

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: Хімічної технології високомолекулярних сполук

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВР
зі спеціальності 6.133: Галузеве машинобудування

Тема роботи: Виробництво неелектричної системи підривання. Пристрій виготовлення хвильоводу потужністю 2,2 мільйонів м/рік.

Виконав студент

Безуглий П.В.

Залікова книжка:

№ _____

Захищений з оцінкою:

Керівник проекту

Закусило Р.В.

III Сум ДУ 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Спеціальність: Галузеве машинобудування

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. Кафедрою

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВР

Студенту: Безуглий П.В.

група ХМ-81ш курс IV

1. **Тема курсової роботи:** «Виробництво неелектричної системи підривання.

Пристрій виготовлення хвильоводу потужністю 2,2 мільйонів м/рік»

2. **Вихідні дані:** Продуктивність 20 м/год при 3-х змінній робочій зміні, щільність поліетилену 952кг/м³, витрати поліетилену 10,61x10⁻³ кг/м насипна щільність поліетилену 500кг/м³

3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу (листи А1)

3.1 Загальний вигляд 2хА1;

3.2 Технологічна схема А1;

3.3 Складальні креслення А2.

4. Література та матеріали, які рекомендуються: Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи: Учеб. пособие для студентов / М.Ф. Михайлев, Н.П. Третьяков, А.И. Мильченко, В.В. Зобнин; Под общ. ред. М.Ф. Михайлева. Л.: Машиностроение, Ленингр. отдние, 1984. - 301 с., ил.

5. Контрольні терміни виконання: травень

Етап і розділи комплексного курсового проекту	Т И Ж Д Е Н Ь					
	1, 2	3, 4, 5,6	7, 8, 9	10, 11, 12, 13	14	15
1 Опис схеми, апарата	х х					
2 Технологічна частина		х х х х				
3 Розрахунки на міцність, герметичність та стійкість			х х х			
4 Розробка креслень				х х х х		
5 Оформлення записки					х	
6 Захист проекту						х

6. Дата видачі завдання Березень 2022 р

7. Термін захисту курсової роботи Червень 2022р.

Керівник комплексної курсової роботи Закусило Р.В.

Реферат

Пояснювальна записка: 60 арк., 6 рис., 1 таблиця., 14 літературних джерел.
Графічні матеріали: технологічна схема виробництва, складальне креслення апарату, креслення складальних одиниць, всього 3,5 листи формату А1.

Тема курсового проекту: "Виробництво неелектричної системи підривання. Пристрій виготовлення хвильоводу потужністю 2,2 мільйонів м/рік".

Описані теоретичні основи процесу, описана конструкція апарату та зроблений вибір матеріалів для виготовлення апарату. Приведений опис технологічної схеми установки з описом самого апарату та принцип його роботи.

Зроблені технологічні розрахунки.

Виконані розрахунки на міцність такі як розрахунок клиноременної передачі, зубчатої циліндричної передачі та розрахунок черв'яка.

Описаний монтаж і ремонт апарату та охорона праці.

Ключові слова: ХВИЛЕВОД, МАТЕРІАЛ, ПРОЦЕС, ТЕХНОЛОГІЯ.

Зміст

Вступ.....	5
1 Технологічна частина	7
1.1 Опис технологічної схеми виробництва	7
1.2 Теоретичні основи процесу	8
1.3 Опис конструкції апарата та вибір конструкційних матеріалів	12
1.3.1 Опис конструкції апарата.....	12
1.3.2 Вибір конструкційних матеріалів.....	14
2 Технологічні розрахунки процесу і апарату	16
2.1 Матеріальний баланс.....	16
2.2 Конструктивні та технологічні розрахунки.....	16
2.2.1 Вибір типу черв'яка та розрахунок його геометричних характеристик	16
2.2.2 Розрахунок довжин технологічних зон.....	20
2.2.3 Розрахунок продуктивності черв'ячного процесу	23
2.2.4 Розрахунок потужності приводу	26
2.3 Гідравлічний опір апарата	28
2.4 Вибір допоміжного обладнання	32
3 Розрахунок апарату на міцність та стійкість	36
3.1 Розрахунок клиноременної передачі	36
3.1.1 Кінематичний розрахунок.....	36
3.1.2 Розрахунок клиноременної передачі	36
3.2 Розрахунок зубчатої циліндричної передачі	40
3.2.1 Вибір матеріалів зубчатих коліс	40
3.2.2 Розрахунок зубчатої передачі редуктора	44
3.3 Розрахунок черв'яка.....	49
4 Монтаж і ремонт апарату	53
4.1 Монтаж апарата	53
4.2 Проведення ремонтних робіт	53
5 Охорона праці.....	56
5.1 Аналіз потенційних небезпек під час роботи	56
5.2 Питання екології та раціонального використання сировини	57
5.3 Засоби гасіння та виявлення пожеж.....	57
5.4 Захист від статичної електрики	57
5.5 Шум та вібрації, заходи захисту від них обслуговуючого персоналу	57
5.6 Вентиляція	58
Висновки.....	59
Література.....	60

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арку</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Безуглий</i>				<i>Виробництво неелектричної системи підривання. Пристрій виготовлення хвильоводу потужністю 2,2 мільйонів м/рік</i>	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перев.</i>	<i>Закусило</i>						4	
<i>Н. Контр.</i>					<i>ШІ Сум ДУ</i>			
<i>Затверди</i>					<i>гр. ХМ-81Ш</i>			

Вступ

Державне підприємство «Шосткинський завод «Імпульс» - найстаріше, єдине в Україні підприємство з випуску вибухових речовин і засобів ініціювання вибуху. Заснований у 1948 році, завод постійно і завжди з чудовою якістю випускав комплектуючі до боєприпасів, а з 1950 року – освоїв виробництво засобів ініціювання вибуху для гірничорудної та вугільної промисловості.

Випуск засобів ініціювання для боєприпасної галузі та гірничодобувної промисловості у колишньому СРСР на 60% складався з продукції заводу «Імпульс». За виконання завдань із постачання боєприпасами армії та флоту та за випуск виробів для вугільної та гірничорудної промисловості завод був нагороджений двома орденами Трудового Червоного Знамені.

Основна спеціалізація ДП «ШЗ «Імпульс» (99%) – виробництво елементів боєприпасів, засобів ініціювання вибуху, ініціюючих вибухових речовин та виробів, що містять вибухові речовини та піротехнічні склади.

Україна в особі КП «ШКЗ «Імпульс» має власного виробника засобів ініціювання вибуху (капсюлі-детонатори, хвилеводи, спеціальні шнури, що детонують екструзійні (ДШЕ) тощо), які застосовуються при видобутку вугілля, залізняку, щебеню методом вибуху. Завод повністю виконує замовлення вітчизняної гірничодобувної промисловості та здатний забезпечити засобами ініціювання запити як країн СНД, так і далекого зарубіжжя.

Основні види продукції:

- електродетонатори,
- капсули-детонатори,
- хвилеводи,
- ДШЕ,
- піротехнічні реле,
- тротилові шашки,
- капсулі-запалювачі для стрілецької зброї та артилерійських систем,
- електрозапалювачі для артилерійських систем та ракетних комплексів,
- комплектуючі до інженерних боєприпасів,
- інші вироби спецтехніки.

Завод випускає три види продукції. Це продукція для Міністерства оборони, цивільна продукція (гірничорудна промисловість) та продукція для пересічного споживача.

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

Збільшення обсягів виробництва досягнуто за рахунок збільшення випуску хвилеводів. Дана продукція має стійкий попит і є високорентабельною. У той же час технологічний процес виготовлення хвилеводів виключає використання безпосередньої людської праці у виробництві виробу з огляду на високу небезпеку даного процесу (застосування вибухових та токсичних речовин).

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми виробництва

Установка виготовлення хвилеводу представлена рисунку 1.1.

Політилен завантажують у бункер 1 екструдера 2. Нитковідмотувальний пристрій 7 заправляють шпулями з нитками. Встановлюють котушки для намотування хвилеводів в приймальний пристрій 11. Нитки після нитовідмотування пучком заправляють через філь'єру екструзійної головки 5, витяжні барабани, розташовані у ванні охолодження 8, датчик обриву 13, прилад контролю діаметра 9, переривник 10 на котушку. Після чого завантажують у бункер маніпулятора 6. Далі встановлення працює в автоматичному режимі. Маніпулятор підводить бункер до екструзійної голівки. Включають привід натяжних барабанів намотувальної станції приймального пристрою та екструдера.

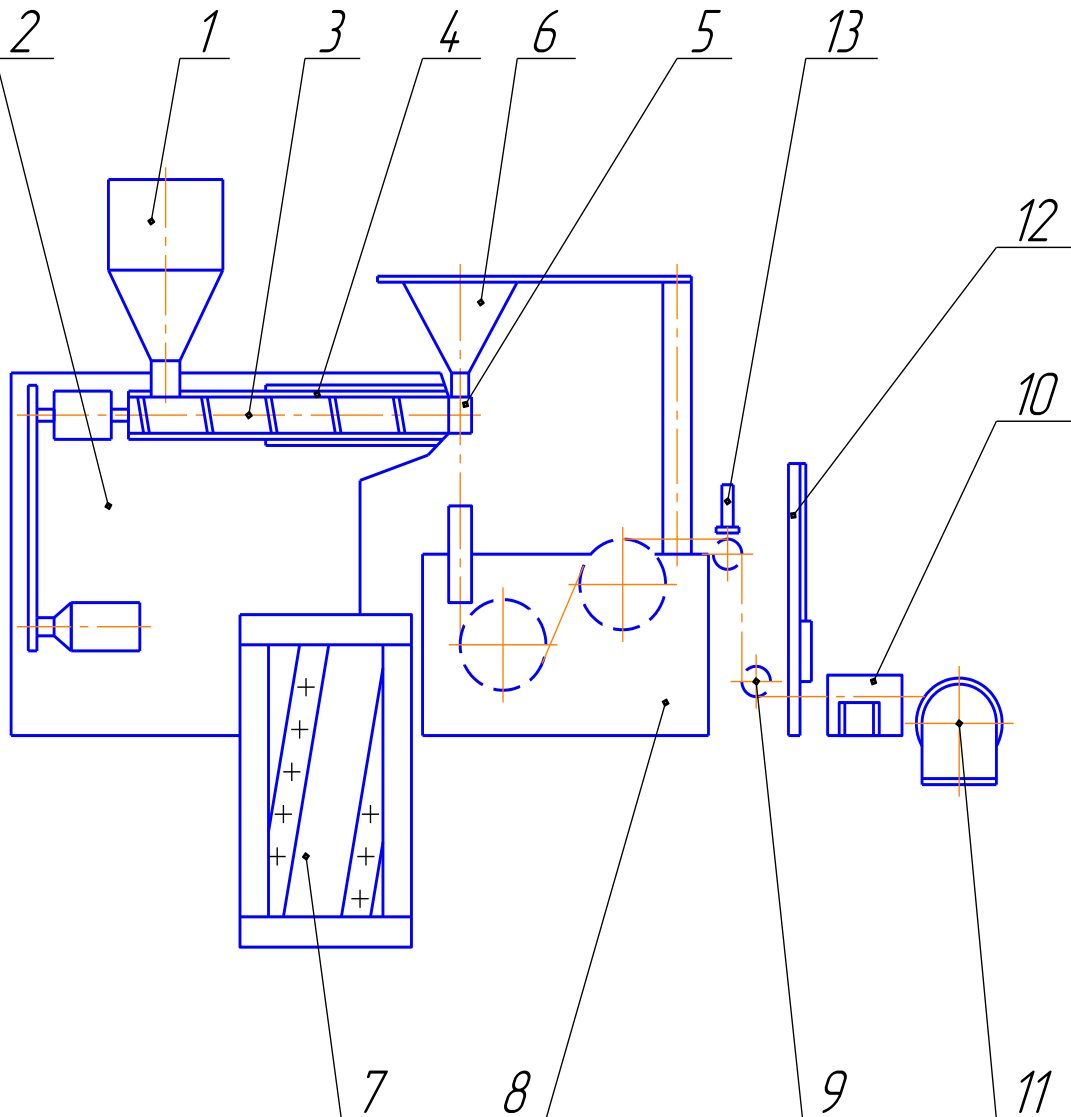


Рисунок 1.1 – Установка виробництва хвилеводу.

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Поліетилен з бункера надходить у завантажувальну вирву екструдера, де захоплюється черв'яком, і переміщається вздовж корпусу 4. В результаті теплового впливу електронагрівачів, розташованих на корпусі, механічного впливу черв'яка та фактора часу, поліетилен пластифікується та гомогенізується у міру просування до головки де відбувається процес екструдювання розплавленого поліетилену. Формування основи проводиться у філь'єрі, куди надходить вибухова речовина з бункера та нитки. Остаточне формування виробу відбувається при витягуванні його через отвір, що калібрує, матриці, розташованої в екструзійній головці, і далі на витяжних барабанах, розташованих у ванні охолодження, наповненої циркулюючою водою, де поліетиленова оболонка виробу охолоджується і відправляється на сушіння. Виріб намотується на барабани ємністю по 1000 м, після чого відбувається зупинка установки та заміна барабанів, які подають на автомат для повторного нанесення захисного покриву та мірного різання намотування виробу в бухти по 50 м.

1.2 Теоретичні основи процесу [3]

Твердий матеріал, що надходить в зону живлення (див. рис. 1.2) захоплюється обертовим черв'яком внаслідок різниці в значеннях сили тертя між матеріалом і поверхнею черв'яка і між матеріалом і внутрішньою поверхнею корпусу екструдера. Це пов'язано з тим, що корпус має вищу температуру, ніж черв'як. Теплове зовнішнього тертя, що виділяється, витрачається на нагрівання матеріалу; тепло в цю зону підводиться від нагрітих стінок корпусу. Максимальна температура нагрівання матеріалу визначається величиною коефіцієнта тертя.

При інтенсивному тепловиділенні, занадто високій температурі стінки корпусу і недостатньому тепловідводі починається передчасне плавлення шару матеріалу, що стикається з цією стінкою. В результаті сила тертя знижується, матеріал починає прослизати по стінках корпусу та його рух у каналі черв'яка припиняється. При підтримці оптимального температурного режиму екструзії матеріал ущільнюється, утворюючи тверду «пробку». Рухаючись каналом черв'яка, «пробка» продовжує ущільнюватися і її поверхні, що стикається зі стінкою корпусу, утворюється шар розплаву, товщина якого поступово збільшується. Перетин черв'яка, в якому товщина цього шару стає рівною зазору між стінкою корпусу і гребенем черв'яка (див. рис. 2.3), є межею між зонами живлення та пластикації (слід зазначити, що

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

межі зон l_1 , l_2 , l_3 , на які ділять черв'як в залежно від стану матеріалу в його каналі, як правило, не збігаються з межами, що мають відповідно ті ж назви геометричних зон I, II, III, що відрізняються глибиною каналу (див. рис. 1.2)).

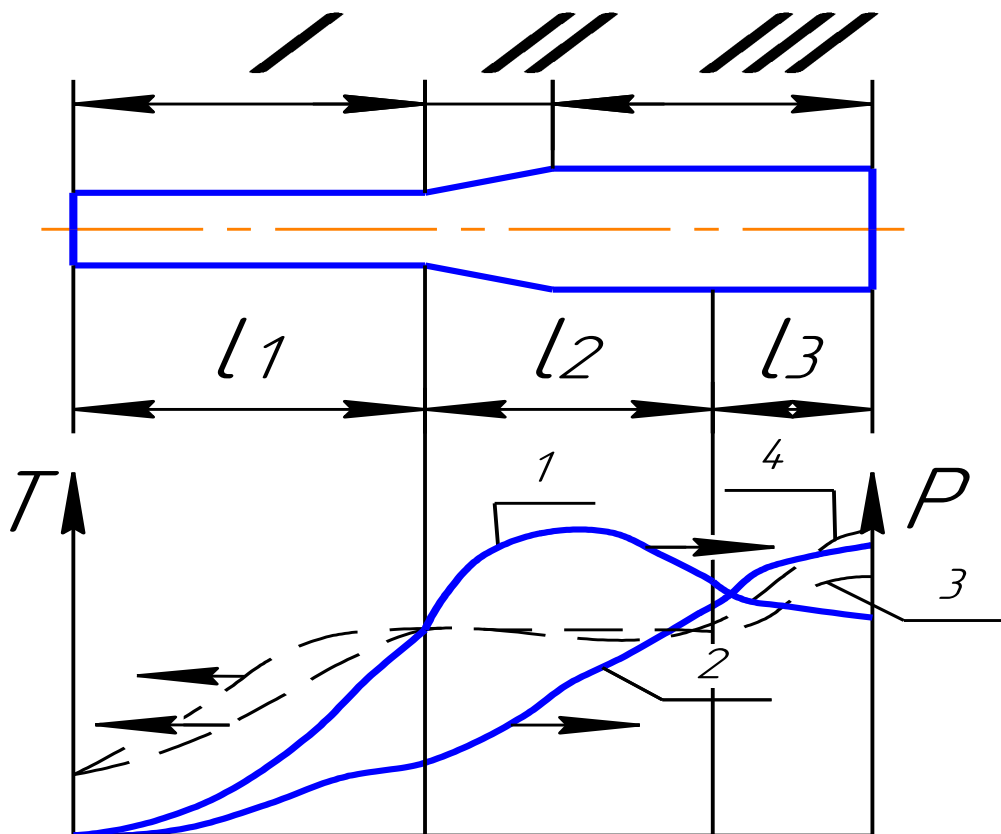


Рисунок 1.2 – Зони черв'яка одночерв'яного екструдера та схема розподілу тиску P та температур T .

Довжина черв'яка

l_1 (I) – зона живлення,

l_2 (II) – зона пластифікації,

l_3 (III) – зона дозування,

1, 3 – розподіл тиску та температури при негативному перепад тиску в зоні дозування,

2, 4 – розподіл тиску та температури при позитивному перепад тиску в зоні дозування.

У межах зони пластикації «пробка» плавиться під дією тепла, що виділяється внаслідок в'язкого (внутрішнього) тертя у матеріалі що підводиться від нагрівачів корпусу. У тонкому шарі розплаву (див. рис. 1.3) виникає тертя, спрямоване до штовхаючої стінки 2 каналу черв'яка. Потік розплаву натикається на цю стінку, повертається і рухається вздовж неї, відтісняючи "пробку" до передньої стінки 6. При цьому висота "пробки" залишається в межах зони пластикації приблизно постійною, а її "поточна"

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

6.133.22.07.00.00.00 ПЗ

Арк.

9

ширина X поступово зменшується. Такий процес плавлення триває доти, доки «пробка» зберігає достатню міцність. Зазвичай це відбувається, поки X перевищує $(0,1-0,2) W$ де W - нормальна ширина каналу черв'яка; при менших значеннях X "пробка" дробиться. Перетин черв'яка, в якому починається дроблення, є межею між зонами пластикації та дозування.

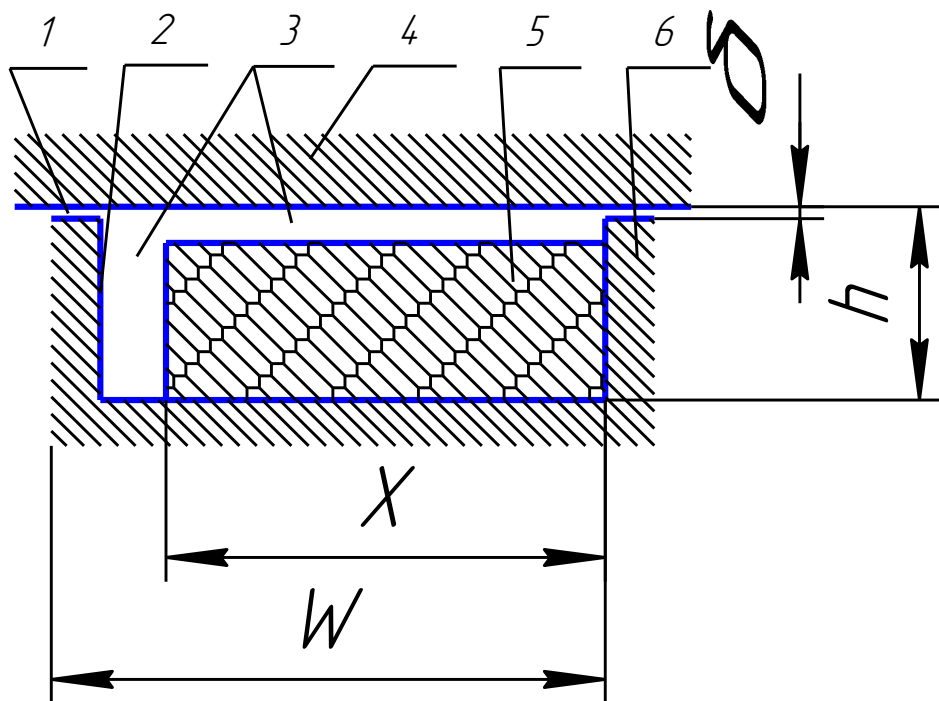


Рисунок 1.3 – Схема плавлення твердої пробки матеріалу в зоні пластикації (показано перетин черв'яка в межах одного кроку площиною, нормальною до осі гвинтового каналу)

- 1 – зазор між гребенем черв'яка та стінкою корпусу екструдера,
- 2 - штовхаюча стінка каналу черв'яка,
- 3 – розплав,
- 4 – корпус екструдера,
- 5 – «пробка»,
- 6 – передня стінка каналу черв'яка,
- δ – товщина шару розплаву,
- h – глибина гвинтового каналу черв'яка,
- X - "поточна" ширина "пробки",
- W – нормальна ширина гвинтового каналу.

Просуваючись зоною дозування, матеріал продовжує розігріватися під дією тепла, що виділяється в результаті інтенсивних деформацій зсуву і

підводиться від нагрівачів корпусу. При цьому розплав гомогенізується: плавляться залишки пробки і встановлюється необхідна для формування екструдатна температура. Протікання розплаву в цій зоні, що має гвинтову траєкторію, представляють зазвичай як суму двох незалежних течій - поступального вздовж осі гвинтового каналу і циркуляційного (кругового) у площині нормальної до цієї осі. Об'ємна витрата матеріалу в осьовому напрямку визначає продуктивність екструдера. Циркуляційний перебіг забезпечує гомогенізацію розплаву; завдяки існуванню цієї течії екструдери можуть бути використані для змішування.

У тих випадках, коли тепло, що виділяється у матеріалі, достатньо для його розігріву до температури екструзії, зовнішні джерела тепла відключають. Такий режим екструзії називається адіабатичним або автотермічним. Насправді від нагрівачів корпусу підводять 10-20% необхідного тепла. При цьому вдається керувати температурою розплаву, регулюючи періодичність та тривалість включення нагрівачів відповідних зон екструдера.

Гідростатичний тиск, що розвивається при екструзії, найбільш інтенсивно зростає в межах зони живлення (рис. 1.2), так як для проштовхування «пробки» потрібні досить великі поздовжні зусилля, що стискають її в осьовому напрямку. Природно, що при цьому «пробка» розширюється в поперечнику, притискаючись до стінок каналу черв'яка з зусиллям, величина якого визначається поперечною деформацією матеріалу (якщо його коефіцієнт Пуассона близький до 0,5, то радіальний тиск дорівнює поздовжньому; при менших значеннях цього коефіцієнта, наприклад, у разі екструзії пухкого грануляту, радіальний тиск виявляється нижче, ніж поздовжній).

Розподіл тиску у зонах пластикації та дозування залежить від геометричних характеристик каналу черв'яка. Якщо глибина каналу в зоні пластикації менше, ніж у зоні живлення, то тиск в кінці зони дозування може бути вищим або нижчим, ніж на її початку (виникає відповідно позитивний або негативний перепад тиску). Зі збільшенням позитивного перепаду (протитиску) продуктивність екструдера зменшується, але посилюється розігрів матеріалу та підвищується ступінь його гомогенізації. За деякого граничного значення протитиску поступальний рух розплаву взагалі припиняється. Зі зростанням негативного перепаду тиску продуктивність екструдера збільшується, а розігрів матеріалу та ступінь його гомогенізації зменшуються. При постійних етапах і глибині гвинтового каналу черв'яка загальна об'ємна продуктивність екструдера визначається продуктивністю зон живлення і пластикації, оскільки витрата матеріалу (за масою) у будь-якому

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

перерізі черв'яка однаковий. У цьому випадку протитиск підвищують, встановлюючи на виході матеріалу з каналу черв'яка додатковий опір, наприклад, ґрати з пакетом дрібних сіток.

Тиск у профільному інструменті (каналі екструзійної головки) визначається об'ємною продуктивністю екструдера та в'язкістю розплаву.

Для встановлення режиму екструзії розраховують наступні залежності:

- 1) об'ємної продуктивності Q екструдера від тиску P на виході матеріалу з каналу черв'яка (при фіксованих частотах його обертання);
- 2) об'ємної витрати $Q\Gamma$ матеріалу через головку від тиску при різних температурах розплаву.

Точки перетину кривих, що ілюструють отримані характеристики черв'яка і голівки, в яких значення температури розплаву збігаються, і є робочими точками даного режиму екструзії. Користуючись цими точками, підбирають геометричні параметри черв'яка та параметри технологічного процесу.

1.3 Опис конструкції апарата та вибір конструкційних матеріалів

1.3.1 Опис конструкції апарата

У черв'ячних машинах основним робочим органом є гвинт, що обертається у циліндрі з мінімальним зазором. Черв'ячні машини відносяться до машин безперервної дії. В них безперервно подається вихідний матеріал, який пластицирується, розігрівається, ущільнюється і вичавлюється через профільний отвір у голівці як профілю певної форми (труби чи листа).

Черв'ячні машини, залежно від геометричних параметрів черв'яка, мають різне призначення. Їх використовують як безперервно діючі змішувальні машини (на другій стадії змішування); як машини, що виробляють заготовки певної форми (профілю, труби), у цьому випадку вони називаються шприц-машинами або екструдерами; як пристрої для отримання гранул матеріалу (гранулятори), а також очищення гумових сумішей від сторонніх включень.

Поміщений у бункер матеріал захоплюється гвинтами робочої нарізки черв'яка. При обертанні черв'яка матеріал з бункера просувається до голівки, стан його змінюється по ходу руху, частина матеріалу перетікає в сусідні витки нарізки у напрямку, зворотному до загального потоку, під дією тиску, створюваного обертанням черв'яка. На початку між витками матеріал

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

піддається дії зсувних напруг, деформується, розігрівається та ущільнюється. Розігрітий пластичний матеріал видавлюється черв'яком через решітку у головці, що фільтрує, причому тверді включення залишаються на решітці.

Уся машина зібрана на міцній станині. Черв'як приводиться у обертання електродвигуна через редуктор. Черв'як під час обертання утримується двома опорними підшипниками. Осьове зусилля сприймається потужним упорним підшипником. Всі підшипники необхідно з великою точністю встановлювати в корпусі машини, тому що від цього залежить зазор між гребенями нарізки черв'яка та внутрішньою стінкою циліндра. На хвостовій частині редуктора кріпиться приводний шків. Робоча частина черв'яка (нарізана частина черв'яка) відокремлена від хвостового ущільнення. Кільцеві канали для теплоносія в циліндрі мають індивідуальні штуцери для самостійного регулювання температури по зонах.

Регулювання температури циліндра по зонах необхідно тому, що властивості матеріалу, що переміщується з однієї зони до іншої, значно змінюються. Таких зон можна виділити безліч, оскільки зміна властивостей матеріалу, що переробляється, відбувається поступово: від пружного, жорсткого стану на вході в машину до в'язкого, пластичного на виході з головки. Приблизно циліндр по всій його довжині можна розділити на три зони: завантаження (харчування), пластикації, нагнітання. У першій зоні жорсткий (або пружний) матеріал захоплюється гребенями нарізки, вдавлюється у простір між витками та поверхнею циліндра та переміщується у другу зону. У першій зоні черв'як ніби вигвинчується з матеріалу (як із гайки), рухаючи його вперед. У другій зоні матеріал ущільнюється під дією тиску, що надається на нього з одного боку витками, що обертаються, нарізки черв'яка, а з іншого - зустрічним (зворотним) потоком суміші, що виникає під дією тиску в головній частині циліндра. Величина цього потоку зростає у міру просування матеріалу головки. Ущільнений матеріал відчуває вплив сил тертя поверхні циліндра і черв'яка. У ньому розвиваються зсувні деформації, він прогрівається і пластицирується, перетворюючись на в'язку масу, що легко формується. У третій зоні відбувається додаткова пластикація суміші та нагнітання її в головку.

Крім прямого руху оброблюваного матеріалу під дією витків нарізки черв'яка виникає зворотний потік під дією підвищеного тиску в головній частині циліндра. Зворотний потік спостерігається в зазорі між гребенями нарізки та поверхнею циліндра, а також між витками нарізки. Чим більший тиск у головній частині циліндра, тим більший зворотний потік і менша продуктивність машини. Для забезпечення більшої продуктивності машини

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

головка повинна мати мінімальний опір. Але для кращого формування профілю виробу потрібен певний тиск. Тому визначення оптимального опору головки має велике значення.

1.3.2 Вибір конструкційних матеріалів

У процесі роботи пластикаційного пристрою черв'як зазнає великих навантажень. Він передає великі крутні моменти, піддається стирання через тертя об стінку циліндра і матеріал, що переробляється, в деяких випадках відчуває дію агресивних середовищ, наприклад при переробці жорсткого полівінілхлориду і полівінілхлоридних сополімерів виділяється соляна кислота. Для переробки подібних матеріалів черв'як повинен мати високу корозійну стійкість.

Більшість матеріалів, що переробляються, в процесі пластикації не виділяє особливо активних агресивних середовищ. Для переробки таких матеріалів черв'яки доцільно виготовляти із азотованих сталей. З огляду на велику довжину і складний профіль черв'яків найкращим видом їх термообробки, що виключає короблення, є азотування. Азотований шар має високу твердість, зберігаючи свої властивості при температурах 500-550°C, і великою стійкістю проти стирання. Азотування підвищує хімічну стійкість проти корозії у багатьох агресивних середовищах. Хороші результати показали черв'яки з азотованої сталі марки 38ХМЮА. [10]

Для переробки матеріалів, у яких температура пластикації близька до температури розкладання, черв'яки слід виготовляти з високолегованих сталевих корозійностійких марок 9Х18, 1Х17Н2. Обробка поверхонь черв'яка повинна відповідати 9-10-му класу чистоти ГОСТу 2789.

Досвід експлуатації показав, що гальванічно хромовані черв'яки недовговічні, оскільки наявність температурних напруг і напруг, що виникають від деформації кручення в процесі роботи черв'яка, призводить до розтріскування, а потім і луцення шару хрому.

Для збільшення довговічності деякі зарубіжні фірми виробляють наплавлення витків черв'яка по зовнішньому діаметру стеліт або сормайт. Якість наплавлення забезпечується за умови дифузного з'єднання твердого сплаву з матеріалом черв'яка.

Оскільки технологія виготовлення черв'яків досить складна, матеріал для їх виготовлення повинен мати хорошу оброблюваність.

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Матеріали виготовлення циліндрів.

Циліндри пластикаційних пристроїв виконуються товстостінними (цілісними) та з гільзами. Циліндри машин лиття під тиском в основному виконуються товстостінними. Циліндри з гільзами застосовуються переважно у черв'ячних пресах.

Робочий циліндр преса виготовляється як товстостінної труби. У великих пресів циліндр зазвичай литий.

Зусилля, що виникають під час лиття, значно перевищують зусилля, що спостерігаються у процесі екструзії. Тому в черв'ячних пресах, щоб можна було використати черв'яки різної довжини, циліндр доцільно виготовляти з окремих секцій. Секції закінчуються фланцями та з'єднуються між собою болтами. У машинах для лиття під тиском циліндр кріпиться до корпусу механізму упорскування за допомогою фланця або заставних кілець. Робочий циліндр у черв'ячних пресах кріпиться фланцями або хомутовим з'єднанням.

По довжині циліндр ділиться на дві зони: зону завантаження з отвором для живлення та зону власне робочого циліндра. У зоні завантаження матеріал, що переробляється, подається на черв'як, щоб уникнути передчасного нагрівання матеріалу, пов'язаного з цим, закупорювання завантажувальної воронки і прилипання розігрітого матеріалу до перших витків черв'яка, зона завантаження повинна інтенсивно охолоджуватися.

Циліндри машин для лиття під тиском та гільзи циліндрів черв'ячних пресів з метою отримання високої твердості поверхні отвору під черв'як виготовляють із азотованої сталі марки 38ХМЮА. Твердість поверхні отвору циліндра повинна бути меншою за твердість черв'яка. Отвір у робочій зоні обробляється до 9-го класу чистоти, а поверхня зони завантаження – до 7-го класу.

У циліндрах пластикаційних пристроїв у машинах для лиття під тиском розвиваються тиски, що досягають 2000 кгс/см^2 і більше за температури до 400°C . Для розрахунку міцність циліндрів черв'ячних пресів приймається тиск близько 700 кгс/см^2 при температурі 400°C . Такий високий тиск може виникнути при засміченні решітки, що фільтрують.

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

2 Технологічні розрахунки процесу і апарату

2.1 Матеріальний баланс

Відповідно до технологічного процесу виготовлення, норми витрати основних матеріалів представлені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 Норми витрати основних матеріалів

Найменування основних матеріалів, одиниця виміру	Норма витрати на 1000 м виробу
1. ВР, кг	12,9
2. Нитка капронова, кг	3
3. Поліетилен, кг	10,61

2.2 Конструктивні та технологічні розрахунки

2.2.1 Вибір типу черв'яка та розрахунок його геометричних характеристик

Годинна продуктивність черв'ячного пресу за поліетиленом визначається за формулою

$$G = V \times k \text{ кг/год,}$$

де: $V=20$ м/хв - лінійна швидкість
 $k=10,61 \times 10^{-3}$ кг/м - витрати поліетилену,
тоді

$$G = 20 \times 60 \times 10,61 \times 10^{-3} = 12,73 \text{ кг/год}$$

Відповідно до таблиці 12.4 [6], що задається значенням середнього градієнта швидкості $\gamma=50^{-1}$ с.

Визначаємо значення параметра $\frac{V}{\gamma}$ за формулою

$$\frac{V}{\gamma} = \frac{G}{\rho \times \gamma}$$

$$\frac{V}{\gamma} = \frac{12,73}{952 \times 50 \times 3600} = 0,074 \times 10^{-6} \text{ м}^3,$$

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

де:

$\rho_T=952\text{кг/м}^3$ – щільність поліетилену,

$\rho_H=500\text{кг/м}^3$ – насипна щільність поліетилену

Відповідно до розрахованого параметра з номограми (див. рис.12.4) [6] визначаємо орієнтовний параметр черв'яка $D_{OP}=32\text{мм}$

Остаточно прийємо найближче стандартне значення діаметра $D=32\text{мм}$.

Глибину нарізки черв'яка визначаємо за формулою

$$h_3 = 1,82 \times \left(\frac{V}{\gamma \times D} \right)^{0,5}$$

$$h_3 = 1,82 \times \left(\frac{0,074 \times 10^{-6}}{0,032} \right)^{0,5} = 2,7 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Відповідно до табл. 12.4 [6] приймаємо тип черв'яка 2А з відношенням глибини нарізки h_1 , у зоні завантаження до глибини нарізки h_3

$$\frac{h_1}{h_3} = 3,5$$

Глибину нарізки черв'яка в зоні завантаження визначаємо за формулою

$$h_1 = (0,12 \div 16)D$$

тобто

$$h_1 = (0,12 \div 16)32 = 3,84 \dots 5,12$$

Приймаємо $h_1 = 4,5$

Тоді глибина нарізки h_3 буде

$$h_3 = h_1 / 3,5 = 4,5 / 3,5 = 1,28 \text{ мм.}$$

Число оборотів черв'яка визначаємо за формулою

$$n = \frac{\gamma \times h_3}{\pi \times D}$$

$$n = \frac{50 \times 1,28 \times 10^{-3}}{3,14 \times 0,032} = 0,639 \text{ с}^{-1}$$

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

За розрахованим значенням D і n з табл. 12.5 [6] конструктивні параметри черв'яка: $D=32\text{мм}$, $\frac{L}{D} = 20$, частота обертів $n = 0,183 \dots 1,76 \text{ с}^{-1}$

Приймаємо $n = 1,13 \text{ с}^{-1}$

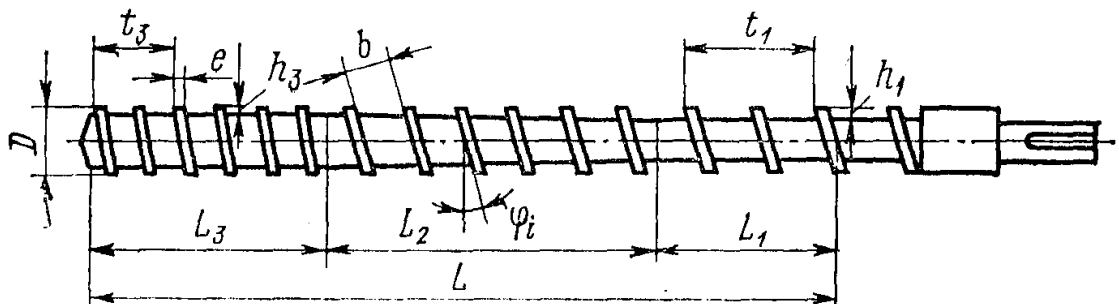


Рисунок 2.1 – Геометричні характеристики черв'яка

По табл. 12.1 [3] для типу черв'яка 2А приймаємо:

загальна довжина черв'яка $L_{об} = 22,5 \times D = 22,5 \times 32 = 720\text{мм}$;

зона стиску $L_2 = 1 \times D = 1 \times 32 = 32 \text{ мм}$;

довжина робочої частини черв'яка $L_3 = 9 \times D = 9 \times 32 = 288 \text{ мм}$;

довжина зони завантаження черв'яка $L_1 = 10D = 10 \cdot 32 = 320 \text{ мм}$; крок нарізки $t = D = 32\text{мм}$.

Ширину гребеня витка визначаємо:

$$e = (0,05 \div 0,12) \times D = (0,05 \div 0,12) \times 32 = 1,6 \div 3,84$$

приймаємо: $e = 2,5\text{мм}$,

число заходів нарізки черв'яка $i = 1$.

При прийнятих параметрах черв'яка кут підйому нарізки витка

$$\varphi = \arctg \frac{t}{\pi \times D}$$

$$\varphi = \arctg \frac{32}{3,14 \times 32} = 17^\circ 40'$$

Ширина каналу витка за нормами

$$b = (t - ie) \cos \varphi / i$$

або

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

$$b = (32 - 1 \cdot 2,5) \cdot 0,935 / 1 = 28,1 \text{ мм}$$

Об'ємна продуктивність розплаву поліетилену при температурі 180°C складе:

$$V = \frac{G}{3600 \times \rho_p} \text{ м}^3/\text{с}$$

де:

$\rho_p = 785 \text{ кг/м}^3$ - щільність розплаву при $t = 180^\circ\text{C}$

тоді

$$V = \frac{12,73}{3600 \times 785} = 4,05 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$$

Коефіцієнт геометричної форми k та градієнт швидкості γ знайдемо для кожної ділянки головки.

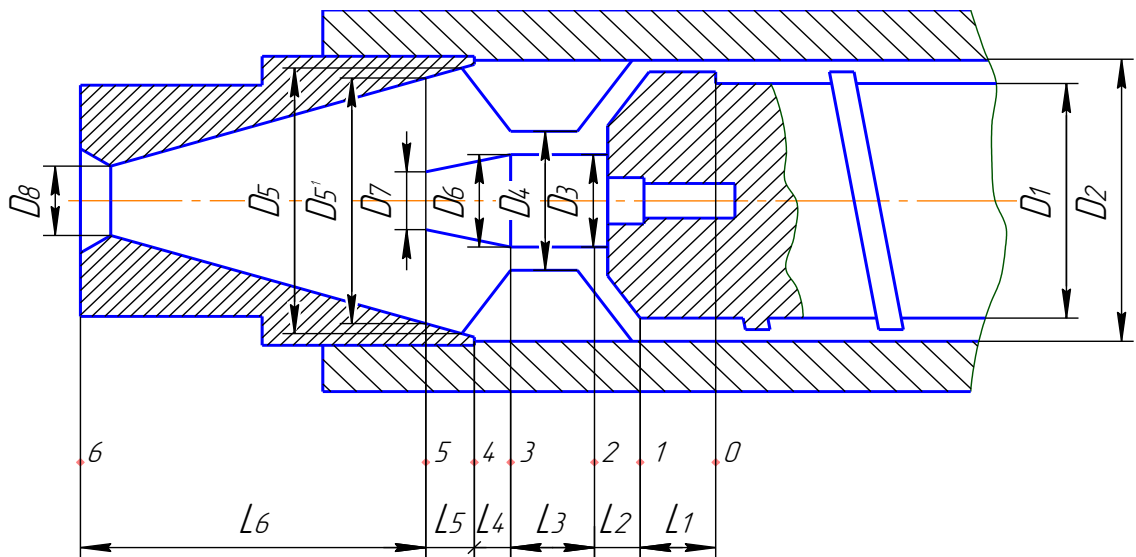


Рисунок 2.2 – Конструкція головки

На рисунок наносимо орієнтовні розміри елементів головки:

$L_1 = 10 \text{ мм}$; $L_2 = 5 \text{ мм}$; $L_3 = 12 \text{ мм}$; $L_4 = 6 \text{ мм}$; $L_5 = 26 \text{ мм}$; $L_6 = 44 \text{ мм}$; $D_1 = 29,44 \text{ мм}$; $D_2 = 32 \text{ мм}$; $D_3 = 18 \text{ мм}$; $D_4 = 22 \text{ мм}$; $D_5 = 28 \text{ мм}$; $D_6 = 16 \text{ мм}$; $D_5' = 24 \text{ мм}$; $D_7 = 14 \text{ мм}$; $D_8 = 8 \text{ мм}$.

Коефіцієнт геометричної форми k і градієнт швидкості для кінцевої ділянки каналу 0-1 при $V = 4,05 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ розраховуються за формулами, наведеними в табл. 12.6 [6]

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

6.133.22.07.00.00.00 ПЗ

Арк.

19

$$\kappa_{0,1} = \frac{\pi \times (R_1 + R_2) \times (R_2 - R_1)^3}{12L_1}$$

$$\kappa_{0,1} = \frac{3,14 \times (0,01472 + 0,016) \times (0,016 - 0,01472)^3}{12 \times 0,01} = 9,42 \times 10^{-9} \text{ м}^3$$

$$\gamma_{0,1} = \frac{5,58 \times V}{\pi \times (R_1 + R_2) \times (R_2 - R_1)^2}$$

$$\gamma_{0,1} = \frac{5,58 \times 4,05 \times 10^{-6}}{3,14 \times (0,01472 + 0,016) \times (0,016 - 0,01472)^2} = 46,6 \text{ с}^{-1},$$

де:

$$R_1 = \frac{D_1}{2}, \quad R_2 = \frac{D_2}{2}.$$

2.2.2 Розрахунок довжин технологічних зон

Прийmemo геометричну довжину зони завантаження, де $t_y < t_{пл}$, рівній

$$l_1^I = 2D.$$

$$l_1^I = 2 \times 32 = 64 \text{ мм}.$$

Для визначення збільшення довжини зони завантаження відповідно до табл. 12.34 [6] попередньо знайдемо такі величини:

Теплопродуктивні розплави під твердою пробкою гранул поліетилену при середній температурі:

$$t_{cp} = \frac{t_y + t_{nl}}{2} = \frac{230 + 140}{2} = 185^\circ \text{ C},$$

знайдемо за таблицею 22 [6] $\lambda = 0,42 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$.

Питома теплоємність пробки поліетилену за середньої температури

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_{nl}}{2} = \frac{60 + 140}{2} = 100^\circ \text{ C}$$

В таблиці 22 [4] $C_T = 3,7 \times 10^3 \text{ Дж/м} \cdot \text{К}$.

З цих даних фактор Φ за формулою 12.36 [6] дорівнює:

$$\Phi = \frac{\lambda(t_y - t_{nl})}{C_T(t_{nl} - t_1)}$$

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

$$\Phi = \frac{0,42(230-140)}{3,7 \times 10^3(140-60)} = 0,13 \times 10^{-3} \text{ кг/м} \cdot \text{с}$$

У зоні завантаження ширина пробки $x_0=b$, тоді згідно з формулою 12.35 [6] при витраті матеріалу

$$G = \frac{12,73}{3600} = 0,0035 \text{ кг/с, величина безрозмірного параметра}$$

$$\Phi_1^I = \frac{h_1}{G} \times \left[\frac{\Phi \times \pi \times D \times n \times \sin \varphi \times \rho_T \times (t - ie) \times \cos \varphi}{2 \left(\frac{\chi_0}{B} \right)} \right]^{0.5}$$

$$\Phi_1^I = \frac{4,5 \times 10^{-3}}{3,5 \times 10^{-3}} \times \left[\frac{0,13 \times 10^{-3} \times 3,14 \times 32 \times 10^{-3} \times 1,13 \times 0,303 \times 952(0,032 - 1 \times 0,0025) \times 0,953}{2} \right]^{0.5}$$

=

$$= 9,94 \times 10^{-3}$$

Приріст довжини зони завантаження за формулою

$$\Delta l_1 = \left(4,8 \times 10^{-3} \times \frac{1}{\Phi_1^I} + 1 \right) \times D$$

$$\Delta l_1 = \left(4,8 \times 10^{-3} \frac{1}{9,94 \times 10^{-3}} + 1 \right) \times 0,032 = 0,047 \text{ м}$$

загальна довжина технологічної зони завантаження за формулою дорівнює

$$l_1 = 64 + 47 = 111 \text{ мм}$$

Довжину зони плавлення каналу послідовно розрахуємо з огляду на зміну ширини пробки по довжині ділянок черв'яка з різною геометрією.

Довжина зони плавлення на першій ділянці із постійною глибиною нарізки $h_1=4,5$ мм

$$\Delta l_1 = L_1 - l_1$$

$$\Delta l_1 = 320 - 111 = 209 \text{ мм.}$$

Відносна ширина пробки наприкінці ділянки Δl_1 при раніше розрахованому значенні $\Phi_1^I = 9,94 \times 10^{-3}$ згідно рівняння

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

$$\frac{\chi_1}{\epsilon} = \left(1 - \frac{\Phi_1^I}{2h_1} \times \frac{\Delta l_1}{\sin \varphi} \right)^2$$

$$\frac{\chi_1}{\epsilon} = \left(1 - \frac{9,94 \times 10^{-3}}{2 \times 4,5 \times 10^{-3}} \times \frac{0,209}{0,303} \right)^2 = 1,21$$

Для подальшої конічної ділянки завдовжки $L_2 = 32$ мм

$$\Phi_2^I = \frac{h_1}{G} \times \left(\frac{\Phi \times \pi \times Dn \times \sin \varphi \times \rho_T \times \epsilon}{2 \left(\frac{\chi}{\epsilon} \right)} \right)^{0,5}$$

$$\Phi_2^I = \frac{4,5 \times 10^{-3}}{3,5 \times 10^{-3}} \times \left(\frac{0,13 \times 10^{-3} \times 3,14 \times 0,032 \times 1,13 \times 0,303 \times 952 \times 0,0281}{2 \times 1,21} \right)^{0,5} = 9 \times 10^{-3}$$

Ширину пробки в кінці зони стиснення визначаємо за формулою

$$\frac{\chi_2}{\epsilon} = \frac{\chi_1}{\epsilon} \left[\frac{\Phi_2^I}{\lambda} - \left(\frac{\Phi_2^I}{\lambda} - 1 \right) \times \left(\frac{h_1}{h_3} \right)^{0,5} \right]^2$$

$$\frac{\chi_2}{\epsilon} = 1,21 \times \left[\frac{9 \times 10^{-3}}{0,1} - \left(\frac{9 \times 10^{-3}}{0,1} - 1 \right) \times \left(\frac{4,5}{1,28} \right)^{0,5} \right]^2 = 2,17$$

де:

$$\chi = \frac{h_1 - h_3}{L_2}$$

$$\chi = \frac{4,5 - 1,28}{32} = 0,1$$

Для ділянки зони дозування згідно з формулою

$$\Phi_3^I = \frac{h_3}{G} \times \left[\frac{\Phi \times \pi \times Dn \times \sin \varphi \times \rho_T \times \epsilon}{2 \left(\frac{\chi_2}{\epsilon} \right)} \right]^{0,5}$$

$$\Phi_3^I = \frac{1,28 \times 10^{-3}}{3,5 \times 10^{-3}} \times \left[\frac{0,13 \times 10^{-3} \times 3,14 \times 0,032 \times 1,13 \times 0,303 \times 952 \times 0,0281}{2 \times 2,17} \right]^{0,5} = 1,92 \times 10^{-3}$$

Довжину закінчення зони плавлення на ділянці дозування черв'яка визначаємо за формулою

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$\Delta l_2 = \frac{2h_3}{\Phi_3^1} \times \sin \varphi$$

$$\Delta l_2 = \frac{2 \times 1,28 \times 10^{-3}}{1,92 \times 10^{-3}} \times 0,303 = 0,202 \text{ м}$$

Тоді

$$l_2 = \Delta l_1 + L_2 = 209 + 32 = 241 \text{ мм}$$

2.2.3 Розрахунок продуктивності черв'ячного процесу

Для розрахунку продуктивності черв'ячного преса за формулою заздалегідь визначаємо значення коефіцієнтів V_B , K_P , K_3 – відповідно за формулами

$$V_B = \frac{\pi \times D \times h_3 \times (t - i_e) \times \cos^2 \varphi}{2} \times \Phi_B$$

$$K_P = \frac{h_3^3 \times (t - i_e) \times \sin \varphi \times \cos \varphi}{12L_3} \times \Phi_P$$

$$K_3 = \frac{\pi^2 \times D^2 \times \delta^3 \times \text{tg} \varphi \times \sin \varphi}{10 \times e \times i \times L_3}$$

де:

δ – величина радіального зазору між циліндром та черв'яком, м;

приймаємо $\delta = 0,1$ мм;

Φ_B , Φ_P – форм-фактори, що враховують вплив бічних стінок, що гальмує, залежить від відносного розміру перерізу гвинтового каналу h / b .

Значення форм-факторів знайдемо з виразів

$$\Phi_B = 0,125 \times \left(\frac{h}{b}\right)^2 - 0,625 \times \frac{h}{b} + 1$$

$$\Phi_B = 0,125 \times \left(\frac{1,28}{28,1}\right)^2 - 0,625 \times \frac{1,28}{28,1} + 1 = 0,972$$

$$\Phi_P = 0,13 \times \left(\frac{h}{b}\right)^2 - 0,71 \times \frac{h}{b} + 1$$

$$\Phi_P = 0,13 \times \left(\frac{1,28}{28,1}\right)^2 - 0,71 \times \frac{1,28}{28,1} + 1 = 0,967$$

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Тоді

$$V_B = \frac{3,14 \times 0,032 \times 0,00128 \times (0,032 - 1 \times 0,0025) \times 0,953^2 \times 0,972}{2} = 1,67 \times 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$K_p = \frac{0,00128^3 \times (0,032 - 1 \times 0,0025) \times 0,303 \times 0,953 \times 0,967}{12 \times 0,288} = 5 \times 10^{-12} \text{ м}^3$$

$$K_3 = \frac{3,14^2 \times 0,032^2 \times 0,0001^3 \times 0,318 \times 0,303}{10 \times 0,0025 \times 1 \times 0,288} = 0,01 \times 10^{-12} \text{ м}^3$$

Рівняння продуктивності за формулами

$$V = V_B \times n - K_p \times \frac{\Delta P}{\mu_3},$$

де:

V_B – обсяг міжвиткового простору на довжині кроку нарізки, м^3 ;

K_p, K_3 – коефіцієнт геометричної форми каналу черв'яка та кільцевого зазору між гребенем витків та циліндром, м^3 ;

μ_K, μ_3 – ефективні в'язкості розплаву в каналі черв'яка та у зазорі,

$\text{Па}\cdot\text{с}$;

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

ΔP – перепад тиску в зоні дозування визначається величиною опору формуючої головки, Па ;

Тоді рівняння продуктивності можна записати у такому вигляді

$$V = 1,67 \times 10^{-6} \times n - 5 \times 10^{-12} \times \frac{\Delta P}{\mu_3}$$

Ефективні в'язкості розплаву в каналі черв'яка визначаємо за середньої температури в зоні дозування

$$t_{cp} = \frac{t_{чк} + t_3}{2} = \frac{160 + 180}{2} = 170^\circ \text{C},$$

де $t_{чк} = 160^\circ \text{C}$ – температура наприкінці зони стиснення.

Гradient швидкості у каналі черв'яка розрахуємо за формулою

$$\gamma_K = \frac{\pi^2 \times (D - h_{cp}) \times (D - 2h_{cp}) \times n}{h_{cp} \times \sqrt{\pi^2 \times (D - 2h_{cp})^2 + t^2}}$$

$$\gamma_K = \frac{3,14^2 \times (0,032 - 0,00128) \times (0,032 - 2 \times 0,00128)}{0,00128 \times \sqrt{3,14^2 \times (0,032 - 2 \times 0,00128)^2 + 0,032^2}} = 2,08 \text{ нс}^{-1}$$

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

В'язкість розплаву в зазорі знаходимо при температурі стінки циліндра в зоні дозування:

$$\text{приймаємо } t_y = t_3 + 50 = 180 + 50 = 230^\circ\text{C}$$

Швидкість зсуву у зазорі згідно з формулою

$$\gamma_3 = \frac{\pi^2 \times D^2 \times n}{\delta \times \sqrt{\pi^2 \times D^2 + t^2}}$$

$$\gamma_3 = \frac{3,14^2 \times 0,032^2 \times n}{0,0001 \times \sqrt{3,14^2 \times 0,032^2 + 0,032^2}} = 1005 \text{ нс}^{-1}$$

Уточнюємо частоту обертання черв'яка.

Із таблиці 4.1 [8] рекомендовані значення частоти обертання черв'яка $n = 0,8 \dots 9,4 \text{ с}^{-1}$, приймаємо $n = 2,5 \text{ с}^{-1}$, при цій частоті обертання черв'яка градієнт швидкості:

$$\text{у каналі черв'яка } \gamma_k = 2,08 \times 2,5 = 5,2 \text{ с}^{-1},$$

$$\text{в зазорі } \gamma_3 = 1005 \times 2,5 = 2512,5 \text{ с}^{-1}$$

Відповідно до цих градієнтів, ефективні в'язкості табл.22 [6] будуть рівні:

$$\text{у каналі черв'яка при } t_{cp} = 170^\circ\text{C} \quad \mu_k = 16,2 \times 10^2 \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\text{в зазорі при } t_y = 230^\circ\text{C} \quad \mu_3 = 0,16 \times 10^2 \text{ Па}\cdot\text{с};$$

тоді при максимальному опорі по табл. 12.7 [4]

$$\Delta P_{\max} = 100 \dots 120 \text{ МПа},$$

(в нашому випадку $\Delta P = 47,6 \text{ МПа}$), а конструкція головки може змінюватися.

$$V = 1,67 \times 10^{-6} \times 2,5 - 5 \times 10^{-12} \times \frac{47,6 \times 10^6}{16,2 \times 10^2} - 0,01 \times 10^{-12} \times \frac{47,6 \times 10^6}{0,16 \times 10^2} = 4,028 \times 10^{-6}$$

$\text{м}^3/\text{с}$

Раніше у розрахунку приймалося $V = 4,05 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$.

З розрахунку видно, що потоку витоку можна знехтувати. Тому, взявши за основу $V = 4,05 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, розв'яжемо зворотнє завдання, тобто знайдемо значення n , яке буде рівно:

$$n = \frac{4,05 \times 10^{-6} + 5 \times 10^{-12} \times \frac{47,6 \times 10^6}{16,2 \times 10^2}}{1,67 \times 10^{-6}} \approx 2,5 \text{ с}^{-1}$$

Всі подальші розрахунки проводимо за цієї частоти обертання.

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

2.2.4 Розрахунок потужності приводу

Швидкість переміщення пробки матеріалу вздовж осі каналу згідно з формулою

$$W_{\text{пр}} = \frac{G}{\rho_H \times b \times h_{\text{1CP}}}$$

$$W_{\text{пр}} = \frac{0,0035}{500 \times 0,0281 \times 4,5 \times 10^{-3}} = 0,055 \text{ м/с,}$$

де $\rho_H = 500 \text{ кг/м}^3$ насипна щільність поліетилену по табл. 22 [6]

Відносна швидкість переміщення пробки за формулою

$$\Delta W_{\text{пр}} = \sqrt{(\pi \times D \times n - W_{\text{пр}} \times \cos \varphi)^2 + (W_{\text{пр}} \times \sin \varphi)^2}$$

$$\Delta W_{\text{пр}} = \sqrt{(3,14 \times 0,032 \times 2,5 - 0,055 \times 0,953)^2 + (0,055 \times 0,303)^2} = 0,2 \text{ м/с}$$

Товщина плівки розплаву над пробкою матеріалу при щільності $\rho = 952 \text{ кг/м}^3$ відповідає середній температурі плівки $t_{\text{ср}} = 185 \text{ }^\circ \text{C}$, згідно

$$\delta_0 = \frac{2 \times (t - t_{\text{е}})}{\rho_n \times W_{\text{пр}} \times \sin \varphi} \times \Phi$$

$$\delta_0 = \frac{2 \times (0,032 - 1 \times 0,0025)}{952 \times 0,055 \times 0,303} \times 0,13 \times 10^{-3} = 0,48 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Гradient швидкості розрахований за виразом

$$\gamma = \frac{\Delta W_{\text{пр}}}{\delta_0}$$

$$\gamma = \frac{0,2}{0,48 \cdot 10^{-3}} = 418 \text{ с}^{-1}$$

Ефективна в'язкість розплаву при $t = 230 \text{ }^\circ \text{C}$ по таблиці 22 [6]

$$\mu_{\text{е}} = 8,4 \times 10^2 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Величину потужності розплаву, що диспоргується в плівці, під пробкою визначаємо за рівнянням

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$N_2^I = \mu_3 \times \Delta W_{IP}^2 \times \frac{t - i \times e}{2\delta_0 \times \operatorname{tg}\varphi} \times l_2$$

$$N_2^I = 8,4 \times 10^2 \times 0,2^2 \times \frac{0,032 - 1 \times 0,0025}{2 \times 0,48 \times 10^{-3} \times 0,318} \times 0,241 = 199 \text{ Вт}$$

Градiєнт швидкостi у зазорi

$$\gamma = \frac{\pi \times D \times n}{\delta}$$

$$\gamma = \frac{3,14 \times 0,032 \times 2,5}{0,48 \times 10^{-3}} = 523 \text{ с}^{-1}$$

Тодi ефективна в'язкiсть при $t = 230^\circ \text{ С}$ дорiвнює $\mu_3 = 10,5 \times 10^2 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Потужнiсть, що втрачається в зазорi на дiлянцi плавлення, знаходимо за формулою

$$N_2^{II} = \frac{\pi^2 \times D^2 \times n^2}{\operatorname{tg}\varphi \times V} \times \mu_3 \times i \times e \times l_2$$

$$N_2^{II} = \frac{3,14^2 \times 0,032^2 \times 2,5^2}{0,318 \times 0,48 \times 10^{-3}} \times 10,5 \times 10^2 \times 1 \times 0,0025 \times 0,241 = 660,81 \text{ Вт}$$

Коефiцiєнт I згiдно з формулою

$$I = \frac{\pi^2 \times D^2 - 4t^2}{\pi^2}$$

$$I = \frac{3,14^2 \times 0,032^2 - 4 \times 0,032^2}{3,14^2} = 0,00077$$

Тодi за формулою визначаємо потужнiсть, що втрачається в каналi черв'яка в зонi дозування

$$N_3^I = \frac{\pi^3 (t - i \times e) \times l_3 \times I}{t} \times \mu_3 \times n^2$$

$$N_3^I = \frac{3,14^3 (0,032 - 1 \times 0,0025) \times 0,72 \times 0,00077}{0,032} \times 10,8 \times 10^2 \times 2,5^2 = 106,25 \text{ Вт}$$

Потужнiсть, що втрачається в зазорi на довжинi зони дозування, знаходимо за формулою

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Пiдпис	Дата		27

$$N_3^{\text{II}} = \frac{\pi^2 \times D^2 \times n^2}{\text{tg}\varphi \times \delta} \times \mu \times i \times e \times l_3 = N_2^{\text{II}} \times \frac{l_3}{l_2}$$

$$N_3^{\text{II}} = 660,81 \times \frac{0,288}{0,241} = 781,25 \text{ Вт}$$

Потужність, що втрачається в каналі формуючої голівки, за формулою

$$N_r = V \times \Delta P_r$$

$$N_r = 4,05 \times 10^{-6} \times 47,6 \times 10^6 = 192,78 \text{ Вт}$$

Загальні витрати потужності становитимуть:

$$N = N_2^{\text{I}} + N_2^{\text{II}} + N_3^{\text{I}} + N_3^{\text{II}} + N_r$$

$$N = 199 + 660,81 + 106,25 + 781,25 + 192,78 = 1940 \text{ Вт}$$

Потужність електродвигуна черв'ячного преса при ККД приводу $\eta = 0,8$

$$N_{\text{дв}} = \frac{N}{\eta}$$

$$N_{\text{дв}} = \frac{1940}{0,8} = 2425 \text{ Вт}$$

2.3 Гідравлічний опір апарата

З таблиці 22 [6] при температурі 180 ° С знаходимо величину ефективної в'язкості розплаву в голівці

$$\mu_{\text{Э}} = 9,4 \times 10^2 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Втрати тиску на ділянці при витраті V знаходимо за формулою

$$\Delta P_{0,1} = \frac{\mu_{\text{Э}} \times V}{\kappa_{0,1}}$$

$$\Delta P_{0,1} = \frac{9,4 \times 10^2 \times 4,05 \times 10^{-6}}{9,42 \times 10^{-9}} = 4,3 \times 10^5 \text{ Па}$$

Параметри для конічного кільцевого ділянки каналу 1-2 розраховуємо за формулами, табл.12.6 [3]

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{1,2} = \frac{\pi \times (R_1 \times \delta_1 - R_2 \times \delta_2)}{6 \times L_2 \times m},$$

де:

$$R_1 = \frac{D_2 + D_1}{2} = \frac{0,032 + 0,02944}{2} = 0,0307 \text{ м};$$

$$R_2 = \frac{D_3 + D_4}{2} = \frac{0,018 + 0,022}{2} = 0,02 \text{ м};$$

$$\delta_1 = \frac{D_2 - D_1}{2} = \frac{0,032 - 0,02944}{2} = 0,00128 \text{ м};$$

$$\delta_2 = \frac{D_4 - D_3}{2} = \frac{0,022 - 0,018}{2} = 0,002 \text{ м};$$

$$m = \frac{(R_1 - R_2)^2}{(R_1 \times \delta_2 - R_2 \times \delta_1)^2} \times \ln \frac{R_1 \times \delta_2}{R_2 \times \delta_1} - \frac{(R_1 - R_2) \times (\delta_1 - \delta_2)}{(R_1 \times \delta_2 - R_2 \times \delta_1) \times \delta_1 \times \delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2\delta_1^2 - \delta_2^2}$$

$$m = \frac{(0,0307 - 0,02)^2}{(0,0307 \times 0,002 - 0,02 \times 0,00128)^2} \times \ln \frac{0,0307 \times 0,002}{0,02 \times 0,00128} -$$

$$- \frac{(0,0307 - 0,02) \times (0,00128 - 0,002)}{(0,0307 \times 0,002 - 0,02 \times 0,00128) \times 0,00128 \times 0,002} - \frac{0,00128^2 - 0,002^2}{2 \times 0,00128^2 - 0,002^2} =$$

$$= 8,95 \times 10^5 \text{ м}^{-1}$$

Тоді:

$$K_{1,2} = \frac{3,14 \times (0,0307 \times 0,00128 - 0,02 \times 0,002)}{6 \times 0,005 \times 8,95 \times 10^5} = 4 \times 10^{-9} \text{ м}^3;$$

$$\gamma_{1,2} = \frac{22,3 \times V}{\pi \times (R_1 + R_2) \times (\delta_1 + \delta_2)^2}$$

$$\gamma_{1,2} = \frac{22,3 \times 4,05 \times 10^{-6}}{3,14 \times (0,0307 + 0,02) \times (0,00128 + 0,002)^2} = 55,4 \text{ с}^{-1}$$

Втрати тиску на ділянці 1-2

$$\Delta P_{1,2} = \frac{4,05 \times 10^{-6} \times 9,4 \times 10^2}{4 \times 10^{-9}} = 10,1 \times 10^5 \text{ Па}$$

Для ділянки 2-3:

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$R_4 = \frac{D_4}{2} = \frac{22}{2} = 11 \text{ мм};$$

$$R_3 = \frac{D_3}{2} = \frac{18}{2} = 9 \text{ мм};$$

$$K_{2,3} = \frac{\pi \times (R_4 + R_3) \times (R_4 - R_3)^3}{12 \times L_3}$$

$$K_{2,3} = \frac{3,14 \times (0,011 + 0,009) \times (0,011 - 0,009)^3}{12 \times 0,012} = 3,49 \times 10^{-9} \text{ м}^3$$

$$\gamma_{2,3} = \frac{5,58 \times V}{\pi \times (R_1 + R_2) \times (R_2 - R_1)^2}$$

$$\gamma_{2,3} = \frac{5,58 \times 4,05 \times 10^{-6}}{3,14 \times (0,011 + 0,009) \times (0,011 - 0,009)^2} = 95,6 \text{ с}^{-1}$$

При $\gamma_{2,3}$ і $t=180^\circ\text{C}$ по табл. 22 [6] величина ефективної в'язкості розплаву

$$\mu_3 = 10,8 \times 10^2 \text{ Па} \cdot \text{с},$$

тоді

$$\Delta P_{2,3} = \frac{4,05 \times 10^{-6} \times 10,8 \times 10^2}{3,49 \times 10^{-9}} = 13,3 \times 10^5 \text{ Па}.$$

Для ділянки 3-4 через близькість конструктивних розмірів з ділянкою 1-2, $\Delta P_{3,4} = \Delta P_{1,2} = 10,1 \times 10^5 \text{ Па}.$

Для ділянки 4-5 розрахунок проводимо аналогічно ділянці 1-2:

$$R_1 = \frac{D_5 + D_6}{2} = \frac{28 + 18}{2} = 23 \text{ мм};$$

$$R_2 = \frac{D_5^1 + D_7}{2} = \frac{24 + 14}{2} = 19 \text{ мм};$$

$$\delta_1 = \frac{D_5 - D_6}{2} = \frac{28 - 18}{2} = 5 \text{ мм};$$

$$\delta_2 = \frac{D_5^1 - D_7}{2} = \frac{24 - 14}{2} = 5 \text{ мм};$$

$$m = \frac{(R_5 - R_6)^2}{(R_5 \times \delta_2 - R_6 \times \delta_1)^2} \times \ln \frac{R_5 \times \delta_2}{R_6 \times \delta_1} - \frac{(R_5 - R_6) \times (\delta_1 - \delta_2)}{(R_5 \times \delta_1 - R_6 \times \delta_1) \times \delta_1 \times \delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2 \times \delta_1^2 \times \delta_2^2}$$

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

$$m = \frac{(0,023 - 0,019)^2}{(0,023 \times 0,005 - 0,019 \times 0,005)^2} \times \ln \frac{0,023 \times 0,005}{0,019 \times 0,005} - \frac{(0,023 - 0,019) \times (0,005 - 0,005)}{(0,023 \times 0,005 - 0,019 \times 0,005) \times 0,005 \times 0,005} - \frac{0,005^2 - 0,005^2}{2 \times 0,005^2 \times 0,005^2} =$$

$$= 0,994 \times 10^5 \text{ м}^{-1}$$

$$K_{4,5} = \frac{3,14 \times (0,023 \times 0,005 - 0,019 \times 0,005)}{6 \times 0,026 \times 0,0994 \times 10^5} = 350 \times 10^{-9} \text{ м}^3$$

$$\gamma_{4,5} = \frac{22,3 \times 4,05 \times 10^{-6}}{3,14 \times (0,023 + 0,009) \times (0,005 - 0,005)^2} = 76,4 \text{ с}^{-1}$$

При $\gamma = 76,4 \text{ с}^{-1}$ і $t = 180^\circ \text{C}$ $\mu_{\text{Э}} = 10,1 \times 10^2 \text{ Па} \cdot \text{с}$,

тоді
$$\Delta P_{4,5} = \frac{4,05 \times 10^{-6} \times 10,1 \times 10^2}{350 \times 10^{-9}} = 1,2 \times 10^5 \text{ Па}$$

Для ділянки 5-6 коефіцієнт геометричної форми та градієнт швидкості знаходимо за формулами табл. 12.6 [4]

$$K_{5,6} = \frac{3\pi \times (D_5^1)^3 \times D_8^3}{128 \times L_6 \times (D_5^1{}^2 + D_5^1 \times D_8 + D_8^2)}$$

$$K_{5,6} = \frac{3 \times 3,14 \times 0,024^3 \times 0,008^3}{128 \times 0,044 \times (0,024^2 + 0,024 \times 0,008 + 0,008^2)} = 14,2 \times 10^{-9} \text{ м}^3$$

$$\gamma_{5,6} = \frac{256V}{\pi \times (D_5^1 - D_8)^2}$$

$$\gamma_{5,6} = \frac{256 \times 4,05 \times 10^{-6}}{3,14 \times (0,024 - 0,008)^2} = 13,6 \text{ с}^{-1}$$

Ефективна в'язкість при $\gamma_{5,6} = 13,6 \text{ с}^{-1}$ і $t = 180^\circ \text{C}$ $\mu_{\text{Э}} = 2,8 \times 10^3 \text{ Па} \cdot \text{с}$
тоді втрати тиску на ділянці 5- 6

$$\Delta P_{5,6} = \frac{4,05 \times 10^{-6} \times 2,8 \times 10^3}{14,2 \times 10^{-9}} = 8,6 \times 10^5 \text{ Па}$$

Загальний опір голівки

$$\Delta P = \sum_{\Delta} P_i = (4,3 + 10,1 + 13,3 + 10,1 + 1,2 + 8,6) \times 10^5 = 47,6 \times 10^5$$

Па

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

2.4 Вибір допоміжного обладнання

Вихідні дані вибору насоса для водообігу води, що охолоджує:

Витрата – 0,43м³/год

Геометрична висота підйому – 0,8м

Довжина трубопроводу:

на лінії всмоктування – 52м

на лінії нагнітання – 1,2м.

На лінії нагнітання є два відведення під кутом 120 ° і три відведення під кутом 90 ° з радіусом повороту рівним 6-ти діаметрам труби, 2 нормальних вентилі.

На всмоктувальній ділянці встановлено 2 прямоточні вентилі, є 4 відведення під кутом 90° з радіусом повороту рівним 6-ти діаметрам труби.

Розрахунок трубопроводу

Для всмоктувального та нагнітального трубопроводу приймемо однакову швидкість течії води, рівну 1м/с. Тоді діаметр за формулою дорівнює

$$d = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times \omega}}$$

де:

Q- витрати м³/с;

ω - швидкість течії води м/с.

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0,43}{3,14 \times 3600 \times 1}} = 0,0123$$

Приймемо d=20мм.

Приймемо, що трубопровід сталевий, корозія незначна.

Визначення втрат на тертя та місцеві опори. Знаходимо критерій Рейнольдса

$$R_e = \frac{\omega \times d \times \rho}{\mu}$$

$$R_e = \frac{1 \times 0,02 \times 998}{1,005 \times 10^{-3}} = 19960,$$

тобто режим турбулентний. Абсолютну шорсткість трубопроводу приймаємо $\Delta=2 \times 10^{-4}$ м.

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Тоді
$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \times 10^{-4}}{0,02} = 0,01$$

Далі отримаємо

$$\frac{1}{e} = 100, 560 \times \frac{1}{e} = 56000, 10 \times \frac{1}{e} = 1000$$

$$1000 < R_e < 56000$$

Таким чином, у трубопроводі має місце змішане тертя, і розрахунок слід проводити за формулою

$$\lambda = 0,11 \times \left(e + \frac{68}{R_e} \right)^{0,25}$$

$$\lambda = 0,11 \times \left(0,01 + \frac{68}{19960} \right)^{0,25} = 0.0374$$

Визначимо суму коефіцієнтів місцевих опорів окремо для всмоктувальної та нагнітальної ліній.

Для всмоктувальної лінії:

- 1) Вхід у трубу (приймаємо з гострими краями): $\zeta_1=0,5$
- 2) Прямоточні вентиля: $\zeta_2=0,51$
- 3) Відведення: коефіцієнт А = 1, коефіцієнт В=0,09, $\zeta_3=0,09$

Сума коефіцієнтів місцевих опорів у всмоктувальній лінії

$$\sum \xi = \xi_1 + 2 \times \xi_2 + 4 \times \xi_3$$

$$\sum \xi = 0,5 + 2 \times 0,51 + 4 \times 0,09 = 1,88$$

Втрачений напір у всмоктувальній лінії знаходимо за формулою 1.2

$$h_n = \left(\lambda \frac{l}{d_{\text{э}}} + \sum \xi_{\text{м.с.}} \right) \times \frac{\omega^2}{2g}$$

де:

λ – коефіцієнт тертя,

l і $d_{\text{э}}$ – відповідно довжина та еквівалентний діаметр

трубопроводу,

$\sum \xi_{\text{м.с.}}$ - сума коефіцієнтів місцевих опорів

$$\sum \xi_{\text{м.с.}} = \left(0,0374 \times \frac{52}{0,02} + 1,88 \right) \times \frac{1^2}{2 \times 9,81} = 5,39 \text{ м}$$

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Для нагнітальної лінії

- 1) Відведення під кутом 120° : $A=1,17$, $B=0,09$, $\zeta_1=0,105$
- 2) Відведення під кутом 90° : $\zeta_2=0,09$
- 3) Нормальні вентилі: $\zeta_3=0,04$
- 4) Вихід із труби: $\zeta_4=1$

Сума коефіцієнтів місцевих опорів у нагнітальній лінії:

$$\sum \xi = 2 \times \xi_1 + 10 \times \xi_2 + 2 \times \xi_3 + \xi_4$$

$$\sum \xi = 2 \times 0,105 + 10 \times 0,09 + 2 \times 0,04 + 1 = 10,2$$

Втрачений напір у нагнітальній лінії:

$$h_{n \text{ заг}} = \left(0,0374 \times \frac{1,2}{0,02} + 10,2 \right) \times \frac{1^2}{2 \times 9,81} = 0,677 \text{ м}$$

Вибір насосу

Знаходимо напір насоса за формулою

$$H = \frac{P_2 - P_1}{S \times g} + H_r + h_n$$

де:

P_1 – тиск в апараті, з якого перекачується рідина, Па,

P_2 – тиск в апараті, в який подається рідина, Па,

H_r – геометрична висота підйому рідини, м,

h_n – сумарні втрати напору у всмоктувальній та нагнітальній лініях, м

$$P_1 = P_2$$

$$H = 0,8 + 6,07 = 6,87 \text{ м вод. ст}$$

Подібний напір при заданій продуктивності забезпечується відцентровими насосами. Враховуючи, що відцентрові насоси широко поширені в промисловості через досить високий ККД, компактність і зручність комбінування з електродвигунами, вибираємо для подальшого розгляду саме ці насоси.

Корисну потужність насоса визначимо за формулою

$$N_n = \rho \times g \times Q \times H$$

де:

Q – подача (витрата), $\text{м}^3/\text{с}$;

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

H – напір насоса в м стовпа рідини, що перекачується

$$N_n = 998 \times 9,81 \times \frac{0,43}{3600} \times 6,87 = 80,33 \text{ Вт} = 0,083 \text{ кВт}$$

Приймаючи $\eta_{\text{пер}} = 1$ і $\eta_n = 0,6$ (для відцентрового насоса середньої продуктивності), знайдемо за формулою потужність на валу двигуна

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_n}{\eta_{\text{дв}}}$$

де:

$\eta_{\text{дв}}$ – ККД двигуна

$$N_{\text{дв}} = \frac{0,083}{0,6} = 0,138 \text{ кВт}$$

За таблицею встановлюємо, що заданим подачі та натиску найбільше відповідає відцентровий насос марки Х45/31, для якого в оптимальних умовах роботи $Q = 0,43 \text{ м}^3/\text{год}$, $H = 10,5 \text{ м}$, $\eta_n = 0,6$.

Насос забезпечений електродвигуном ВАО12-2 номінальною потужністю $N_n = 1,1 \text{ кВт}$, $\eta_{\text{дв}} = 0,89$. частота обертання валу $n = 50 \text{ с}^{-1}$.

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

3 Розрахунок апарату на міцність та стійкість

3.1 Розрахунок клиноременної передачі

3.1.1 Кінематичний розрахунок

Передатне відношення приводу визначається за формулою

$$i_{np} = \frac{n_{дв}}{n_ч}$$

де:

$n_{дв} = 950$ об/хв – число оборотів валу двигуна;

$n_ч = 150$ об/хв – число оборотів черв'яка;

$i_{ред} = 4,78$ - передатне відношення редуктора,

тоді:

$$i_{np} = \frac{950}{150} = 6,3$$

з іншого боку

$$i_{np} = i_{ред} = i_{кл.рем},$$

тоді передатне відношення клинопасової передачі:

$$i_{кл.рем} = \frac{i_{np}}{i_{ред}}$$

$$i_{кл.рем} = \frac{6,3}{4,78} = 1,3$$

3.1.2 Розрахунок клиноременної передачі

Крутний момент на швидкохідному валу $T_1 = 25,9$ Нм. При цьому моменті приймаємо переріз ременя «А» з розмірами:

$B_p = 11$ мм; $h = 8$ мм; $B_o = 13$ мм; $y_o = 2,8$ мм; $F_1 = 0,81$ см².

Діаметр меншого шківa відповідно до рекомендацій табл. $d_{p \min} = 90$ мм, але оскільки немає жорстких обмежень до габаритів передачі, то для підвищення довговічності ременя приймаємо d_p наступний за мінімальним табл. тобто $d_{p1} = 100$ мм.

Діаметр великого шківa визначається за формулою

$$d_{p2} = d_{p1} \times U(1 - \varepsilon)$$

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_{p2} = 100 \times 1,3(1 - 0,02) = 127,4 \text{ мм}$$

стандартний діаметр за ГОСТ 17383-73 за табл. $d_{p2}=125 \text{ мм}$.

Фактичне передавальне число за формулою

$$U_p = \frac{d_{p2}}{d_{p1}(1 - \varepsilon)}$$

$$U_p = \frac{125}{100(1 - 0,02)} = 1,28$$

Швидкість ременя визначаємо за формулою

$$V = \frac{\pi \times d_{p1} \times n_1}{60 \times 1000}$$

$$V = \frac{3,14 \times 100 \times 950}{60 \times 1000} = 4,97 \text{ м/с}$$

Частота обертання веденого валу

$$n_2 = \frac{d_{p1} \times n_1(1 - \varepsilon)}{d_{p2}}$$

$$n_2 = \frac{100 \times 950(1 - 0,02)}{125} = 744 \text{ хв}^{-1}$$

Міжосьова відстань з конструктивних міркувань приймаємо $a=550 \text{ мм}$.

Розрахункова довжина ременя за формулою

$$L = 2a + \frac{\pi}{2}(d_{p1} + d_{p2}) + \left(\frac{d_{p2} - d_{p1}}{4a} \right)^2$$

$$L = 2 \times 550 + \frac{3,14}{2}(100 + 125) + \left(\frac{125 - 100}{4 \times 550} \right)^2 = 1610,3 \text{ мм}$$

Стандартна довжина ременя див. табл. 2.6 [6] $L=1600 \text{ мм}$.

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

За стандартною довжиною ременя уточнюємо дійсну міжосьову відстань за формулою

$$a = \frac{2L - \pi(d_{p1} + d_{p2}) + \sqrt{[2L - \pi(d_{p1} + d_{p2})]^2 - 8(d_{p2} - d_{p1})^2}}{8}$$

$$a = \frac{2 \times 1600 - 3,14(100 + 125) + \sqrt{[2 \times 1600 - 3,14(100 + 125)]^2 - 8(125 - 100)^2}}{8} = 561 \text{ мм}$$

Мінімальна міжосьова відстань для зручності монтажу та зняття ременів

$$a_{\min} = a - 0,01L$$

$$a_{\min} = 561 - 0,01 \times 1600 = 545 \text{ мм}$$

Максимальна міжосьова відстань для створення натягу та підтягування ременя при витяжці

$$a_{\max} = a + 0,025L$$

$$a_{\max} = 561 + 0,025 \times 1600 = 593 \text{ мм}$$

Кут обхвату на меншому шківі за формулою

$$\alpha_1^\circ = 180^\circ - 60^\circ \times \frac{d_{p2} - d_{p1}}{\alpha}$$

$$\alpha_1^\circ = 180^\circ - 60^\circ \times \frac{125 - 100}{56 \times 1} = 143^\circ > [\alpha_1] = 110^\circ$$

Вихідна довжина ременя $L_0 = 1700 \text{ мм}$.

$$\text{Відносна довжина} \quad \frac{L}{L_0} = \frac{1600}{1700} = 0,94$$

Коефіцієнт довжини $\sigma_L = 0,89$

Вихідна потужність при $d_{p1} = 100 \text{ мм}$ і $V = 4,97 \text{ м/с}$ із табл. 2.15 [4]

$N_0 = 0,95 \text{ кВт}$.

Коефіцієнт кута обхвату $C_\alpha = 0,89$

Поправка до моменту, що крутить, на передавальне число дорівнює

$$\Delta T_u = 1,2 \text{ Нм}$$

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виправлення до потужності

$$\Delta N_u = 0,0001 \times \Delta T_u \times n_o$$

$$\Delta N_u = 0,0001 \times 1,2 \times 950 = 0,11 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт режиму роботи при вказаному навантаженні $C_p=0,84$

Допускається потужність на один ремень за формулою

$$[N] = (N_o \times C_\alpha \times C_L + \Delta N_u) \times C_p$$

$$[N] = (0,95 \times 0,89 \times 0,89 + 0,11) \times 0,84 = 0,71 \text{ кВт}$$

Розрахункова кількість ременів визначається за формулою

$$Z = \frac{N}{[N]}$$

$$Z = \frac{1,94}{0,71} = 2,73$$

Коефіцієнт, що враховує нерівномірність навантаження $C_z=0,9$

Дійсна кількість ременів у передачі за формулою

$$Z^1 = \frac{Z}{C_z}$$

$$Z^1 = \frac{2,73}{0,9} = 3,02,$$

приймаємо $Z^1=3$.

Сила початкового натягу одного клинового ремня за формулою

$$S_{0,1} = \frac{780 \times N}{V \times C_\alpha \times C_p \times Z^1} + q \times V^2$$

де $q = 0,1 \text{ кг/м}$

$$S_{0,1} = \frac{780 \times 1,94}{4,97 \times 0,89 \times 0,84 \times 3} + 0,1 \times 4,97^2 = 138 \text{ Н}$$

Зусилля, що діють на вали передачі, за формулами

$$Q = 2 \times S_{0,1} \times Z^1 \times \sin \frac{\alpha_1}{2}$$

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$Q = 2 \times 138 \times 3 \times \sin \frac{143}{2} = 783 \text{ Н}$$

Розміри обода шківів $l_p = 11 \text{ мм}$, $h = 8,7 \text{ мм}$, $b = 3,3 \text{ мм}$, $l = 15 \pm 0,1$, $f = 10_{-1}^{+2} \text{ мм}$, $p_1 = 1 \text{ мм}$, $h_{1\text{min}} = 6 \text{ мм}$, $\alpha_1 = 34^\circ$, $\alpha_2 = 38^\circ$

Зовнішні діаметри шківів

$$d_{11} = d_{p1} + 2b$$

$$d_{11} = 100 + 2 \times 3,3 = 106,6 \text{ мм}$$

$$d_{12} = d_{p2} + 2b$$

$$d_{12} = 125 + 2 \times 3,3 = 131,6 \text{ мм}$$

Ширина обода шківів за формулою

$$M = (Z^1 - 1) \times e + 2f$$

$$M = (3 - 1) \times 15 + 2 \times 10 = 50 \text{ мм}$$

3.2 Розрахунок зубчатої циліндричної передачі

3.2.1 Вибір матеріалів зубчатих коліс

Зробимо вибір матеріалу і напруг, що допускаються, для шестерень і колеса.

Призначаємо матеріал для шестерні та колеса – сталь 40ХН (поковка); термообробка – покращення.

Для шестерні при радіусі заготовлі до 100 мм

$\sigma_B = 850 \text{ МПа}$, $\sigma_T = 600 \text{ МПа}$; 230...300 НВ₁;

для колеса при радіусі заготовлі до 300 мм:

$\sigma_B = 800 \text{ МПа}$, $\sigma_T = 580 \text{ МПа}$; 241 НВ₁.

Визначаємо допустиму напругу вигину для шестерні за формулою

$$[\sigma_{F1}] = \frac{\sigma_{F \text{ lim1}}}{S_F \times Y_S \times Y_R}$$

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Попередньо знаходимо межу витривалості зубів при згині, що відповідає еквівалентному числу циклів зміни напруги за формулою

$$\sigma_{F \text{ liml}} = \sigma_{F \text{ limB1}} \times K_{FC} \times K_{FL1}$$

де межа витривалості при згині, що відповідає еквівалентному числу циклів зміни напруги

$$\sigma_{F \text{ lim b1}} = 1,8 \times HB_1$$

$$\sigma_{F \text{ lim b1}} = 1,8 \times 265 = 477 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт, що враховує одностороннє положення навантаження:
 $K_{FS}=1,0$

Коефіцієнт довговічності за формулою

$$K_{FL1} = m_F \sqrt{\frac{N_{F0}}{N_{FE1}}}$$

При $HB < 350$: $m_F=6$, базова кількість циклів зміни напруг $N_{F0}=4 \times 10^6$

Сумарна кількість циклів зміни напруги за формулою

$$N_{FE1} = 60 \times n_1 \times t$$

де

$$n_1 = n_{r \text{ iред}}$$

$$n_1 = 150 \cdot 4,78 = 717 \text{ об/хв}$$

$$N_{FE1} = 60 \times 717 \times 16000 = 6,88 \times 10^8$$

Відповідно

$$K_{FL1} = \sqrt[6]{\frac{4 \times 10^6}{6,88 \times 10^8}} = 0,493$$

но так як $N_{FE1} > N_{F0}$ (див. с.77 [8]), приймаємо $K_{FL1}=1,0$.

Відповідно

$$\sigma_{F \text{ liml}} = 477 \times 1,0 \times 1,0 = 477 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт безвідмовності

$$S_F = S_F^I \times S_F^{II}$$

де:

$$S_F^I = 1,75 \text{ (табл. 3.18 [8])}$$

$$S_F^{II} = 1,0 \text{ (табл. 3.21 [8])}$$

$$S_F = 1,75 \times 1,0 = 1,75.$$

Коефіцієнт, що враховує чутливість матеріалу до концентрації напруг
 $Y_S=1,0$

Коефіцієнт, що враховує шорсткість перехідної поверхні зуба $Y_R=1,0$.

Допустима напруга вигину для зубів шестерні:

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$[\sigma_{F1}] = \frac{477}{1,75 \times 1,0 \times 1,0} = 272 \text{ МПа}$$

Аналогічно визначаємо допустиму напругу вигину для зубів колеса:

$$\sigma_{Flimb2}^0 = 1,8 \times HB_1$$

$$\sigma_{Flimb2}^0 = 1,8 \times 241 = 434 \text{ МПа}$$

$$K_{FS} = 1,0; N_{F0} = 4 \times 10^6$$

$$N_{FE2} = 60 \times n_2 \times t$$

де $n_2 = n_r = 150 \text{ об/хв}$

$$N_{FE2} = 60 \times 150 \times 16000 = 1,44 \times 10^8$$

$N_{FE2} > N_{F0}$, тоді $K_{FL1} = 1,0$;

$$\sigma_{Flim2} = \sigma_{Flimb2} \times CK_{FC} \times K_{FL2}$$

$$\sigma_{Flim2} = 434 \times 1,0 \times 1,0 = 434 \text{ МПа}$$

$S_F = 1,75$; $Y_S = 1,0$; $Y_R = 1,0$;

$$[\sigma_{F2}] = \frac{\sigma_{Flim2}}{S_F \times Y_S \times Y_R}$$

$$[\sigma_{F2}] = \frac{434}{1,75 \times 1,0 \times 1,0} \text{ МПа}$$

Допустима контактна напруга для шестерні

$$\sigma_{H1} = \frac{\sigma_{Hlim1}}{S_{H1} \times Z_R \times Z_V}$$

Попередньо знаходимо межу витривалості поверхонь зубів, що відповідає еквівалентному числу циклів зміни напруг за формулою

$$\sigma_{Hlim1} = \sigma_{Hlimb1} \times K_{HL1},$$

тут межа конструктивної витривалості, що відповідає базовому числу циклів зміни напруг

$$\sigma_{Hlimb1} = 2HB_1 + 70$$

$$\sigma_{Hlimb1} = 2 \times 265 + 70 = 600 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт довговічності за формулою

$$K_{HL1} = m_H \sqrt{\frac{N_{H01}}{N_{HE1}}},$$

де:

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

базова кількість циклів зміни напруг

$$N_{H01}=1,8 \times 10^7;$$

еквівалентна кількість циклів зміни напруг

$$N_{HE1}=60 \times n_1 \times t$$

$$N_{HE1}=60 \times 717 \times 16000=6,88 \times 10^8;$$

Відношення $\frac{N_{HE1}}{N_{H01}} = \frac{6,88 \times 10^8}{1,8 \times 10^7} > 1$ тому коефіцієнт довговічності

визначаємо за формулою

$$K_{HL1} = 24 \sqrt{\frac{N_{H01}}{N_{HE1}}} \geq 0,9$$

$$K_{FL1} = 24 \sqrt{\frac{1,8 \times 10^7}{6,88 \times 10^8}} = 0,897,$$

приймаємо $K_{HL1}=0,9$.

Межа контактної витривалості $\sigma_{H \lim 1} = 600 \times 0,9 = 540 \text{ МПа}$

Коефіцієнт безпеки для зубів із однорідною структурою матеріалу
 $S_{H1}=1,1$

Коефіцієнт, що враховує шорсткість сполучених поверхонь $Z_K=0,95$

Коефіцієнт, що враховує окружну швидкість $Z_V=1,0$

Допустима контактна напруга для шестерні

$$[\sigma_{H1}] = \frac{540}{1,1 \times 0,95 \times 1,0} = 466 \text{ МПа}$$

Аналогічно визначаємо допустиму контактну напругу для колеса:

$$\sigma_{H \lim b2} = 2 \times HB_2 + 70$$

$$\sigma_{H \lim b2} = 2 \times 241 + 70 = 552 \text{ МПа}$$

$$N_{H02}=1,7 \times 10^7$$

$$N_{HE2}=60 \times n_2 \times t$$

$$N_{HE2}=60 \times 150 \times 16000=1,44 \times 10^8$$

$$K_{HL2} = 24 \sqrt{\frac{N_{H02}}{N_{HE2}}} \geq 0,9$$

$$K_{FL2} = 24 \sqrt{\frac{1,7 \times 10^7}{1,44 \times 10^8}} = 0,92$$

$$\sigma_{H \lim 2} = \sigma_{H \lim b2} \times K_{HL2}$$

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$\sigma_{H \text{ lim}2} = 552 \times 0,92 = 508 \text{ МПа}$$

$$S_{H2} = 1,1; \quad Z_R = 0,95; \quad Z_V = 1,0$$

$$[\sigma_{H2}] = \frac{\sigma_{H \text{ lim}2}}{S_{H2} \times Z_R \times Z_V}$$

$$[\sigma_{H2}] = \frac{508}{1,1 \times 0,95 \times 1,0} = 438 \text{ МПа}$$

Допустима контактна напруга передачі

$$[\sigma_H] = 0,45 \times ([\sigma_{H1}] + [\sigma_{H2}])$$

$$[\sigma_H] = 0,45 \times (466 + 438) = 408 \text{ МПа}$$

$$[\sigma_H] = 408 \text{ МПа} < 1,23 [\sigma_{\text{min}}]$$

$$[\sigma_H] = 1,23 \times 438 = 539 \text{ МПа,}$$

тобто умова виконана. Тому приймаємо допустиму контактну напругу передачі:

$$[\sigma_H] = 408 \text{ МПа.}$$

3.2.2 Розрахунок зубчатої передачі редуктора

Вихідні дані:

передана потужність	- $P_1 = 1940 \text{ Вт};$
крутний момент на валу шестірні	- $T_1 = 29,2 \text{ Нм};$
передавальне число	- $u_1 = 4,78;$
частота обертання шестірні	- $n_1 = 717 \text{ об/хв.}$

Обчислюємо початковий діаметр шестірні за формулою

$$d_{\text{ол}} = \sqrt{\frac{2T_{H1} \times K_{H\alpha} \times K_{H\beta} \times K_{H\nu} \times (Z_H \times Z_M \times Z_\Sigma)^2}{\psi_\alpha \times [\sigma_M]^2}} \times \frac{U_1 + 1}{U_1}$$

Попередньо визначаємо величини, необхідні для розрахунку:
номінальний крутний момент

$$T_{H1} = \frac{P_1}{\frac{\pi \times n_1}{30}}$$

$$T_{H1} = \frac{1940}{\frac{3,14 \times 717}{30}} = 25,9 \text{ Нм};$$

орієнтовна окружна швидкість

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

$$V = 0,0125 \times \sqrt[3]{P_1 \times n_1^2}$$

$$V = 0,0125 \times \sqrt[3]{1,94 \times 717^2} = 1,24 \text{ м/с}$$

При цій швидкості потрібна міра точності зубчастих коліс - 9-а.
Коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження між зубами $K_{H2}=1,13$
Коефіцієнт ширини зубчастого вінця при несиметричному розташуванні опор

$$\psi_d = (0,7 \dots 0,9) \psi_{d\max} = 0,7 \times 1,25 = 0,875$$

Перевіряємо умову

$$\psi_d = k \frac{\pi}{Z_1 \times \text{tg} \beta}$$

Приймаємо $k=2$, кут нахилу зубів $\beta=12^\circ 50' 18''$.

Приймемо число зубів шестірні $Z_1=27$.

Модуль зачеплення визначаємо за формулою

$$m = \frac{d_{\omega 1}}{Z_1} \times \cos \beta$$

$$m = \frac{68,65}{27} \times 0,9792 = 2,49 \text{ мм}$$

Отриманий модуль заокруглюємо до стандартного значення $m=2,5 \text{ мм}$.
За стандартним модулем $m=2,5 \text{ мм}$ перераховуємо початковий діаметр

$$d_{\omega 1} = \frac{m \times Z_1}{\cos \beta}$$

$$d_{\omega 1} = \frac{2,5 \times 27}{0,9792} = 68,93 \text{ мм}$$

Визначаємо розрахункову окружну швидкість при початковому діаметрі шестірні $d_{\omega 1}=68,93 \text{ мм}$

$$V = \frac{\pi \times d_{\omega 1} \times n_1}{60 \times 1000}$$

$$V = \frac{3,14 \times 68,93 \times 717}{60 \times 1000} = 2,57 \text{ м/с}$$

При цій швидкості необхідний ступінь точності передачі табл. - 9-а, що відповідає прийнятому раніше ступеню точності.

Уточнюємо за швидкістю $V=2,57 \text{ м/с}$ з коефіцієнти, що входять до формули

$$K_{HV}^I = 1,039, K_{H\alpha}^I = 1,15, Z_V^I = 1,01$$

Уточнюємо початковий діаметр шестірні за формулою

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_{\omega_1}^1 = d_{\omega}^3 \sqrt{\frac{K_{HV}^1 \times K_{H\alpha}^1 \times (Z_V^1)^2}{K_{HV} \times K_{H\alpha} \times (Z_V)^2}}$$

$$d_{\omega_1}^1 = 68,65 \times \sqrt[3]{\frac{1,039 \times 1,15 \times 1,01^2}{1,03 \times 1,13 \times 1,02^2}} = 69,231 \text{ мм}$$

По уточненому початковому діаметру знаходимо модуль зачеплення

$$m^1 = \frac{d_{\omega_1}^1}{Z} \times \cos \beta$$

$$m^1 = \frac{69,231}{20} \times \cos 12^\circ 50' 18'' = 2,54 \text{ мм.}$$

Отриманий модуль знову округляємо до стандартного значення $m=2,5 \text{ мм}$, що збігається з раніше прийнятою величиною модуля

Діаметр початкового кола шестірні

$$d_{\omega_1} = 69,23 \text{ мм}$$

Розрахункова кількість зубів шестірні

$$z_1 = z_{1 \min} + 2 = 18 + 2 = 20$$

відповідно:

$$\psi_d = 2 \times \frac{3,14}{27 \times 0,20709} = 1,1$$

Коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження за шириною вінця $K_{H\beta} = 1,07$

Коефіцієнт, що враховує динамічне навантаження (табл. 3.13), визначаємо інтерполюванням. $K_{HV} = 1,03$

Коефіцієнт, що враховує форму сполучених поверхонь

$$Z_H = 1,76 \cos \beta$$

$$Z_H = 1,76 \cos 12^\circ 50' 18'' = 1,69$$

Коефіцієнт, що враховує механічні властивості матеріалів сполучених коліс $Z_M = 275 \text{ МПа}^{1/2}$

Коефіцієнт торцевого перекриття визначаємо за формулою

$$\varepsilon_\alpha = \left[1,88 - 3,2 \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right) \right] \cos \beta$$

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$\varepsilon_{\alpha} = \left[1,88 - 3,2 \left(\frac{1}{27} + \frac{1}{129} \right) \right] \cos 12^{\circ} 50' 18'' = 1,6,$$

де $Z_2 = Z_1 \times U_1 = 27 \times 4,78 = 129$ – число зубів колеса.

Коефіцієнт, що враховує сумарну довжину контактних ліній, визначаємо за формулою

$$Z_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_{\alpha}}}$$

$$Z_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{1}{1,6}} = 0,79$$

Початковий діаметр шестірні:

$$d_{\omega_1} = \sqrt{\frac{2 \times 25,9 \times 10^3 \times 1,13 \times 1,07 \times 1,03 \times (1,69 \times 275 \times 0,79)^2}{1,1 \times 408^2}} \times \frac{4,78 + 1}{4,78} = 68,65$$

мм

Ширина зубчастого вінця визначається за формулою

$$b_{\omega} = \psi_d \times d_{\omega_1}$$

$$b_{\omega} = 1,1 \times 69,231 = 78,5 \text{ мм}$$

приймаємо $b_{\omega} = 85 \text{ мм}$.

Діюча напруга при розрахунку на контактну витривалість

$$\sigma_H = Z_H \times Z_M \times Z_{\Sigma} \times \sqrt{\frac{2T_{H1} \times K_{H\alpha} \times K_{H\beta} \times K_{H\nu}}{b_{\omega} \times d_{\omega_1}^2} \times \frac{U_1 + 1}{U_1}}$$

$$\sigma_H = 1,69 \times 275 \times 0,79 \times \sqrt{\frac{2 \times 25,9 \times 10^3 \times 1,15 \times 1,07 \times 1,039}{60 \times 69,231} \times \frac{4,78 + 1}{4,78}} =$$

$$= 401 \text{ МПа} < [T_H] = 408 \text{ МПа}.$$

Далі виконуємо перевірочний розрахунок зубів за напругою вигину. Розрахункова напруга вигину

$$\sigma_{F1} = Y_{F1} \times Y_{\beta} \times \frac{W_{F1}}{m} \leq [\sigma_{F1}]$$

Попередньо визначаємо величини, необхідні для розрахунку. Еквівалентна кількість зубів шестерні та колеса

$$Z_{\sigma 1} = \frac{Z_1}{\cos^3 \beta}$$

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z_{\sigma 1} = \frac{27}{0,9792^3} = 35$$

$$Z_{\sigma 2} = \frac{Z_2}{\cos^3 \beta}$$

$$Z_{\sigma 2} = \frac{129}{0,9792^3} = 166$$

Коефіцієнти, що враховують форму зуба шестірні та колеса

$$Y_{F1}=3,96 \quad \text{і} \quad Y_{F2}=3,6$$

Коефіцієнт, що враховує вплив нахилу зуба на його напружений стан, визначаємо за формулою

$$Y_{\beta} = 1 - \frac{\beta}{140}$$

$$Y_{\beta} = 1 - \frac{12^{\circ}50'18''}{140} = 0,89$$

Розрахункове питоме навантаження за формулою

$$W_{Ft} = \frac{2 \times T_{F1}}{d_{\omega 1} \times b_{\omega}} \times K_{F\alpha} \times K_{F\beta} \times K_{Fb}$$

де коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження між зубами, визначається за формулою

$$K_{F2} = \frac{4 + (\varepsilon_{\alpha} - 1) \times (n - 5)}{4 \times \varepsilon_{\alpha}}$$

$$K_{F2} = \frac{4 + (1,6 - 1) \times (9 - 5)}{4 \times 1,6} = 1,0$$

Коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження за шириною вінця $K_{F\beta}=1,16$

Коефіцієнт, що враховує динамічне навантаження $K_{FV}=1,1$

Відповідно:

$$W_{Ft} = \frac{2 \times 25,9 \times 10^3}{69,231 \times 2,5} \times 1,0 \times 1,16 \times 1,1 = 12,7 \text{ н/мм}$$

Напруга вигину в зубах шестірні

$$\sigma_{F1} = 3,96 \times 0,89 \times \frac{12,7}{2,5} = 17,1 \text{ МПа} \leq [\sigma_{F1}] = 272 \text{ МПа}$$

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Напруга в зубах колеса визначаємо за формулою

$$\sigma_{F2} = \sigma_{F1} \times \frac{\varphi_{F2}}{\varphi_{F1}}$$

$$\sigma_{F2} = 17,1 \times \frac{3,6}{3,96} = 15,6 \text{ МПа} \langle [\sigma_{F\alpha}] = 248 \text{ МПа}$$

Приймаємо параметри зубчастої передачі редуктора:

$$Z_1=27, Z_2=129, m=2,5\text{мм}, \beta=12^\circ 50' 18'', b_{\omega 1}=85\text{мм}, d_{\omega 1}=69,231\text{мм}$$

$$d_{\omega 2} = \frac{m \times Z_2}{\cos \beta}$$

$$d_{\omega 2} = \frac{2,5 \times 129}{0,9792} = 330,769 \text{ мм}$$

Міжосьова відстань визначаємо за формулою

$$d_{\omega} = \frac{d_{\omega 1} + d_{\omega 2}}{2}$$

$$d_{\omega} = \frac{69,231 + 330,769}{2} = 200 \text{ мм}$$

3.3 Розрахунок черв'яка

Завданням розрахунку на міцність є перевірка запроєктованих розмірів черв'яка та визначення максимально допустимого прогину з метою недопущення ковзання витків черв'яка на внутрішній поверхні корпусу. Розрахункова схема черв'яка показана на рисунку 3.1.

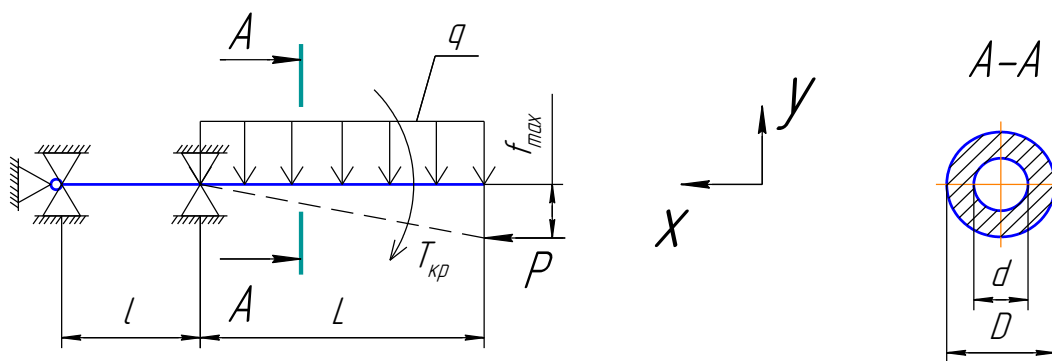


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема сил, що діють на черв'як.

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

На черв'як діють осьова сила P , момент $T_{кр}$, що крутить, і рівномірно розподілене навантаження q від власної ваги черв'яка. Сили P і q викликають прогин черв'яка.

$$P = \frac{T_{кр}}{R} \times \operatorname{tg} \alpha,$$

де: R – радіус черв'яка в м;

α – кут нахилу гвинтової лінії черв'яка;

$T_{кр}$ – крутний момент, що визначається за формулою

$$T_{кр} = T_{i_{ред}}$$

$$T_{кр} = 25,9 \cdot 4,78 = 123,8 \text{ Нм}$$

$$P = \frac{123,8}{0,032} \times \operatorname{tg} 20^\circ = 5001 \text{ Н}$$

$$q = \frac{0,785 \times 0,032^2 \times 0,72 \times 7850 \times 9,81}{0,72} = 61,9 \text{ Н/м}$$

Існує два варіанти розрахунку черв'яка на міцність. Перший варіант розрахунку розглядає дію осьового зусилля і моменту, що крутить, з урахуванням власної ваги черв'яка. Другий варіант є розрахунок на поздовжньо-поперечний вигин з урахуванням осьового зусилля і власне ваги черв'яка.

Для визначення варіанта розрахунку попередньо перевіряється гнучкість за формулою

$$\lambda = \frac{\mu \times L}{i} = \frac{\mu \times L}{\sqrt{\frac{J}{P}}} = \frac{\mu \times L}{\sqrt{\frac{\frac{\pi D^4}{64} (1 - \alpha^4)}{\frac{\pi D^2}{4} (1 - \alpha^2)}}} = \frac{\mu \times L}{\frac{D}{4} \times \sqrt{1 + \alpha^2}}$$

де:

λ – гнучкість валу черв'яка;

μ – коефіцієнт, що залежить від способу закріплення кінців валу, рівний 2;

L – довжина черв'яка в м, $L=0,72$ м;

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

i – радіус інерції перерізу, в м;

J – момент інерції поперечного перерізу, в м⁴;

F – площа поперечного перерізу черв'яка, в м²;

$\alpha = \frac{d}{D}$ - відношення діаметрів черв'яка, $\alpha=1$ для суцільних черв'яків.

$$J = \frac{\pi \times D^4}{64}$$

$$J = \frac{3,14 \times 0,032^4}{64} = 5,14 \times 10^{-8} \text{ м}^4$$

Знаходимо значення λ . Якщо $\lambda < 50$, то розрахунок проводимо за першим варіантом, якщо $\lambda > 50$, то розрахунок проводимо за другим варіантом.

Тоді
$$\lambda = \frac{2 \times 0,72}{\frac{0,032}{4} \times \sqrt{1+1^2}} = 127,4$$

Другий варіант розрахунку черв'яка.

Максимальний прогин черв'яка визначається за формулою

$$f_{\max}^{\text{II}} = \frac{1}{E \times J} \left[\frac{q}{k^2} \left(\frac{1}{k^2} + \frac{L^2}{2} \right) - \frac{1}{k} \left(\frac{q}{k^3} + A \times L \right) \cos kL - \frac{1}{k^2} \left(\frac{q \times L}{k} - A \right) \sin kL \right]$$

де:

k – параметр, що визначається за формулою

$$k^2 = \frac{P}{E \times J}; \quad k = \sqrt{\frac{P}{E \times J}}$$

$$k = \sqrt{\frac{5001}{2 \times 10^{11} \times 5,14 \times 10^{-8}}} = 0,55$$

A – параметр, що визначається за формулою

$$A = \frac{q \times \left(L - \frac{1}{k} \sin kL \right)}{k \times \cos kL}$$

$$A = \frac{61,9 \times \left(0,72 - \frac{1}{0,66} \sin(0,55 \times 0,72) \right)}{0,55 \times \cos(0,55 \times 0,72)} = 1,18$$

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

тоді

$$f_{\max}^{\text{II}} = \frac{1}{2 \times 10^{11} \times 5,14 \times 10^{-8}} \times$$
$$\times \left[\frac{61,9}{0,55^2} \left(\frac{1}{0,55^2} + \frac{0,72^2}{2} \right) - \frac{1}{0,55} \left(\frac{61,9}{0,55^3} + 1,18 \times 0,72 \right) \cos(0,55 \times 0,72) - \right. \\ \left. \frac{1}{0,55^2} \left(\frac{61,9 \times 0,72}{0,55} - 1,18 \right) \sin(0,55 \times 0,72) \right] =$$
$$= 3,4 \times 10^{-5} \text{ м}$$

Отриманий прогин повинен бути меншим за зазор, встановлений між черв'яком і внутрішнім діаметром циліндра корпусу, який дорівнює 0,1мм.

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

4 Монтаж і ремонт апарату

4.1 Монтаж апарата [12]

Перед монтажем обладнання перевіряють його на комплектність, відповідність проектним кресленням, проводиться візуальний огляд поверхонь на відсутність пошкоджень, поломок та інших видимих дефектів.

На початку проводиться монтаж черв'ячного преса як найбільш металоємної конструкції у всій номенклатурі обладнання технологічного процесу. При монтажі преса здійснюється його вивірка щодо вертикальних та горизонтальних осей.

Після закріплення преса на фундаментні болти проводиться монтаж пристрою витяжного та механізму завантаження дозатора, при цьому контролюється зносність з черв'ячним пресом. Потім здійснюється подальше обв'язування обладнання з дотриманням усіх вимог щодо точності його встановлення.

Після монтажу до здачі обладнання в експлуатацію здійснюється його обкатка на холостому ходу. При цьому рухливі частини механізмів повинні переміщатися плавно, без заїдань, перевіряється відсутність тертя та нагрівання у непередбачених місцях.

4.2 Проведення ремонтних робіт [13]

При порушенні технологічного режиму в черв'ячному пресі починає протікати процес термодеструкції термопласту, що розвивається за законом ланцюгової реакції і призводить до викиду в цех високотоксичних продуктів (атомарного хлору, фтору та ін.). Введення черв'ячних пресів в експлуатацію дозволяється лише після повного закінчення всіх монтажних та налагоджувальних робіт, що засвідчуються актами ревізії електрообладнання та КВП, протоколами завершення монтажу та налагодження.

Перед першим пуском, а також перед тривалими зупинками необхідно ретельно очистити черв'як, гільзу і формуючу головку від залишків термопласту, що переробляється (виняток при цьому складають поліолефіни, що допускають повторний запуск без попереднього очищення робочих органів). Екструдер необхідно запускати в роботу плавно і тільки після нагрівання зон корпусу та головки до заданих температур та витримки при цих температурах протягом 20-25хв для прогріву дорна головки та черв'яка. Прес вводять у дію при мінімальних частотах обертання (5 – 8 об/хв) черв'яка та періодичному живленні його полімером, тобто при неповному завантаженні

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

черв'яка. Після появи розплаву з голівки плавно збільшують частоту обертання черв'яка до заданої повністю відкривають шибер бункера. Порухення цього правила може призвести до перевантаження та поломки преса (кріпильного з'єднання формуючої голівки, пошкодження циліндра або завзятого підшипника).

У разі термодеструкції полімеру в робочих каналах преса необхідно вивести з нього полімер, що розклався, підвищенням частоти обертання черв'яка і зниженням температури в зоні дозування і голівці. Якщо це не дає бажаного результату, необхідно припинити завантаження через 1-2 хв. зупинити прес, вимкнути обігрів, включити охолодження по всіх зонах і від'єднати формуючу голівку від преса, дотримуючись необхідних запобіжних заходів.

При розкладанні галогеновмісних полімерів оператор, що від'єднує голівку, повинен надіти протигаз і знаходитися осторонь каналів закінчення полімерів з головки і корпусу, уникаючи ураження газами, що викидаються, і парами кислот і продуктів розкладання. При експлуатації черв'ячного преса необхідно періодично контролювати всі термічно навантажені з'єднання, які можуть бути ослаблені коливання температур. У разі появи стуку та сторонніх шумів при роботі преса необхідно негайно зупинити його та усунути несправність. Для очищення черв'яка і головки від прилиплому полімеру слід застосовувати тільки мідні або латунні ножі та скребки, щоб уникнути утворення подряпин та вибоїн, які можуть бути джерелами застою та розкладання термопласту. Обертання незаповненого термопластом черв'яка дозволяється протягом короткого проміжку часу, тільки при невеликій частоті та рясній заливці в циліндр гравітизованого мастила. Недотримання цього правила часто призводить до заклинювання черв'яка в гільзі та пошкодження преса, а у двочерв'ячних пресах з відкритою головкою – виходу черв'яків із шліцевого з'єднання, заклинювання та поломки черв'яків та їх приводних валів-шестерень.

Ремонт черв'ячних пресів зазвичай виконують у ремонтно-технічних цехах заводів, що експлуатують преси. Заводи виробники черв'ячних пресів постачають обов'язкову номенклатуру запасних частин, які потребують спеціальних умов виготовлення. Особливу складність становлять відновлення зношених черв'яків та гільз. Відновлюються переважно черв'яки плазмовим наплавленням гребенів витків і подальшим їх шліфуванням. Гільзи зазвичай відновлюють, а замінюють. Електротехнічні засоби та КВП можуть бути відремонтовані лише кваліфікованим персоналом спеціальних служб, цехів.

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Експлуатація черв'ячних пресів дозволяється лише за наявності письмового свідоцтва інспекції з техніки безпеки про справність усіх запобіжних та захисних пристроїв, а також систем вентиляції у приміщенні та витяжки над голівкою преса. Щоб уникнути ураження струмом обслуговуючого персоналу, шафи електроприводу, теплового контролю та регулювання і сам черв'ячний прес повинні бути заземлені. Всі частини преса, що обертаються і нагріваються, повинні бути огорожені захисними кожухами. Оператору при обслуговуванні головки та корпусу необхідно надягати захисні рукавиці, щоб уникнути опіків. При зависанні матеріалу у вирві не допускається проштовхування його металевими предметами. Для цієї мети використовують пластмасову трубу або стрижень, переважно з термопласту, що переробляється. При запуску черв'ячного преса не рекомендується обслуговуючому персоналу знаходитися поблизу формуючої зони головки, так як при неправильному запуску можливе руйнування болтів кріплення головки.

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

5 Охорона праці

5.1 Аналіз потенційних небезпек під час роботи [13]

У цеху можливі такі небезпеки:

1. Вибухи.
2. Поразка струмом.
3. Травматизм частинами обладнання, що рухаються.
4. Запиленість.

Для кожного хімічного виробництва складається нормативно-технічна документація, в якій зазначається:

- 1) Характеристика властивостей продукту, вихідної сировини та допоміжних матеріалів.
- 2) Опис технологічного процесу зі схемою виробництва.
- 3) Норми технологічного режиму із зазначенням гранично допустимих відхилень.
- 4) Можливі неполадки технологічного процесу, їх причини та способи усунення.
- 5) Основні правила пуску, безпечного ведення процесу та зупинки обладнання.
- 6) Аналітичний та автоматичний контроль виробництва.
- 7) Правила аварійного зупину виробництва.
- 8) Відходи виробництва, стічні води та викиди в атмосферу: їх склад, способи утилізації чи очищення та порядок скидання.
- 9) Перелік інструкцій, знання яких є обов'язковим для осіб, які ведуть технологічний процес та обслуговують це виробництво.

Точне дотримання нормативно-технічної документації, регламент забезпечує задану продуктивність, якість продукції, безпеку та санітарні умови праці.

Порушення послідовності операцій, відхилення (більше допустимих) від заданих кількостей завантажуваної сировини, температур, тиску тощо можуть призвести до аварій.

Для підтримки необхідного технологічного режиму в безперервних сучасних виробництвах контроль і регулювання процесу автоматизують. На вимірювальних та регулюючих приладах є пересувні контакти, встановлені на межі гранично допустимих відхилень. При досягненні небезпечних параметрів прилади автоматично вимикають відповідне обладнання та включають звукові або світлові сигнали.

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

На шкалах найпростіших приладів (манометри, термометри тощо) наносять червону межу, що вказує на гранично допустиме відхилення параметра.

Процес сушіння відноситься до процесу зі значним виділенням тепла та пилу. Температура нагрітих поверхонь обладнання та огорож на робочих місцях не повинна перевищувати 45°C; для обладнання, всередині якого температура дорівнює або нижче 100°C, температура поверхні не повинна перевищувати 35°C.

5.2 Питання екології та раціонального використання сировини

Захист навколишнього середовища при виготовленні спеціального хвилеводу забезпечується ефективною вентиляцією. Промивні води із залишком вибухової речовини від прибирання обладнання та приміщень накопичуються у колодязях, які періодично чистяться. Вимоги до контролю за вмістом шкідливих речовин у повітрі робочої зони та концентрація шкідливих речовин ГОСТ12.1.005–88.

5.3 Засоби гасіння та виявлення пожеж

Відповідно до пожежних норм проекту передбачено наявність таких засобів пожежогасіння: вогнегасники ОХВП-10, ОВП-11, ОП-1, ОП-2, пожежні крани, пожежні ковдри, ящик з піском (0,5м³), ванна з водою, відра. Для виклику пожежної команди у цеху є телефони та ручні кнопкові сповіщувачі ІРП (сповіщувач пожежний ручний).

Передбачено протипожежне водопостачання, кільцева мережа водоводу з діаметром труб зовнішнього водоводу не менше 100 мм. У приміщенні на висоті 1.35 м від підлоги встановлено пожежні крани. Витрати води на гасіння пожежі не менше 20л/с. На заводі "Імпульс" є пожежна частина.

5.4 Захист від статичної електрики

Захист від статичної електрики включає заземлення технологічного обладнання та комунікацій.

5.5 Шум та вібрації, заходи захисту від них обслуговуючого персоналу

Джерелами шуму та вібрації в проектованому цеху є: зубчасті, ланцюгові передачі та редуктори, вентилятори. Заходи боротьби з шумом

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

включають: розміщення вентиляторів в окремих ізольованих приміщеннях; обмеження швидкості обтікання деталей повітрям до 0,3 м/с; приєднання повітроводів до вентиляторів через гнучку, з прогумованої тканини, вставку; установка вентиляторів на окремих фундаментах, віброізольованих від підлоги та інших конструкцій будівлі.

5.6 Вентиляція

У вибухо-вогнебезпечних будинках вентиляція повинна здійснюватися за системою, що запобігає можливим передачі пожежі з одного приміщення в інше по повітроводах.

Повітря, що видаляється місцевими відсмоктувачами, із вмістом шкідливих вибухо - та вогнебезпечних речовин, перед викидом в атмосферу піддається очищенню до допустимого рівня забруднення про майданчика, а також до ГДК у повітрі населених пунктів.

Витяжні вентилятори мають іскро захищене виконання та укомплектовані вибухозахищеними двигунами..

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Висновки

У цьому дипломному проекті проведено розрахунок установки виробництва хвилеводу.

Описано технологічну схему, теоретичні основи процесу, конструкцію апарату. Вибрано конструкційні матеріали.

Проведено конструктивні та технологічні розрахунки процесу та апарату. Визначено основні геометричні розміри апарату, що проектується. Визначено гідравлічний опір. Вибрано допоміжне обладнання.

Зроблено розрахунки на міцність. Розраховані клинопасова передача, зубчаста циліндрична передача редуктора, черв'як.

Розглянуто монтаж, обслуговування та ремонт розробленого апарату. Охорона праці з виробництва.

Розрахунки зроблено на підставі чинних стандартів.

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Література

1. Волновод. Технологический процесс. Шосткинский казенный завод «Импульс», Шостка 2000 г.
2. ГОСТ 6196-78. Шнур детонирующий. Общие технические условия.
3. Карпов В.Н. Оборудование предприятий резиновой промышленности. М. Химия 1979г.
4. Соколов В.Н. и др. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи. Л. Машиностроение 1982г.
5. Гиберов З.Г., Журавлев М.И. Оборудование заводов пластических масс. Атлас конструкций. М. Машиностроение 1973г.
6. Завгородний В.К. и др. Литьевые машины для термопластов и реактопластов. М. Машиностроение 1961г.
7. Завгородний В.К. Механизация и автоматизация переработки пластмасс. М. Машиностроение 1970г.
8. Дытмерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. М. Химия 1983г.
9. Кудрявцев В.Н. Курсовое проектирование деталей машин. Л. Машиностроение 1984г.
10. Гурвич С.Г. и др. Расчет и конструирование машин для переработки пластических материалов. М. Машиностроение 1970г.
11. Лацинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. Ленинград, Машиностроение, 1970, 752с.
12. Ермаков В. И., Шеин В. С. Ремонт и монтаж химического оборудования. Л. Химия, 1981, 386 с.
13. Макаров Г. В., Стрельчук Н. А. Охрана труда в химической промышленности. М. Химия, 1977, 568 с.
14. Рахмилевич З. З. Справочник механика химических и нефтехимических производств. М. Химия, 1985.

					6.133.22.07.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60