25)$$

де F – площа поперечного перерізу каналу, м^2 ;

b – ширина гвинтового каналу, м;

h – глибина гвинтової канавки, м.

Крутний момент для отримання зусилля, необхідного для стиснення матеріалу, визначається за формулою [15]

$$M_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \frac{D_{\text{ср}}}{2} \cdot \text{tg}(\alpha + \varphi), \quad (2.26)$$

де $M_{\text{см}}$ – крутний момент, необхідний для стиснення матеріалу, Н·м;

$D_{\text{ср}}$ – середній діаметр витка шнека, м;

α – кут підйому гвинтової лінії, град.;

φ – кут тертя матеріалу про виток шнека, град.;

$P_{\text{см}}$ – сила стиснення матеріалу, Н.

Тоді, згідно з формулами (2.22) і (2.26), момент, що крутить, необхідний для стиснення матеріалу в прес-екструдері (рис. 2.4) визначатиметься за наступним виразом

$$M_{cm} = \left(\frac{25,2 \cdot 10^5 \cdot a \cdot \varepsilon^{5,5}}{e^{0,022W}} \cdot b \cdot h + \pi \cdot D_{cp} \cdot n \cdot \cos \alpha \cdot \sqrt{\frac{mEA}{l}} \right) \cdot tg(\alpha + \varphi) \cdot \frac{D_{cp}}{2}.$$

Потужність, необхідна для стиснення матеріалу в каналі прес-екструдера, що має кілька ступенів:

$$N_{cm} = \sum_i M_{cm}(i) \cdot \omega, \quad (2.28)$$

де i – кількість щаблів;

ω – кутова частота обертання шнека, рад/с.

В результаті, підставляючи формулу (2.27) до формули (2.28), після додаткових перетворень отримаємо

$$N_{cm} = \frac{\omega \cdot tg(\alpha + \varphi)}{2} \cdot \left[\pi \cdot D_{cp} \cdot n \cdot \cos \alpha \cdot \sum_i D_{cp}^2(i) \cdot \sqrt{\frac{m(i) \cdot E \cdot A(i)}{l(i)}} + \right. \\ \left. + \frac{25,2 \cdot 10^5 \cdot a}{e^{0,022W}} \cdot \sum_i D_{cp}(i) \cdot \varepsilon(i)^{5,5} \cdot b(i) \cdot h(i) \right],$$

Розрахунок потужності (додаток 3), витраченої на стиснення, вироблений за отриманою нами формулою (2.29) збігається з розрахунком (додаток 1), виконаним за формулою (2.3) у роботі В.А. Маслікова [14].

2.2.2. Процес стиснення матеріалу в запропонованому каналі

Очевидно, виключивши ударну силу, що виникає в місцях переходу з одного ступеня до наступного $P_{уд}$ можна зменшити величину сили стиснення $P_{сж}$ (див. формулу (2.22)).

Тоді

$$N_{cm} = \frac{25,2 \cdot 10^5 \cdot a \cdot \omega \cdot tg(\alpha + \varphi)}{e^{0,022W}} \cdot \sum_i D_{cp}(i) \cdot \varepsilon(i)^{5,5} \cdot b(i) \cdot h(i), \quad (2.30)$$

Вплив регулювання ширини вихідної кільцевої щілини на швидкість підвищення тиску значно менше для прес-екструдерів зі ступінчастим зеєром,

діаметром валу, що змінюється, і змінним кроком витків у порівнянні з прес-екструдерами з зеєрами без сходів.

Гвинтовий канал шнекового преса можна як i -е. кількість таких робочих камер (східців). У цьому випадку тиск у каналі прес-екструдера зростатиме поступово. Отже, при одному ступеню стиснення преса, можна досягти плавного зростання тиску за рахунок збільшення кількості ступенів робітника простору [16]. Якщо збільшити кількість таких ступенів, наближаючись до нескінченності (∞), тоді форму робочого каналу можна представити у вигляді половинки зрізаного конуса (рис. 2.6).

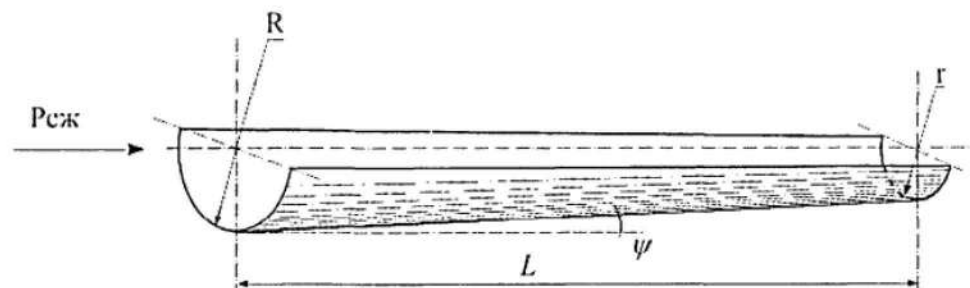


Рисунок 2.6 – Схема робочого каналу прес-екструдера конусної форми

Змінивши форму робочого каналу на конусну, виключимо ударну силу Руд, що виникає при ударному навантаженні у місцях переходу з одного ступеня наступного, тобто

$$P_0 = P_{сж} - P_{уд}, \quad (2.31)$$

якщо

$$P_0 = 0, \quad P_0 = P_{сж}, \quad (2.32)$$

отже, буде витратитися менше енергії на стиск матеріалу.

Розглянемо рух матеріалу по похилій площині. Відомо [14, 16], що рух частинки матеріалу по похилій площині при обліку сили тертя можна описати наступним диференціальним рівнянням (рис. 2.7)

$$m \frac{d^2 s}{dt^2} = m \frac{dv}{dt} = mg \sin \xi - f m \cos \xi, \quad (2.33)$$

де m – маса частинки, кг;

s – шлях, м;

v – швидкість, м/с;

t – час, с;

g – прискорення сили тяжіння м/с²;

θ – кут нахилу площини, град.;

f – коефіцієнт тертя.

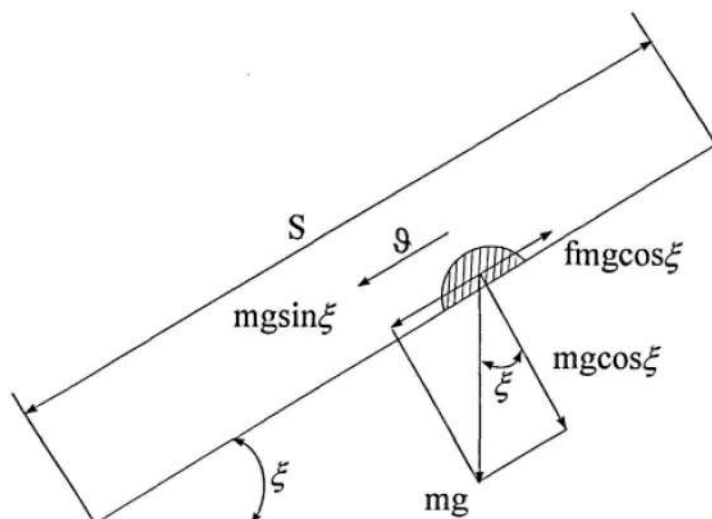


Рисунок 2.7 – Рух частки по похилій площині

Проінтегрувавши це рівняння двічі за початкових умов

$$v = v_0, \quad s = 0, \quad t = 0,$$

$$v = v_0 + \frac{\sin(\xi - \varphi)}{\cos \varphi} \cdot gt, \quad (2.34)$$

$$s = v_0 t + \frac{\sin(\xi - \varphi)}{2 \cos \varphi} \cdot gt^2, \quad (2.35)$$

де φ – кут тертя.

Якщо $\varphi > \xi$, то руху не буде.

Для гвинтового каналу кут ξ відповідає куту тертя, тобто рух частинки по похилій площині буде у разі, якщо $\xi + \psi < \varphi$ або $\xi = \varphi$, тобто $\psi = 0$. Ця умова, очевидно, повинна виконуватися під час руху матеріалу вздовж гвинтового каналу.

Тоді для виконання цієї умови робочий канал повинен мати постійний радіус. Але для забезпечення необхідного ступеня стиснення матеріалу площа каналу на виході повинна бути меншою, ніж площа каналу на вході. Отже, виконання цих умов можна досягти, представивши робочий канал шнека у формі

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

сегментної частини циліндра зі змінною висотою сегмента за довжиною каналу (рис. 2.8).

Щоб отримати необхідний ступінь стиснення, необхідно, щоб у запропонованого робочого каналу (рис. 2.8) кут між утворює змінних сегментів і висотою циліндра $\gamma \neq 0, \gamma_1 = 0$.

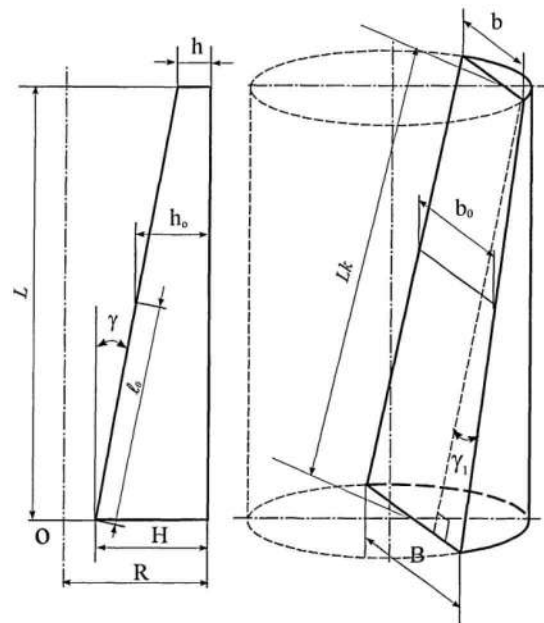


Рисунок 2.8 – Розрахункова схема каналу запропонованого шнека

Величину цього кута можна визначити для конкретного матеріалу в експериментальних умовах.

2.3. Обґрунтування основних параметрів пропонованого шнека

Основними параметрами шнека є: діаметр шнека D , довжина шнека $L_{ш}$, кут підйому гвинтової лінії шнека α . Основні параметри робочого каналу пропонованого преса (рис. 2.8): H, h – відповідно початкова та кінцева глибина каналу; B, b – відповідно початкова і кінцева ширина робочого каналу; L_K – довжина утворює робочого каналу; R – радіус сегмента циліндра; γ – кут між утворює змінних сегментів і висотою циліндра.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

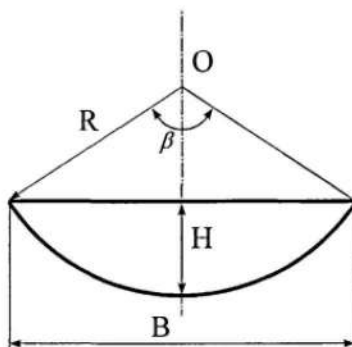


Рисунок 2.9 – Розрахункова схема визначення площі сегмента.

З [17] площа сегмента (рис. 2.9)

$$F = \frac{1}{2} \cdot R^2 \cdot (\beta \pm \sin \beta), \quad (2.36)$$

де R – радіус сегмента циліндра;

β – радіальний захід дуги сегмента.

$$R = \frac{B^2 + 4H^2}{8H}, \quad (2.37)$$

де B – довжина хорди сегмента, в нашому випадку ширина робочого каналу;

H – висота сегмента, для нашого випадку глибина робочого каналу.

З рис. 2.8 маємо

$$\sin \gamma = \frac{H - h}{L_k}, \quad (2.38)$$

де H, h – відповідно початкова та кінцева глибина каналу;

L_k – довжина утворює робочого каналу.

Вводимо змінну глибину каналу довжиною каналу h_0 , тоді з рис. 2.8:

$$h_0 = H - l_0 \cdot \sin \gamma = H - \frac{l_0(H - h)}{L_k}, \quad (2.39)$$

де l_0 – змінна довжина утворює робочого каналу.

З рис. 2.9 отримуємо

$$\cos\left(\frac{\beta}{2}\right) = \frac{R - h_0}{R} \quad (2.40)$$

звідки

$$\beta = 2 \cdot \arccos\left(1 - \frac{h_0}{R}\right) \quad (2.41)$$

Тоді площа поперечного перерізу робочого каналу на певній довжині каналу $l_0(z)$:

$$F(z) = 0,5R^2 \cdot \left(2 \cdot \arccos \left(1 - \frac{h_0(z)}{R} \right) - \sin \left(2 \cdot \arccos \left(1 - \frac{h_0(z)}{R} \right) \right) \right) \quad (2.42)$$

де z – число витків шнека;

R – радіус каналу шнека, м;

$h_0(z)$ – глибина каналу на певному витку, м;

$$h_0(z) = H - \frac{l_0(z) \cdot (H - h)}{L_k} \quad (2.43)$$

де H, h – відповідно початкова та кінцева глибина каналу (див. рис. 2.8);

$l_0(z)$ – довжина робочого каналу певному витку z .

L_k – довжина утворює робочого каналу.

$$l_0(z) = \frac{\pi D z}{\cos \alpha} \quad (2.44)$$

де D – діаметр шнека, м;

α – кут підйому гвинтової лінії шнека, град.

Середній діаметр витка шнека

$$D_{cp}(z) = \frac{2D - h_0 z}{2} \quad (2.45)$$

Зусилля, необхідне для стиснення матеріалу у каналі такого виду, згідно (2.23) і (2.42-2.45)

$$P_{сж}(z) = \frac{25,5 \cdot 10^5 \cdot \alpha \cdot \varepsilon^{5,5}(z)}{\varepsilon^{0,022W}} \cdot 0,5R^2 \cdot \left(2 \cdot \arccos \left(1 - \frac{H \cdot L_k \cdot \cos \alpha - \pi D z \cdot (H - h)}{R \cdot L_k \cdot \cos \alpha} \right) - \sin \left(2 \cdot \arccos \left(1 - \frac{H \cdot L_k \cdot \cos \alpha - \pi D z \cdot (H - h)}{R \cdot L_k \cdot \cos \alpha} \right) \right) \right) \quad (2.46)$$

Тоді, підставивши вираз (2.46) у вираз (2.26), момент, що крутить, необхідний для стиснення матеріалу на витках:

$$M_{сж}(z) = \frac{25,5 \cdot 10^5 \cdot \alpha \cdot \varepsilon^{5,5}(z)}{\varepsilon^{0,022W}} \cdot 0,5R^2 \cdot \left(2 \cdot \arccos \left(1 - \frac{H \cdot L_k \cdot \cos \alpha - \pi D z \cdot (H - h)}{R \cdot L_k \cdot \cos \alpha} \right) - \sin \left(2 \cdot \arccos \left(1 - \frac{H \cdot L_k \cdot \cos \alpha - \pi D z \cdot (H - h)}{R \cdot L_k \cdot \cos \alpha} \right) \right) \right) \cdot \frac{L_k \cdot \cos \alpha \cdot (2D - H) - \pi D z \cdot (H - h)}{4 \cdot L_k \cdot \cos \alpha} \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \quad (2.47)$$

Отже, потужність, необхідна для стиснення матеріалу в пресі, Вт:

$$N_{\text{сж}}(z) = \frac{25,5 \cdot 10^5 \cdot a \cdot \varepsilon^{5,5}(z)}{\varepsilon^{0,022W}} \cdot 0,5R^2 \cdot \left(\begin{aligned} &2 \cdot \arccos \cos \left(1 - \frac{H \cdot L_k \cdot \cos \alpha - \pi Dz \cdot (H - h)}{R \cdot L_k \cdot \cos \alpha} \right) - \\ &-\sin \left(2 \cdot \arccos \cos \left(1 - \frac{H \cdot L_k \cdot \cos \alpha - \pi Dz \cdot (H - h)}{R \cdot L_k \cdot \cos \alpha} \right) \right) \end{aligned} \right) \cdot \frac{L_k \cdot \cos \alpha \cdot (2D - H) - \pi Dz \cdot (H - h)}{4 \cdot L_k \cdot \cos \alpha} \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \quad (2.48)$$

Основними характеристиками, що визначають ефективність роботи прес-екструдера є продуктивність преса Q і ступінь стиснення матеріалу в пресі ε .

Добуток величини формулі (2.2) представляє вільний обсяг першого витка, тоді продуктивність преса:

$$Q = V_1 \cdot n \cdot \rho \cdot (1 - k) \quad (2.49)$$

де V_1 – вільний обсяг першого витка, м^3 .

Для каналу пропонованої форми вільний об'єм першого витка:

$$V_1 = F_0 \cdot L_1, \quad (2.51)$$

де F_0 – площа поперечного перерізу робочого каналу на вході, м^2 ;

L – довжина першого витка, м.

$$F_0 = 0,5R^2 \cdot \left(2 \cdot \arccos \cos \left(1 - \frac{H}{R} \right) - \sin \left(2 \cdot \arccos \cos \left(1 - \frac{H}{R} \right) \right) \right), \quad (2.52)$$

де R – радіус каналу шнека, м;

H – початкова глибина каналу, м.

Підставивши у вираз (2.49) формули (2.50) і (2.51) отримаємо:

$$Q = 0,5R^2 \cdot \left(2 \cdot \arccos \cos \left(1 - \frac{H}{R} \right) - \sin \left(2 \cdot \arccos \cos \left(1 - \frac{H}{R} \right) \right) \right) \cdot L_1 \cdot n \cdot \rho \cdot (1 - k), \quad (2.53)$$

Для визначення параметрів шнека задаємося такою ж продуктивністю та ступенем стиснення, як у відомому пресі: $Q = 1210 \text{ кг/год}$ і $\varepsilon = 8,894$.

З виразу (2.53) видно, що для визначення продуктивності необхідно знати площу поперечного перерізу гвинтового каналу на вході F_0 . По даній площі задаємося радіусом R і висотою гвинтової канавки на вході H .

Ступінь стиску на витках:

$$\varepsilon(z) = \frac{V(z)}{V(z+1)} = \frac{F(z)}{F(z+1)}. \quad (2.54)$$

Ступінь стиску прес-екструдера:

$$\varepsilon(z) = \frac{0,5R^2 \cdot \left(2 \cdot \arccos \left(1 - \frac{H}{R} \right) - \sin \left(2 \cdot \arccos \left(1 - \frac{H}{R} \right) \right) \right)}{0,5R^2 \cdot \left(2 \cdot \arccos \left(1 - \frac{h}{R} \right) - \sin \left(2 \cdot \arccos \left(1 - \frac{h}{R} \right) \right) \right)}, \quad (2.55)$$

де h – висота каналу на виході, м.

$$h = H - L_k \cdot \sin \gamma,$$

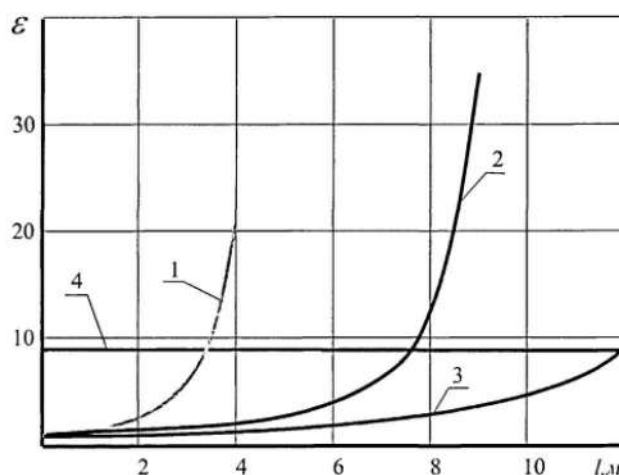
де L_k – довжина утворює робочого каналу, м;

γ – кут між утворює змінних сегментів і висотою циліндра, град.

Тоді

$$\varepsilon(z) = \frac{2 \cdot \arccos \left(1 - \frac{H}{R} \right) - \sin \left(2 \cdot \arccos \left(1 - \frac{H}{R} \right) \right)}{2 \cdot \arccos \left(1 - \frac{H - L_k \cdot \sin \gamma}{R} \right) - \sin \left(2 \cdot \arccos \left(1 - \frac{H - L_k \cdot \sin \gamma}{R} \right) \right)}.$$

З виразу (2.55) на рис. 2.10 представлені залежності ступеня стиснення ε від довжини утворює робочого каналу L_k при різних кутах γ (додаток 4).



1 – при $\gamma = 0,0175$ рад; 2 – при $\gamma = 0,0087$ рад; 3 – при $\gamma = 0,0052$ рад; 4 – при $\gamma = 8,894$

Рисунок 2.10 – Залежність ступеня стиснення ε від довжини утворює робочого каналу L_k

Аналізуючи залежність рис. 2.10 видно, що зі зміною кута γ на кілька сотих радіан інтенсивно змінюється довжина утворює каналу L_k .

Довжина утворює каналу (рис. 2.8)

$$L_k = \frac{\pi D z}{\cos \alpha}, \quad (2.56)$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

де D – діаметр шнека, м;

z – кількість витків шнека;

α – кут підйому гвинтової лінії, град.

З даної формули можна визначити діаметр шнека, кут підйому гвинтової лінії витка і кількість витків, задавшись одним з параметрів.

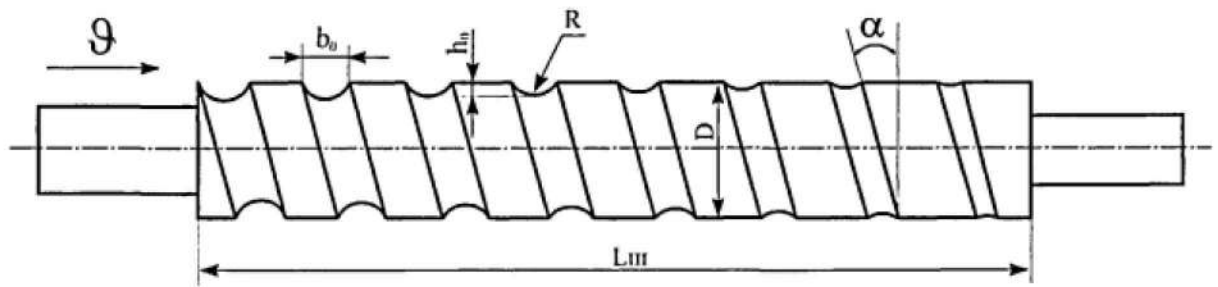
Довжина шнека

$$L_{\text{ш}} = \sqrt{L_k^2 - (\pi D Z)^2}. \quad (2.57)$$

Дуже довгий шнек при малому діаметрі буде швидко перевантажуватися, а при великому діаметрі матиме дуже значну власну вагу. При переробці деяких матеріалів більша довжина шнека має переваги: покращується розподіл температури і підвищується продуктивність, тому що при постійному етапі більший шлях маси подовжує час її перебування в машині.

Це дозволяє або підвищити кількість обертів шнека, або збільшити глибину його нарізки і тим самим збільшити подачу. Але, з іншого боку, число оборотів шнека можна підвищувати не до будь-якого значення через явище теплоутворення в масі, що екструдуюється; глибина нарізки також може збільшуватися безмежно, оскільки зворотний «потік тиску» збільшується пропорційно третього її ступеня. Істотною перевагою довгого шнека є можливість збільшити вихідну зону при невеликій глибині нарізки, при цьому знижується зворотний потік маси і створюється великий і рівномірний тиск в інструменті.

Аналізуючи вище викладене, можна зробити висновок, що оптимальним варіантом робочої поверхні шнека прес-екструдера буде циліндричний шнек, робочий канал якого має форму сегмента циліндра зі змінною висотою сегмента по довжині каналу, за рахунок зміни ширини витка шнека, і глибини гвинтового каналу (рис. 2.11).



b_0 – ширина каналу; h_0 – глибина каналу; D – діаметр шнека; α – кут підйому гвинтової лінії; $L_{\text{ш}}$ – довжина шнека

Рисунок 2.11 – Запропонований шнек

2.5 Висновки з розділу

1. Теоретичними дослідженнями встановлено, що потужність, що витрачається на екструдювання матеріалу прес-екструдером, витрачається на стиск матеріалу у гвинтовому каналі, на подолання сил тертя матеріалу про поверхню шнека, про поверхню зеєра, при цьому максимальна потужність витрачається на стиск матеріалу в каналі і становить 30-40% від повної потужності, що витрачається.

2. У робочому каналі ступінчастого типу в місцях переходу від ступеня більшого об'єму до ступеня з меншим об'ємом виникають ударне навантаження, що призводить до збільшення сили стиснення, а, отже, збільшення витрат енергії. Усунення цього явища забезпечить зниження енергоємності прес-екструдера.

3. Конусна форма робочого каналу виключає ударне навантаження в місцях переходу з одного ступеня в наступну, що призводить до зменшення витрат енергії на стиск матеріалу.

Для забезпечення переміщення матеріалу вздовж гвинтового каналу необхідно, щоб канал мав постійний радіус. В результаті теоретичних досліджень був розроблений енергозберігаючий робочий орган у вигляді шнека циліндричної

форми, витки якого утворюють канал, що має форму сегментної частини циліндра з перемінною висотою сегмента по довжині каналу, за рахунок зміни ширини витка шнека і глибини гвинтового каналу. Отримано аналітичні залежності, що дозволяють визначити основні геометричні параметри гвинтового каналу шнека для заданої продуктивності та ступеня стиснення.

За рахунок застосування запропонованого шнека, як було встановлено теоретичними розрахунками, енергоємність процесу екструдювання знижується на 73,5%.

3 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Програма та методика експериментальних досліджень

З метою підтвердження теоретичних результатів і висновків, а також для перевірки оптимальних значень конструктивно-режимних параметрів шнекового преса для екструдювання зернового матеріалу програмою експериментальних досліджень передбачалося вирішення наступних завдань:

- визначення фізико-механічних властивостей матеріалу, який використовували під час проведення лабораторних експериментальних досліджень та виробничих випробувань;
- перевірка одержаних теоретичними дослідженнями залежностей, що описують процес екструдювання в пресі;
- перевірка впливу конструктивно-режимних параметрів шнекового преса на показники процесу екструдювання;
- визначення продуктивності та потужності прес-екструдера, а також енергоємності процесу; проведення виробничих випробувань шнекового пресу для екструдювання зернового матеріалу.

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як об'єкт досліджень прийнятий технологічний процес екструдуювання зернового матеріалу, що реалізується прес-екструдером із запропонованим шнеком.

Виконання наміченої програми проводилося поетапно, у наступній послідовності:

1. Розробка лабораторного та виробничого зразків шнекового прес-екструдера.
2. Розробка приватних методик експериментальних досліджень.
3. Підготовка лабораторного обладнання та приладів.
4. Проведення передбачених програмою дослідів та аналіз результатів експериментів.

Обробка результатів експериментів проводилася із застосуванням методів математичної статистики за допомогою комп'ютерної програми "MATHCAD" на ПК.

3.2 Експериментальні зразки форми робочого каналу

Для визначення кута між твірною змінних сегментів і висотою циліндра γ_1 були створені експериментальні зразки форми робочого каналу.

Як експериментальні зразки (рис.3.1-3.2) використовувалися відрізки труби діаметром 57 мм, довжиною 500 мм і товщиною стінки 3 мм. Відрізки труби виконані у вигляді сегментів із постійним радіусом, але змінною висотою сегментів по довжині труби. Площиною утворює змінних сегментів служив сталевий лист товщиною 3 мм, приварений електрозварюванням до відрізків труби. В результаті було отримано кілька експериментальних зразків форми робочого каналу з кутом $\gamma_1 = 0,0087 \dots 0,0349$ рад.



Рисунок 3.1 – Експериментальний зразок форми робочого каналу з кутом

$$\gamma_1 = 0,0349 \text{ рад}$$

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

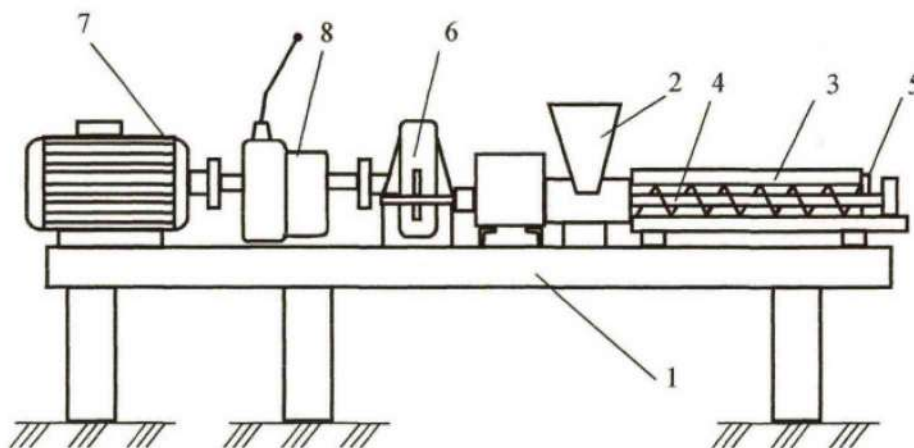


Рисунок 3.2 – Експериментальний зразок форми робочого каналу з кутом
 $\gamma_1 = 0,0087$ рад

3.3 Опис експериментальної установки

Для експериментальних досліджень використовувався прес-екструдер, який складається зі станини 1 (рис. 2.3), на якій встановлені такі основні вузли: завантажувальна вирва з приймальною камерою 2, зеєр 3, шнек 4, затискні пластини 5 і приводний механізм. Шнек отримував обертання через редуктор, коробку зміни передачі 8 від електродвигуна 7. Зеєр набраний з пластин.

Шнек (рис. 3.3), що є спіралеподібним тілом, відрізняється тим, що витки шнека утворюють циліндр, вал шнека конічної форми, а робочий канал має форму сегментної частини циліндра зі змінною висотою сегмента по довжині каналу, за рахунок зміни ширини витка шнека, і глибини каналу.



1 – станина; 2 – приймальна камера; 3 – зеєр; 4 – шнек; 5 – затискні пластини; 6-редуктор; 7 – електродвигун; 8 – коробка зміни передач

Рисунок 3.3 – Схема прес-екструдера

Для проведення досліджень використовувалися чотири шнеки з різним ступенем стиснення гвинтового каналу прес-екструдера ε (11,4; 13,5; 16,0; 19,5), змінними параметрами яких були кінцева глибина і ширина каналу [16, 17, 18].

Шнек має такі параметри (рис. 3.3): зовнішній діаметр шнека пресуючого $D - 78$ мм; довжина шнека $L_{\text{ш}} - 480$ мм; кут підйому гвинтової лінії $\alpha - 14^\circ$; радіус каналу $R - 28$ мм; початкова глибина каналу $H - 11$ мм; початкова ширина каналу $B - 44$ мм; кінцева глибина каналу $h_1 - 2$ мм, $h_2 - 1,8$ мм, $h_3 - 1,6$ мм, $h_4 - 1,4$ мм; кінцева ширина каналу $b_1 - 21$ мм, $b_2 - 20$ мм; $b_3 - 19$ мм; $b_4 - 18$ мм; число витків шнека $z - 7$; крок витків t постійний і дорівнює 60 мм.

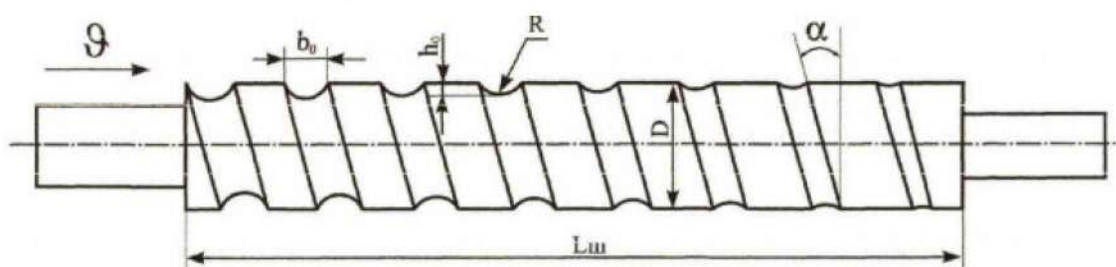


Рисунок 3.4 – Схема експериментального шнека

3.4 Методика визначення фізико-механічних властивостей досліджуваного зернового матеріалу

Матеріалом для дослідження були: пшениця, ячмінь, просо.

Програмою досліджень фізико-механічних властивостей зернового матеріалу передбачалося визначити: вологість; густина; коефіцієнти зовнішнього тертя; коефіцієнти внутрішнього тертя.

Вологість зернового матеріалу визначали методом висушування навішування масою 5г при температурі $130 \pm 2^\circ\text{C}$ в електричній сушильній шафі СЕШ-1 протягом 40 хв [19].

Вологість розраховували за формулою

$$W = \frac{(b - c) \cdot 100}{b - a}, \quad (3.1)$$

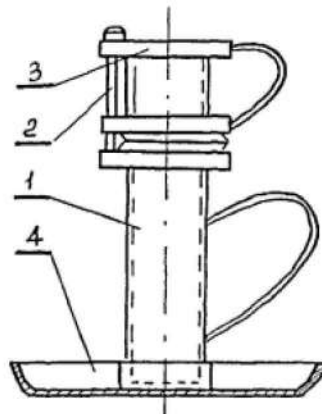
де a – маса бюкси з кришкою, г;

b – маса бюкси з кришкою та наважкою розмеленого зерна до висушування, г;

c – маса бюкси з кришкою та наважкою розмеленого зерна після висушування, р.

Для кожної проби проводили два паралельні визначення вологості. Вологість досліджуваної проби виводили як середнє арифметичне цих двох визначень. Розбіжність між двома паралельними визначеннями не більш ніж $\pm 0,25\%$.

Щільність визначалася [12] за допомогою приладу (рис. 3.7), що включає мірну посудину 1, штир 2, прикріплений до судини 1 і рамку 3, яка може повертатися біля штиря 2 [19].



1 – посудина; 2 – штир; 3 – рамка; 4 – піднос

Рисунок 3.5 – Прилад для вимірювання щільності:

При визначенні щільності матеріал насипається в посудину 1 через рамку 3 до верху. Після закінчення заповнення судини, рамка повертається в положення «а», причому надлишок насипного матеріалу зрізається і падає в тачу 4, потім рамка знімається зі штиря і посудина з насипним матеріалом зважується. Щільність визначається за формулою [19, 20]

$$\rho = \frac{G_0 - G}{V_1}, \quad (3.2)$$

де G_0 – маса судини з насипним матеріалом, кг;

G – власна маса судини, кг;

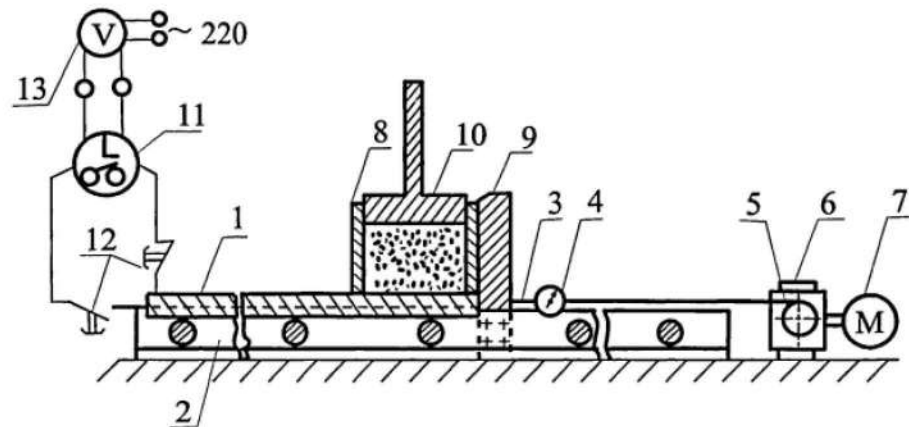
V_1 – обсяг судини, м^3 .

У процесі екструзії зернового матеріалу відбувається руйнування цілих зерен у зазорі між кромкою гвинтової лінії шнека та ребрами зеєра. Тому коефіцієнт

тертя матеріалу по поверхні зеєра правильно називати коефіцієнтом опору руху матеріалу.

Дослідження тертя різних матеріалів про сталеву поверхню відбито у багатьох роботах [16, 20].

У наших дослідах щодо визначення коефіцієнта тертя зернового матеріалу та коефіцієнта опору руху суміші по поверхні зеєра використовувалася спеціальна установка (рис. 3.6).



1 – поверхня тертя; 2 – напрямні; 3 – трос; 4 – динамометр; 5 – блок; 6 – редуктор; 7 – електродвигун; 8 – рамка; 9 – колонка; 10 – шток; 11 – електросекундомір; 12 – контактні вимикачі; 13 – випрямляч напруги

Рисунок 3.6 – Схема лабораторної установки для дослідження тертя зернового матеріалу про шліфовану та ребристу поверхні

Установка складається із сталеві зі шліфованою поверхнею плити 1, встановленої на роликах у напрямних 2. Плита 1 з'єднана тросом 3 із зразковим динамометром 4 і з блоком 5, встановленим на валу редуктора 6 і синхронним електродвигуном 7. Зернова суміш поміщалася в квадратну рамку 8 без дна, нерухомо встановлену у вертикальних напрямних колонках 9. Зміна нормального навантаження на зернову суміш 20000 Н вироблялося набором вантажів, що встановлюються на шток 10 поршня, поміщеного безпосередньо на поверхню зернового матеріалу.

Швидкість руху плити дорівнювала 0,08 м/с, що відповідало окружній швидкості обертання шнека. Час руху плити реєструвалося електросекундоміром 12, включення та вимикання якого проводилося контактними вимикачами 13.

При визначенні коефіцієнта опору руху поверхнею зеєра встановлювали плиту з поверхнею, відповідної поверхні зеєра прес-екструдера.

Максимальну силу тертя під час руху зернового матеріалу по контактуючим поверхням визначали за формулою І.В. Крагельського [19]

$$F_{max} = F - F_{x.x.} = f \cdot N, \quad (3.3)$$

звідки

$$f = \frac{F_{max}}{N}, \quad (3.4)$$

де F – сила тяги;

$F_{x.x.}$ – зусилля холостого ходу візка;

N – сила нормального тиску;

f – коефіцієнт зовнішнього тертя.

З метою підвищення достовірності результатів досліди проводили з багаторазовою повторністю залежно від стійкості даних експериментів.

В теорії сипучої фази й у механіці ґрунтів однією з основних є загальне рівняння граничного рівноваги сил у сипучому середовищі

$$\tau = f\sigma + \tau_0, \quad (3.5)$$

де τ – напруга зсуву, Па;

σ – нормальна напруга, Па;

τ_0 – спайність, Па;

f – коефіцієнт внутрішнього тертя.

Рівняння (3.5) показує, яку мінімальну силу зсуву потрібно прикласти до одиничної поверхні зернистого шару, навантаженою нормальною силою, щоб викликати переміщення зсуву всередині матеріалу. Звідси впливає визначення спайності сипучої фази τ_0 г званої також початкової міцністю середовища на зсув: це максимальна сила зсуву на одиниці площі се-ня, при якій не спостерігаються внутрішні переміщення частинок зернистого шару.

Для сухого шару з відносно невеликою питомою поверхнею спайність $\tau_0 \approx 0$. тоді рівняння (2.5) набуває вигляду:

$$\tau = f \cdot \sigma,$$

звідси

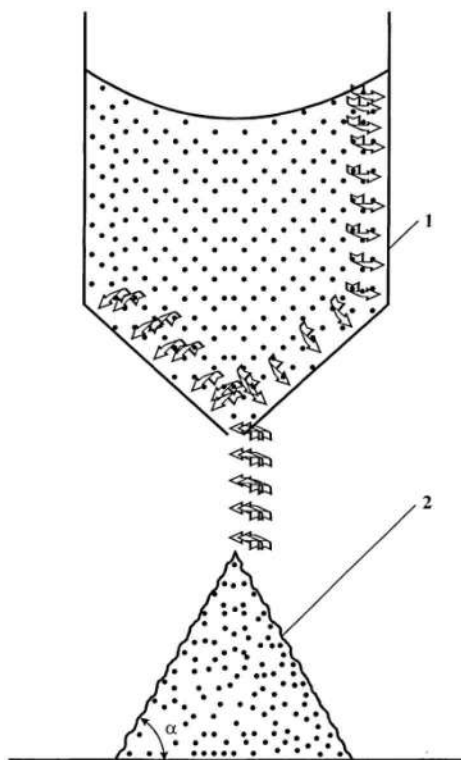
$$f = \frac{\tau}{\sigma}. \quad (3.6)$$

Отже, коефіцієнт внутрішнього тертя дорівнює відношенню напруги зсуву, що викликає переміщення частинок всередині сухого зернистого шару, до нормального напруги, що діє на одиницю поверхні шару.

Зсипаючи шар зернистого матеріалу на горизонтальну площину, можна спостерігати, що при невеликій швидкості руху матеріалу його частинки скочуються вздовж осипу, утворюючи укіс, нахилений під деяким кутом до горизонту.

Для сухого зернистого шару цей кут приблизно відповідає куту внутрішнього тертя і часто застосовується як характеристичний параметр досліджуваного шару внаслідок легкості його вимірювання [18, 19].

Для визначення кута природного укосу зерновий матеріал засипається в бункер (рис 3.7), з якого потім сипиться на горизонтальну поверхню. Висипається матеріал розташовується у вигляді конуса з утворюючою, нахиленою до горизонту під кутом природного укосу. Вимір кута природного укосу виробляють транспортером.



1 – бункер; 2 – горизонтальна площина

Рисунок 3.7 – Дослід з визначення кута природного укосу зернової сировини

3.5 Висновки з розділу

Аналітичні дослідження процесу стиснення зернового матеріалу в шнеку циліндричної форми дозволили розробити робочий орган енергозберігаючого прес-екструдера у вигляді шнека, витки якого спільно з зеєром утворюють канал, що має форму сегментної частини циліндра зі змінною висотою сегмента по довжині каналу. Отримано аналітичні залежності для визначення геометричних параметрів гвинтового каналу шнека для заданої продуктивності та ступеня стиснення.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

4 РЕЗУЛЬТАТИ І АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Визначення фізико-хімічних властивостей досліджуваного зернового матеріалу

Фізико-механічні властивості зернового матеріалу суттєво впливають на вибір режимів технологічного процесу, визначають тип та параметри робочих органів машин для екструдуювання. Під час проведення експериментальних досліджень використовувалися три види зернового матеріалу: пшениця, просо, ячмінь. Проведені дослідження показали, що найбільший вплив на основні показники роботи запропонованого прес-екструдера та процес екструдуювання надають такі фізико-механічні властивості зерна як вологість, щільність, коефіцієнти внутрішнього тертя та тертя матеріалу по робочих поверхнях.

Таблиця 4.1 – Фізико-хімічні властивості зерна

Характеристика					Види зерна	
					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
						Аркуш 55

	Пшениця	Просо	Ячмінь
Вологість W , %	17,0	15,0	12,0
Об'ємна щільність ρ , кг/м ³	790	728	715
Кут природнього відхилення ε , град	26	27	30

4.2 Визначення коефіцієнтів тертя зернового матеріалу по поверхні шнека та зеєра прес-екструдера

Розрахунок коефіцієнтів тертя зернового матеріалу за сталевую шліфовану поверхню, що відповідає поверхні шнека і по ребристій, відповідної внутрішньої поверхні зеєра прес-екструдера, залежно від величини нормального тиску при постійній швидкості руху (0,08 м/с) проводили за формулою (3.4). Отримані результати подано у таблиці 4.2.

Залежність коефіцієнта тертя зернового матеріалу за шліфовану сталевую поверхню та коефіцієнта опору матеріалу по сталевій ребристій поверхні від тиску показана на рис. 4.1.

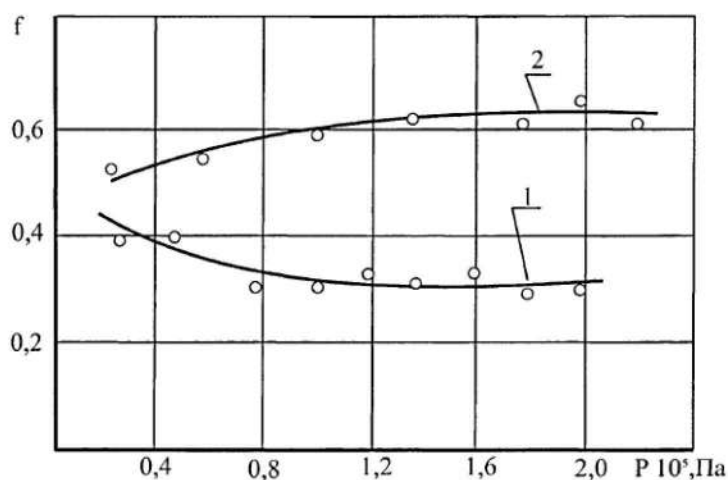
Аналізуючи залежність рис. 4.1 (крива 2), можна зробити висновок, що величина коефіцієнта зовнішнього тертя руху досліджуваного матеріалу по поверхні шнека (шліфована сталь) при збільшенні навантаження до 785 Н знижується. Це пояснюється тим, що при нагріванні зерна відбувається виділення вологи, яка при підвищенні нормального навантаження утворює рідинну плівку на поверхнях, що контактують. Подальше збільшення нормального навантаження (понад 785 Н) не впливає на величину коефіцієнта тертя.

Таблиця 4.2 – Результатами вимірювань коефіцієнтів тертя поверхні шнека та зеєра

Поверхня контактування	Нормальна навантаження N , Н	Сила тяги F , Н	Максимальна сила тертя	Коефіцієнт зовнішнього тертя f
Шліфована сталев поверхня (Шнек)	245,25	131,5	94,37	0,39
	441,45	215,7	117,56	0,4
	784,8	288,2	251,1	0,32
	981	337,3	300,2	0,31
	1177,2	425,58	388,48	0,33
	1373,4	484,4	447,3	0,33
	1569,6	567,8	530,7	0,34
	1765,8	582,5	545,4	0,31

	1362	626,7	589,6	0,3
Стальна	196,2	134,39	103,99	0,53
поверхня	588,6	385,9	355,5	0,57
ребристого	981	611,1	580,7	0,59
профілю	1373,4	865,6	865,2	0,63
(зеєр)	1765,8	1091,8	1094,8	0,62
	1962	1386,1	1275,3	0,65
	2158,2	1430,29	1316,38	0,61

Величина коефіцієнта тертя під час руху матеріалу по ребристій поверхні (зеєра) зі збільшенням нормального навантаження від 196 Н до 1373 Н збільшується (рис. 4.1, крива 2). Це можна пояснити впливом коефіцієнта внутрішнього тертя, оскільки цілі зерна, потрапляючи на грань ребра, здійснюють зміщення шарів досліджуваного матеріалу, тобто збільшується напруження зсуву, отже, (див. формулу 3.6) в результаті відбувається збільшення коефіцієнта тертя зернового матеріалу по поверхні зеєра. При подальшому збільшенні навантаження до 2158 Н коефіцієнт тертя руху зернового матеріалу по ребристій поверхні залишається постійним.



1 – по сталевій шліфованій поверхні (шнека); 2 – по сталевій ребристій поверхні (зеєра)

Рисунок 4.1 – Залежність коефіцієнта тертя зернового матеріалу від тиску

Аналогічно були проведені дослідження коефіцієнтів тертя для пшениці та проса: середні значення коефіцієнта тертя по шліфованій поверхні для пшениці – 0,3, для проса – 0,29; середні значення коефіцієнта тертя сталевій ребристій поверхні для пшениці – 0,58, для проса – 0,52.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

4.3 Аналіз лабораторних досліджень експериментальних зразків форми робочого каналу

Для визначення впливу кута між утворювальною змінних сегментів і висотою циліндра u_x (див. рис. 2.8) були створені експериментальні зразки форми робочого каналу з кутами $\gamma_1 = 0,0087 \dots 0,0349$ рад ($30' \dots 2^\circ$).

У першій серії дослідів проводили порівняння за характером процесу руху зерна у зразках робочого каналу при різних кутах γ_1 на різних зернових культурах під дією сили тяжіння, без застосування додаткового навантаження. При дослідженні не спостерігалось значного впливу даного кута на процес проходження зернового матеріалу за зразком робочого каналу. Відзначено вплив лише фізико-механічних властивостей зернового матеріалу, особливо розмірних характеристик зернин. Так, просо проходило каналом за менший час, ніж пшениця та ячмінь.

При ущільненні зернового матеріалу у зразках проходження матеріалу через канал в основному визначалося впливом розмірних характеристик зерна та коефіцієнтами внутрішнього та зовнішнього тертя.

Так як при збільшенні кута γ_1 зменшується площа вихідного отвору, то при цьому збільшується ступінь стиснення в каналі, що вимагає великих зусиль для руху матеріалу каналом. Отже, кут γ_1 повинен бути мінімальним для кращого просування матеріалу по гвинтовому каналу з меншими витратами енергії, але забезпечувати необхідний ступінь стиснення матеріалу, що екструдуюється.

Тобто при проектуванні шнека даний кут може визначатися з умови необхідного ступеня стиснення матеріалу та довжиною шнека. Довжина шнека визначатиметься необхідним часом знаходження матеріалу у каналі.

4.4 Результати та аналіз досліджень на експериментальному прес-екструдері

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В ході проведених експериментальних досліджень експериментального прес-екструдера (рис. 4.2) проводилися роботи з визначення продуктивності, потужності і енергоємності прес-екструдера при різних частотах обертання шнека, на зерновому матеріалі (рис.4.2-4.5) з різними фізико-механічними властивостями (табл. 4.1).

Дані показники визначали за різного ступеня стиснення прес-екструдера. Ступінь стиснення змінювали шляхом заміни шнека зі ступенем стиснення $\varepsilon_1 = 11,5$ на шнеки зі ступенем стиснення $\varepsilon_2 = 13,5$; $\varepsilon_3 = 16,0$ і $\varepsilon_4 = 19,5$.

При дослідженнях була визначена частота обертання шнека на кожному з чотирьох ступенів коробки передач прес-екструдера (передаточне відношення $i_1 = 6,7$; $i_2 = 3,3$; $i_3 = 1,7$; $i_4 = 1$, частота обертання валу двигуна $n_{\text{рух}} = 1000 \text{ хв}^{-1}$).

Частоту обертання шнекового валу визначали за допомогою фототахометра-стробоскопа.



Рисунок 4.2 – Проведення експериментальних досліджень на експериментальному прес-екструдері

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Рисунок 4.3 – Вихідний зерновий матеріал (просо) і екструдований продукт, що отримується



Рисунок 4.4 – Вихідний зерновий матеріал (пшениця) та одержуваний екструдований продукт



Рисунок 4.5 – Вихідний зерновий матеріал (ячмінь) та одержуваний екструдований продукт

Отримали такі дані:

I ступінь – $12,0 \text{ хв}^{-1} (0,2 \text{ с}^{-1})$;

II ступінь – $25,6 \text{ хв}^{-1} (0,43 \text{ с}^{-1})$;

III ступінь – $46,5 \text{ хв}^{-1} (0,77 \text{ с}^{-1})$;

IV ступінь – $79,3 \text{ хв}^{-1} (1,32 \text{ с}^{-1})$.

4.5 Порівняльний аналіз експериментального прес-екструдера з прес-екструдерами, що випускаються серійно

Порівняльний аналіз експериментального прес-екструдера проведемо з відомими серійно випускаються прес-екструдерами для виробництва екструдованих кормів (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 – Технічні показники експериментального та серійних прес-екструдерів

Прес-екструдери		Продуктивність , кг/ч	Потужність двигуна, кВт	Енергоємність, кВт·год/кг
Фірма	Модель			
Експериментальний		230	20	0,087
Укрніпластмаш	ПЭК-63Х5	80	11,5	0,144

Brono	ЭЗ-150 ЭЗ-210М	150 250	19 37	0,127 0,148
Insta-Pro	600	280...300	30	0,100-0,107

Прес-екструдери, представлені в таблиці 4.4 є установками "сухого" екструдювання, що працюють в автогенному режимі і використовуються для екструзійної переробки фуражного зерна (кукурудза, горох, ячмінь, пшениця та їх суміші) та багатокомпонентних комбікормових сумішей. Шнековий вал екструдерів циліндричної форми.

4.6 Висновки з розділу

1. Проведені дослідження показали, що найбільший вплив на основні показники роботи запропонованого прес-екструдера та процес екструдювання надають такі фізико-механічні властивості зерна як, вологість, щільність, коефіцієнти внутрішнього тертя та тертя матеріалу за робочими поверхнями, які мають різні значення.

2. Продуктивність експериментального прес-екструдера при екструдюванні ячменю, пшениці та проса з частотою обертання шнека $1,32 \text{ с}^{-1}$ становить 220-245 кг/год (230-255 кг/год – за теоретичними розрахунками), при цьому споживана потужність - 16-20 кВт (15-19 кВт – за теоретичними розрахунками), тобто отримані експериментальні результати з високою імовірністю підтверджують теоретичні дослідження, оскільки розрахункові значення теоретичної залежності не виходять за межі довірчого інтервалу при односторонній вірогідності 0,95.

5 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Актуальність проблеми безпеки людини у виробничому середовищі та при надзвичайних ситуаціях

Актуальність проблеми охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях в світі значно зросла на початку третього тисячоліття. Сьогодні ця проблема стала пріоритетною для світової цивілізації.

Охорона життя та здоров'я громадян у процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці є одним з найважливіших державних завдань. Успішне вирішення цього завдання значною мірою залежить

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

від належної підготовки фахівців усіх освітньо-кваліфікаційних рівнів з питань охорони праці [22].

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільськогосподарського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

Умови праці – характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства [22].

5.2 Технічний регламент та вимоги безпеки при екструдюванні зерна

Основними шкідливими факторами при екструдюванні зерна є: вибухонебезпечність пилу, температура зовнішнього повітря (під час роботи на відкритому повітрі), температура та відносна вологість повітря при роботі приміщенні, а також вібрація та напруженість праці тощо [23]. Як наслідок, основні заходи безпеки та виробничої санітарії при даному виробництві є:

- встановлення огорожі на висотних об'єктах;
- використання кожухів для запобігання виходу пилу з простору машини;
- встановлення знепилювальних аспіраційних систем;
- контроль вмісту пилу в просторі приміщень;

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- постійне підтримання чистоти на робочих місцях (рівень пилу на підлозі не повинен перевищувати 0,3 мм, при якому добре відбивається протектор взуття);
- забезпечення надійної роботи завантажувальних та розвантажувальних механізмів;
- заборона паління при завантаженні або розвантаженні сипких матеріалів, що мають високу ступінь подрібнення, з метою запобігання пожежі;
- періодичний контроль ізоляції електропроводки та занулення обладнання;
- електропроводка до світильників місцевого освітлення повинна виконуватися у межах робочого місця у гнучких трубах;
- встановлення захисних кожухів на рухомих частинах машин;
- приміщення, що мають устаткування з підвищеним рівнем шуму та вібрації, повинні бути ізольовані та обладнані засобами шумо- та віброізоляції;
- періодичне ретельне змащування і своєчасна заміна спрацьованих деталей;
- з'єднання окремих вузлів за допомогою звукопоглинаючих матеріалів;
- контроль рівнів шуму та вібрації на робочих місцях не рідше рази на рік;
- встановлення вентиляційних систем в робочих приміщеннях;
- забезпечення всіх працівників спецодягом та ЗІЗ;
- проходження працівниками періодичного медичного огляду, за рахунок роботодавця;
- періодична перевірка рівня знань з питань охорони праці [23].

Дільниця, на якій здійснюється екструдкування зерна є небезпечною ділянкою в пожежному відношенні. Причинами виникнення пожеж і загорань можуть бути тепловиділення за рахунок сил тертя, іскра механічного чи електричного походження, попадання масла на розігріті поверхні. Щоб запобігати виникненню пожеж необхідно точно виконувати правила протипожежної безпеки. Контроль за дотриманням цих правил виконує безпосередній керівник та інженер з охорони праці.

Цех по вибухопожежній небезпеці СНіП II-90-81 відноситься до категорії Д, по ступеню вогнестійкості до II. В лабораторії є 2 евакуаційних виходи шириною 0,8 м. Відстань від найбільш віддаленого робочого місця до вихідних дверей 5 м,

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що відповідає вимогам СНіП. В середині приміщення розміщені пожежний щит, бочка з водою, ящик з піском.

Ззовні є пожежний кран. В наявності вогнегасники – 2 шт. Встановлено знаки безпеки та вивішено інструкції по пожежній безпеці. Куріння в приміщенні цеху суворо заборонено. Особи, що не пройшли навчання по пожежній безпеці, інструктаж та медичний огляд не допускаються до роботи в лабораторії.

Для попередження виникнення пожеж слід мати на увазі, що відходи, які утворюються в процесі переробки схильний до самозапалення, тому забороняється:

- ущільнювати відходи безпосередньо після його виходу з крупорушки;
- зберігати відходи в пожежонебезпечній тарі (мішки, дерев'яні ящики, картонні коробки);
- курити в приміщенні цеху;
- користуватися відкритим вогнем.

В цеху необхідно передбачити слідуючи засоби гасіння пожежі:

- щитки з протипожежним інвентарем та вогнегасником [7,8].

5.2 Економічна оцінка результатів

Розрахунок економічної ефективності застосування експериментального прес-екструдера проведено відповідно до загальноприйнятих методик [24].

Економічний ефект від удосконалення технологічного процесу екструдювання зернових культур для виробництва кормів з використанням розробленого прес-екструдера скрадатиметься за рахунок зменшення початкових вкладень на придбання та монтаж установки, а також за рахунок зниження енергетичних витрат при виробництві екструдованих кормів.

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності впровадження нового обладнання наведені в табл. 4.4.

1) Змінна продуктивність прес-екструдера

$$P_{зм} = P_{год} \cdot t_з, \quad (5.1)$$

де $P_{зм}$ – змінна продуктивність, т/зм;

$P_{год}$ – продуктивність обладнання за годину, т;

$t_з$ – тривалість роботи за зміну, годину.

2) Річна продуктивність обладнання

$$P_{год} = P_{зм} \cdot N_{зм}, \quad (5.2)$$

де $P_{год}$ – річна продуктивність, т/рік;

$N_{зм}$ – число змін роботи обладнання в році, змін;

3) Витрати праці вироблення 1 тони продукції

$$T = \frac{n}{P_{год}}, \quad (5.3)$$

де n – кількість робітників, зайнятих обслуговуванням обладнання, чол.

$P_{год}$ – годинна продуктивність устаткування, т/год;

4) Зниження витрат праці

$$T_{см} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100, \quad (5.4)$$

де $T_{см}$ – зниження витрат праці, %;

T_1 – витрати праці при використанні старого обладнання, чол.год;

T_2 – витрати праці при використанні нового обладнання, чол.год;

5) Енергоємність процесу

$$Q = \frac{N_{ном}}{P_{см}} \cdot 100, \quad (5.5)$$

де $N_{ном}$ – номінальна потужність електродвигуна, кВт;

6) Зниження енергоємності:

$$Q_{см} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100, \quad (5.6)$$

де $Q_{см}$ – зниження енергоємності, %;

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Q_1 – процесу при використанні базового обладнання, кВт/т;

Q_1 – енергоємність процесу при використанні нового обладнання, кВт/т;

7) Питома металомісткість:

$$M = \frac{B_M}{\Pi_{\text{год}}}, \quad (5.7)$$

де M – питома металомісткість, кг/т;

B_M – маса обладнання, кг;

8) Зниження металоємності:

$$M_{\text{см}} = \frac{M_1 - M_2}{M_2}, \quad (5.8)$$

де $M_{\text{см}}$ – збільшення металоємності, %;

M_1 – питома металомісткість при використанні старого обладнання, кг/т;

M_2 – питома металомісткість при використанні нового обладнання, кг/т;

9) Капітальні вкладення:

$$K = C_M \cdot \rho, \quad (5.9)$$

де K – капітальні вкладення, грн.;

C_M – прејскурантна або оптово-відпускна ціна обладнання, грн.;

ρ – коефіцієнт, що враховує надбавку на транспортування та монтаж обладнання, $\rho = 1,2$;

10) Питомі капітальні вкладення

$$K_{\text{пк}} = \frac{K}{\Pi_{\text{год}}}, \quad (5.10)$$

де $K_{\text{пк}}$ – капітальні вкладення питомі, грн/т;

K - капітальні вкладення на придбання обладнання, доставку, встановлення та монтаж, грн.

11) Розрахунок експлуатаційних витрат на плановий річний випуск продукції

$$S_{\text{заг}} = S_a + S_p + S_{\text{ев}} + S_{\text{зп}} + S_{\text{сп}} + S_{\text{ін}}, \quad (5.11)$$

де $S_{\text{заг}}$ – експлуатаційні витрати на плановий річний випуск продукції, грн.;

S_a – витрати на амортизацію, грн.;

S_p – витрати на поточний ремонт і технічне обслуговування, грн.;

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$S_{ев}$ – енергетичні витрати, грн.;

$S_{зп}$ – витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу, грн.;

$S_{сп}$ – витрати на соціальні потреби, грн.;

$S_{ін}$ – інші потреби, грн.;

а) витрати на амортизацію розраховуються, виходячи з норм амортизації балансової вартості обладнання. Розрахунок амортизаційних відрахувань виробляють за такою формулою

$$S_a = \frac{a \cdot K}{100}, \quad (5.12)$$

де S_a – амортизаційні відрахування, грн.;

a – норма амортизаційних відрахувань, %, $a = 15,4\%$;

K – капітальні вкладення (балансова вартість) обладнання, грн.;

б) Розрахунок витрат на поточний ремонт та технічне обслуговування виробляють за такою формулою

$$S_p = \frac{a_{пр} K}{100}, \quad (5.13)$$

де S_p – Витрати на поточний ремонт і технічне обслуговування, грн.;

$a_{пр}$ – норма відрахувань на поточний ремонт та технічне обслуговування, %, $a_{пр} = 5,5\%$;

в) енергетичні витрати визначаються за такою формулою

$$S_{ев} = Q \cdot P_{год} \cdot C_e, \quad (5.14)$$

де $S_{ев}$ – енергетичні витрати, грн.;

C_e – ціна 1 кВт, грн.;

г) витрати на заробітну плату робітників, обслуговування обладнання, розраховують відповідно до кількості та кваліфікацією робітників, годинної тарифної ставки та трудомісткістю річного випуску продукції за формулою:

$$S_{зп} = T_{год} \cdot T_{тр} \quad (5.15)$$

де $S_{зп}$ – витрати на заробітну плату робітників, грн.;

$T_{год}$ – годинна тарифна ставка робітника, грн.;

$T_{тр}$ – трудомісткість річного випуску продукції; люд./год.

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\text{тр}} = T \cdot \Pi_{\text{год}} \quad (5.16)$$

де T – витрати на 1 тону продукції, чол.год.;

$\Pi_{\text{год}}$ – річна продуктивність устаткування, т/рік.

д) витрати на соціальні потреби S_c , визначаються в розмірі 35,6% від витрат на заробітну плату обслуговуючого персоналу.

е) інші витрати визначаються за формулою

$$S_i = 0,1 \cdot (S_a + S_p + S_{\text{ев}}) Q \cdot \Pi_{\text{год}} \cdot C_e. \quad (5.17)$$

12) Розмір експлуатаційних витрат на одиницю продукції визначають за такою формулою

$$C = \frac{S_{\text{заг}}}{\Pi_{\text{год}}}, \quad (5.18)$$

де C – розмір експлуатаційних витрат за одиницю продукції, грн./т;

13) Річна економія експлуатаційних витрат

$$E_p = (C_1 - C_2) \cdot \Pi_{\text{год}}, \quad (5.19)$$

де E_p – річна економія експлуатаційних витрат, грн.;

C_1 та C_2 – експлуатаційні витрати на одиницю продукції, відповідно, до та після впровадження нового обладнання, грн./т;

$\Pi_{\text{год}}$ – річна продуктивність нової машини, т;

14) Термін окупності додаткових капітальних вкладень розраховують за такою формулою

$$T_o = \frac{K_{\text{п2}} - K_{\text{п1}}}{C_1 - C_2} \cdot \Pi_p, \quad (5.20)$$

де T_o – термін окупності додаткових капітальних вкладень, років;

15) Коефіцієнти порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень

$$E_{\text{кпе}} = \frac{C_2 - C_1}{K_{\text{п2}} - K_{\text{п1}}}, \quad (5.21)$$

16) Річний економічний ефект від впровадження нового обладнання розраховують за формулою

$$E_p = [(C_1 + E_n \cdot K_{п1}) - (C_2 + E_n \cdot K_{п2})] \cdot P_p, \quad (5.22)$$

де E_p – річний економічний ефект від впровадження нового обладнання, грн.

Результати розрахунків економічної ефективності капітальних вкладень при впровадженні експериментального прес-екструдера заносимо до таблиці 5.1

Таблиця 5.1 – Економічної ефективності впровадження експериментального прес-екструдера

Показник	Одиниця вимірювання	ШТАК - 80	Екс. зразок
1. Продуктивність обладнання			
- годинна	т/год	0,1	0,17
- змінна	т/см	0,5	0,85
- річна	т/год	150	255
2. Витрати праці на 1 т продукції	чол.год.	10	5,9
3. Зниження витрат праці	%	-	41,2
4. Енергоємність процесу	кВт/т	0,31	0,07
5. Зниження енергоємності	%	-	77
6. Питома металомісткість	кг/т	6,7	2,2
7. Зниження металомісткості	%	-	67
8. Термін окупності капітальних вкладень років	роки	-	3,49

5.3 Висновки з розділу

Результати виробничих випробувань показали, що експериментальний прес-екструдер забезпечує технологічний процес екструдкування кормів для свиней і жуйних тварин, що відповідають сучасним вимогам щодо поживної цінності продукту, санітарії та гігієні виробництва, дотримання екологічних вимог.

В результаті виробничих випробувань встановлено, що продуктивність експериментального прес-екструдера при екструдванні зернової суміші, що складається з нуту, пшениці та зерновідходів, з частотою обертання шнека $0,97 \text{ с}^{-1}$ становить 170-180 кг/год, при цьому споживана потужність становить 10,7-12 кВт, енергоємність експериментального прес-екструдера становила 0,062-0,068 кВт·год/кг, що у 58-69% нижче проти серійним прес-екструдером «КМЗ-2У», енергоємність якого становить 0,148 -0,220 кВт·г/кг.

Економічні розрахунки показали, що при екструдюванні кормів експериментальним прес-екструдером у порівнянні з серійним прес-екструдером «Штак-80» за рахунок зниження енергоємності процесу, відповідно, на 62% та 77% річна економія експлуатаційних витрат

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз енергоємності процесу екструдуювання показав, що потужність, що витрачається на стиск матеріалу в широко поширеному гвинтовому каналі ступінчастого типу, становить 30-40% від повної потужності, що витрачається, т.к. у місцях переходу від ступеня більшого обсягу до ступеня меншого об'єму виникає ударне навантаження, що призводить до зростання сили стиснення, а отже, до збільшення витрат енергії.

2. Теоретичними дослідженнями обґрунтовано, що конусна форма каналу шнекового прес-екструдера виключає ударне навантаження, що забезпечує зменшення витрат енергії на стиснення матеріалу.

3. Аналітичні дослідження процесу стиснення зернового матеріалу в шнеку циліндричної форми дозволили розробити робочий орган енергозберігаючого прес-екструдера у вигляді шнека, витки якого спільно з зеєром утворюють канал, що має форму сегментної частини циліндра зі змінною висотою сегмента по довжині каналу. Отримано аналітичні залежності для визначення геометричних параметрів гвинтового каналу шнека для заданої продуктивності та ступеня стиснення.

4. Експериментальними дослідженнями підтверджено ефективність запропонованого прес-екструдера, вироблення пильності якого при переробці ячменю, пшениці та проса з частотою обертання шнека $1,32 \text{ с}^{-1}$ становить 220-245 кг/год, а споживана потужність – 16-20 кВт, при цьому питомі енерговитрати експериментального зразка становлять 0,087 кВт-год/кг, що на 13-15% нижче, ніж у серійних конструкцій. Отримані експериментальні результати з високою ймовірністю підтверджують теоретичні дослідження, так як розрахункові значення теоретичної залежності не виходять за межі довірчого інтервалу при односторонній довірчій ймовірності 0,95.

5. Порівняльні техніко-економічні розрахунки показали, що при використанні експериментального прес-екструдера в порівнянні з серійними

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конструкціями «КМЗ-2У» та «Штак-80» за рахунок зниження енергоємності термін окупності капітальних вкладень – 2,16 та 3,49 року, відповідно.

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		