

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра галузеве машинобудування

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

на тему: «Технологія виробництва ПВХ профілю з модернізацією
екструдера»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
назва ОПП
спеціальності 208 Агроінженерія
код та найменування спеціальності
ступеня вищої освіти «магістр» групи ___
Якименко Олексій Павлович
Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти
Керівник: Яхін С.В.
Прізвище та ініціали керівника
Рецензент: Ляшенко С.В.
Прізвище та ініціали рецензента

Полтава – 2021 року

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи викладена на 60 сторінках має 32 рисунків, 5 таблиць, 4 додатки, 24 джерела.

Об'єкт дослідження – технологія виробництва та процес модернізації робочих органів екструдера.

Предмет дослідження – черв'ячний екструдер та його основні робочі органи.

Мета дослідження – модернізація конструкції черв'яка та формуючої головки екструдера.

Методи дослідження – розробка, розрахунок, виготовлення, узагальнення.

Результати розробки конструкція екструдера: розроблено схему черв'яка екструдера та формуючої головки; виконано проектування удосконаленої конструкції черв'яка; виконано параметричний розрахунок черв'яка; розраховано потужність приводу черв'ячного екструдера; виконано розрахунок тиску, який розвиває черв'як; розраховано та удосконалено конструкцію формуючої головки черв'ячного екструдера.

Ступінь впровадження – результати розрахунків та розробки конструкції використовуються для впровадження в виробництво.

Галузь застосування – агропромислове виробництва.

В результаті впровадження даної конструкції у виробництво очікується чистий прибуток 10000 гривень.

ЛІНІЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПРОФІЛІВ, ЕКСТРУДЕР, ЧЕРВ'ЯК, ГОЛОВКА, РЕДУКТОР, МОДЕРНІЗАЦІЯ, ТЕХНОЛОГІЯ, ПРОЦЕС, ПОЛІВІНІЛХЛОРИД.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ

ЗМІСТ

ВСТУП

СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Загальні характеристики екструдерів та його робочих органів

1.2 Фізична модель процесу плавлення

1.3 Методика якісної оцінки суміші

1.4 Математичний опис плавлення матеріалу в екструдері

1.5 Висновки до розділу 1

2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Програма експериментальних досліджень

2.2. Методика проведення експерименту

2.3 Опис технологічного обладнання виробництва ПВХ профілю

2.4 Математична модель розрахунку модуля подачі черв'ячного екструдера

2.4 Висновки до розділу 2

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Розрахунок параметрів досліджуваного черв'яка

3.2 Визначення параметрів продуктивності екструдера

3.3 Розрахунок тиску який розвиває черв'яка

3.4 Розрахунок параметрів формуючої головки

3.5 Тепловий розрахунок екструдера

3.6 Висновки до розділу 3

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Екологічна експертиза

4.2 Охорона праці

4.3 Техніко-економічне обґрунтування досліджень

4.4 Висновки до розділу 4

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИПРОСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ДОДАТКИ

ВСТУП

Актуальність теми. На сьогоднішній день і в Україні основною проблематикою в напрямку розвитку технологій виробництва виробів з полівінілхлориду (ПВХ) є ціна на матеріал. Полівінілхлорид є основним та на даний час найдорожчим матеріалом, що застосовується при виробництві профілів. Екструдери найбільш поширені машини, що використовуються при переробці полімерів із застосуванням композитів. Основними робочими органами екструдерів є обертовий черв'як який під час транспортує матеріалу у каналі гвинтової нарізки підлягає різним процесам (нагрівання, генерування тиску, ущільнення). Завдяки різноманітності процесів черв'ячні екструдери використовуються в багатьох технологічних схемах. Конструювання робочих органів екструдера залежать від галузі застосування, властивостей матеріалу та вимог як представлені до вихідного виробу.

Мета дослідження – модернізація конструкції черв'яка та формуючої головки екструдера.

Об'єкт дослідження – технологія виробництва та процес модернізації робочих органів екструдера.

Предмет дослідження – робочі органи екструдера (черв'як та формуюча головка).

Завдання дослідження:

- 1) провести аналіз існуючих конструкцій та ліній для виробництва профілю;
- 2) провести аналіз конструкцій робочих органів екструдера (черв'яка, формуючої головки);
- 3) розробити удосконалену конструкцію черв'яка екструдера та формуючої головки;
- 4) виконати розрахунки які підтвердять працездатність даного впровадження.

Теоретична та практична значущість: удосконалення черв'яка екструдера підвищує продуктивність екструдера, за рахунок даного удосконалення створюється також додатковий тиск, що забезпечує циркуляцію розплаву та підвищує якість змішування матеріалу. Удосконалення формуючої головки дозволить отримати полімерні вироби без дефектів на поверхні профілю, що зменшить кількість бракованої продукції. В результаті зменшення бракованої продукції зменшуються затрати на повторну її переробку.

СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Загальні характеристики екструдерів та його робочих органів

Лінія для виробництва ПВХ панелей включає комплекс спеціального екструзійного і периферійного обладнання. Випуск ПВХ панелей здійснюється за допомогою екструзійних машин. Основне обладнання, що входить до складу лінії: екструдер, автоматичний завантажувач, калібрувальний стіл, протягувальний пристрій, відрізний стіл, укладач, міксер, дробарку.

Основною одиницею виробничої лінії є екструдер, який забезпечує виробництво ПВХ виробів із якісних полімерів та формує їх зовнішній вигляд. Завдяки екструдеру, вони набувають необхідної форми та характеристик. Екструдери поділяються на два типи: одношнекові та двошнекові. Одношнекові екструдери зазвичай використовують для виготовлення елементів декору, меблів, інтер'єру.

Для двошнекових екструдерів характерні велика потужність та продуктивність. Від вибору моделі екструзійного верстата залежить продуктивність ПВХ лінії.

Найбільш характерною класифікацією вважається розподіл екструдерів за конструктивними ознаками (рис. 1.1; табл. 1.1).

Серед основних конструкцій екструдерів застосовуються з обертовими робочими органами у вигляді черв'яків, які характеризуються універсальністю й забезпечують достатню продуктивність за умови задовільного змішувального ефекту.

Одно-черв'ячні екструдери з циліндричними черв'яками є найбільш поширеними в використанні з постійним кроком і змінною глибиною каналу, дво- черв'ячні екструдери з різно- та односпрямованим обертанням циліндричних черв'яків із взаємним їх зачепленням. Класифікацію робочих органів екструдерів – черв'яків представлено на рисунку 1.2.

Одно-черв'ячні екструдери є найпоширеніших з технологічного обладнання, що використовується для переробки полімерів.

Матеріал, що транспортується по гвинтовому каналу підлягає впливу деформації та зростанню тиску. Під час роботи за рахунок енергії та за рахунок підводу від системи нагрівання циліндра відбувається нагрівання матеріалу, проходять відповідні перетворення матеріалу (змішування, ущільнення) складових сировини. Частота обертання черв'яка, регулюється приводом постійного струму [1].

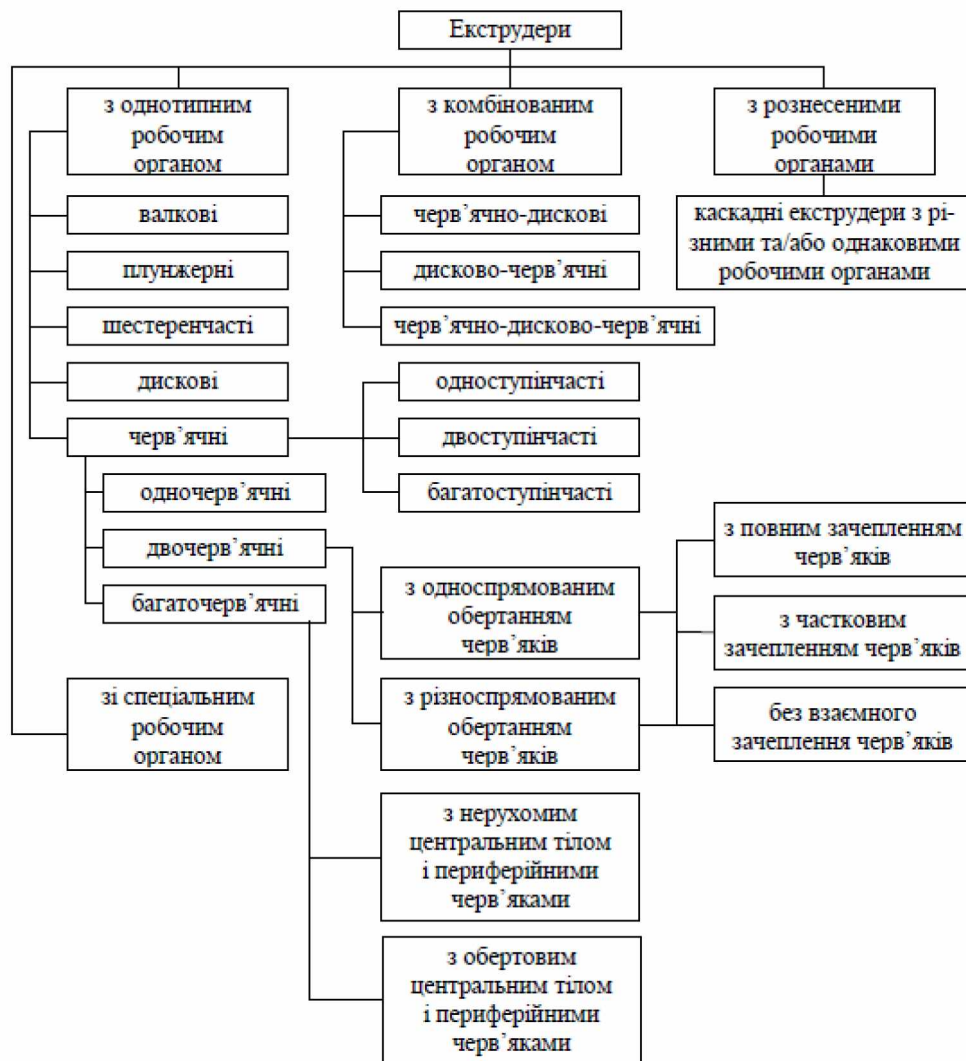


Рисунок 1.1 – Класифікація екструдерів за конструктивними ознаками

Промисловістю випускаються екструдери з діаметрами черв'яка 20, 32, 45, 90, 125, 160, 250, 320 мм.

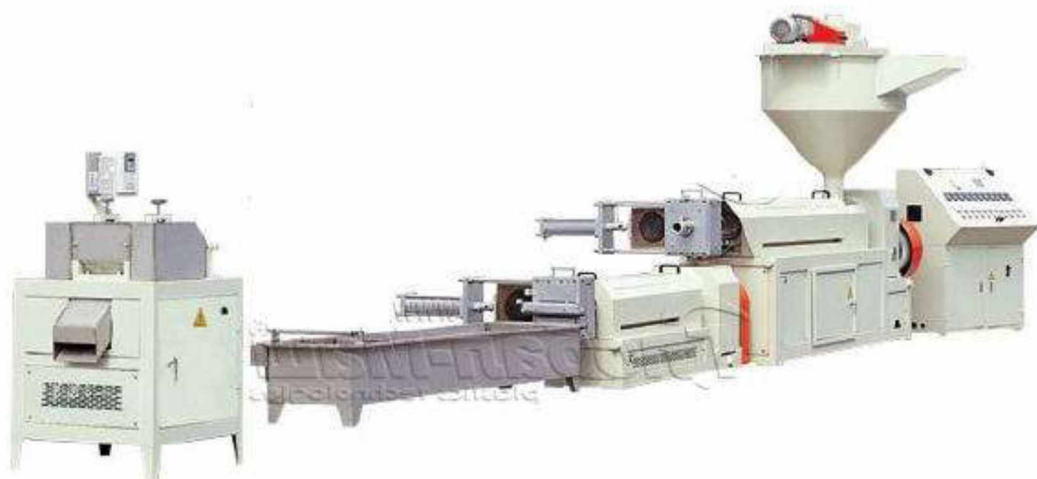


Рисунок 1.2 – Екструдер каскадний

Під час переробки полімерів екструдер крім плавлення і гомогенізації забезпечує також тиск, необхідний для продавлювання розплаву крізь екструзійну головку.



Рисунок 1.3 – Екструдер з повним зачепленням черв'яків

Для уникнення перегріву матеріалу в екструдері встановлюється водяна, повітряна або комбінована система охолодження екструдера. Система охолодження виконується автоматично в залежності від температурних показників [1].

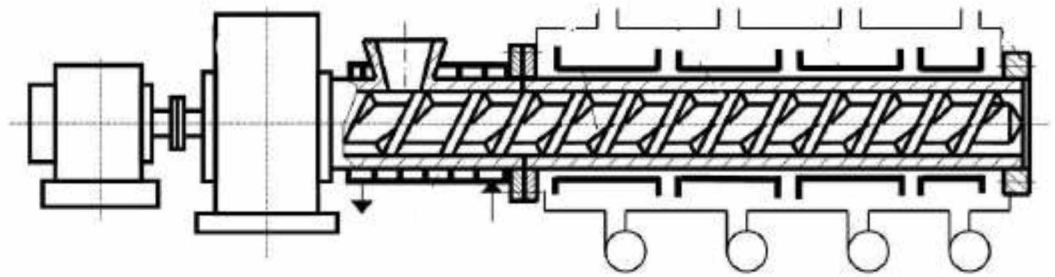


Рисунок 1.4 – Екструдер одношнековий

Вихідна сировина (полімер) під час свого руху вздовж шнека проходить ряд впливів на сировину (плавлення, стиснення, гомогенізація) перед попаданням в формуючу головку. Формуюча головка закріплена до циліндра.

Найпоширеніші види черв'яків екструдерів представлено на рис.1.5 [1].

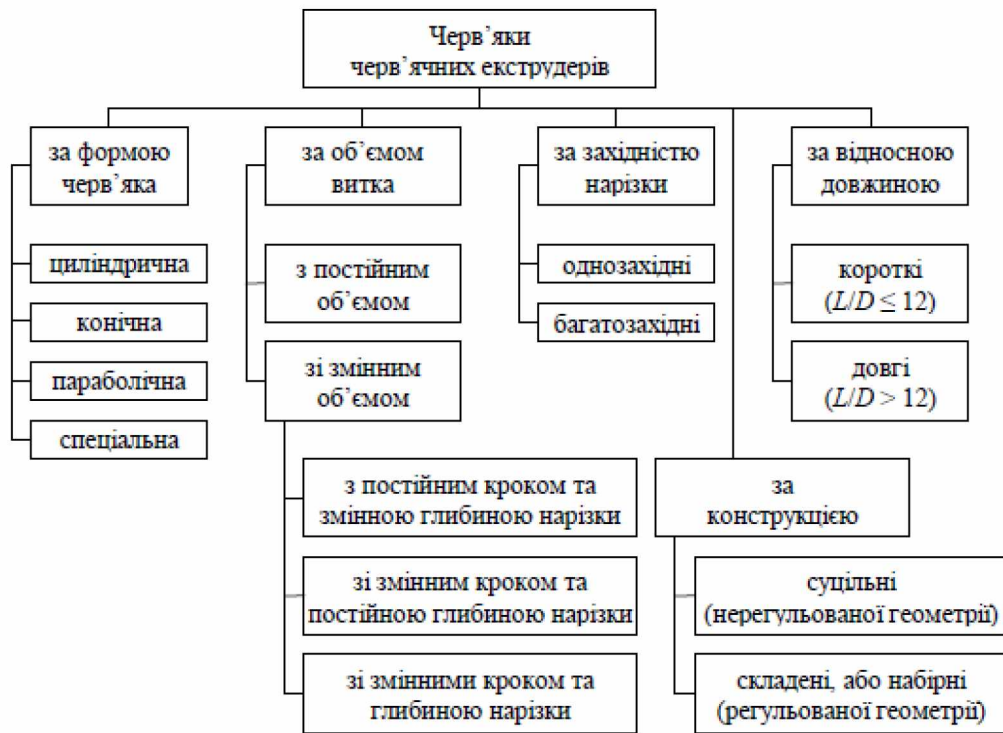
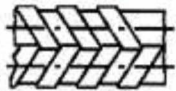
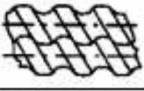









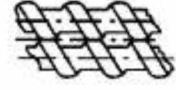


Рисунок 1.5 – Класифікація черв'яків

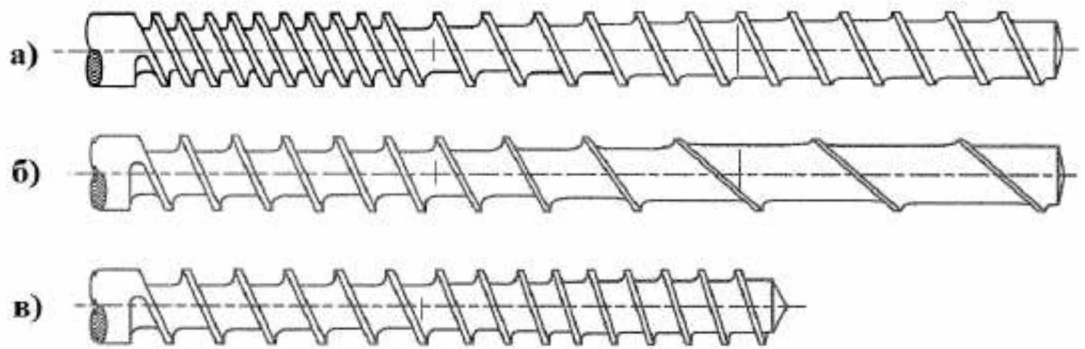
Конструювання екструдера формується вибором геометрії черв'яка, заданої продуктивності, якісних характеристик. В залежності від матеріалу, що переробляється конструювання черв'яка виконується попередній геометричний розрахунок. Черв'яки й циліндри екструдерів працюють в умовах підвищених температур і значних навантажень. Для виготовлення застосовують леговану сталь марки 40ХН2МА, 40Х, а гільзи зі сталі 38Х2М10А. Продуктивність екструдерів безпосередньо залежить від

геометричних розмірів та конфігурації шнеків. Тому при виборі інструменту враховуються такі характеристики: діаметр стрижня (D), його довжина (L), а також співвідношення довжини щодо діаметра (L/D); висота витків на різних ділянках шнека h_1, h_2 тощо; довжина ділянок шнеків з різною висотою витків L_1, L_2 тощо; ширина гребеня гвинта (e); кут гвинтової нарізки (ϕ); відстань межу витків – крок витка (t) [1].

Таблиця 1.1 – Класифікація дво-черв'ячних екструдерів за взаємним розміщенням черв'яків

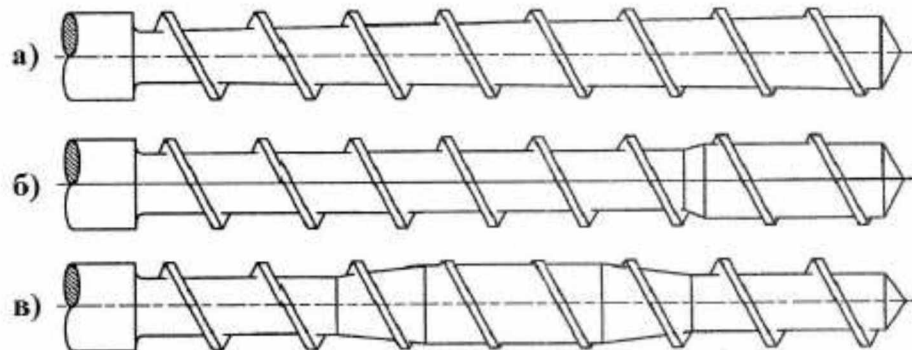
Наявність зачеплення черв'яків		Схема зачеплення черв'яків		Обертання черв'яків у протилежних напрямках	Обертання черв'яків в одному напрямі	
черв'яки, що перебувають у взаємному зачепленні	повне зачеплення	закриті в поздовжньому й поперечному напрямках			теоретично неможливо	
		відкриті в поздовжньому й закриті в поперечному напрямках		теоретично неможливо	черв'яки	
		відкриті в поздовжньому й поперечному напрямках		теоретично можливо, але майже не реалізується	кулачки	
	часткове зачеплення	відкриті в поздовжньому й закриті в поперечному напрямках			теоретично неможливо	
		відкриті в поздовжньому й поперечному напрямках				
						
черв'яки без взаємного зачеплення	відкриті в поздовжньому й поперечному напрямках	з контактом вершин гребенів черв'яків				
		без контакту вершин гребенів черв'яків				

Відповідно до чинних вітчизняних та міжнародних стандартів, шнеки виробляються у загальноприйнятих типорозмірах. Зазвичай діаметр робочого інструменту становить в межах від 20 мм до 320 мм.



а – шнек зі збільшеною західністю в зоні живлення; б – шнек зі змінним зростаючим кроком нарізки; в – шнек зі змінним кроком нарізки

Рисунок 1.6 – Конструкції типових шнеків



а – шнек без зони дозування і без зони живлення; б – шнек з дуже різким стисненням; в – декомпресійний шнек

Рисунок 1.7 – Конструкції типових шнеків

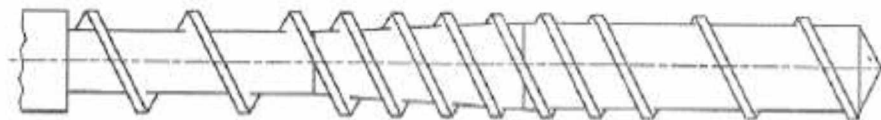


Рисунок 1.8 – Шнек з багато західною нарізкою для покращення якості плавлення розплаву

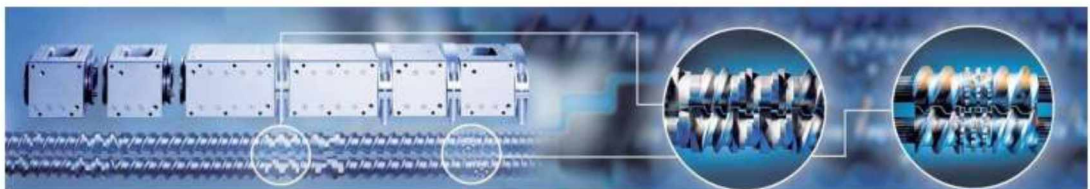


Рисунок 1.9 – Шнек Майллефера



Рисунок 1.10 – Гвинт Архімеда

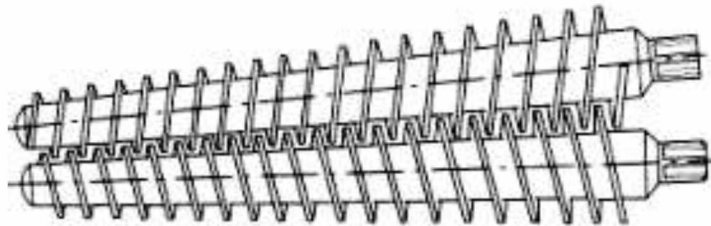


Рисунок 1.11 – Конічні спарені шнеки

Лінія виробництва ПВХ профілю має ряд обладнання яке встановлено послідовно, та працює в взаємодії один з одним.

1.2 Фізична модель процесу плавлення

У міру переміщення матеріалу, що переробляється вздовж матеріального циліндра, температура якого змінюється та перевищує температуру плавлення полімеру, його ущільнення під дією шнека тиску, що розвивається в каналі, відбувається нагрівання полімеру та його плавлення. Характер плавлення визначається рядом факторів, а саме: температурним режимом матеріального циліндра і черв'яка, відносною рухливістю частинок у пробці ущільненого матеріалу, положенням зони стиснення черв'яка щодо температурного поля циліндра та поряд інших [1, 2].

Залежно від температурного режиму циліндра та черв'яка можливі три варіанти плавлення матеріалу: на циліндрі, на черв'яку, на циліндрі та черв'яку одночасно. Проте найімовірніше початок процесу плавлення на стінці

циліндра, де і утворюється первісна плівка розплаву, з якої процес плавлення поширюється на весь переріз черв'яка.

Для опису процесу плавлення матеріалу в екструдері запропоновано ряд фізичних моделей, які можуть бути поділені на дві групи: моделі плівкового механізму плавлення та моделі пробкового механізму плавлення.

У фізичних моделях плівкового механізму плавлення передбачається початкове утворення плівки розплаву на поверхні матеріального циліндра у перерізі, де температура стінки перевищує температуру плавлення полімеру. За рахунок утворення профілю створюється градієнт тиску в масі нерозплавленого матеріалу, що призводить до утворення міцної твердої пробки (рис. 1.12).

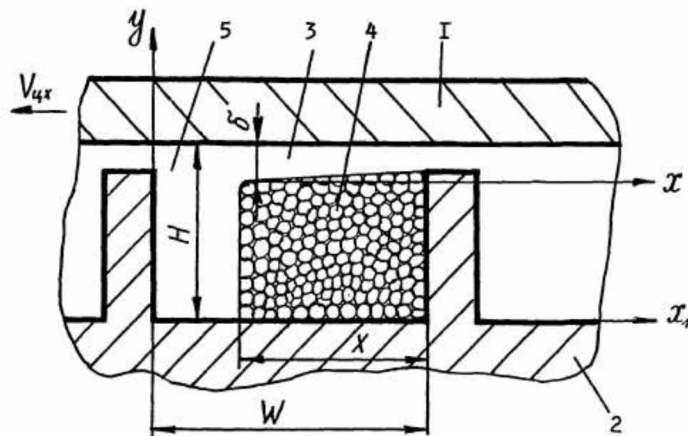


Рисунок 1.12 – Плавлення суміші в екструдері

Тверда пробка має форму спіралі і переміщається каналом черв'яка без деформацій. У міру підігріву плівки товщина її збільшується за рахунок плавлення матеріалу пробки. Після того як товщина плівки перевищить величину зазору між гребенями нарізки черв'яка та циліндром, відбувається здирання плівки нарізкою черв'яка та утворення зони циркулюючого розплаву та відповідно зменшується ширина пробки X . У зоні циркулюючого розплаву розвивається градієнт тиску dp/dx під дією якого пробка притискається до "пасивної" сторони нарізки черв'яка і постійно деформується таким чином, що її висота залишається практично незмінною. Нагрівається пробка внаслідок теплопровідності від поверхонь циліндра і черв'яка, а також дисипативних тепловиділень у плівці розплаву.

Розташування зони циркуляції визначається сумарною величиною сили, що діє на корок. При великих значеннях градієнта тиску в напрямку каналу напрямом дії цієї сили може змінюватися, і пробка притискається до стінки нарізки, черв'яка. Останнє спостереження при переробці жорсткого ПВХ [1].

При утиску ширини твердої пробки $X/W < 0,5$ (рис. 1.13), спостерігається процес її руйнування, що виявляється у появі "тріщин", перпендикулярних нарізці черв'яка. Тріщини виникають у зоні стиснення або гомогенізації через певні інтервали, заповнені розплавом. Зазвичай довжина фрагментів твердої пробки в 1-4 рази більше за її ширину. При подальшому продовженні пробки матеріалу вздовж каналу черв'яка.

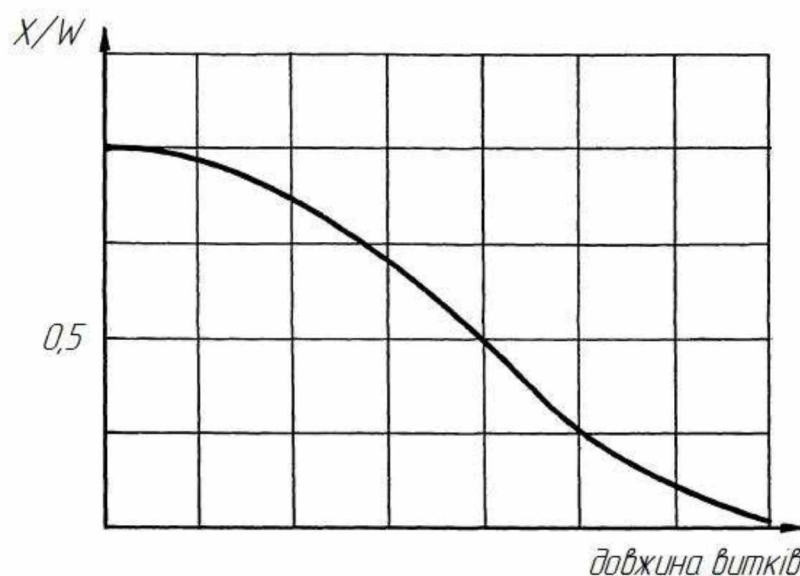


Рисунок 1.13 – Кінематика плавлення в екструдері

1.3 Методика якісної оцінки суміші

Будь-яка суміш для приготування профілю складається з двох або кількох компонентів. Компонент суміші, концентрація якого вище за інших, вважається основним, другий компонент - ключовим, що розподіляється. При вивченні процесів змішування доводиться стикатися з поняттям ефективності змішування, пов'язане з однорідністю суміші. Процес змішування включає три основні механізми [2]:

1) розподіл часток на поверхнях, що постійно утворюються поверхня суміші - дифузійне змішування;

2) переміщення груп суміжних частинок з однієї точки суміші іншу – конвективне змішування;

3) переміщення окремих об'єктів суміші один щодо друга по площині ковзання - змішування зрушенням.

Зазвичай у процесі змішування тією чи іншою мірою беруть участь всі три механізми, при цьому вплив кожного з них змінюється на відповідно до виду змішувального обладнання та властивостей перероблюваних матеріалів.

При ідеально однорідному розподілі ключового компонента його вміст по всьому обсягу суміші постійно, хоча взаєморозташування його частина може бути найрізноманітнішим. Це означає, що їх початковий упорядкований розподіл змінився на хаотичне та є величиною випадковою. Тому більшість сучасних критеріїв оцінки якості суміші засновано на методах статистичного аналізу.

Якість змішування визначається статистичним опрацюванням результатів аналізу проб, взятих з готової суміші, обсяг яких дуже малий у порівнянні з обсягом досліджуваної системи.

1.4 Математичний опис плавлення матеріалу в екструдері

Екструдований матеріал надходить у вигляді порошку. Гранули, як правило за допомогою дозаторів, завантажуються в бункер та через завантажувальний отвір надходять до шнека. Просуваючись вздовж циліндра, гранули розплавляються, потім розплав проходить в голівку, якої відбувається профіль екструдата. Шнек переміщає не-пластифікований матеріал від завантажувального отвору, пластифікує його і поступово подає як гомогенного розплаву до головки [3].

Просуваючись каналом шнека, матеріал розігрівається як за рахунок тепла, що підводиться від розташованих на корпусі нагрівачів, так і за рахунок

тепла, що виділяється внаслідок в'язкого тертя. В процесі ущільнення матеріалу з нього видаляється повітря, захоплене разом з гранулами або порошком, та питомий обсяг композиції зменшується.

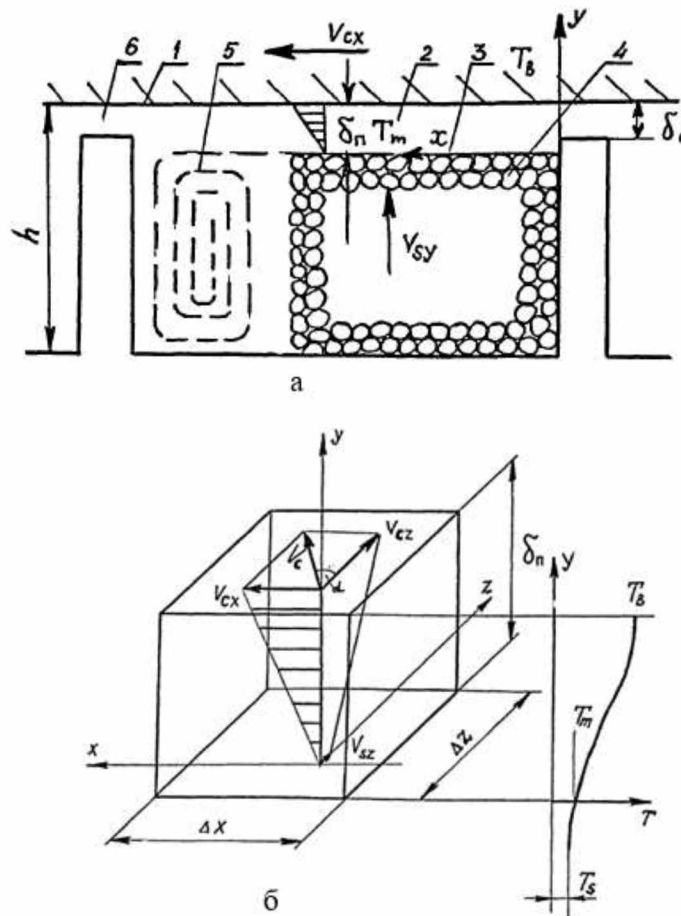


Рисунок 1.14 – Модель плавлення полімеру у перехідній зоні екструдера

Якісна картина механізму плавлення наведена на рисунку 1.14. Плавлення полімеру починається при дотику його до нагрітої до температури плавлення полімеру внутрішньої стінкою циліндра. Тонка плівка розплаву, що утворюється, знімається гребенем витка, як тільки товщина δ_0 , стає більше величини радіального зазору між δ шнеком та циліндром. Розплав полімеру збирається біля стінки гвинтового каналу, що штовхає. Ширина твердої зони у міру просування матеріалу вздовж каналу зменшується, а зона розплаву збільшується, і процес плавлення закінчується тоді коли область твердого матеріалу повністю зникає.

Математичне опис зони плавлення вперше здійснено Тадмор [3]. Модель будувалася у припущенні, що процес плавлення є стаціонарним, отже, поля швидкостей і температур у кожному перерізі не залежать від часу. Далі передбачалося наявність температури плавлення на відміну від реальної температурної області плавлення; вважалося, що тверда зона – гомогенне безперервне середовище, а поперечні перерізи каналу та твердої зони – прямокутні. Ідеалізований процес плавлення протікає наступним чином. Тепло до межі розділу проводиться через рухома плівку від стінки циліндра. Додаткове тепло генерується в'язкою дисипацією у плівці. Теплообміном з циркулюючим у зоні розплаву полімером нехтують, так як висота твердої зони набагато менше її ширини. Теплообмін за рахунок провідності і конвекції у напрямку осі гвинтового каналу також нехтують. При розрахунку теплообміну вважають, що товщина тверда зони у напрямку осі (рис.1.13) нескінченно велика, оскільки коефіцієнт теплопровідності немонолітного полімеру дуже малий, та температура в міру віддалення від межі розділу швидко висихають, блукаючи до температури полімеру в масі твердої зони.

Швидкість плавлення залежить від різниці теплового потоку, що підводиться до межі розділу плівки, та теплового потоку, що відводиться від неї до твердої зони. Товщина дуже мала (порядку 0,02 см), у той час як швидкість руху поверхні циліндра дуже висока (в межах 10-100 см/мин). Це підтверджує правомірність представлення про рух плівки як про вимушене потоку між двома нескінченними паралельними пластинами. Верхня пластина I – внутрішня поверхня корпусу, що рухається зі швидкістю V_{cx} і має температуру T_e , а нижня пластина – поверхня розділу фаз 3, температура якої дорівнює температурі плавлення полімеру T_m (ця поверхня рухається вздовж по каналу з постійною швидкістю V_{sz}). Розплав полімеру вважається ньютонівською рідиною [3].

Завдання вирішувалося при припущенні, що є чітка межа розділу "тверда пробка - плівка розплаву", пробка твердого матеріалу гомогенна і безперервна, має прямокутну форму перерізу та необмежену висоту в

напрямку осі y , а плавлення відбувається на межі розділу "тверда пробка - плівка розплаву". Товщина плівки $2-\delta_n$ розплаву в порівнянні з шириною твердої пробки X дуже мала. Розв'язанням рівнянь руху та енергії [4]

$$\frac{d^2 \cdot g_j}{d \cdot y^2} = 0, \quad (1.1)$$

$$k \cdot m \cdot \frac{\partial^2 \cdot T}{\partial \cdot y^2} + \mu \left(\frac{\partial \cdot g_j}{\partial \cdot y} \right)^2 = 0 \quad (1.2)$$

При граничних умовах

$$g_j|_{y=0} = 0; \quad g_j|_{y=\delta_0} = v_j; \quad (1.3)$$

$$T|_{y=0} = T_m; \quad T|_{y=\delta_0} = T_B; \quad (1.4)$$

автором отримано наступне рівняння розподілу температури в плівці розплаву

$$\frac{T - T_m}{T_B - T_m} = \mu \cdot \frac{g_j^2}{2 \cdot k_m \cdot (T_B - T_m)} \cdot \frac{y}{\delta_n} \cdot \left(1 - \frac{y}{\delta_n} \right) + \frac{y}{\delta_n}; \quad (1.5)$$

k_m – коефіцієнт температуропровідності розплаву;

T_B, T_m – температура поверхні розділу та стінки циліндра;

μ – в'язкість ньютонівської рідини;

δ_n – товщина плівки розплаву;

g_j – швидкість руху стінки циліндра щодо поверхності розділу;

g_c – швидкість стінки циліндра;

g_{sz} – компонент швидкості твердої пробки по осі Z ;

α – кут підйому гвинтового каналу.

1.5 Висновки до розділу 1

В даному розділі приведена характеристика закордонних і вітчизняних екструдерів ті його основних робочих органів (шнеки, формуючі головки). Розглянуто процес плавлення матеріалу в головці екструдера та математичний опис плавлення матеріалу.

2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Програма експериментальних досліджень

У програму експериментальних досліджень входять:

1. Розрахунок параметрів черв'яка та головки для моделювання.
2. Моделювання головки екструдера.
3. Моделювання черв'яка екструдера.
4. Проведення експериментальних досліджень після виготовлення черв'яка.

2.2. Методика проведення експерименту

Після виходу екструдера на стаціонарний режим роботи температура робочих зон циліндра підтримувалася автоматично: у зоні I - 410 К, в зоні II - 415 К, в зоні III - 420 К і в IV зоні - 430 К. Рівномірна подача в бункер екструдера здійснювалася транспортером у строго певному співвідношенні. Зміст наповнювача становить 30% по масі. Привід екструдера налаштовувався на певну частоту обертання шнека. Після виходу екструдера на стаціонарний режим роботи фіксується значення тиску розплаву в голівці та продуктивність екструдера. Для зняття зліпків зі черв'яка екструдера зупинявся і після охолодження за допомогою спеціального знімача знімався матеріальний циліндр. На зліпках вимірювалися розміри функціональних зон за довжиною шнека, а також досліджувалась кінетика плавлення полімеру в кожному з витків шнека у зоні стиснення. Визначалася інтенсивність плавлення (час плавлення), форма та розміри агломератів наповнювача, якість екструдера. Для цього із зліпків були отримані мікротомні зрізи товщиною в кілька мікронів, які вивчалися за допомогою фотографування під мікроскопом.

2.3 Опис технологічного обладнання виробництва ПВХ профілю

Для виробництва профілю в приміщенні встановлено лінію з ряду технологічного обладнання: екструдера, калібрувального пристрою, охолоджувальної ванни, машини для протягування профілю, обрізна машина, стіл для прийому та фасування профілю.

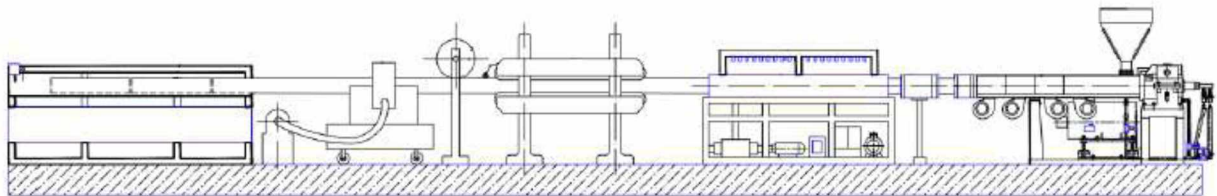


Рисунок 2.1 – Технологічна лінія виробництва профілю

Полівінілхлорид подається в екструдер за допомогою транспортера.



Рисунок 2.2 – Транспортувальний пристрій

Привід екструдера здійснювався за допомогою електродвигуна постійного струму, що дозволяє варіювати частотою обертання шнека плавно та в необхідних межах. Обертний момент від двигуна до шнека екструдера передавався редуктором разом з клинопасовою передачею. Привід екструдера був забезпечений тахогенератором, за допомогою якого контролювалася частота обертання шнека. Експериментальна установка для дослідження процесу виробництва профілю представляє собою екструдер, з черв'яком діаметром 63 мм, що знаходиться в товстостінному корпусі циліндра.



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд екструдера
Матеріал транспортується черв'яком по гвинтовому каналі циліндра.



Рисунок 2.4 – Черв'яки екструдера



Рисунок 2.5 – Блок керування екструдером

Система контрольно-вимірювальних (рис.2.5) і регулюючих приладів, змонтованих на блоці керування екструдером, дозволяла:

1. Регулювати температуру всіх секцій матеріального циліндра точністю до 1,5 К;
2. Вимірювати температуру всіх секцій циліндра від зони завантаження до головки екструдера, з точністю до 0,5 К;
3. Безступінчасто регулювати та вимірювати частоту обертання шнека з точністю 0,05 рад/с, діапазон зміни від 0,4 до 7 рад/с;
4. Вимірювати електричну потужність приводу з точністю 0,01 кВт;
5. Безступінчасто регулювати продуктивність подачі матеріалу та наповнювача у завантажувальний бункер екструдера.

До формуючої головки екструдера, матеріал транспортується циліндричним каналом гребнем черв'яка. З формуючої головки надходить готовий продукт – профіль. Головка екструдера має легкоснімну конструкцію, що полегшувало монтаж та демонтаж елементів, що закріплюються на кінці шнека. Крім того, головка має свій нагрівальний елемент, термопару та пристрій поршневого типу для вимірювання тиску матеріалу, що переробляється в головці.



Рисунок 2.6 – Формуюча головка (фільєра)

Готовий профіль проходить через калібруючий пристрій (рис.2.7), який формує геометричну форму профілю за допомогою вакууму створеним калібруючим пристроєм.



Рисунок 2.7 – Калібруючий пристрій

Після калібратора профіль надходить в спеціальну охолоджуючу ванну (рис.2.9), де відбувається закріплення форми профілю. Під час проходження профілю через охолоджувальну ванну профіль стабілізується і набуває постійної температури, завдяки чому форма профілю стає незмінною. Охолоджувальна водяна ванна встановлена після калібратора, для одержання кінцевих параметрів профілю.



Рисунок 2.8 – Блок керування калібратора



Рисунок 2.9 – Охолоджувальна водяна ванна

Після водяної ванни сформований профіль надходить в протягувальний пристрій та подає готовий профіль на відрізувальний пристрій.



Рисунок 2.10 – Протягувальний пристрій

Відрізний пристрій – дискову пилу, використовують для відрізання профілю на стандартну довжину.

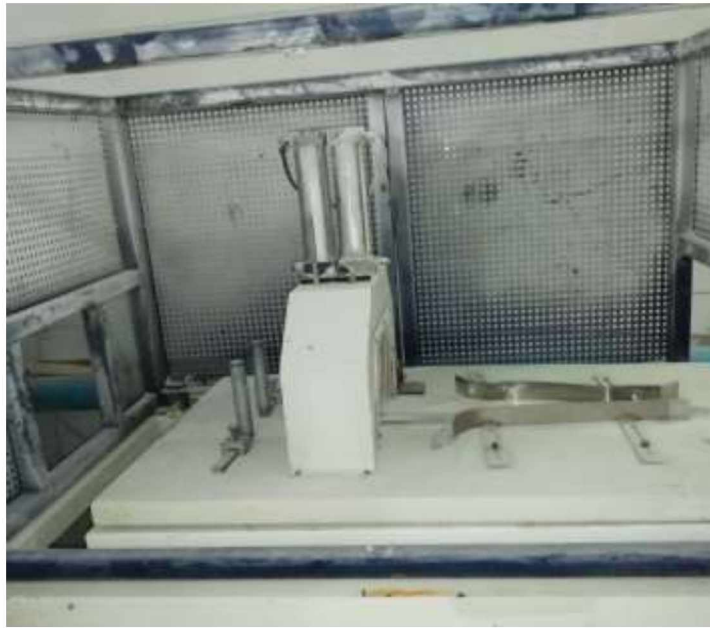


Рисунок 2.11 – Відрізувальний пристрій

Пакувальний стіл (рис.2.12) встановлюється після відрізувального пристрою та забезпечує надходження профілю на пакування.



Рисунок 2.12 – Приймальний та пакувальний стіл

Таблиця 2.1 – Технічні параметри екструдера

Найменування параметра	Показник
1	2
Продуктивність екструдера, кг/год	90
Діаметр вихідного черв'яка, мм	63
Відношення робочої довжини черв'яка до його діаметру	25
Потужність електродвигуна, кВт	37

1	2
Потужність нагрівних елементів, кВт	9,4
Кількість обертів черв'яка, об/хв.	16... 160
Тиск фільтри (головки), МПа	28
Кількість затраченої води, м ³ /год	0,4
Температура води, °С	200
Маса екструдера, кг	2300
Габаритні розміри екструдера, мм	
- довжина	2525
- ширина	1040
- висота	1870

Таблиця 2.2 – Характеристика фізико–механічних властивостей матеріалу

Найменування параметра	Показник
Щільність при 20 °С, кг/м ³	940–950
Руйнуюча напруга, МН/м:	
– розтягнення	11,8–16,7
– вигин	9,8–16,7
Відносне подовження при розтягуванні, %	500–600
Модуль пружності при розтягуванні, МН/м ²	147–245
Модуль пружності при вигині, МН/м ²	118–225
Твердість по Бріннелю, МН/м ²	13,7–24,5
Температура плавлення, °С	105–108
Питома теплоємність при 25°С, кДж/(кг·°С)	1,9–2,5
Теплопровідність, Вт/(м·К)	0,29
Тангенс кута діелектричних втрат при 10 Гц і 20 °С	(2–3)·10 ⁻⁴
Насипна щільність гранульованого матеріалу, кг/м ³	520
В'язкість при 180°С, Па·с	1300
Текучість розплаву при 180°С, г/10 хв	3

2.4 Математична модель розрахунку модуля подачі черв'ячного екструдера

Процес подачі сипучих матеріалів (рис.2.13) визначається за рахунок схеми.

Частота обертання черв'яка розраховується з полімерною швидкістю визначається за формулою [4]:

$$V = \pi \cdot D \cdot n, \quad (2.1)$$

де D – діаметр черв'яка, м;

n – частота обертання черв'яка, с^{-1} .

Сумарна швидкість складається із швидкості V , швидкості черв'яка V_y , швидкості відносно циліндра V_u , швидкості руху полімеру V_o .

$$V_y = V \cdot \frac{\sin \varphi}{\sin(\omega + \varphi)}; \quad (2.2)$$

$$V_u = V \cdot \frac{\sin \omega}{\sin(\omega + \varphi)}; \quad (2.3)$$

$$V_o = V \cdot \frac{\text{tg} \varphi \cdot \text{tg} \omega}{\text{tg} \varphi + \text{tg} \omega}, \quad (2.4)$$

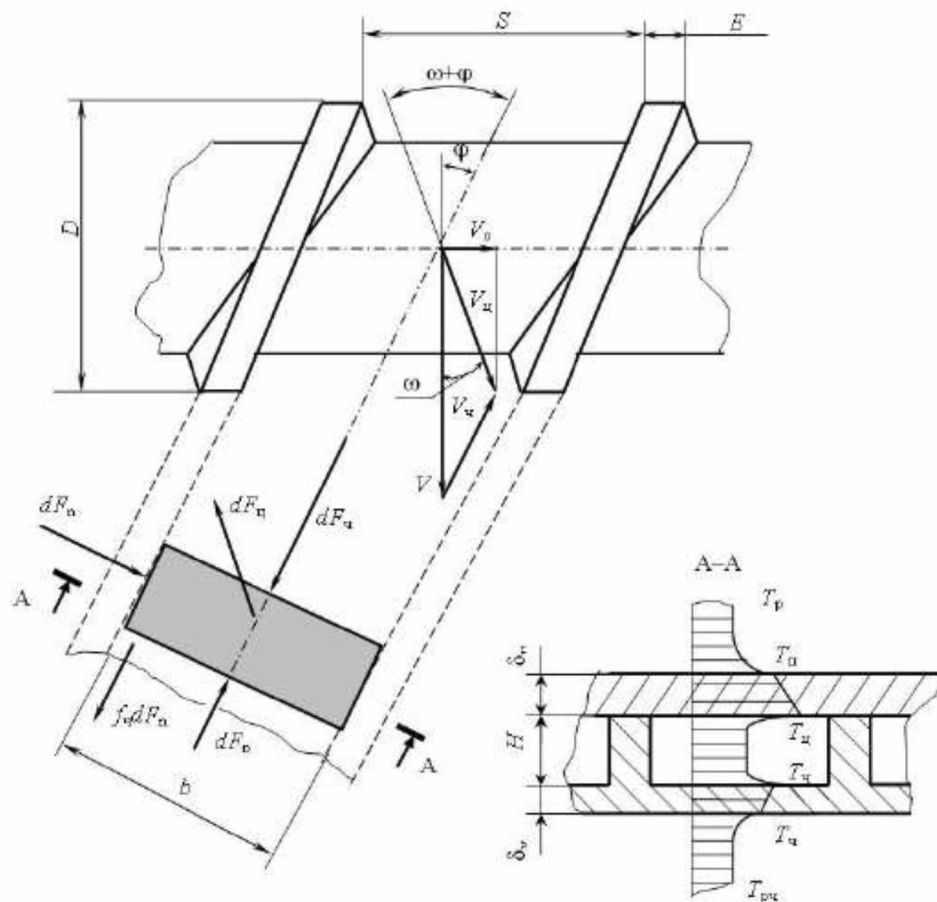


Рисунок 2.13 – Схема процесу подачі сипучого матеріалу

Кут нахилу гвинтової нарізки [4]:

$$\varphi = \operatorname{arctg}\left(\frac{S}{\pi \cdot D}\right), \quad (2.5)$$

де S – крок гвинтової нарізки, м.

Площа поперечного перерізу черв'яка визначається за формулою:

$$S_k = \frac{\pi}{4} \cdot [D^2 - (D - 2H)^2] - \frac{EH}{\operatorname{tg}\varphi}, \quad (2.6)$$

де H – глибина канавки (нарізки), м;

E – ширина гребеня витка, м.

Продуктивність в зоні подачі визначається за формулою:

$$G = \rho_n \cdot V_o \cdot S_k, \quad (2.7)$$

де ρ_n – насипна маса матеріалу, кг/м³.

Враховуючи дані (2.4) і (2.6) матимемо:

$$G = \rho_n \cdot \left\{ \frac{\pi}{4} [D^2 - (D - 2H)^2] - \frac{EH}{\operatorname{tg}\varphi} \right\} \cdot \frac{\operatorname{tg}\varphi \cdot \operatorname{tg}\omega}{\operatorname{tg}\varphi + \operatorname{tg}\omega}. \quad (2.8)$$

Сили, що проектуються на осі x та y визначаються за формулою:

$$dF_n - dF_y \cdot \sin(\omega + \varphi) = 0; \quad (2.9)$$

$$-d \cdot F_y \cdot (\cos(\omega + \varphi)) + d \cdot F_x + f_c \cdot d \cdot F_n + d \cdot F_p = 0. \quad (2.10)$$

Після підстановки (2.9) у рівняння (2.10) одержимо [4]:

$$dF_p = d \cdot F_y \cdot [\cos(\omega + \varphi) - F_x \cdot \sin(\omega + \varphi)] - d \cdot F_x \quad (2.11)$$

2.5 Висновки до розділу 2

Сформовано програму та методику проведення експериментальних досліджень. Розглянуто технологічну лінію для виробництва профілю, основне обладнання, технічні характеристики екструдер та фізико-механічні властивості матеріалу для виробництва профілю.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Розрахунок параметрів досліджуваного черв'яка

Кут підйому φ визначаємо за формулою:

$$\varphi = \arctg \frac{t}{\pi \cdot D} = \arctg \frac{63}{3,14 \cdot 63} = 17,65^\circ. \quad (3.1)$$

Висота гребеня черв'яка визначається за формулою:

$$e = (0,08/0,12) \cdot D = 0,1 \cdot 63 = 6,3 \text{ мм}. \quad (3.2)$$

Зазори між черв'яком і гільзою становитиме:

$$\delta = (0,002/0,003) \cdot D = 0,003 \cdot 63 = 0,189 \text{ мм}. \quad (3.3)$$

Профіль нарізки радіусу заокруглення дорівнює:

$$R = (0,12 \cdot 0,18) \cdot D = 0,15 \cdot 63 = 9,45 \text{ мм}. \quad (3.4)$$

$$r = (0,06 \cdot 0,12) \cdot D = 0,08 \cdot 63 = 5,04 \text{ мм}. \quad (3.5)$$

Глибина гвинтового каналу під завантажувальною лійкою:

$$h_1 = (0,12/0,016) \cdot D = 0,14 \cdot 63 = 8,52 \text{ мм}. \quad (3.6)$$

Глибина гвинтового каналу в зоні дозування матеріалу:

$$h_2 = 0,5 \cdot \left[D - \sqrt{D^2 - \frac{4 \cdot h_1}{i} \cdot (D - h_1)} \right], \quad (3.7)$$

$$h_2 = 0,5 \cdot \left[63 - \sqrt{63^2 - \frac{4 \cdot 8,52}{2,1} \cdot (63 - 8,52)} \right] = 3,01 \text{ мм}.$$

де $i = 2,1$ – ступінь стиску ПВХ.

Внутрішній отвору черв'яка дорівнює: $d_{\text{вн}} = 14 \text{ мм}$;

Діаметр стержня під завантажувальною воронкою:

$$d_1 = D - 2 \cdot h_1 = 63 - 2 \cdot 8,52 = 46,36 \text{ мм}. \quad (3.8)$$

Стержень в зоні дозування дорівнює:

$$d_2 = D - 2 \cdot h_2 = 63 - 2 \cdot 3,84 = 57,32 \text{ мм}. \quad (3.9)$$

Довжина торпеди:

$$L_{\text{торп}} = (0,6/0,8) \cdot D = 0,7 \cdot 63 = 44,1 \text{ мм}. \quad (3.10)$$

Довжина робочої частини черв'яка:

$$L_{роб} = (20/30) \cdot D = 25 \cdot 63 = 1575 \text{ мм.} \quad (3.11)$$

Довжина зони завантаження:

$$L_{зав} = (15/3) \cdot D = 2,5 \cdot 63 = 157,5 \text{ мм.} \quad (3.12)$$

Довжина зони дозування:

$$L_{доз} = (10/17) \cdot D = 17 \cdot 63 = 1120 \text{ мм.} \quad (3.13)$$

Довжина зони стиску:

$$L_{ст} = L_{роб} - L_{доз} - L_{зав} = 1575 - 1120 - 157,2 = 297,5 \text{ мм.} \quad (3.14)$$

Визначаємо довжину шліцьового зачеплення черв'яка: $L_{шл} = 85 \text{ мм}$;

Визначаємо довжину циліндричної частини черв'яка:

$$L_{цил} = (2/3) \cdot D = 2,5 \cdot 63 = 65 \text{ мм.} \quad (3.15)$$

Довжина відбійної частини приймається:

$$L_{від} = (0,1/0,7) \cdot D = 0,7 \cdot 63 = 40 \text{ мм.} \quad (3.16)$$

Загальна довжина черв'яка:

$$LO = L_{роб} + L_{шл} + L_{від} + L_{торн} + L_{цил} \quad (3.17)$$

$$LO = 1575 + 85 + 40 + 44,1 + 65 = 1810 \text{ мм.}$$

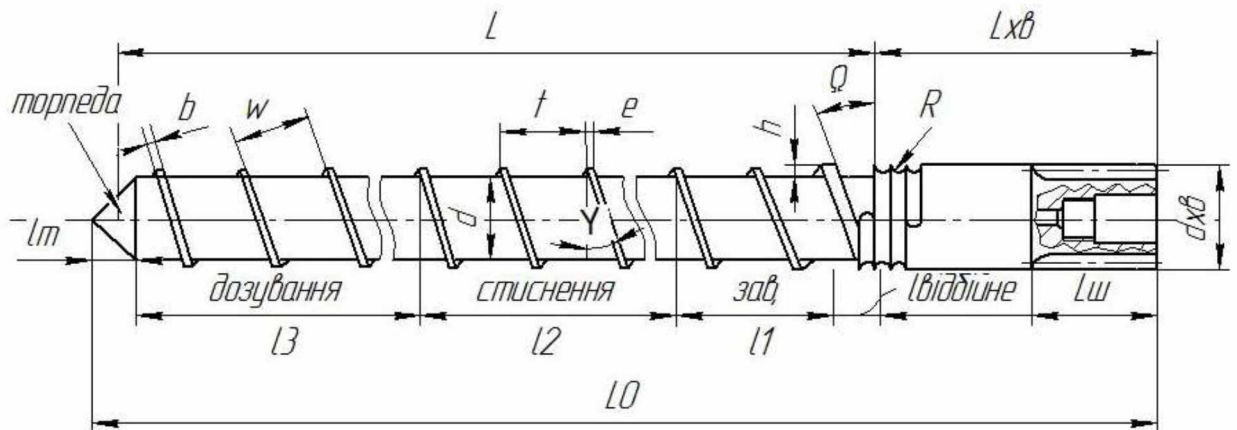


Рисунок 3.1 – Параметрична схема черв'яка

3.2 Визначення параметрів продуктивності екструдера

Визначаємо максимальну теоретичну продуктивності екструдера при переробці ПВХ.

Ефективна продуктивність екструдера при найбільшому обертанні черв'яка для матеріалу, які екстрадуються.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку продуктивності

Вихідні дані	Показник
Число обертів черв'яка, об/с	$N = 2,67$
Діаметр черв'яка, м	$D = 0,063$
Крок нарізки черв'яка, м	$T = 0,06$
Ширина витка черв'яка, м	$E = 0,007$
Число заходів черв'яка	$I = 1$
Діаметр сердечника черв'яка в зоні завантаження, м	$D_1 = 0,046$
Глибина канавки витка в зоні завантаження, м	$H_1 = 0,0085$
Глибина канавки витка в зоні дозування, м	$H_2 = 0,003$
Середня глибина канавки витка, м	$H = 0,00575$
Довжина зони дозування черв'яка, м	$L_n = 1,12$

Продуктивності екструдера за умови максимального обертання черв'яка визначається за формулою:

$$Q = 60 \cdot V_{cp} \cdot N \cdot I \cdot \rho \cdot \beta, \text{ мм.} \quad (3.18)$$

де $\rho = 0,132 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^3$ – щільність суміші;

$\beta = 0,2$ – коефіцієнт заповнення гвинтового каналу сумішшю між витками черв'яка;

V_{cp} – середній об'єм простору між двома витками визначається за формулою:

$$V_{cp} = \frac{V_n + V_k}{2} \quad (3.19)$$

де V_n – об'єм гвинтового каналу черв'яка біля завантажувальної воронки;

$$V_n = \frac{\pi \cdot (D^2 - D_1^2)}{4} \cdot (T - E), \quad (3.20)$$

$$V_n = \frac{3,14 \cdot (0,063^2 - 0,046^2)}{4} \cdot (0,063 - 0,007) = 81,46 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

V_k – об'єм гвинтового каналу черв'яка біля головки:

$$V_k = \frac{\pi \cdot (D^2 - D_2^2)}{4} \cdot (T - E), \quad (3.21)$$

$$V_k = \frac{3,14 \cdot (0,063^2 - 0,057^2)}{4} \cdot (0,063 - 0,007) = 31,65 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

$$V_{cp} = \frac{V_n + V_k}{2} = \frac{81,46 + 31,65}{2} \cdot 10^{-6} = 56,455 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3. \quad (3.22)$$

Степінь стиснення матеріалу в гільзі:

$$K = \frac{V_n}{V_k} = \frac{81,46 \cdot 10^{-6}}{31,65 \cdot 10^{-6}} = 2,57. \quad (3.23)$$

Розрахункова продуктивність екструдера (3.18) дорівнюватиме:

$$Q = 60 \cdot 56,455 \cdot 10^{-6} \cdot 160 \cdot 0,94 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 1 = 101 \text{ кг/год.}$$

Згідно вихідних даних продуктивність приймаємо:

$$Q = 90 \text{ кг/год.} \quad (3.24)$$

Повна продуктивність черв'яка зі змінною глибиною сердечника:

$$Q = \alpha_2 \cdot N - \frac{\beta_2 + \gamma_2}{\mu_{ef}} + P, \quad (3.25)$$

де α_2 – коефіцієнт потоку нагнітання:

$$\alpha_2 = \frac{\pi^3 \cdot (T - T \cdot E) \cdot \sigma}{A + T^2 \cdot B}, \quad (3.26)$$

$$\sigma = 1 - \frac{6,9 \cdot D}{2 \cdot [H_n - H_2]} \cdot \lg \frac{H_n}{H_2} + \frac{D^2}{2 \cdot H_n \cdot H_2}, \quad (3.27)$$

$$\sigma = 1 - \frac{6,9 \cdot 0,063}{2 \cdot [0,00575 - 0,003]} \cdot \lg \frac{0,00575}{0,003} + \frac{0,063^2}{2 \cdot 0,00575 \cdot 0,003} = 93,75, \quad (3.28)$$

$$H_n = H_1 - [H_1 - H_2] \cdot 0,5, \quad (3.29)$$

$$H_n = 0,0085 - [0,0085 - 0,0003] \cdot 0,5 = 0,00575 \text{ м,}$$

де A , B – коефіцієнти, які характеризує конструктивні параметри черв'яка зі змінним сердечником і визначаються за формулами:

$$A = \frac{\pi^2}{H_n \cdot H_2} \cdot \left[\frac{D \cdot (H_n + H_2)}{2 \cdot H_n \cdot H_2} - 1 \right], \quad (3.30)$$

$$A = \frac{3.14^2}{0,00575 \cdot 0,003} \cdot \left[\frac{0,063 \cdot (0,00575 + 0,003)}{2 \cdot 0,00575 \cdot 0,003} - 1 \right] = 486,5$$

$$B = \frac{2,3}{(H_n - H_2) \cdot D^3} \cdot \lg \left(\frac{H_n \cdot (D + D_2)}{H_2 \cdot (D + D_1)} \right) + \frac{2 \cdot H_2 \cdot H_n + (H_n + H_2) \cdot D}{2 \cdot D^2 \cdot H_n^2}, \quad (3.31)$$

$$B = \frac{2,3}{(0,0085 - 0,003) \cdot 0,063^3} \cdot \lg \left(\frac{0,0085 \cdot (0,063 + 0,057)}{0,003 \cdot (0,063 + 0,046)} \right) + \frac{2 \cdot 0,003 \cdot 0,0085 + (0,0085 + 0,003) \cdot 0,063}{2 \cdot 0,063^2 \cdot 0,0085^2} = 0,1357.$$

Визначаємо коефіцієнт нагнітання:

$$\alpha_2 = \frac{\pi^3 \cdot (T - T \cdot E) \cdot \sigma}{A + T^2 \cdot B}, \quad (3.32)$$

$$\alpha_2 = \frac{3,14^3 \cdot (0,063 - 0,063 \cdot 0,007) \cdot 93,75}{486,5 + 0,063^2 \cdot 0,1357} = 33.$$

Коефіцієнт протівотоку β_2 :

$$\beta_2 = \frac{\pi \cdot (I - I \cdot E)}{12 \cdot L_n \cdot (A + I^2 \cdot B)}, \quad (3.33)$$

$$\beta_2 = \frac{3,14 \cdot (0,06 - 0,06 \cdot 0,0007)}{12 \cdot 1,12 \cdot (486,5 + 0,063^2 \cdot 0,1357)} = 0,00015.$$

Коефіцієнт потоку втрат γ_2 :

$$\gamma_2 = \frac{\pi \cdot D \cdot \Delta^3 \cdot I^2}{10 \cdot E \cdot L_n \cdot (\pi \cdot D^2 + I^2) \cdot 0,5}, \quad (3.34)$$

$$\gamma_2 = \frac{\pi \cdot 0,063 \cdot 0,00015^3 \cdot 0,006^2}{10 \cdot 0,007 \cdot 1,12 \cdot (3,14 \cdot 0,063^2 + 0,006^2) \cdot 0,5} = 0,38 \cdot 10^{-13} \text{ м}^3$$

де $\Delta = 0,00015$ м – розмір радіального зазору,

$\mu_{ef} = 1 \cdot 10^{-3}$ кгс·с/см² – коефіцієнт динамічної в'язкості, визначається

табличним значенням:

$$\left(\frac{DV}{DX} \right) = 3,38 \cdot \frac{V}{H} = 3,38 \cdot \frac{52,75}{0,575} = 310, \quad (3.35)$$

$$\text{де } V = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,063 \cdot 160}{60} = 0,575 \text{ м/с} \quad - \quad \text{швидкість черв'яка по}$$

зовнішньому діаметру.

Продуктивність черв'яка дорівнює:

$$Q = \alpha_2 \cdot N - \frac{\beta_2 + \gamma_2}{\mu_{ef}} + P, \quad (3.36)$$

$$Q = 33 \cdot 160 - \frac{0,00015 + 0,38 \cdot 10^{-7}}{35 \cdot 10^{-3}} + 35 = 290 \text{ кг/год.}$$

Повна продуктивність $Q = 0,08 \text{ кг/с}$, отже продуктивність виконується.

3.3 Розрахунок тиску який розвиває черв'яка

Виконуємо розрахунок тиск який розвиває черв'як.

Таблиця 3.2 – Вихідні дані для розрахунку

Вихідні дані	Показник
Потужність екструдера, кВт	$N = 37$
Число обертів черв'яка, об/с	$N_1 = 2,67$
Зовнішній діаметр черв'яка, м	$D_e = 0,063$
Внутрішній діаметр черв'яка, м	$D_e = 0,057$
ККД приводу екструдера	$\eta = 0,8$

Тиск який розвиває черв'як:

$$P = \frac{P_z}{F} = \frac{P_z}{\pi \cdot (R^2 - R_e^2)} = \frac{42800}{3,14 \cdot (0,0315^2 - 0,0285^2)} = 75 \text{ МПа.} \quad (3.37)$$

Приймаємо розрахунковий тиск рівним $P = 75 \text{ МПа}$.

3.4 Розрахунок параметрів формуючої головки

Виконуємо розрахунок і визначаємо розміри формуючої головки та тиску, котрі забезпечать максимальну продуктивність.

Таблиця 3.3 – Вихідні дані для розрахунку формуючої головки

Вихідні дані	Показник
Довжина ділянки кільцевого каналу, м	$R_n = 0,019$
Внутрішній радіус кільцевого каналу, м	$R_e = 0,015$
Довжина ділянки кільцевої щілини, м	$L_2 = 0,015$
Середній радіус круга на вході матеріалу, м	$R_0 = 0,017$
Середній радіус круга на виході матеріалу, м	$R_1 = 0,01125$
Висота щілини на вході матеріалу, м	$\Delta_1 = 0,004$
Висота щілини на виході матеріалу, м	$\Delta_2 = 0,0025$
Довжина ділянки конічної частини, м	$L_3 = 0,024$
Середній радіус круга на вході матеріалу в кільцеву щілину, м	$R_2 = 0,01125$
Середній радіус круга на виході матеріалу із кільцевої щілини, м	$R_3 = 0,0065$
Висота щілини на вході матеріалу в кільцеву щілину, м	$\Delta_3 = 0,0025$
Висота щілини на виході матеріалу з кільцевої щілини, м	$\Delta_4 = 0,005$
Діаметр циліндричного каналу, м	$D_4 = 0,009$
Довжина циліндричного каналу, м	$L_4 = 0,008$
Продуктивність плавлення суміші, м ³ /с	$Q_1 = 24,8 \cdot 10^{-6}$

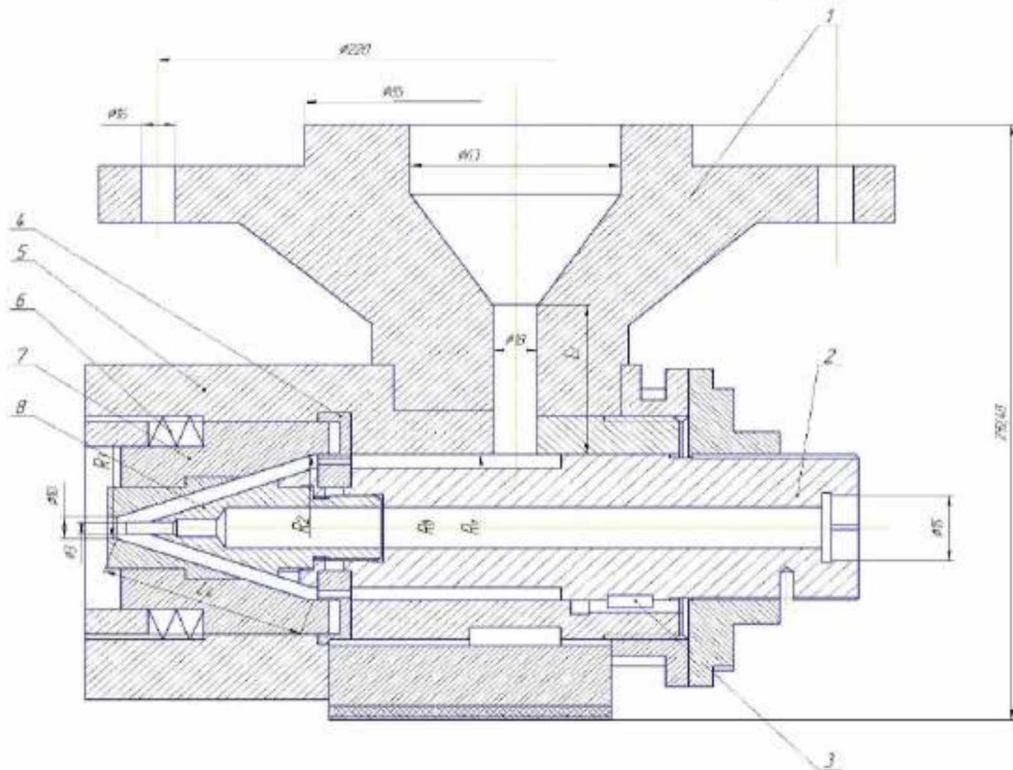


Рисунок 3.2 – Удосконалена конструкція формуючої головки черв'ячного екструдера

Профіль головки має форму канали простої форми які розраховуємо за рахунок коефіцієнта геометричної форми як суми окремих ділянок:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \dots + \frac{1}{K_n}} \quad (3.38)$$

Коефіцієнт геометричної форми круглого кільцевого каналу дорівнює:

$$K_1 = \frac{\pi}{B \cdot L_1} \cdot \left(R_n^4 - R_e^4 - \frac{(R_n^2 - R_e^2)^2}{2,3 \cdot \lg \frac{R_n}{R_e}} \right) \quad (3.39)$$

$$K_1 = \frac{3,14}{0,08 \cdot 0,003} \cdot \left(0,019^4 - 0,015^4 - \frac{(0,019^2 - 0,015^2)^2}{2,3 \cdot \lg \frac{0,019}{0,015}} \right) = 0,111 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Коефіцієнт геометричної форми конічного кільцевого каналу з конічною щілиною 2 ділянки дорівнює:

$$K_2 = \frac{\pi \cdot (R_0 \cdot \Delta_2 - R_1 \cdot \Delta_1)}{6 \cdot L_2 \cdot M_2} \quad (3.40)$$

$$K_2 = \frac{3,14 \cdot (0,017 \cdot 0,025 - 0,01125 \cdot 0,004)}{6 \cdot 0,015 \cdot (-8,957)} = 0,9 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3.$$

Коефіцієнт геометричної форми конічного кільцевого каналу з конічною щілиною 3 ділянки дорівнює:

$$K_3 = \frac{\pi \cdot (R_2 \cdot \Delta_4 - R_3 \cdot \Delta_3)}{6 \cdot L_3 \cdot M_3} \quad (3.41)$$

$$K_3 = \frac{3,14 \cdot (0,01125 \cdot 0,005 - 0,0065 \cdot 0,0025)}{6 \cdot 0,024 \cdot 5,37} = 0,16 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3.$$

Коефіцієнт геометричної форми круглого циліндричного каналу 4 ділянки дорівнює:

$$K_4 = \frac{\pi \cdot D_4^4}{128 \cdot L_4} = \frac{3,14 \cdot 0,009^4}{128 \cdot 0,008} = 0,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 \quad (3.42)$$

Загальний коефіцієнт геометричної форми:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \dots + \frac{1}{K_n}}, \quad (3.43)$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{0,111 \cdot 10^6} + \frac{1}{0,9 \cdot 10^{-9}} + \frac{1}{0,16 \cdot 10^{-7}} + \frac{1}{0,2 \cdot 10^{-7}}} = 4,31 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3,$$

Тиск, що виникає в формуючій головці при формуванні суміші:

$$\Delta P = \frac{Q_1 \cdot \mu_1}{K} = \frac{28 \cdot 10^{-6} \cdot 2400}{4,31 \cdot 10^{-9}} = 15,59 \text{ МПа}, \quad (3.44)$$

де $\mu_1 = 2400$ Па – динамічна в'язкість плавлення суміші.

Тиск, що виникає в формуючій головці відповідає вихідним даним.

3.5 Тепловий розрахунок екструдера

Для визначення необхідної кількості теплоти електронагрівачем враховано всі необхідні вихідні дані.

Таблиця 3.4 – Вихідні дані для розрахунку теплоти

Вихідні дані	Показник
Потужність, встановлена електродвигуном, кВт	$N = 37$
Продуктивність по ПВХ, кг/год	$G_m = 100$
Початкова температура матеріалу	$T_n = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 293 \text{ К}$
Кінцева температура матеріалу	$T_k = 180 \text{ }^\circ\text{C} = 453 \text{ К}$
Температура поверхні кожуха	$T_{\text{кож}} = 45 \text{ }^\circ\text{C} = 318 \text{ К}$
Температура повітря	$T_v = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 293 \text{ К}$
Ширина теплообмінної поверхні, м	$B = 0,23$
Довжина теплообмінної поверхні, м	$L = 1,382$
ККД приводу преса	$\eta_1 = 0,6$
ККД електродвигуна	$\eta_2 = 0,9$

Тепловий баланс екструдера:

$$Q_n + Q_{q1} = G_m \cdot C_m \cdot (T_k - T_n) + Q_{\text{отр}}, \quad (3.45)$$

де Q_n – кількість тепла, що необхідна для забезпечення потужності:

$$Q_n = 860 \cdot N \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 = 860 \cdot 37 \cdot 0,6 \cdot 0,9 = 17183 \text{ ккал/год} = 23,4 \text{ кВт} \quad (3.46)$$

де $Q_{\text{отр}}$ – кількість теплоти, що надходить в навколишнє середовище:

$$Q_{отп} = Q_{к} + Q_{вип}, \quad (3.47)$$

де $Q_{к}$ – кількість теплоти, що надходить в навколишнє середовище конвекцією:

$$Q_{к} = \alpha_{к} \cdot F \cdot (T_{кожс} - T_{с}), \quad (3.48)$$

де F – поверхня теплообміну:

$$F = B \cdot L = 0,23 \cdot 1,382 = 0,318 \text{ м}^2, \quad (3.49)$$

де $\alpha_{к}$ – коефіцієнт тепловіддачі екструдера в навколишнє середовище:

$$\alpha_{к} = \frac{N_u \cdot \lambda_m}{H}, \quad (3.50)$$

де N_u – критерій Нуссельта,

λ_m – коефіцієнт теплопровідності при середній температурі.

Критерій Нуссельта N_u :

$$N_u = C \cdot (G_r \cdot P_r)_m^n, \quad (3.51)$$

де G_r – критерій Грасгофа дорівнює:

$$G_r = \frac{\beta \cdot B^3 \cdot g \cdot \Delta T}{\mu^2}. \quad (3.52)$$

Розрахункова температура

$$T_p = \frac{T_{кожс} + T_{с}}{2} = \frac{45 + 20}{2} = 32,5 \text{ } ^\circ\text{C} = 305,5 \text{ К}. \quad (3.53)$$

Розраховуємо критерій Грасгофа за формулою:

$$G_r = \frac{\beta \cdot B^3 \cdot g \cdot \Delta T}{\mu^2}, \quad (3.54)$$

$$G_r = \frac{1}{273 + 32,5} \cdot \frac{0,23^3 \cdot 9,8 \cdot 10^{12}}{16,78^2} \cdot (45 - 20) = 35,85 \cdot 10^6.$$

Розраховуємо критерій Нуссельта:

$$N_u = C \cdot (G_r \cdot P_r)_m^n = 0,54 \cdot (25,09 \cdot 10^6)^{\frac{1}{4}} = 38,22. \quad (3.55)$$

Тепловіддача від стінки корпусу екструдера в навколишнє середовище:

$$\alpha_{к} = \frac{N_u \cdot \lambda_m}{H} = \frac{38,22 \cdot 0,0023}{0,23} = 14,3 \cdot 10^3 \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (3.56)$$

Витрати тепла в навколишнє середовище конвекцією:

$$Q_k = \alpha_k \cdot F \cdot (T_{\text{кожа}} - T_{\text{в}}), \quad (3.57)$$

$$Q_k = 3,84 \cdot 0,318 \cdot (45 - 20) = 129240 \text{ Дж/год} = 0,04 \text{ кДж/с},$$

Витрати тепла в навколишнє середовище випромінюванням:

$$Q_{\text{вип}} = 4,9 \cdot E \cdot F \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (3.58)$$

$$Q_{\text{вип}} = 4,9 \cdot 0,6 \cdot 0,318^2 \cdot \left[\left(\frac{306,5}{100} \right)^4 + \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] = 54,3 \cdot 10^3 \text{ Дж/год} = \\ = 0,015 \text{ кВт},$$

де $E = 0,6$ – степінь чорноти матеріалу шкіри;

$T_1 = 306,5 \text{ °C} = 579,5 \text{ К}$ – абсолютна температура шкіри;

$T_2 = 306,5 \text{ °C} = 579,5 \text{ К}$ – абсолютна температура оточуючого середовища.

Витрати тепла в навколишнє середовище становитиме:

$$Q_{\text{вип}} = Q_k + Q_{\text{вип}} = (129,4 + 54,3) \cdot 10^3 = 183,7 \cdot 10^3 \text{ Дж/год} = \\ = 0,005 \text{ кВт}, \quad (3.59)$$

Кількість теплот, що повинні забезпечувати електронагрівачі:

$$Q_{\text{гн}} = G_m \cdot C_m \cdot (T_k - T_n) + Q_{\text{вип}} - Q_n, \quad (3.60)$$

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Екологічна експертиза

Відносини в галузі екологічної експертизи регулюються Законом України «Про екологічну експертизу» (9.02.95р.)

Основною метою екологічної експертизи є забезпечення умов які не впливатимуть на стан навколишнього середовища та здоров'я людини, а також можливість оцінити ступінь екологічної безпеки пов'язаної з господарсько діяльністю та виробничими процесами.

Основними завданнями екологічної експертизи є: - організація перевірки та оцінки екологічної експертизи; - встановлення відповідності вимогам екологічного законодавства; - визначення ступеня екологічного ризику.

Основними принципами екологічної безпеки є: - забезпечення безпечного для життя та здоров'я людей навколишнього середовища; - державне регулювання; - законність; - реалізація екологічної експертизи.

В документації на об'єкти державної екологічної експертизи повинні передбачатися:

1) комплексна еколого-економічна оцінка впливу запланованої чи здійснюваної діяльності на стан навколишнього природного середовища, використання і відтворення природних ресурсів, оформлення у вигляді окремого тому (книги, розділу) документації і Заяви про екологічні наслідки діяльності;

2) обґрунтування впровадження сучасних, досконалих нематеріало- і неенергоємних, мало- і безвідходних технологічних процесів;

3) забезпечення комплексної переробки, утилізації і ефективного використання відходів виробництва;

4) заходи щодо економії водних ресурсів, забезпечення ефективної очистки всіх видів стічних вод, а також їх використання для технічних потреб без скидання цих вод у природні водотоки і водойми;

5) дієвість і досконалість передбачуваних заходів щодо охорони атмосферного повітря від забруднення;

6) забезпечення збереження, охорони і відтворення об'єктів рослинного і тваринного світу та природно-заповідного фонду;

7) забезпечення захисту населення і навколишнього природного середовища від шкідливого впливу антропогенних фізичних, хімічних та біологічних факторів.

4.2 Охорона праці

Основоположником законодавчим документом в галузі охорони праці є Закон України «Про охорону праці», прийнятий Верховною радою України 14 жовтня 1992 року. Цей закон трактує основні положення щодо прав громадян про охорону здоров'я в процесі трудової діяльності.

Для забезпечення умов обслуговування технологічної лінії виробництва ПВХ профілю розроблено ряд галузевих та державних стандартів, санітарних норм та правил при роботі в матеріалами що містять хімічну складову.

Випадки травматизму, професійні захворювання можуть виникати в наслідок порушень правил відповідних охорони праці, техніки безпеки, санітарних норм, пожежної безпеки при початковому плануванні приміщень, технологічних процесів, розміщення основного обладнання та додаткового устаткування.

При аналізі умов праці на підприємстві виявлено фактори впливу, які виникаю при роботі з екструдером та матеріалом, що переробляється. Основними шкідливими та небезпечними факторами є: - пожежна безпека; - виробничий шум; - небезпека ураження струмом; - освітлення робочої зони; - вентиляція робочої зони та приміщення.

Пожежна безпека. При роботі з черв'ячним екструдером температурні показники можуть досягати 170 °С, тому можливими причинами, що можуть спричинити пожежу є: - несправність електрообладнання; - несправність електромережі; - куріння в призначених для цього місцях; порушення технологічних режимів. У приміщення встановлені модулі автоматичного порошкового пожежогасіння, які спрацьовують при підвищенні максимально допустимої температури. Також приміщення забезпечене вуглекисневими вогнегасниками та ящиками з піском.

Виробничий шум. Шум, що створюється під час роботи технологічної лінії, постійним. Основним джерелом шуму є початкова підготовка матеріалу (подрібнення, калібрування, змішування), та безпосередня робота лінії (електродвигун, вали та черв'яки, вентилятори тощо). Для зниження шуму використовуються: - шумопоглинаючі покриття; при роботі з попереднім подрібненням використовуються навушники; - встановлено екрани; - виконується своєчасне змащування поверхонь, що труться; - виконується своєчасний ремонт механічних вузлів.

Електробезпека. Приміщення в якому встановлено лінію для виробництва ПВХ профілю відноситься до класу приміщень з підвищеною небезпекою. Напруга яка використовується при роботі становить 220, 380 В частотою 50 Гц. Для забезпечення електробезпеки в приміщення використовується ізоляційні матеріали з питомим опором не менше $R = 10^8 \dots 10^{17}$ Ом·см, електричні частини позначені надписами, встановлені окремі щитові, встановлено захисне заземлення, опір якого повинен не перевищувати: для мереж з напругою до 1000 В – 4 Ом, у мережах які перевищують рівень 1000 В – 0,5 Ом.

Всі заходи повинні відповідати ГОСТ 12.1.020-86, що забезпечать електробезпеку та знизять смертельність та травматизм при виробництві. Освітлення робочої зони. Приміщення в якому знаходиться все технологічне обладнання, забезпечене природним та штучним освітленням (встановлено 12 світильників, потужністю 220 В). Розташування необхідного освітлення

виконано згідно норм положення ДБН В.2.2-15-2005 «Житлові будинки. Основні положення». В приміщення також передбачене бокове освітлення в відповідності до вимог ДБНВ 25.28-2006.

4.3 Обґрунтування економічної доцільності виготовлення та удосконалення робочих органів черв'ячного екструдера

Таблиця 4.11 – Розрахунок економічного ефекту від впровадження модернізованої зерносушарки ДСП-16 та інноваційних технологій активного вентиляювання

Показники	Традиційний метод	Проектована установка	Відхилення, +/-
1 Вартість палива, необхідного для сушіння зерна, тис. грн.	5616	3931	-1685
2 Вартість спожитої електроенергії для активного вентиляювання, тис. грн.	75188	55597	-19591
3 Вартість втрат зерна від природних втрат, тис. грн.	9824	2626	-7196
4 Вартість споживаної вентиляторами електроенергії, тис. грн.	1308	1568	+260
5 Економічний ефект від збільшення відпускної ціни зерна, тис. грн.	249336	2518294	+24934

Термін окупності проекту щодо впровадження заходів, що проектуються, становитиме:

$$T_{ок} = \frac{KB}{E_{заг}}, \text{ тис. грн.} \quad (4.7)$$

де KB – капітальні вкладення (250000 тис. грн.).

Термін окупності проекту щодо впровадження заходів, що проектуються, становитиме:

$$T_{ок} = \frac{250000}{466698} = 0,54 \text{ роки.}$$

Рентабельність капітальних вкладень є відношенням сумарного прибутку (у нашому випадку $E_{заг}$), що приноситься інвестиціями, до величини

інвестицій (капітальні вкладення KB). Рентабельність капіталовкладень є зворотною величиною терміну окупності:

$$P_{KB} = \frac{466698}{250000} = 1,87 \text{ роки.}$$

Таким чином, пропоновані технічні та технологічні рішення є економічно доцільними, вкладений у проект карбованець інвестицій дозволить одержати прибуток у сумі 1,87 роки та окупити капітальні вкладення за 0,54 роки.