

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка електромеханічної установки  
для виготовлення полімерних ниток

Галузь знань 14 Електрична інженерія  
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
Освітня програма Електропобутова техніка

Шифр БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент  
3 курсу група ЕТс-22-2

  
Підпис

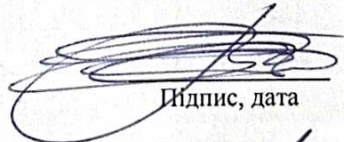
І.А. Попіль  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

В.С.Неймак  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

О.Г.Тимошук  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри МАЕЕС

  
Підпис, дата

В.С.Неймак  
Ініціали, прізвище

2 06 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр і назва

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

к.т.н., доц. Неймак В.С.

2 . 06 . 2025р.

ЗАВДАННЯ  
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Попіль Іван Анатолійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка електромеханічної установки для виготовлення полімерних ниток

керівник роботи Неймак Віталій Станіславович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 7 02 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 2.06.25

3. Вихідні дані до роботи технічні характеристики установок для виготовлення полімерних ниток

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Огляд та аналіз технічної літератури з тематики бакалаврської роботи. 2. Розробка конструкції установки для виготовлення полімерних ниток. 3. Розрахунки елементів установки для виготовлення полімерних ниток. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень

1. Пристрої для виготовлення полімерних ниток (ДО, А1). 2. Матеріальний циліндр (ВЗ, А1). 3 Екструдер для виготовлення полімерних ниток (СЗ, А1). 4 Шнек (А1). 5. Діаграми температурних областей переробки полімерів (ДТ, А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

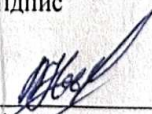
Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Огляд та аналіз технічної літератури з тематики бакалаврської роботи	до 20.05.25р.	
2. Розробка конструкції установки для виготовлення полімерних ниток	до 29.05.25р.	
3. Розрахунки елементів установки для виготовлення полімерних ниток	до 5.06.25р.	
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	до 8.06.25р.	

Студент

  
Гідпис

І.А. Попіль  
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

  
Гідпис

В.С. Неймак  
Ініціали, прізвище

# АНОТАЦІЯ

до бакалаврської роботи студента  
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка».

1. Прізвище, ім'я та по батькові \_\_\_\_\_

Попіль Іван Анатолійович

2. Тема бакалаврської роботи Розробка електромеханічної установки для виготовлення полімерних ниток

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента \_\_\_\_\_

4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 62

5. Актуальність даної теми полягає в тому, що зі збільшенням швейних підприємств виникає потреба у виробництві ниток, які б мали відповідну якість та були дешевими. Нитки високої якості можна випускати методом екструзії, тобто розплавлений матеріал за допомогою екструдера продавлюють через філь'єру, визначеного профілю. Замінюючи філь'єру можна випускати нитки різної товщини, що дасть більший асортимент виробів. В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам. В першому розділі проведено аналіз обладнання та патентної інформації з тематики бакалаврської роботи. В другому розділі здійснюється розробка конструкції установки для виготовлення полімерних ниток. В третьому розділі проведено розрахунки елементів установки для виготовлення полімерних ниток

Підпис студента \_\_\_\_\_

" 2 " 06 20 25 р.

## РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 6 від " 26 " 06 20 25 р.

Оцінка проекту ЕК 4/10

Рекомендації ЕК -

Особливі відмітки -

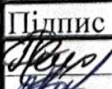
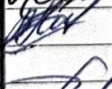


Технічний секретар \_\_\_\_\_

" 26 " 06 20 25 р.

## ЗМІСТ

	с
Вступ	5
1 Огляд та аналіз технічної літератури з тематики бакалаврської роботи	6
1.1 Технологія виробництва полімерних ниток	6
1.2 Огляд конструкцій машин та пристроїв для виготовлення полімерних ниток	23
Висновки до першого розділу	30
2 Розробка конструкції установки для виготовлення полімерних ниток	31
2.1 Розробка конструкції установки	31
2.2 Обґрунтування технологічних параметрів установки	32
2.3 Розробка електричної схеми установки для виготовлення полімерних ниток	33
Висновки до другого розділу	36
3 Розрахунки елементів установки для виготовлення полімерних ниток	37
3.1 Розрахунок параметрів приводу	37
3.2 Вибір металів і розрахунок допустимих напружень	39
3.3 Розрахунок закритої черв'ячної передачі	42
3.4 Розрахунок циліндричних передач	46
3.5 Розрахунок вентиляції	50
Висновки до третього розділу	57
Висновки	58
Перелік джерел посилання	59
Додаток А	61

**БРМА 25.00.00.000 ПЗ**

Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата				
Виконав		Попіль І.А.			Розробка електромеханічної установки для виготовлення полімерних ниток	Літера	Арк.вщ	Арк.вщів
Перевір.		Неймак В.В.				4	60	
Н.контр.					ХНУ, гр.ЕТс-22-2			
Затвер.		Неймак В.В.						

## ВСТУП

Актуальність цього питання підкреслює зростання швейних підприємств, що, у свою чергу, стимулює потребу у виробництві ниток, які поєднують прийнятну вартість з високою якістю. Екструзія як метод, дозволяє отримувати якісні нитки: розплавлений матеріал протягується через філь'єру з певним профілем за допомогою екструдера. Заміна філь'єри відкриває можливості для випуску ниток різної товщини, збагачуючи асортимент продукції.

Використання шнеків для перемішування матеріалу гарантує краще перемішування, зменшуючи ймовірність обриву нитки під час виробництва, що безпосередньо впливає на якість кінцевого продукту. Це також відкриває можливості для розширення палітри кольорів ниток та сприяє їх якісному фарбуванню.

У шнекових циліндрах відбувається інтенсивне перемішування матеріалу під час його транспортування від бункера до сопла, що забезпечує рівномірне розплавлення та нагрівання по всьому об'єму. Ці конструкції ефективно поєднують термодинамічні аспекти, такі як прогрів полімеру у тонких шарах, з технологічними вимогами, зокрема, мінімізацією перепаду тиску при впорскуванні. Шнекові конструкції також дозволяють враховувати особливості поведінки полімерних матеріалів у процесі пластифікації.

Під час роботи над бакалаврським дослідженням передбачається вирішення таких завдань:

- дослідження технології виробництва полімерних ниток;
- огляд конструктивних особливостей машин і обладнання для виготовлення полімерних ниток;
- проектування установки для виробництва полімерних ниток;
- розрахунки складових установки для виготовлення полімерних ниток.



перехід сировини з твердого стану в розплавлений. У цій зоні спостерігаються як тверді гранули, так і розплавлений матеріал. Початок плавлення залежить від тиску: зі збільшенням тиску пластифікації точка плавлення зміщується ближче до бункера.

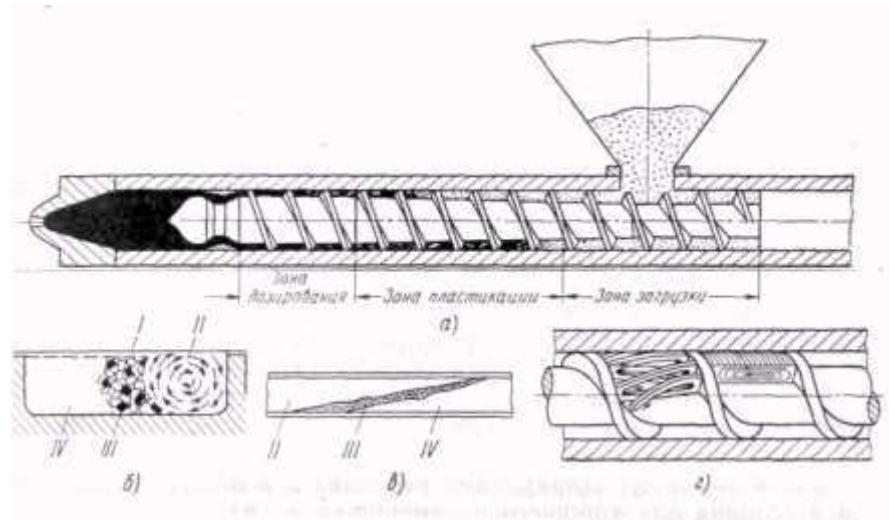
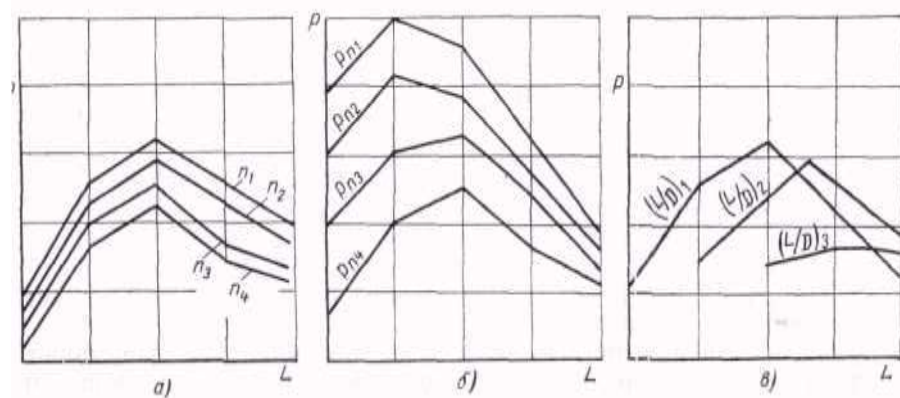


Рисунок 1.1 - Схеми розподілу матеріалу в шнековому циліндрі

Під час руху матеріалу вздовж шнека, у зоні пластифікації, нерозплавлені частки змішуються з уже розплавленими та втягуються у гвинтовий рух. Спочатку розплавлення відбувається біля робочого краю гвинтової нарізки шнека. Решта каналу залишається заповненою гранульованим матеріалом. На подальших витках шнека розмір зони розплавленого матеріалу по перетину каналу збільшується. Схема розподілу матеріалу в перших витках шнека в зоні пластифікації показана на рисунку 1.1, б, у. Біля стінки циліндра (зона I) матеріал знаходиться в розплавленому стані. Біля передньої стінки (зона II) спостерігається циркуляційний рух у розплавленому матеріалі. У зоні III поверхня гранул оплавляється, гранули ущільнюються, склеюються, частково розплавляються та залучаються до циркуляційного руху. У зоні IV разом з розплавленим матеріалом у каналі шнека знаходяться тверді гранули.



максимального тиску залежить від швидкості обертання шнека (рисунок 1.2, а) та тиску пластифікації (рисунок 1.2, б). З підвищенням швидкості обертання шнека максимальний тиск збільшується. Підвищення тиску пластифікації також призводить до збільшення максимального тиску в каналах шнека. При пластифікації матеріалів з високою в'язкістю в шнеку зазвичай розвиваються вищі тиски.



а - при зміні швидкості обертання шнека; б - при зміні тиску пластифікації; в - при зміні відносини довжини шнека до діаметра

Рисунок 1.2 – Залежності  $p$  від довжини шнека в зонах пластифікації й дозування (матеріал рухається праворуч ліворуч)

Величина найбільшого тиску в шнеку також залежить від температурного контролю циліндра по ділянках. З підвищенням температури циліндра в кінцевій зоні (на виході) в'язкість матеріалу знижується; внаслідок цього полегшується перебіг матеріалу. Найбільший тиск (за решти рівних обставин) спадає. Водночас для кристалічних матеріалів з добре вираженою температурою переходу з твердого у в'язкотекучий стан доцільно збільшувати температуру циліндра в початковій ділянці (у бункері). Це сприяє прискореному розм'якшенню та ущільненню матеріалу, що збільшує тиск.

Суттєвий вплив на найбільший тиск має протяжність шнека. Зменшення довжини шнека зумовлює пониження найбільшого тиску (рисунок 1.2, в) і навпаки, збільшення довжини шнека спричиняє підвищення найбільшого тиску. При цьому на шнеках невеликої довжини продуктивність зменшується зі збільшенням тиску пластифікації. Але, щоб на таких шнеках досягти рівномірного нагрівання матеріалу, тиск пластифікації слід підвищити.

Місце найбільшого тиску в циліндрі може переміщатися вздовж довжини шнека.

Тиск, що впливає на пластифікацію різних перероблених матеріалів, демонструє різний вплив на роботу шнека. Зі збільшенням швидкості обертів шнека, вплив тиску пластифікації на продуктивність стає відчутнішим. Причиною цього є зростання температури матеріалу, що супроводжується зменшенням його в'язкості. Відтак, підвищення тиску спричинює збільшення зворотного потоку, що призводить до зниження продуктивності.

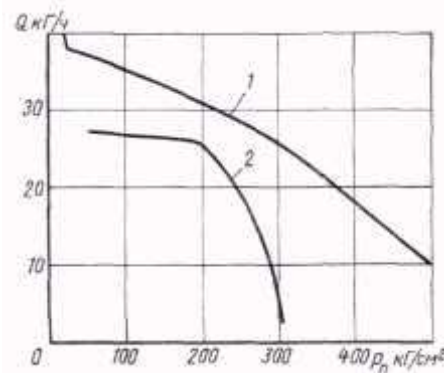


Рисунок 1.3 - Залежність продуктивності від тиску пластифікації для поліетилену й полістиролу

На малюнку 1.3 продемонстровано взаємозв'язок між продуктивністю та тиском пластифікації для поліетилену та полістиролу. Під час пластифікації полістиролу, зі збільшенням тиску спостерігається поступове

зниження продуктивності, оскільки полістирол отримує тепло переважно від зовнішніх джерел. При пластифікації поліетилену, на початку, продуктивність не зазнає змін зі зростанням тиску, але згодом швидко падає. Це пояснюється тим, що поліетилен при високому тиску нагрівається в основному внаслідок тепла, що виникає від тертя. В результаті підвищується температура матеріалу, значно зростає зворотний потік, що призводить до зниження продуктивності.

Робоча довжина шнека скорочується при переміщенні шнека у зворотному напрямку для набору порції матеріалу. Зі збільшенням швидкості обертання шнека, збільшується вплив довжини шнека на показник продуктивності.

Зменшення довжини шнека, що спричиняє зниження максимального тиску, призводить до зниження продуктивності виробів.

Більш виражений вплив збільшення швидкості обертання шнека на продуктивність (для коротких шнеків, у порівнянні з довгими) обумовлено більшим надходженням тепла через деформації зсуву, що викликає зниження в'язкості розплаву і, відповідно, збільшення зворотного потоку. Ці фактори стають особливо значущими саме для коротких шнеків.

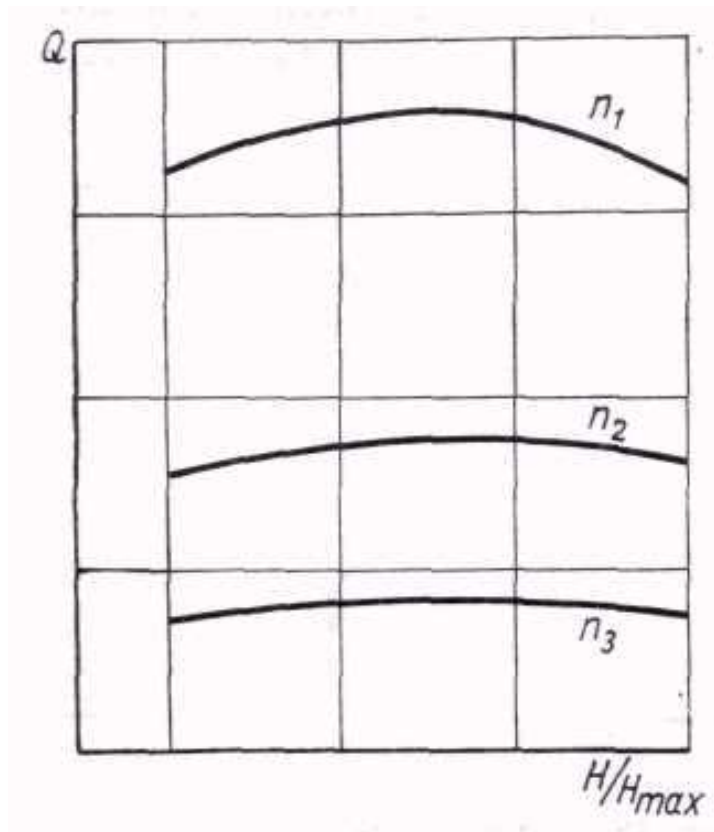
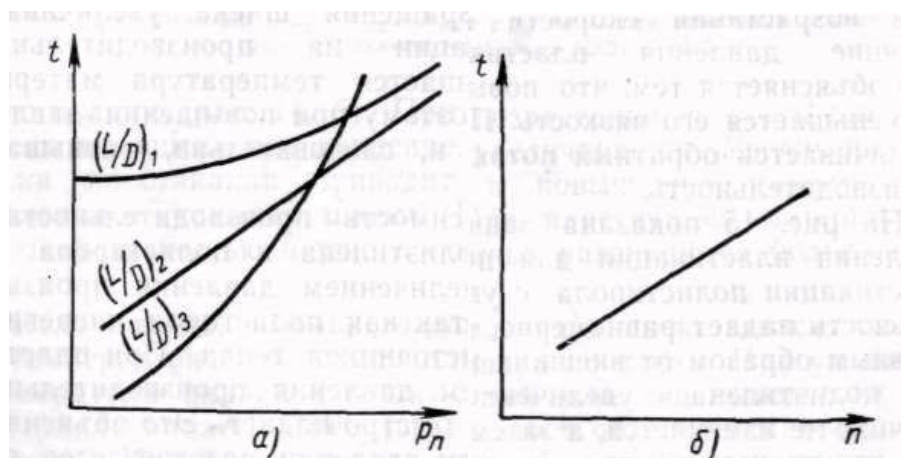


Рисунок 1.4 – Залежність продуктивності  $Q$  пластифікатора від величини ходу шнека (вираженої через діаметр  $D$ ).



а - від тиску процесу пластифікації при різних співвідношеннях довжини шнека до діаметра; б - від частоти обертання шнека

Рисунок 1.5 – Залежності температури  $t$  матеріалу:

Вплив зміщення шнека також помітний у зміні температури матеріалу на кожній ділянці довжини порції. Отже, якщо зміщення шнека становить  $2D$

(для шнека з довжиною 10D), то температура матеріалу зменшиться орієнтовно на 23° С. Аналогічне зміщення, але для шнека довжиною 18D, спричиняє зниження температури на 18° С.

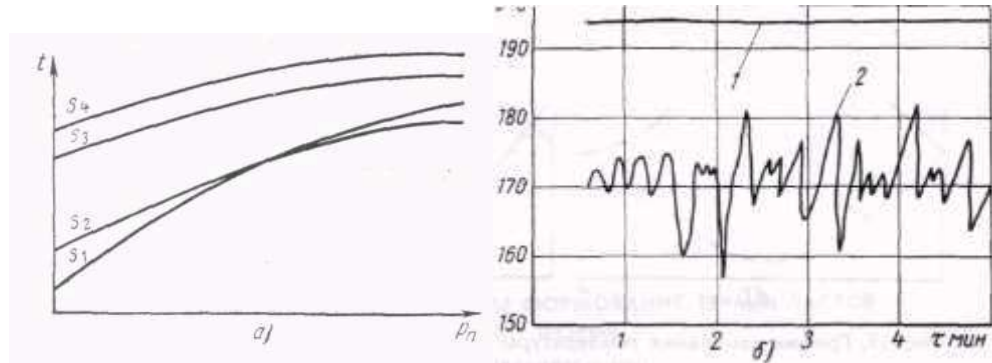


Рисунок 1.5а – Залежність температури матеріалу від довжини й швидкості обертання шнека, а також тиску пластифікації

Величина тиску та особливості його розподілу вздовж шнека впливають на температуру сировини. Температурний режим матеріалу корелює з довжиною та швидкістю обертів шнека, а також з тиском пластифікації (див. рисунок 1.5а ). Для шнеків короткої конфігурації при однакових тисках і частотах обертання зміна температури (її зростання) менш виражена, ніж для довших аналогів.

При зростанні тиску пластифікації на коротких шнеках температурний показник збільшується стрімкіше, що пояснюється значно більшими обсягами зворотних потоків.

Температура матеріалу в процесі пластифікації зростає разом зі збільшенням тиску пластифікації. Отже, всі фактори, які викликають підвищення тиску, супроводжуються збільшенням температури. Зокрема, підвищення ступеня стиснення шнека призводить до зростання температури сировини.

Збільшення температури циліндра стимулює зростання пластифікаційної продуктивності, що дозволяє експлуатувати обладнання на вищих швидкостях обертання або з використанням шнеків з глибокими каналами.

У зоні дозування відбувається стабілізація температури матеріалу. Відтак, збільшення цієї зони сприяє формуванню більш рівномірної температури сировини.

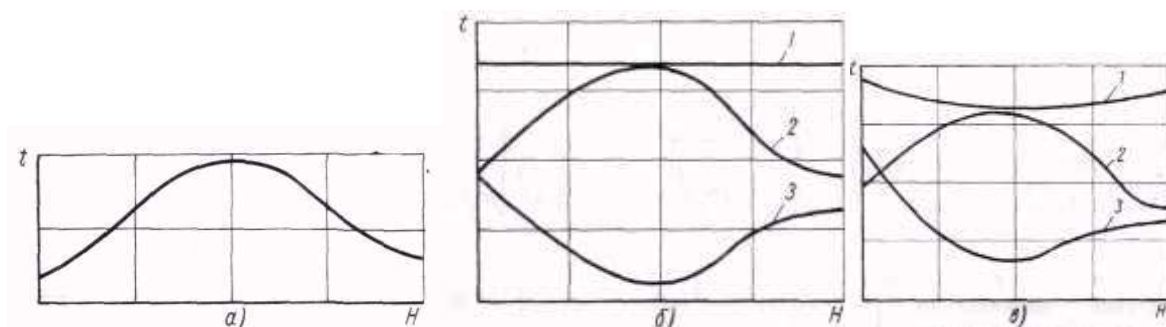


Рисунок 1.6 – Графік зміни температури по ходу шнека (довжині порції матеріалу)

Особливості пластифікації у шнекових циліндрах значною мірою визначають конструктивні вимоги до налаштувань пластифікатора. Для забезпечення можливості управління процесом пластифікації необхідно забезпечити плавне регулювання швидкості обертання шнека. Переміщення шнека не має перевищувати 10-15% від його робочої протяжності. Тиск пластифікації також має бути плавно регульованим. Оптимальні результати досягаються при автоматичному регулюванні тиску пластифікації під час відведення шнека.

Виготовлення високоякісних виробів із різних термопластичних полімерів вимагає, окрім використання ливарних машин з передовими конструктивно-технологічними рішеннями та спеціальним устаткуванням, дотримання технологічних умов формування.





Зважаючи на це, при виготовленні виробів технічного застосування з полікарбонату важливо забезпечувати процес лиття за можливої найнижчої температури розплаву, а також з підвищенням температури прес-форми вище 100° С.

Полікарбонат, завдяки своїй відносній в'язкості, без проблем витісняє інші матеріали з циліндра під час переходу на його переробку. Виключення становлять полівінілхлорид, целюлозні та ацетатні пластмаси, які не можна нагрівати до високих температур через ризик термодеструкції. В такому разі для очищення циліндра використовують поліетилен.

Полікарбонат має властивість гігроскопічності. Здатність до абсорбції вологи для полікарбонату сягає 0,15% за вагою при вологості довкілля до 50% (за кімнатної температури). Перед тим, як засипати гранульований полікарбонат у бункер машини, його попередньо просушують при температурі 70—75°С впродовж 4—6 годин (якщо матеріал вже був запакований) або при температурі 120—130°С протягом 12—20 годин (якщо матеріал був зволожений). Рекомендована товщина шару матеріалу під час сушіння – 20-30 мм. У повітряних або вакуумних сушарках час сушіння можна скоротити до 3-5 годин. Вміст вологи в полікарбонаті не повинен перевищувати 0,05%.

До бункеру ливарної машини радять поміщати нагрітий матеріал, аби на відкритому повітрі він не встиг відволожитися. Полікарбонат має знаходитися в бункері максимум пів години.

Бажано попередньо підсушувати матеріал прямо в бункері машини. До свіжого матеріалу дозволяється додавати до 20% (від об'єму матеріалу в бункері) відходів попередньо висушеного матеріалу.

Усадка полікарбонату коливається в межах 0,5-0,8% (до 1%). Зменшити усадку виробів з полікарбонату можливо, правильно підбираючи







Під час нагрівання непластифікований ПВХ спершу переходить у високоеластичний стан, а при подальшому підвищенні температури — у рідкий. Рідкий стан ПВХ відзначається надзвичайною нестабільністю, і полімер негайно починає процес розкладання, супроводжуваний виділенням соляної кислоти. Ця реакція має екзотермічний характер, отже, виділене тепло сприяє її прискоренню.

Основне завдання, що постає під час переробки непластифікованого ПВХ, полягає в підтримці високої температури матеріалу у чітко визначених межах і протягом максимально короткого часу.

Чітке коригування температури плавлення, а відтак і його густини, дає змогу досягнути високих температур, не наражаючи матеріал на руйнування. Тиск лиття при переробці твердого ПВХ коливається від 800 до 1500 кг/см<sup>2</sup>. Швидкість впорскування має бути максимальною, що є особливо важливим при литті тонкостінних виробів.

Проте надмірна швидкість впорскування може спричинити перегрів окремих зон виробу, особливо при проході через вузькі канали чи ливники. З огляду на це, машина, яка переробляє непластифікований ПВХ, повинна гарантувати регулювання швидкості впорскування.

Сопло мусить бути відкритого типу, адже у соплах, що зачиняються, матеріал застрягає та розкладається в мертвих зонах. Діаметр вихідного отвору сопла повинен бути не меншим за 2-2,5 мм.

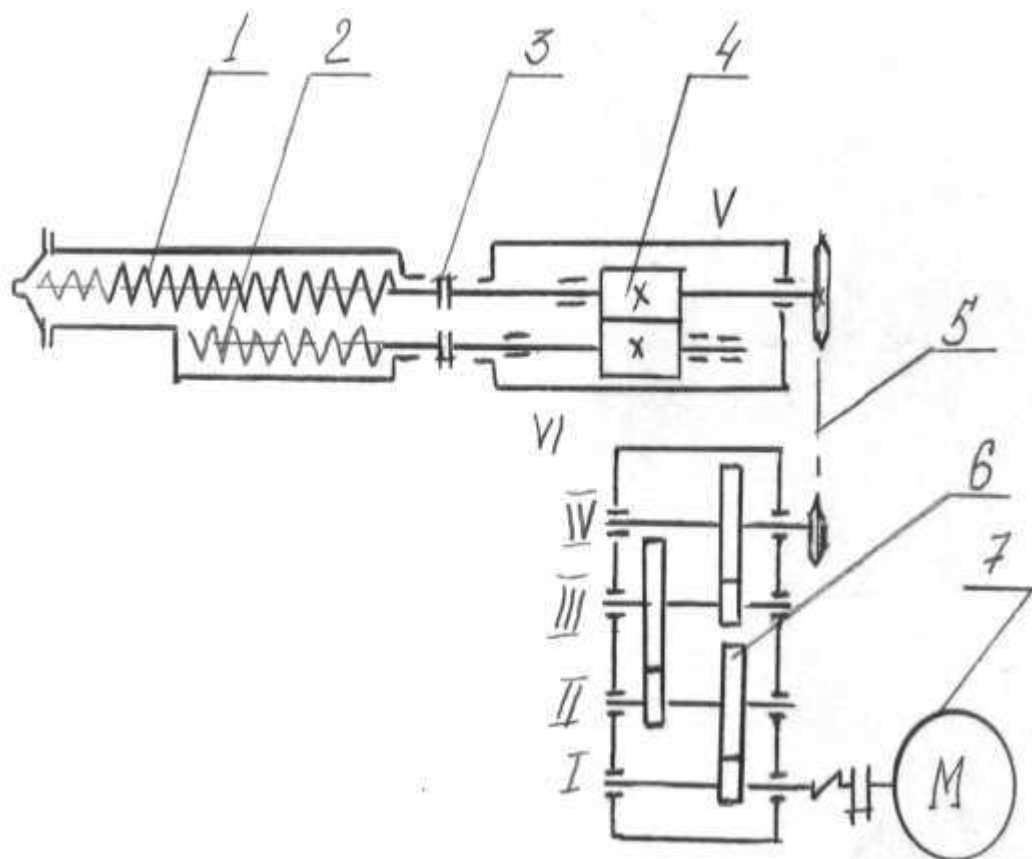
#### 1.1.2.8 Поліамід

Поліамід – це полімер з кристалічною структурою. Температурний діапазон плавлення різних типів поліамідів знаходиться в межах 180–280° С.

Температура циліндра має бути наближено на 20° С вищою за температуру, при якій плавиться полімер. Температура розм'якшення поліамідів зазвичай на 5–15° С нижча від їхньої температури плавлення. При







1 - довгий шнек, 2- короткий шнек, 3- муфта з'єднувальна, 4 - зубчаста шестерня, 5 - ланцюгова передача, 6 - трьохступінчатий редуктор, 7 - електродвигун

Рисунок 1.7 – Екструдер фірми „Ляйстриц”

Привід довгого шнека забезпечується електродвигуном "Шраге", потужністю 5-22 кВт. Швидкість регулюється двома щаблями в діапазоні від 600 до 2200 об/хв. Вал двигуна з'єднується з вхідним валом триступеневого редуктора через запобіжну та еластичну муфти. Редуктор має передаточне число 1:39. Вихідний вал редуктора через ланцюгову передачу з'єднаний зі шпинделем, використовуючи жорстку муфту з довгим шеком.

Короткий шнек з'єднаний жорсткою муфтою з валом, що приводить до обертання від шпинделя через зубчасту пару. Загальне передаточне число від електродвигуна до шнека дорівнює 1:85. Це призводить до збільшення крутного моменту на шнеку.



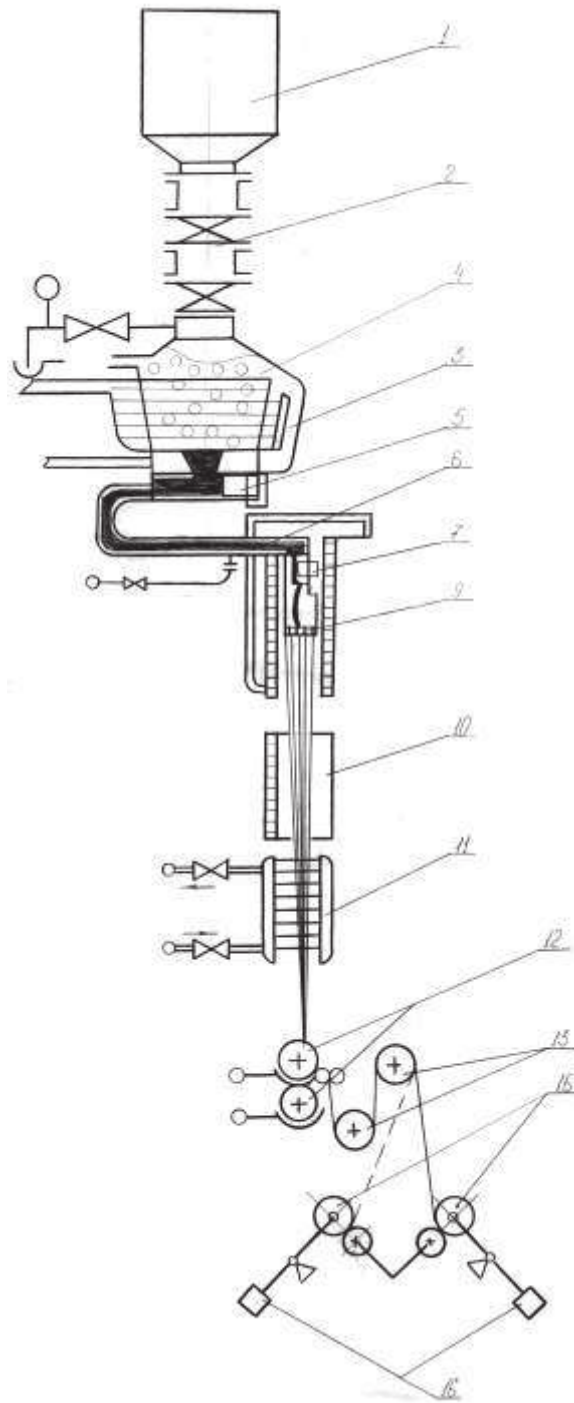


Рисунок 1.8 - Екструзійна машина ЭЧ-160К

Одержаний пучок найтонших ниток протягується через валики 12, далі його послідовно намотують на два диски 13, а потім – на бобіну 14, використовуючи для цього функційний циліндр 15. Тягарці – противаги 16


забезпечують відведення бобін по мірі збільшення їхнього діаметру намотування.

### 1.2.3 Екструзійна машина

У нагрітому циліндрі 1 вихідний матеріал перемішується шнеками, які обертаються, 2, після чого він плавиться під тиском.

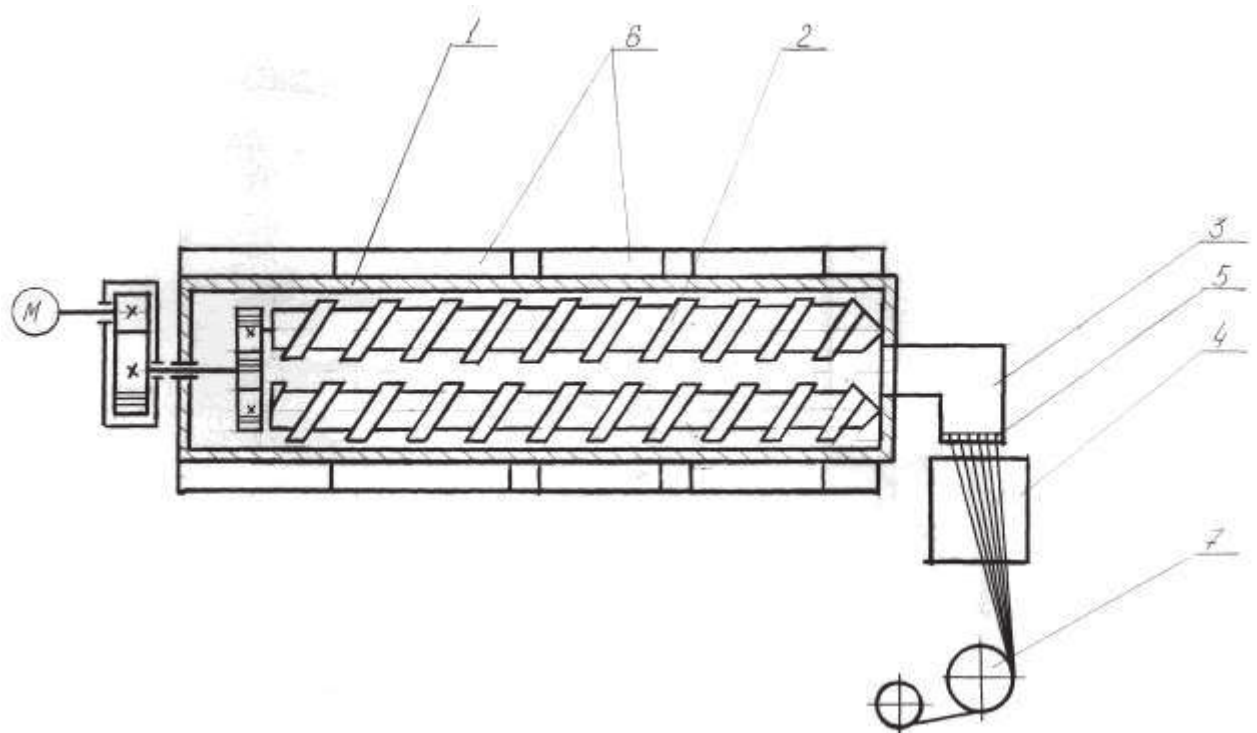


Рисунок 1.9 – Екструзійна машина

До торця циліндра приєднано головку 3, з котрої розплав під тиском рухається до фільтра 4, котрий має отвори круглої форми. Проходячи крізь фільтеру, гарячі волокна прямують до ванни 5 з водою, де вони охолоджуються до температури приміщення.

Нагрівачі 6 розташовані так, щоб поділити циліндр на три зони обігріву: в зоні А –  $1000^{\circ}\text{C}$ , в зоні Б –  $1500^{\circ}\text{C}$ , а в зоні В –  $1400^{\circ}\text{C}$ .

#### 1.2.4 Склоплавильній апарат для отримання неперервних скляних ниток

З бункеру 1 матеріал надходить дозатором, реагуючи на сигнал регулятора рівня, через завантажувальний канал 2 у склоплавну посудину 3. Ці посудини виробляють із платино-радйєвого сплаву. Ресурс склоплавних посудин 4 сягає 9 місяців. Утворення безперервних ниток 5 відбувається через філь'єри 4, завдяки механічному витягуванню ниток, що забезпечується їх затвердінням на відкритому повітрі.

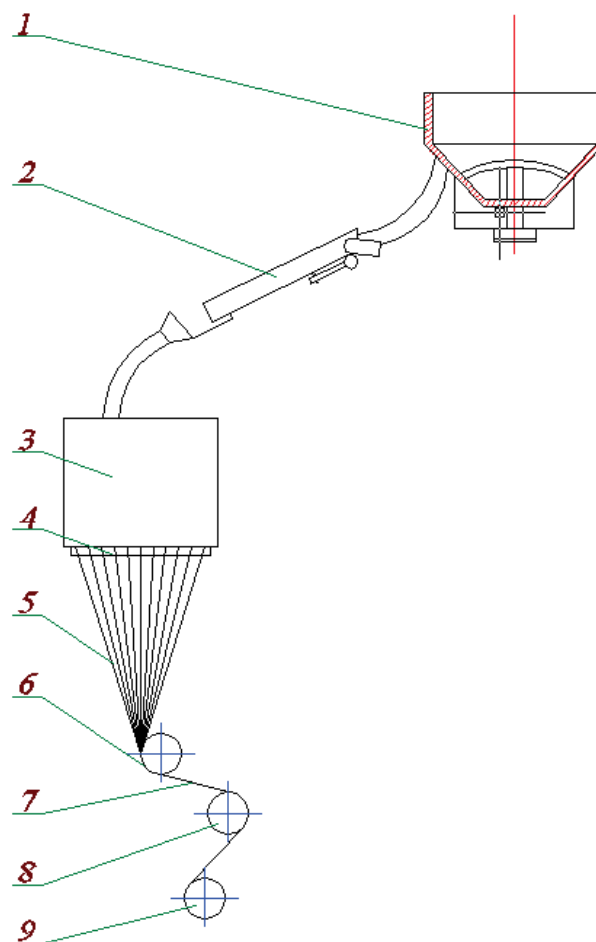
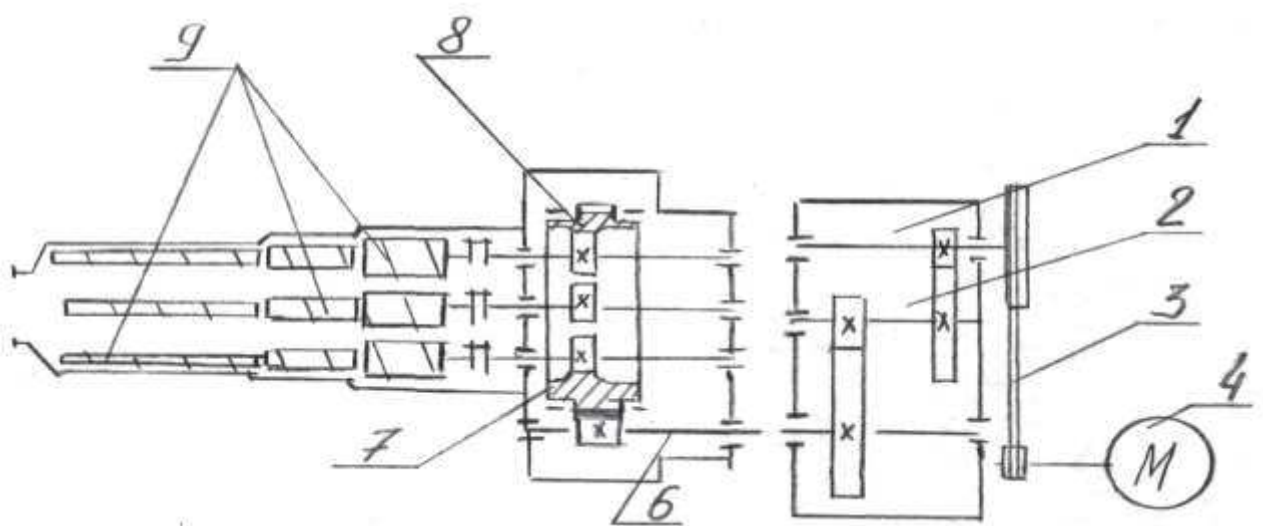


Рисунок 1.10 - Склоплавильній апарат для отримання неперервних скляних ниток

Комплексна нитка 7 утворюється з рухомих елементарних ниток в пристрої для замащування 6. Розтягування елементарних ниток та намотування комплексної нитки 7 на бобіну 9 забезпечується намотувальним механізмом 8.

### 1. 2. 5 Тришнековий екструдер фірми „ВІНДЗОР”

Кожен з трьох шнеків 9 з'єднаний жорсткою муфтою з відповідним валом 7 розподільчої коробки, розміщеної у корпусі екструдера зони завантаження циліндра. Шестерні, закріплені на валах 7, з'єднані з внутрішнім вінцем зубчастого колеса 8, яке приводиться в рух від вала 6, з'єданого муфтою з вихідною віссю 5 двоступінчастого редуктора.



1 - перший ступінь редуктора, 2 - другий ступінь редуктора, 3 - пасова передача, 4 - електродвигун, 5 - вихідна вісь, 6 - вал, 7 - шестерня, 8 - зубчасте колесо, 9 - шнек

Рисунок 1.11 – Трьохшнековий екструдер фірми „ВІНДЗОР”

Вісь 5 редуктора приводить до обертання електродвигун 4, яке реалізується через клинопасову передачу 3 та зубчасті передачі, монтовані на осях 1 та 2.





ванну 5 з водою, де вони охолоджуються до кімнатної температури (рисунок 3.1).

Якісні клейові нитки (однорідні, прозорі, без бульбашок повітря та дефектів) досягаються за умови оптимальних температурних режимів нагріву циліндра по зонах [БРМА 25.00.00.000 ДТ2]. Для поліамідної смоли ПА-548 оптимальними є такі температури: А - 1000С, зона Б - 1500С, зона В - 1400С.

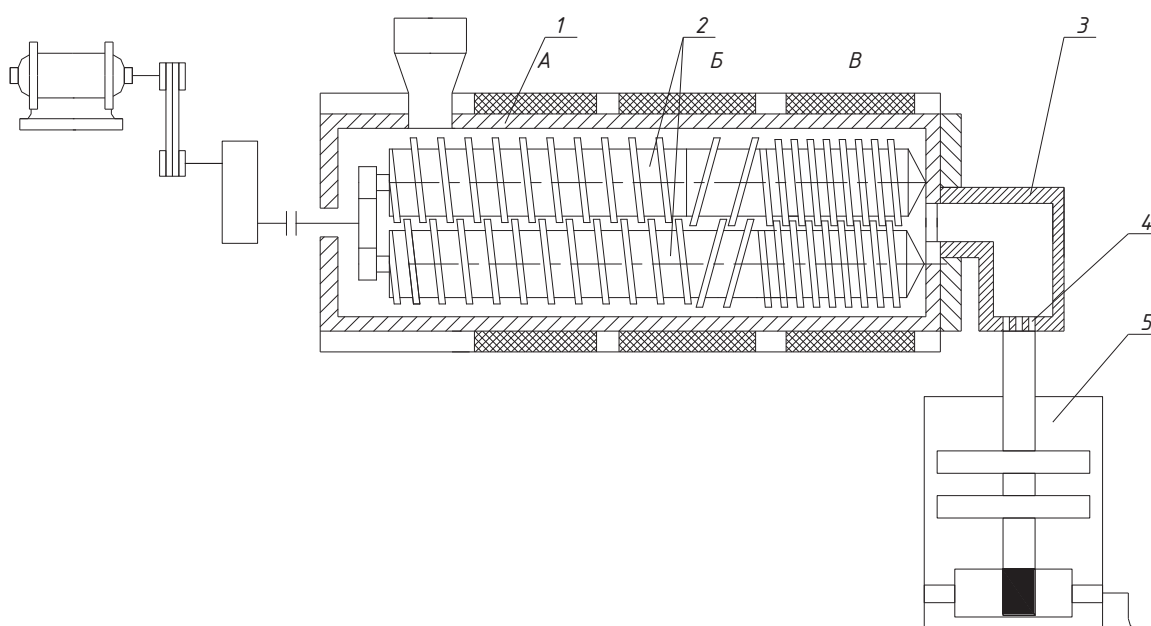


Рисунок 2.1 – Схема екструдера для виготовлення клеєвих ниток

Основними чинниками, які визначають пластифікацію, є параметри шнека (довжина, діаметр, крок, глибина каналу), швидкість його обертання та тиск, який забезпечує пластифікацію. Саме ці фактори впливають на продуктивність циліндра, який здійснює пластифікацію, на температуру матеріалу, а також на точність дозування. Щоб проаналізувати сукупний вплив цих факторів, а також їх вплив окремо, можна взяти за основу досвід

екструзії термопластів. Проте, пластифікація пластмас в литтєвих машинах має певні відмінності, які треба враховувати, через періодичність процесу та зміну довжини шнека при дозуванні.

На продуктивність шнекового пластифікатора впливає низка факторів. Збільшення діаметра та швидкості обертання шнека спричиняє зростання продуктивності, в той час як збільшення тиску пластифікації, навпаки, зменшує її (через збільшення зворотного потоку та потоку витоків). Зростання температури матеріалу супроводжується зменшенням його в'язкості, що призводить до збільшення потоку під дією градієнта тиску, а отже, зниження загальної продуктивності. Глибина каналу шнека демонструє різний вплив на продуктивність. При низьких тисках пластифікації, шнек з великою глибиною каналу забезпечить більшу продуктивність. У випадках, коли тиски пластифікації вищі, такий шнек може забезпечити меншу продуктивність, у порівнянні з шнеком з меншою глибиною каналу (продуктивність залежить від розмірів каналів шнека та тиску пластифікації), оскільки при значній глибині каналу та високому тиску пластифікації збільшується зворотний потік матеріалу.

Температура оброблюваного матеріалу у шнекових механізмах визначається теплотою, яка передається від стінок циліндра, та тепла, що вивільняється в матеріалі під впливом зусиль зсуву, що виникають у каналах шнека. Температурний режим матеріалу також зростає при впорскуванні. Кількість тепла, поглиненого матеріалом, корелює з тривалістю циклу лиття та режимом пластифікації.

Внутрішні джерела тепла відіграють вирішальну роль при пластифікації. Деформації зсуву значною мірою визначають якість підготовки матеріалу (температуру, однорідність температурного розподілу по об'єму порції, ефективність змішування). Розподіл температури матеріалу всередині шнекового пластифікатора залежить від тиску, що змінюється вздовж довжини

шнека, і визначається його параметрами, режимом експлуатації та іншими факторами.

Розплав зазнає значних деформацій зсуву, котрі визначають кількість внутрішнього тепла, що виділяється. Залежно від характеристик оброблюваного матеріалу, шнеки мають різні параметри (глибину витка і крок). Якщо напруження зсуву можуть надмірно нагріти матеріал та спричинити його руйнування, незначне ущільнення досягається зміною кроку шнека (а не глибини каналу, як правило). Величина деформацій зсуву також залежить від діаметра і швидкості обертання шнека.

Загальне переміщення матеріалу в зоні дозування складається з чотирьох потоків: основного, спричиненого обертанням шнека відносно стінки циліндра, зворотного, що виникає під дією градієнта тиску (спрямованого каналом шнека до бункера), поперечного, який виникає в поперечному перетині каналу шнека, та матеріалу, що забезпечує змішування, а також потоку витоків між гребенями витка шнека і внутрішньою стінкою циліндра.

Нитки, які виходять із філь'ери, мають бути витягнуті (стабілізовані). При витяжці довжина ниток зростає майже вчетверо, а діаметр зменшується більш ніж удвічі.

## 2.2 Обґрунтування технологічних параметрів установки

### 2.2.1 Вихідні дані

Полімер: поліетилентерефталат (ПЕТ)

Кількість капілярів у фільєрі: 100 шт

Діаметр одного капіляра: 0.3 мм = 0.0003 м

Швидкість витягування нитки: 1000 м/хв = 16.7 м/с

Густина ПЕТ:  $\rho = 1350 \text{ кг/м}^3$

Питома теплоємність:  $c = 1500 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$

Температура плавлення: 260 °С

Температура навколишнього середовища: 20 °С

Прихована теплота плавлення:  $\lambda = 93000$  Дж/кг

Діаметр барабана намотування: 0.1 м

### 2.2.2 Розрахунок продуктивності

$$Q = n * d^2 * v * (\pi/4) * \rho \quad (2.1)$$

Підставимо значення:

$$Q = 100 * (0.0003)^2 * 16.7 * (\pi/4) * 1350 \approx 0.48 \text{ кг/хв} \approx 28.8 \text{ кг/год}$$

### 2.2.3. Розрахунок необхідної потужності зони плавлення

$$P = Q * c * \Delta T + Q * \lambda \quad (2.2)$$

$$\Delta T = 260 - 20 = 240 \text{ °С}$$

$$Q = 0.48 \text{ кг/хв} = 8 \text{ г/с}$$

$$P = 8 * (1500 * 240 + 93000) = 8 * (360000 + 93000) = 8 * 453000 = 3.624 \text{ кВт}$$

### 2.2.4. Ступінь витягування

Припустимо,  $v_1 = 5$  м/хв,  $v_2 = 1000$  м/хв

$$DR = v_2 / v_1 = 1000 / 5 = 200$$

### 2.2.5. Діаметр нитки після витягування

$$d_2 = \sqrt{(d_1^2 / DR)} \quad (2.3)$$

$$d_1 = 0.3 \text{ мм} = 0.0003 \text{ м}$$

$$d_2 = \sqrt{((0.0003)^2 / 200)} \approx 2.12 \cdot 10^{-5} \text{ м} \approx 21.2 \text{ мкм}$$

### 2.2.6. Частота обертання котушки

$$n = v / (2\pi R) \quad (2.4)$$

$$v = 16.7 \text{ м/с}, R = 0.05 \text{ м}$$

$$n = 16.7 / (2\pi * 0.05) \approx 53 \text{ об/с} \approx 3180 \text{ об/хв}$$

### 2.2.7. Висновок

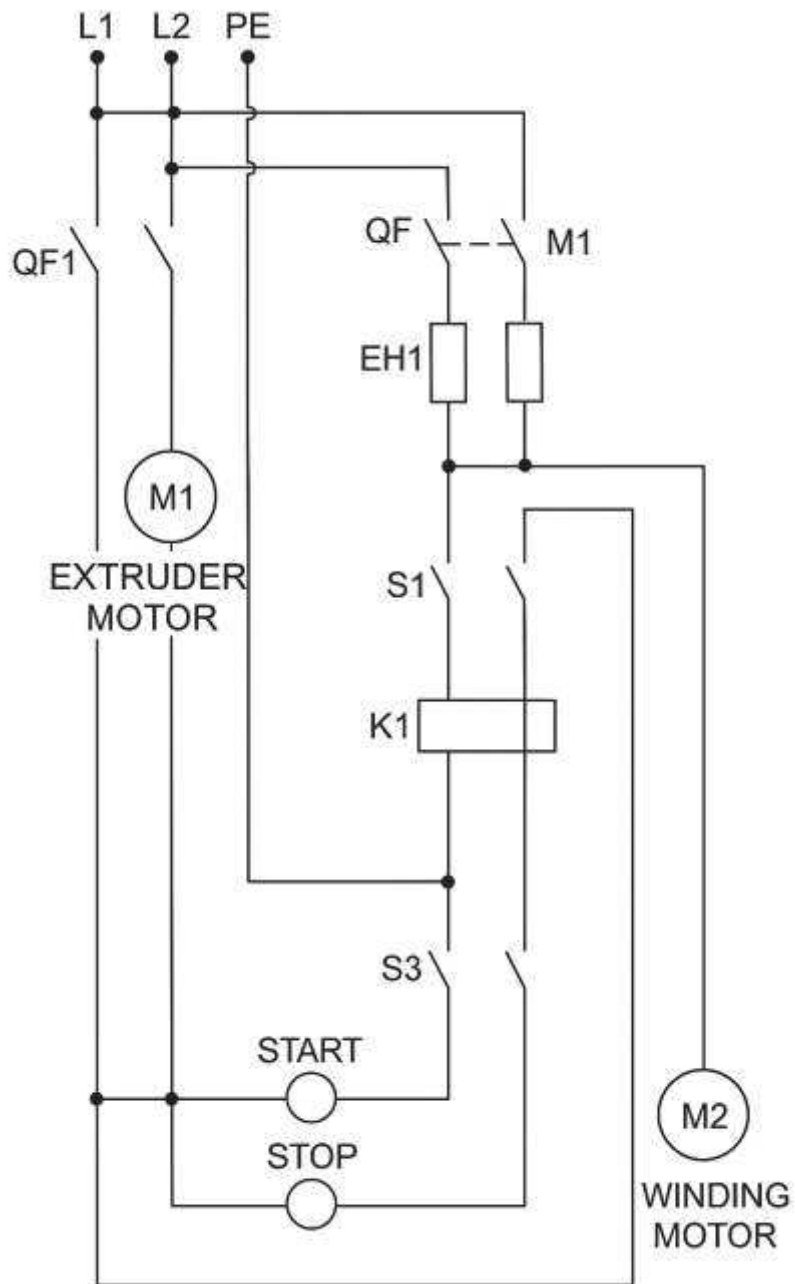
Установка має потенціал виробництва до 28,8 кг полімерної нитки щогодини, з діаметром волокна близько 21 мікрметра після витягування. Енерговитрати на плавлення полімеру становлять приблизно 3,6 кВт. Найкраща швидкість обертання намотувального пристрою - приблизно 3180 обертів за хвилину.

## 2.3 Розробка електричної схеми установки для виготовлення полімерних ниток

Електричну схему установки для виробництва полімерних ниток зображено на рисунку 2.2.

Електрична схема відповідає за забезпечення електроживлення, керування роботою та захист електромеханічних компонентів установки. Головними складовими схеми є:

- автоматичний вимикач QF1;
- магнітний пускач (контактор) K1;
- електродвигуни M1 (екструдер) та M2 (намотувач);
- нагрівальні елементи EH1, EH2;
- кнопки керування START (S1), STOP (S3);
- температурний контролер (XT);
- елементи заземлення PE.



L1, L2, PE — фази живлення (двофазне або трифазне підключення з захисним заземленням), QF1 — автоматичний вимикач, який подає живлення на всю установку, M1 — електродвигун екструдера, M2 — електродвигун намотувача нитки, EH1, EH2 — нагрівальні елементи зони плавлення (екструзії), K1 — магнітний пускач (контактор), який керує включенням навантаження, ХТ — температурний контролер (показано умовно).

Рисунок 2.2 – Електрична схема установки для виготовлення полімерних ниток

Після подачі живлення, яке проходить через автоматичний вимикач QF1, оператор натискає кнопку ПУСК (S1). Це активує котушку контактора K1, що призводить до замикання його силових контактів. Відтак, до мережі підключаються нагрівачі EH1, EH2, а також електродвигун M1. Температура зони плавлення регулюється температурним контролером ХТ, відповідно до налаштованого режиму. Коли досягається потрібна температура, активується привід намотувального пристрою (M2), який витягує та намотує полімерну нитку.

Якщо натиснути кнопку СТОП (S3) або у випадку аварійного вимкнення, живлення переривається, знеструмлюючи всі виконавчі механізми.

Для електробезпеки передбачено:

- автоматичний вимикач QF1, що захищає від короткого замикання та перевантажень;
- належне заземлення металевих частин через PE провідник;
- можливість аварійного вимкнення за допомогою кнопки СТОП.

Представлена схема гарантує надійне та безпечне управління процесом виготовлення полімерних ниток. Вона слугує основою для автоматизації технологічного процесу та може бути покращена шляхом інтеграції







$$P_1 = P_{et}^P = 2,089 \text{ кВт}$$

$$P_2 = P_1 \cdot \eta_1 \cdot \eta_5 = 2,089 \cdot 0,98 \cdot 0,995 = 2,036 \text{ кВт} \quad (3.10)$$

$$P_3 = P_2 \cdot \eta_2 \cdot \eta_5 = 2,036 \cdot 0,82 \cdot 0,995 = 1,66 \text{ кВт} \quad (3.11)$$

$$P_4 = P_3 \cdot \eta_3 \cdot \eta_5 = 1,66 \cdot 0,95 \cdot 0,995 = 1,57 \text{ кВт} \quad (3.12)$$

$$P_5 = P_4 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5 = 1,569 \cdot 0,97 \cdot 0,995 = 1,514 \text{ кВт} \quad (3.13)$$

Крутні моменти, що діють на валах

$$T_1 = 9550 \cdot \frac{P_1}{N_1} = 9550 \cdot \frac{2,089}{1430} = 14,099 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.14)$$

$$T_2 = 9550 \cdot \frac{P_2}{N_2} = 9550 \cdot \frac{2,036}{1430} = 13,747 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.15)$$

$$T_3 = 9550 \cdot \frac{P_3}{N_3} = 9550 \cdot \frac{1,66}{70,75} = 224,071 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.16)$$

$$T_4 = 9550 \cdot \frac{P_4}{N_4} = 9550 \cdot \frac{1,57}{18,76} = 799,227 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.17)$$

$$T_5 = 9550 \cdot \frac{P_5}{N_5} = 9550 \cdot \frac{1,514}{15,013} = 963,079 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.18)$$

### 3.2 Вибір металів і розрахунок допустимих напружень

Вибір групи термообробки

При потужності 1,5 кВт обрано 1 групу термообробки, де колесо та шестерня мають однакові характеристики. Твердість колеса становить HB=235...262; шестерні – HB=269...302.

Обрано сталь 40Х □1, табл. 2.1, с.8□, для якої після покращення та гартування Тв4, 640 б згідно з □1, табл. 2.2, с.8□.

Допустимі контактні напруження



$$v_{1s} = 4,5 \cdot \eta_4 \cdot U_3 \cdot \sqrt[3]{T_3} / 10^4 = 4,5 \cdot 18,78 \cdot 1,25 \cdot \sqrt[3]{963,079} / 10^4 = 0,104 \text{ м/с} - (3.26)$$

значення швидкості на виході.

$$v_{2s} = 0,00045 \cdot \eta_2 \cdot \sqrt[3]{T_3} = 0,00045 \cdot 1430 \cdot \sqrt[3]{224,071} = 3,868 \text{ м/с} -$$

Оцінюване значення швидкості черв'ячного редуктора.

Беремо до уваги ЛАЖМц 66-6-3-2, для яких 4 м/с, МПа, спосіб відливки у кокіль, згідно з □1, табл. 2.12, с.20□.

Допустимі контактні навантаження.

$$[\sigma]_H = 275 - 25 \cdot v_s - \text{згідно [1, табл. 2.12, с.20]}.$$

$$v_s = 3,868 \text{ м/с.}$$

$$[\sigma]_H = 275 - 25 \cdot 3,868 = 178,3 \text{ МПа.}$$

Максимально допустимі навантаження.

$$[\sigma]_{H\max} = 4\sigma_T = 4 \cdot 295 = 1180 \text{ МПа.}$$

Допустимі напруження згину.

$$[\sigma]_F = 0,25 \cdot \sigma_T + 0,08\sigma_B$$

$$\sigma_T = 295; \sigma_B = 450,$$

звідси

$$[\sigma]_F = 0,25 \cdot 295 + 0,08 \cdot 450 = 73,750 + 36 = 109,75.$$

Максимально можливі допустимі навантаження.

$$[\sigma]_{F \max} = 0,8 \cdot \sigma_T,$$

де  $\sigma_T = 295$ , звідси

$$[\sigma]_{F \max} = 0,8 \cdot 295 = 236 \text{ МПа.}$$

### 3.3 Розрахунок закритої черв'ячної передачі

Орієнтовне значення швидкості ковзання

$$v_s = 0,00045 \cdot \eta_2 \cdot \sqrt[3]{T_3} = 0,00045 \cdot 1430 \cdot \sqrt[3]{224,071} = 3,868 \text{ м/с.} \quad (3.27)$$

За передавального числа редуктора 20 та коефіцієнта діаметра  $g=10$ , кількість заходів черв'яка визначена відповідно до □3, табл. 2.1, с.236□.

Розрахунок кількості зубців черв'ячного колеса.

$$z_2 = z_1 \cdot U = 2 \cdot 20 = 40. \quad (3.28)$$

Визначення міжосьової відстані передачі.

$$a = \left(\frac{z_2}{g} + 1\right) \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{5400}{[\sigma_H] \cdot \frac{z_2}{g}}\right)^2 \cdot K_H \cdot T_2}. \quad (3.29)$$

де  $K_H$  – коефіцієнт навантаження за контактними напруженнями  
 $K_H=1,1 \dots 1,2$ ;

прийнято  $K_H=1,15$ .

Більш точно  $K_H$  визначається згідно формули

$$K_H = 1 + 0,5 \cdot \left( \frac{z_2}{\theta} \right)^3, \quad (3.30)$$

де  $\theta$  - коефіцієнт деформації черв'яка,  
прийнято  $\theta = 108$  [4, табл. Т 42, с.39].

$$K_H = 1 + 0,5 \cdot \left( \frac{20}{108} \right)^3 = 1,003 \quad (3.31)$$

$$a = \left( \frac{z_2}{g} + 1 \right) \cdot \sqrt[3]{\left( \frac{5400}{[\sigma_H] \cdot \frac{z_2}{g}} \right)^2 \cdot K_H \cdot T_2} = \left( \frac{20}{10} + 1 \right) \cdot \sqrt[3]{\left( \frac{5400}{64,62 \cdot \frac{20}{10}} \right)^2 \cdot 1,003 \cdot 224,071} = 219,625 \quad (3.32)$$

Вибір стандартної передачі

Згідно із визначеним передавальним числом, обираємо коефіцієнт діаметра  $g=10$  та число заходів черв'яка .

Обрано стандартну черв'ячну передачу з міжцентровою відстанню  $a=250$ , модулем зачеплення  $m=10$ , згідно з [5, табл. Т 42, с.39].

Визначення основних розмірів черв'яка та черв'ячного колеса

Ділильні діаметри:

черв'яка

$$d_1 = g \cdot m = 10 \cdot 10 = 100 \text{ мм.} \quad (3.33)$$

середній для колеса  $dm_2 = m \cdot z_2 = 10 \cdot 40 = 400 \text{ мм.}$

Діаметри вершин





$$V_s = \frac{Pd_1 \cdot n_2}{60000 \cos \varphi} = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 1164}{60000 \cdot 0,997} = \frac{365496}{59820} = 6,109 \text{ м/с} \quad (3.46)$$

Перевірка напружень контактних

$$\sigma_H = \frac{5400}{\frac{z_2}{g}} \cdot \sqrt{\left(\frac{z_2}{a} + 1\right)^3 \cdot K_H \cdot T_3} = \frac{5400}{0,2} \cdot \sqrt{0,005^3 \cdot 1,428 \cdot 224,071} = 27000 \cdot 0,00632 = 170,756$$

$$170,756 < [\sigma]_H = 178,3 \text{ МПа.}$$

Перевірка напружень згину  $\sigma_F$ .

$$\sigma_F = \frac{1500 \cdot K_F \cdot Y_F \cdot T_3 \cdot \cos \varphi}{m^3 \cdot g \cdot z_2} \leq [\sigma]_F \quad (3.47)$$

де  $K_F$  – коефіцієнт навантаження.

$$K_F = K_H = 1,428$$

$Y_{F2}$  - коефіцієнт форми зубів черв'ячного колеса.

$$Y_{F2} = 1,25 + \frac{6}{\frac{z_2}{\cos^2 \varphi} - 20} = 1,25 + \frac{6}{\frac{40}{0,983188} - 20} = 1,541 \quad (3.48)$$

$$\sigma_F = \frac{1500 \cdot 1,428 \cdot 1,541 \cdot 2299,515 \cdot 0,997}{10^3 \cdot 10 \cdot 40} = \frac{7567518,832}{400000} = 18,918 < 38,5 \text{ МПа.} \quad (3.49)$$

### 3.4 Розрахунок циліндричних передач

Визначення кількості зубів шестерні.

$$z_1 = 21 - 4 \sqrt[3]{4 - 1 + 8 \cdot \sqrt[3]{T_4}} / 4 + 1 = 21 - 4 \sqrt[3]{1,25 - 1 + 8 \cdot \sqrt[3]{799,227}} / 1,25 =$$

$$=17 \cdot \sqrt{0,25} + 8 \cdot \sqrt[3]{7,99,227 / 2,25} = 8,5 + 72,24 / 2,25 = 41,49 \quad (3.50)$$

Прийнято ближче число зубів  $z=41$ ; за [3, табл 3.3, с 53] вибрано значення коефіцієнту ширини  $\psi_{ba}=0.3$ .

Міжосьова відстань.

$$a = (3 \cdot U + 1) \sqrt[3]{(K / [\sigma]_H \cdot 4)^2 \cdot T_s \cdot K_H} / \psi_{ba} \quad (3.51)$$

де,  $U$  – передаточне число передачі.

$K = 315$  – для прямозубої передачі

$\psi_{ba} = 0.4$  [ , табл. 3.3, с 53]

$K_H = 1.6$  [1, табл. 2.3, с11] для симетричного розташування коліс.

Отже, міжосьова відстань

$$a = (3 \cdot 1.25 + 1) \cdot \sqrt[3]{(315 / 514,3 \cdot 1.25)^2 \cdot 963,079 \cdot 1,6 / 0,4} = 2,25 \cdot \sqrt[3]{6,002 \cdot 3852,316} = 64,1 \text{ мм}$$

Приймаємо

$a = 63 \text{ мм}$ , згідно [2, табл. 10.2, с.276].

Нормальний модуль значення.

$$m = (0.01 \dots 0.02) \text{ а } = (0.01 \dots 0.02) \quad 63 = 0.63 \dots 1 \quad .26 \quad (3.53)$$

Прийнято  $M_n = 1.25 \text{ мм}$  згідно [2, табл. 10,1 с.276]

Сумарна кількість зубців

$$z_c = 2 \cdot a / m_n = 2 \cdot 63 / 1,25 = 100,8 \quad (3.54)$$

Кількість зубців шестерні

$$z_1 = z_2 / (U + 1) = 100 / (1,25 + 1) = 44,4 \quad (3.55)$$

Прийнято  $44 = z_1$ .

Дійсне число передаточне

$$U_g = z_2 / z_1 = 56 / 44 = 1,27 \quad (3.57)$$

Відхилення числа передаточного

$$\Delta U = U_z - U_g / U_g = 1,25 - 1,27 / 1,27 \cdot 100\% = 1\% \quad (3.58)$$

Ширина колеса

Ширина вінця зубчатого

$$b_2 = \psi_{ba} \cdot a = 0,4 \cdot 63 = 25,2 \text{ мм} \quad (3.59)$$

приймаємо  $b_2 = 25 \text{ мм}$  [4, табл.Т.21, с 19].

$$b_1 = b_2 \cdot 1,12 = 28 \text{ мм} \quad (3.60)$$

Прийнято  $b_1 = 28 \text{ мм}$

Діаметри коліс, мм.

$$d_1 = m_n \cdot z_1 / \cos 0^\circ = 1 \cdot 44 / 1 = 44 \text{ мм} \quad (3.61)$$

$$d_2 = m_n \cdot z_2 / \cos \beta = 156 / \cos 0^\circ = 56 \text{ мм} \quad (3.62)$$

Перевіряємо

$$a = d_1 + d^2 / 2 = 44 + 56 / 2 = 50 \text{ мм} \quad (3.63)$$

Діаметри вершин зубів, мм

$$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m_n = 44 + 2 \cdot 1,25 = 46,5 \quad (3.64)$$

$$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m_n = 56 - 1,25 \cdot 2,5 = 58,5 \quad (3.65)$$

Діаметри западин зубів, мм

$$d_{f1} = d_1 - 2,5 \cdot m_n = 44 - 1,25 = 58,5 \quad (3.66)$$

$$d_{f2} = d_2 - 2,5 \cdot m_n = 56 - 1,25 \cdot 2,5 = 52,87 \quad (3.67)$$

Колова швидкість

$$v = \Pi_{n1} \cdot D_1 / 60000 = 3,14 \cdot 1430 \cdot 44 / 60000 = 3,29 \text{ м/с} \quad (3.68)$$

Ступінь точності

При  $v < 5$ , вибираємо 9 ступінь точності за [3, табл. 3.10, с 96]

Коефіцієнт навантажень

$$K_n = K_{n\lambda} \cdot K_{n\beta} \cdot K_{nv} \quad (3.69)$$

де,  $K_{n\lambda} = 1$  [3, с.92] коефіцієнт розподілу навантаження.

$K_{n\beta} = 1,26$  [3, табл. 4,7 с93] – коефіцієнт концентрації

$K_{nm} = 1,13$  [3, табл. 3.11, с 96]

Отже, коефіцієнт навантаження.

$$K_H = K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\gamma} = 1,26 \cdot 1,113 = 1,42 \quad (3.70)$$

Дійсні розрахункові напруження

$$\tau_H = K \cdot U + 1 / a_m \cdot \sqrt{(U+1)^3} T_5 \cdot K_H / b_a = 9 \cdot 2830,46 = 24,962 \text{ МПа}$$

Різниця щодо фактичних та дійсних напружень

$$[\tau_H] - \tau_H / \tau_H \cdot 100\% = 514,3 - 24,9 / 24,9 \cdot 100\% = 1\% \quad (3.72)$$

$$z_{v1} = z_1 / \cos 0 = 44 / 1 = 44 \quad (3.73)$$

$$z_{v2} = z_2 / \cos 0 = 56 / 1 = 56 \quad (3.74)$$

Коефіцієнт форми зуба

$$Y_f = 3,6 + 4,5 / z_v - 10$$

$$Y_f = 3,6 + 4,5 / 44 - 10 = 3,6 - 0,36 = 0,132 = 3,73 \quad (3.76)$$

$$Y_f = 3,6 + 4,5 / 56 - 10 = 3,6 - 0,36 = 0,132 = 3,69 \quad (3.76)$$

Коефіцієнт кута нахилу

$$Y_\beta = 1 - \beta / 140 - 1 - 0 / 140 = 1 \quad (3.77)$$

Уточнення щодо коефіцієнту навантаження

$$K_f = K_{f\alpha} \cdot K_{f\beta} \cdot K_{f\gamma} \quad (3.78)$$

$K_{f2} = 1$  – коефіцієнт що враховує розподіл навантаження між зубцями  
[3, ст 92].

$K_{f\beta}=1,21$  [3 табл. 48, с 94] – коефіцієнт розподілу навантаження за шириною навантаження.

$K_{fv}=1,14$  [3, табл. 4,12, с 97] – коефіцієнт динамічності навантаження

$$K_f=1\cdot 1,21\cdot 1,14=1,3794 \quad (3.79)$$

Перевірка напружень згину.

$$\sigma_f=2\cdot T_5\cdot Y_\beta\cdot \cos\beta/b_2\cdot Mn=2\cdot 963,079\cdot 3,85/20\cdot 1\cdot 20=562 > 680 \text{ МПа}$$

Колова сила

$$F_t=2\cdot T_5/d_2=2\cdot 963,079/56=34,396 \text{ Н} \quad (3.80)$$

Радіальна сила

$$F_2=F_t\cdot \operatorname{tg}\alpha/\cos\beta \quad (3.82)$$

де  $\alpha$  - кут зачеплення  $\alpha=20$ [4,с21]

$$F_r=34,396\cdot \operatorname{tg}20/1=12,51 \text{ Н}$$

Осьова сила

$$F_a=F_t\cdot \operatorname{tg}\beta=34,396\cdot 0=0 \quad (3.83)$$

Конструювання ведучого вала редуктора та його опор.

Оскільки максимальний діаметр черв'ячного колеса

$D_{a2}=430 \text{ мм} > 350 \text{ мм}$ , то обираємо варіант конструкції черв'ячного вала закритої черв'ячної передачі з опорами комбінованого типу, радіально-осьовими.

Діаметральні розміри черв'яка.

Матеріал черв'яка [3.п10,13] - сталь 45, загартована, з границею міцності  $\sigma = 590$  МПа, границею текучості  $\sigma_s = 330$  МПа, твердість поверхні HRC=45..55 одиниць.

Допустимі напруження кручення.  $\tau = 22,4$  МПа.

Діаметр вихідного кінця вала.

$$D_b = 10 \cdot \sqrt{Th/0,2} = 10 \cdot \sqrt{13,741/0,2 \cdot 22,4} = 10 \cdot \sqrt{13,741/4,48} = 14,52 \quad (3.84)$$

Діаметр першої перехідної ділянки

$$d_1 = (3.1,05..1.25) \cdot d_b = (3.1,05..1,25) 14,52 = 15,246..18,15 \quad (3.85)$$

Приймаємо  $d_1 = 18$  мм.

Діаметр посадкової ділянки для підшипника  $d_p > d_1$ ,  
прийнято  $d_2 = 25$  мм.

Вибір підшипників черв'ячного вала

Через те, що на вал діє осьова сила від черв'ячної передачі, попередньо обираємо для діаметра посадкової ділянки  $d_p = 20$  мм, зовнішній діаметр якого  $D = 47$  мм, ширина  $B = 14$  мм. Тип 36204 [2, табл. 15, 17, с. 459]

### 3.5 Аеродинамічний розрахунок місцевої витяжної установки загальнообмінної вентиляції

Споруджуємо аксонометричну схему витяжної вентиляції (рисунок 3.1). В межах вентиляційної системи витрата і швидкість повітря мають залишатися незмінними.

#### 3.5.1 Вихідні дані

Для облаштування загальнообмінної вентиляції встановлюємо вентилятор зовні приміщення, під стелею прокладаємо повітропровід та висвердлюємо вентиляційні отвори. Обираємо магістральний розрахунковий напрямок – найдовшу магістраль від витяжного пристрою до труби. У цьому випадку розрахунковий напрямок включає ділянки 1, 2, 3, 3.

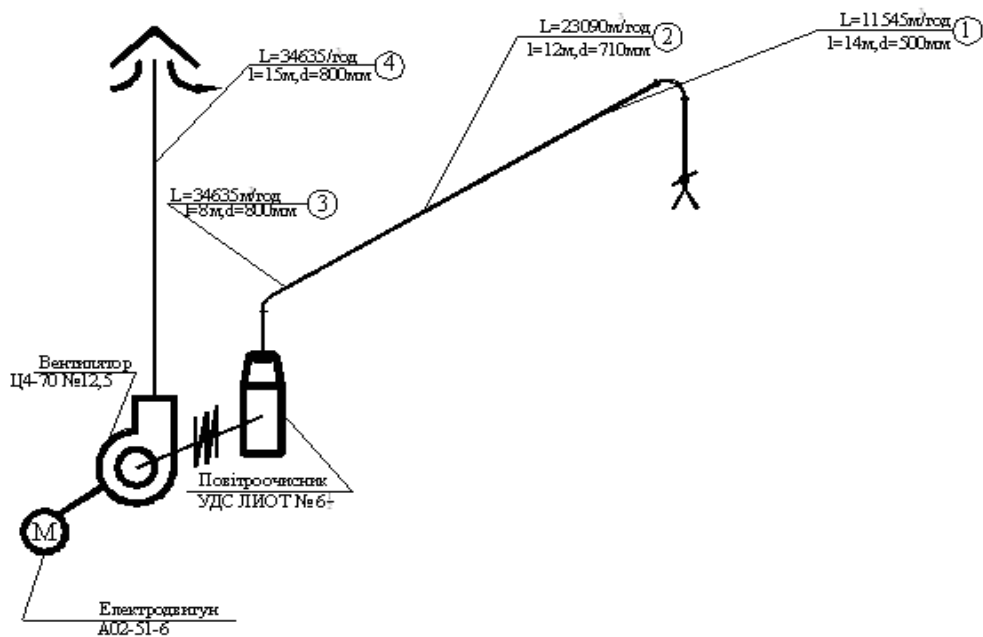


Рисунок 3.1 – Аксонометрична схема місцевої витяжної установки.

Враховуючи втрати тиску повітря та рекомендовані швидкості повітря  $V=15...25$  м/с в аспіраційних повітропроводах, визначаємо орієнтовну площу повітропроводів на певних ділянках за допомогою формули:

$$F = \frac{L}{3600V}, \quad (3.86)$$

де  $L$  - витрата повітря, м<sup>3</sup>/год;

$V$  - швидкість руху, м/с.

Оскільки у нас загальнообмінна вентиляція, то витрата повітря по ділянках складе:

$$L_1=11545 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$L_2=23090 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$L_3=34635 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$L_4=34635 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$F_1 = \frac{L_1}{3600 \cdot V_1} = \frac{11545}{3600 \cdot 15} = 0,213 \text{ м}^2$$

Згідно даних розрахунків вибираємо діаметр та площу поперечного перерізу повітропроводу:  $d_1=500\text{мм}$ ,  $F_1=0.196 \text{ м}^2$

$$F_2 = \frac{23090}{3600 \cdot 15} = 0,42 \text{ м}^2,$$

обираємо  $d_2=710$ ,  $F_2=0,396$

$$F_3 = F_4 = \frac{34635}{3600 \cdot 15} = 0,64 \text{ м}^2,$$

прийнято  $d_3=800, F_3=0,501$

За вирахованою площею знаходимо приблизний діаметр повітропроводу та обираємо найближчий стандартний згідно з ДБН В.2.5-67:2013. Далі обчислюємо скориговану швидкість повітря на цій частині.

Швидкості на ділянках розраховуємо за формулою:  $V = \frac{L}{3600 \cdot V}$

$$V_1 = \frac{11545}{3600 \cdot 0,196} = 16,3 \text{ м/с}$$

$$V_2 = \frac{23090}{3600 \cdot 0,396} = 16,2 \text{ м/с}$$

$$V_3 = V_4 = \frac{34635}{3600 \cdot 0,501} = 19,2 \text{ м/с}$$

Для зручності виконання розрахунків нижче представлена аксонометрична схема вентиляційної установки.

### 3.5.2. Підрахунок опорів на ділянках проектованої мережі

Ділянка 1:

- лійка  $\zeta_1^l = 1,0$  ;
- дросель-клапан  $\zeta_2^l = 0,05$ ;
- сітка дротова  $\zeta_3^l = 0,26$ ;
- відвід з кутом повороту  $\alpha=90^\circ$  і радіусом повороту  $R=2d$ ,  $\zeta_4^l = 0,15$ ;

Сума місцевих опорів на першій ділянці:

$$\sum \zeta^l = 1,0 + 0,05 + 0,26 + 0,15 + 0,03 = 1,49. \quad (3.87)$$

Ділянка 2:

Для  $L_0/L_c=0,21$  і  $F_0/F_n=0,2$ :

Тоді  $\zeta^2 = \zeta_n = 0,08$

Сума місцевих опорів на другій ділянці:

$$\sum \zeta^2 = 0,08.$$

Ділянка 3:

З місцевих опорів маємо:

- відвід з  $\alpha=90^\circ$ ,  $R=2d$ , для якого  $\zeta^3_I=0,15$ ;
- дифузор конічний.

За значенням сумарної продуктивності  $L=34635 \text{ м}^3/\text{год}$  та приблизного опору мережі  $\sum \Delta p=100 \text{ кг/м}^2$  встановлюємо, що найбільш можливим буде вентилятор А12,5-5 (З.Ц4-70 №12,5). Діаметр вхідного патрубку  $D=1250 \text{ мм}$ , тому встановлення дифузора для переходу від  $D=800 \text{ мм}$  до  $d=1250 \text{ мм}$  є необхідним. Приймаємо кут розширення дифузора  $\alpha=15^\circ$ . Коефіцієнт місцевого опору такого дифузора складає  $\zeta_{\text{диф}}=0,09$ .

Сума місцевих опорів на третій ділянці:

$$\sum \zeta^3 = 0,15 + 0,09 = 0,23.$$

Ділянка 4:

Місцевим опором є витяжна шахта з парасолем. Відповідно до літератури[4] при відношенні конструктивних розмірів парасоля  $h/d=1$  коефіцієнт місцевого опору  $\zeta^4_I=1$ .

Сума місцевих опорів на четвертій ділянці:

$$\sum \zeta^4 = 1.$$

Сукупний опір мережі

На підставі виконаного аеродинамічного розрахунку системи повітроводів є можливим встановити загальний розрахунковий опір вентиляційної мережі. Згідно з інформацією з таблиці 1.4, його значення



$$\Delta p_{уст} = \Delta p_{mag} + \Delta p_{оч} = 72,3 + 65 = 137,3 \text{ кг/м}^2. \quad (3.88)$$

Необхідна продуктивність вентилятора з урахуванням підсмоктування повітря:

$$L_{необх} = L_4 \cdot 1,1 = 34635 \cdot 1,1 = 38098 \approx 40000 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (3.89)$$

Підбираємо вентилятор, що має задовольняти таким умовам:

-  $\Delta p_{необх} = 137,3 \text{ кг/м}^2$ ;

-  $L_{необх} = 40000 \text{ м}^3/\text{год}$ .

- середовище - очищене повітря із максимальною запиленістю не більше  $150 \text{ мг/м}^3$ .

Таблиця 3.1 – Зведені результати аеродинамічного розрахунку повітропроводів аспіраційної установки

№ ді- лянки	$L,$ $\text{м}^3/\text{го}$ д	$l,$ м	$d,$ мм	$V,$ м/с	$\lambda/d,$ $1/\text{м}$	$\lambda l/d$	$\Sigma \zeta$	$\lambda l/d +$ $\Sigma \zeta$	$\rho V^2/2$ $g,$ $\text{кг/м}^2$	$\Delta p,$ $\text{кг/м}^2$	$\Sigma \Delta p,$ $\text{кг/м}^2$
1	11545	14	500	16,3	0,03	0,42	1,49	1,91	16,25	31,04	31,04
2	19542	12	710	16,3	0,019	0,228	0,08	0,308	16,25	5	36,04
3	29313	8	800	19,2	0,016	0,128	0,24	0,368	22,55	8,30	44,34
4	29313	15	800	19,2	0,016	0,24	1	1,24	22,55	27,96	72,3

Для врахування зазначених вимог оптимальним вибором буде радіальний вентилятор моделей Ц4 70 або Ц4-76. На зведеному графіку для підбору радіальних вентиляторів визначаємо, що найближче до точки з необхідними









