

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки та графічної частини (ілюстративний матеріал – слайди).

Об'єм графічної частини дипломної роботи становить 12 слайдів.

Об'єм пояснювальної записки складає 78 друкованих сторінок формату А4 (210×297).

В роботі використано 15 літературних джерел.

У роботі розроблено автоматизовану систему керування технологічним процесом переробки полімерних відходів для невеликих підприємств. Система керує процесом вологого розмолу сировини з подальшою її промивкою та сепарацією, подачею відходів на екструдер, де шляхом утворення розтопу полімер переробляється на нитки, які потім подрібнюються та фасуються у мішки.

Основними параметрами, які контролює система є: продуктивність дробильних установок та стан електроприводу у них; процес рециркуляції води та відстоювання полімеру; процес екструзії (продуктивність установки, тиск на виході, температура в зонах екструдера.

Слід відмітити, що контроль температури в різних зонах екструзійного агрегату дуже важливо контролювати температуру для забезпечення необхідних величин зон пластичності та розтопу.

Автоматизована система реалізована на базі логічного програмованого контролера, який приймає сигнали від датчиків і передає на комп'ютер оператору дані про технологічний процес.

Ключові слова: КОНТРОЛЕР, ЕКСТРУДЕР, ПЕРЕРОБКА, ПОЛІМЕР, ВІДХОДИ.

## ЗМІСТ

<i>ВСТУП</i> .....	7
<b>1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА</b> .....	<b>9</b>
<i>1.1. Етапи та способи утилізації пластикових відходів</i> .....	9
<i>1.2. Види полімерних відходів</i> .....	10
<i>1.3. Властивості перероблених полімерних матеріалів</i> .....	11
<i>1.3.1. Вторинний поліетилен</i> .....	11
<i>1.3.2. Характеристики переробленого поліпропілену</i> .....	13
<i>1.3.3. Суміші пластиків</i> .....	15
<i>1.4. Молекулярні полімер-полімерні композиції. Деякі аспекти отримання</i> .....	16
<i>1.5. Продукти деструкції при другій переробці поліолефінів</i> .....	20
<i>1.5.1. Окиснювана деструкція</i> .....	21
<i>1.5.2 Термічна деструкція поліолефінів</i> .....	23
<i>1.5.3 Механічна деструкція</i> .....	25
<i>1.6. Додатки</i> .....	26
<i>1.6.1. Стабілізатори</i> .....	26
<i>1.6.2 Пластифікатори</i> .....	27
<b>3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b> .....	<b>29</b>
<i>3.1. Технологічний процес вторинної переробки переробки полімерних відходів з виготовленням грануляту</i> .....	29
<i>3.2 Опис принципу роботи дробильного агрегату</i> .....	32
<i>3.3 Агрегат для промивання відходів</i> .....	33
<i>3.4 Гідроциклонний агрегат</i> .....	34
<b>4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА</b> .....	<b>36</b>
<i>4.1 Будова екструдера</i> .....	36
<i>4.2 Розробка автоматизованої системи керування процесом переробки полімерних відходів</i> .....	42
<i>4.3 Розробка системи керування для контролю та управління температурними параметрами зон екструдера</i> .....	44
<b>4. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА</b> .....	<b>48</b>
<i>4.1 Фізико-хімічні основи переробки пластмас</i> .....	48
<i>4.2. Обґрунтування температурно-часового інтервалу переробки полімерів</i> .....	53
<i>4.3. Використання текучості під час проектування переробної полімерної технології</i> . .....	57
<i>4.4. Особливості впливу текучості на якість перероблених виробів і параметри конструктивного типу для обладнання</i> .....	58

<b>5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>60</b>
<b>5.1 Оцінка реологічних властивостей полімеру і композицій на їх основі.....</b>	<b>60</b>
<b>5.2 Об'єкти дослідження і методика проведення експерименту .....</b>	<b>62</b>
<b>5.3 Результати експерименту.....</b>	<b>65</b>
<b>5.4 Обговорення результатів.....</b>	<b>67</b>
<b>6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....</b>	<b>70</b>
<b>6.1 Організація охорони праці при роботі з системою управління .....</b>	<b>70</b>
<b>6.2 Електробезпека .....</b>	<b>72</b>
<b>6.3 Розрахунок заземлення .....</b>	<b>75</b>
<b>ОСНОВНІ ВИСНОВКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ .....</b>	<b>79</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....</b>	<b>80</b>

## ВСТУП

Виробництво власне пластмасових виробів має тенденцію зростання з року в рік. Це різного роду пластикові вироби: банки та пляшки, лотки, палети та каністри, різного роду пакети, упаковка, перегородки, різні перекриття, вивіски, покажчики, світлові ящики, сітки, етикетки, плівка, скотч, решітки, папки, штучні трав'яні покриття, фільтрувальні трубки і різноманітні інших продуктів.

Така велика кількість пластикових відходів не тільки засмічує навколишнє середовище, але і забруднює його. Пластик відноситься до матеріалів, які практично не розкладають з пробігом часу, при спаленні виділяють вкрай токсичні речовини, які не можуть бути вилучені з організму. Тому пластмасові вироби необхідно переробляти.

В даний час проблема переробки полімерних відходів стає актуальною не тільки у зв'язку з захистом навколишнього середовища, але і через брак полімерної сировини. З 1 кг відходів приблизно можна отримати до 0,8 кг перероблених матеріалів.

Популярність пластику пояснюється його легкістю, економікою, зручністю використання. Адже при виготовленні пластикової енергії потрібно на 21% менше, ніж при виготовленні скла.

Утилізаційний комплекс являє собою лінію по переробці побутових пластикових і поліпропіленових відходів.

Ця лінія переробляє використані матеріали для отримання перероблених полімерів на основі поліетилену і поліпропілену.

Виготовлення виробів з пластмас зосереджене на підприємствах чи дільницях з переробки пластмас, які об'єднані в одну підгалузь – технології переробки пластмас. За методами власне виготовлення виробів з пластмас, як відомо, її можна поділити на наступні види виробництв з індивідуальною об'ємною часткою:

лиття під тиском термопластів – 33 %;

екструзія – біля 30 %;

пресування – 26 %;

каландрування – 5 %;

інші методи – 6 %.

Отже розробка систем, які дозволять проводити процес утилізації пластикових відходів є актуальною задачею на сьогоднішній час.

## 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1. Етапи та способи утилізації пластикових відходів

Процес переробітку пластику має декілька складових:

- Збирання відходів різними методами;
- Процес сортування з виключенням не полімерних включень (за якістю, кольором, чистими/брудними відходами);
- Спресовування матеріалів для зручнішого транспортування;
- Процес переробки на підприємстві (нарізання, промивання, сушіння, виготовлення екструзійного грануляту);
- Виготовлення нових продуктів з грануляту.

На сьогоднішній час відомо способів переробляння полімерних виробів.

1. Піроліз – процес термічного розкладання речовин без кисню або при його наявності.

2. Гідроліз – явище розкладання при наявних екстремальних тисках і температурах. Цей метод використання відходів є енергетично вигідніший, ніж піроліз, так як високоякісні хімічні продукти переобляються і можуть використовуватися знову.

3. Гліколіз – руйнування відбувається при високій температурі і тиску за наявності в зоні певних каталізаторів та етиленгліколю, вказаний процес відбувається доти, поки не утвориться чистий продукт. Цей метод є більш економічним, ніж гідроліз.

4. Найбільш поширеним методом теплової переробки пластмас є метанозінг – розкладання полімерів у присутності каталізаторів та метанолу.

5. на сьогоднішній час найбільш легким з точки зору впровадження є механічна переробка-переробка (вона не вимагає спеціального дорогого обладнання і може виконуватися в будь-якому місці накопичення відходів).

## 1.2. Види полімерних відходів

Відходи полімерів підрозділяються на відходи від споживання та від процесів виробництва. На даний момент можна знайти наступні види класифікацій. Їхній перелік наведено у таблиці 1.1 [1].

Таблиця 1.1-Види полімерних відходів

Вид класифікації	Назва	Опис
За складністю і вартістю переробки	З хорошими властивостями	Чисті відходи виробництва (відбивки, обізки, брак), умовно чисті відходи споживання
	З середніми властивостями	Відходи виробництва і споживання, що мають допустимий вміст забруднень, а також відходи від виробництва харчового призначення
	Важко утилізовані відходи	Важко забруднені і у великій мірі змішані відходи виробництва і споживання з полімеркомпозитних матеріалів, деталі побутової і машинної техніки
По видах і типах полімерів	Відходи крупнотонажних і дорогих конструкційних пластмас	ПЕНП, ПЕВП, ПП, ПС, АБС, ПА, ПК, ПЕТ, ПВХ
	Пакувальні відходи, меблеве виробництво, будівництво	Використана тара з ПЕТ, дво- чи багатошарові плівки, що використовуються для пакування різного приду харчової продукції: ПС, ПП, ПЕНП ПП/ПА, ПП/ПЕТФ, змішані відходи, ПЕПВ, ПЕТ, ПЕ/ПЕТФ, АБС

Продовження таблиці 1.1

За способом утилізації і їх екологічній дії	Повторного використання	Усі види відходів
	Переробка полімерних відходів на Мономах і штучне паливо (піролізний-сирий метод)	Усі види відходів
	Спалювання для теплової та електричної енергії (метод енергії)	Усі види відходів
	Захоронення на територіях загального призначення.	Усі види відходів

### 1.3. Властивості перероблених полімерних матеріалів

#### 1.3.1. Вторинний поліетилен

Даний матеріал є найбільш поширеним. Види комерційного поліетилену (ПЕ) сильно впливають на його поведінку під час вторинної переробки. Звичайно, розгалуженість (короткі або довгі ланки) впливають на кінетику деструкції, а потім і на кінцеві властивості переробленого матеріалу, який пережив кілька етапів обробки. Така поведінка має специфічне значення для тих матеріалів, до яких застосовують не тільки термомеханічне руйнування під час обробки, але і до інших руйнівних наслідків при подільшому використанні. Фотоокиснення та інші види деструкції створюють різні морфологічні та, власне кажучи, структурні зміни, що залежать від структури ПЕ.



Молекулярна маса продуктів, які були у використанні дуже висока, тому що деструкція, яку витримує цей тип матеріалу в короткостроковому використанні дуже мала. Остання обставина передбачає, що властивості вторинного матеріалу близькі до оригінального полімеру.

Вторинні перероблені полімерні матеріали отримують, використовуючи не менше, ніж два-три цикли переробки, і в кожному з них розтоп викликає додаткову деструкцію матеріалу. Більше того, збільшення кількості вдруге перероблених полімерів і використання поєднань з вдруге перероблених і первинних матеріалів пиводить до ефекту, що значний вміст рекуперованих пластиків переробляється кілька разі. Звідси випливає, що властивості таких перероблених велику кількість разів полімерних матеріалів увесь час змінюються зі збільшенням кількості циклів переробки в напрямку їх погіршення.

Характеристики вторинного, відновленого ПЕВП залежать від характеру і числа циклів переробки, також від властивостей відходів. Власне кажучи, як на властивості твердого матеріалу, так і на властивості розплавів до деякої міри впливає вторинна переробка. Вони визначають оброблюваність полімеру.

Отже, важливим фактором є знати зв'язок між властивостями і етапами переробки, щоб отримати можливість до деякої межі спрогнозувати ймовірні характеристики вторинно перероблених відходів, тобто, знайти доступні для вказаних матеріалів сфери використання. Очевидно, що остаточні характеристики будуть залежати, власне кажучи, не тільки від кількості циклів переробки, але також від характеристик рекуперованих матеріалів, від параметрів переробки та її умов.

У матеріалц, що пройшов через певну кількість циклів переробки на одношнековому екструдері, в'язкість набуває меншого значення зі збільшенням кількості циклів вторинної переробки. Звідси випливає, що при

повторній екструзії внутрішні напруження термомеханічного характеру, що діють на розплав, створюють у ньому деструктивні процеси полімеру.

Проте для матеріалів, які пройшли переробку на двошнековому екструдері в'язкість спадає тільки при наявності високих значень швидкостей зсуву, а при низьких її значеннях ефект зворотній. Внутрішні напруження термомеханічного характеру викликають розриви ланцюгів, а також молекулярне зростання, яке виникає внаслідок утворення довгих бічних ланок і наявних процесів зшивання. Кінцева будова макромолекула їх маса залежить від сили вкладу цих двох процесів.

Можна зробити висновок, що на кінцеві властивості вторинного переробленого полімерного матеріалу впливає будова ПЕВП і параметри технологічного обладнання переробної промисловості [2].

### **1.3.2. Характеристики переробленого поліпропілену**

Поліпропіленовий (ПП) матеріал також є масштабним у виробництві і має широку сферу застосування. Основним джерелом відновленого ПП є контейнери з акумуляторами, плівками, деталями автомобілів тощо. У багатьох випадках структура, морфологія та властивості другого переробленого ПП дуже близькі до властивостей вихідного полімеру.

Значна зміна структури та морфології відбувається, коли продукти ПП потрапляють у суворі умови експлуатації, такі як автомобільні бампери, які постійно знаходяться у відкритому стані, гарячі водопровідні труби тощо. Деградація ПП через втрату стабілізаторів є особливо перехідною та небезпечною. Насправді, ПП дуже схильний до всіх видів деградації через свою хімічну структуру, особливо через наявність лабільного третинного вуглецю в основному ланцюзі. Явища руйнування під час обробки посилюються наявністю механічних напруг. Тому обробка та використання ПП можливе лише при хорошій стабілізації матеріалу.

Руйнування під час обробки може бути дуже значним, якщо перед кожною технологічною операцією не вводиться стабілізатор. Розмірну молекулярну масу розраховували як відношення величини, отриманої після кожного циклу обробки, до молекулярної маси вихідного полімеру. Кінетика руйнування залежить від механічного напруження, що чиниться на розплав. Із зменшенням молекулярної маси  $i$ , отже, в'язкості полімеру механічне напруження зменшується, а його вплив на деградацію зменшується. Тому кінетика деградації прискорюється в перші цикли, коли молекулярна маса та механічне напруження вищі [3].

Зміна молекулярної маси полімерного ланцюга супроводжується власне зміною кристалічності, а зменшення маси зазвичай викликає збільшення кристалічності; ці дві тенденції зазвичай здійснюють сильний вплив на механічні властивості, в різній степені сили. Як видно, зниження молекулярної маси та збільшення кристалічності призводить до зменшення відносного подовження при розриві, але ці взаємозалежні зміни роблять протилежний вплив на напругу розриву та модуль пружності. Обидва ці параметри збільшуються зі збільшенням молекулярної маси та кристалічності. Модуль власне пружності екструдованих зразків збільшується з кількістю циклів обробки. Таку іншу поведінку пояснювали не лише зміною молекулярної маси, а й збільшенням кристалічності (за рахунок зниження молекулярної маси), що важливіше для екструдованого ПП. Подовження, навпаки, зменшується в обох зразках, а тим більше в полімері, обробленому литтям під тиском. Ефект від повторної обробки несприятливий для розриву подовження: після п'ятої екструзії пластиковий ПП стає крихким.

Основним результатом повторних циклів переробки є зниження молекулярної маси за відсутності помітного розгалуження. Тому кристалічність збільшується. Зниження молекулярної маси та збільшення кристалічності призводить до зменшення подовження (як і в'язкопружного

переходу), але по-іншому впливає на жорсткість. Модуль пружності та міцності на розрив зростає зі збільшенням кристалічності та зменшується зі зменшенням молекулярної маси [1].

### **1.3.3. Суміші пластиків**

Переробка продуктів, що складаються з комбінації різних полімерів, настільки ж трудомістка, як і багатообіцяюча задача. При створенні вторинних матеріалів з прийнятними механічними властивостями із сумішей пластмас немає необхідності в сортуванні виробів, що повинно мати позитивний вплив на витрати на переробку.

Для досягнення видимих успіхів у захороненні багатокомпонентних відходів необхідно проводити переробку з найкоротшим можливим циклом. Завдання полягає в тому, щоб уникнути зайвих матеріальних витрат, з одного боку, і скоротити час обробки з одного боку, не даючи компонентам матеріалу почати руйнуватися. З цієї причини робоча температура повинна бути низькою. Вони також повинні вибирати добавки, які не потребують високих механічних властивостей і не мають значних розмірів. Це єдиний спосіб уникнути серйозного впливу витрат на переробку на кінцеву вартість виробу, а також компенсувати низькі механічні властивості багатокомпонентних полімерних виробів невеликого розміру.

З іншого боку, суміші полімерних відходів можна розглядати як склад ПКМ і вибір оптимальних умов для обробки таких композицій для отримання сировини не сильно відрізняється від первинного полімеру [2].

#### **1.4. Молекулярні полімер-полімерні композиції. Деякі аспекти отримання**

В останні десятиліття асортимент композитних матеріалів, виготовлених із сумішей або сплавів промислово важливих (основних) полімерів, значно розширився. Ефективним способом отримання нових матеріалів, які мають необхідні властивості, є комбінування двох або більше термопластиків - складного фізико-хімічного процесу, який відбувається під дією механічних та температурних полів. Більшість полімерів несумісні один з одним, однак, змінивши їх морфологію, можна отримати суміші із задовільними показниками.

Ще однією причиною посиленої уваги до полімерно-полімерних композицій є той факт, що полімерні суміші цього типу часто утворюються як відходи, а дешеві деградовані полімерні вироби можуть бути використані повторно. З економічних та екологічних причин обсяг утилізації полімерних сумішей та сплавів термопластичних матеріалів значно зріс з початку 1980-х років. Жорсткість вимог до чистоти виробництва та споживання полімерних виробів змушує дослідників концентрувати свої зусилля на проблемах повторного використання полімерних відходів (60% від загальної кількості полімерних відходів) [3].

За умови правильного відокремлення, обробки або модифікації цих матеріалів вони можуть стати доступним і недорогим джерелом переробленого полімерного матеріалу, оскільки вони становлять значну кількість відходів в економічно розвинених країнах.

Однак через неоднорідність складу такої сировини під час її повторного використання утворюється ряд несумісних інгредієнтів, фізичні властивості кінцевого продукту погіршуються, матеріали стають крихкими. Витрати, пов'язані з розвитком техніки переробки та сортуванням сировини,

тобто шляхом її поділу на окремі сумісні типи полімерів, значно збільшують співвідношення ціни / продуктивності порівняно з таким співвідношенням у виробництві на основі використання сумішей первинних полімерів. Різні типи пластмас - термопластики, реактопласти, складені багат шарові композити тощо - вимагають різного підходу до переробки [2].

Внаслідок аналізу проблеми сумісності полімерів, слід враховувати власне кажучи не тільки термодинамічні, але й, як правило, хімічні аспекти, а саме взаємодію між макромолекулярними структурами. Можливі два підходи до проектування сумісних полімерно-полімерних систем: за рахунок з'єднання власне макромолекул з хімічними зв'язками (синтез блокових сополімерів, взаємопроникнення сіток, зшивання між компонентами у сумішах) і внаслідок зміни хімічної структури полімерів, що призводить до негативне значення суміші вільної енергії. При ситуації, коли полімери у своєму складі мають функціональні групи, що можуть приводити до сильної взаємодії, деякі інгредієнти або змінюються шляхом зміни хімічної структури мономерних ланок, або кополімеризації. У разі термодинамічної несумісності компонентів загальна кристалічна решітка не утворюється (тобто загальні кристали не утворюються). Однак між інгредієнтами КПП може бути проміжний (перехідний) прикордонний шар через наявність загальних надмолекулярних структур, власне особливого розташування ланцюгів та відсутності, як правило, чітких меж розділення між елементами надмолекулярного порядку (навіть у випадку кристалічних полімерів). Це багато в чому визначає рівень і характер сил адгезійної взаємодії в системі, на яку сильно впливає область справжнього фазового контакту, мікрореологічні процеси та контактні реакції на межі розділу. Специфіка адгезійних взаємодій залежить від умов підготовки панелі управління: наприклад, при механічному перемішуванні компонентів проміжні шари утворюються лише в результаті фізичної взаємодії їх частинок [2].

Одним із способів отримання нових матеріалів з покращеними властивостями є створення мікрогетерогенних композицій з регульованою, як відомо, неоднорідністю структури. До таких матеріалів належать композити, одним із інгредієнтів яких є полімерні відходи (ПВ). Економічний та екологічний аналіз "життєвого циклу" полімерів (включаючи їх синтез, переробку, повторне використання та, нарешті, остаточне захоронення відходів) дозволив посісти перше місце серед пластмас загального призначення, а саме ПО та серед них поліпропілен (PP) і поліетилен низького тиску (PEHD). Цей вибір власне визначається різноманітністю сумішей сплавів і композитів на основі ПВ.

У багатьох випадках, хоча і не завжди, в цих системах дійсно власне досягається поєднання інгредієнтів на рівні молекул. Визначення таких композицій як молекулярних слід трактувати з певною мірою умовно, оскільки в процесі отримання КПК змішування інгредієнтів відбувається не тільки на молекулярному рівні, але і на рівні мікрофазних утворень, до яких належать великі кількості однакових макромолекул. Крім того, в деяких випадках неможливо чітко диференціювати методи отримання КПП: багато з них можуть бути сформовані за допомогою різних механізмів.

Необхідною, але недостатньою власне умовою термодинамічної сумісності полімерів є від'ємне значення вільної енергії перемішування  $G_m$

$$\Delta G_m = \Delta H_m - T\Delta S, \quad (1.1)$$

Враховуючи, що молекулярну масу полімерів велика зміни ентропії змішання  $S_m$  мало, власне кажучи, щоб матеріали були поєднуваними, зміна ентальпії змішування  $H_m$  повинна бути негативною, або дорівнювати нулю, чи володіти малими величинами позитивного значення близько нуля.

Відповідно до сучасних міркувань найкраще поєднуються не подібні за будовою (складом) інгредієнти, а компоненти, до які містять групи,

протилежні за функціональністю, що можуть утворювати водневі, донорно-акцепторні іонні та інші види зв'язків.

Пропонується зручне рівняння для обчислення вільної енергії змішування полімерів.

$$\Delta g = \Delta G_3 - (\omega_1 \Delta G_1 + \omega_2 \Delta G_2), \quad (1.2)$$

тут  $\Delta g$  – усереднена вільна енергія змішування полімерів, характерна для 1 г суміші;

$\Delta G_3, \Delta G_1, \Delta G_2$  – енергії Гіббса змішування полімерів і їх поєднання з розчинником загального виду;

$\omega_1, \omega_2$  – масові частки полімерів в ППК.

У всіх випадках змішування є результатом впливу механічного поля на матеріал, що знаходиться в робочій зоні змішувача. Кількісний опис будь-якого процесу переробки полімерів в в'язкотекучому стані, в тому числі і змішування, засноване на реологічних рівняннях, що характеризують найбільш істотну властивість перероблюваних матеріалів – в'язкість. У екструдері завантажені компоненти піддаються складним впливам за рахунок зсуву і зміни температурного профілю уздовж циліндра екструдера. В'язкість і співвідношення вязкостей фаз змінюється в залежності від температури в процесі переміщення матеріалу уздовж шнека, і розпорошення може статися на різних стадіях екструзії. Вивчення впливу різних чинників на структуру і як наслідок, на властивості полімер-полімерних систем дозволить направлено регулювати ряд характеристик полімер-полімерної системи [4].



### 1.5. Продукти деструкції при другій переробці поліолефінів

У процесі обробки та експлуатації матеріал піддається механічним та хімічним впливам, термічному, тепловому та фотоокислювальному руйнуванню.

Реакції руйнування включають реакції, що виникають із розривом валентностей основного молекулярного ланцюга та зі зменшенням молекулярної маси полімеру без зміни його хімічного складу. Це не враховує кінцевих груп макромолекул, які складають дуже малу частку.

За характером продуктів розкладання розрізняють випадкові закони руйнування та деполімеризацію. Перший вид руйнування певною мірою нагадує процес, протилежний реакції поліконденсації, з великими фрагментами, що утворюються порівняно з розмірами мономерної одиниці. При деполімеризації, ймовірно, відбувається послідовне відділення мономерів від кінця ланцюга, тобто реакція є зворотним ростом ланцюга під час полімеризації. Ці два типи руйнування можуть відбуватися окремо або одночасно.

У разі деградації за випадковим законом молекулярна маса полімеру зазвичай падає дуже швидко, а у випадку деполімеризації - значно повільніше.

Під час експлуатації полімерні матеріали зазвичай піддаються одночасній дії різних факторів, що викликають руйнування.

У кінетичних дослідженнях деградація зазвичай визначається залежністю середньої молекулярної маси від часу реакції, оскільки зміна кількості молекул за одиницю часу пропорційна кількості розірваних зв'язків. Встановивши хімічні методи для кількості нових функціональних груп, що з'явилися під час руйнування, можна безпосередньо знайти кількість розірваних зв'язків. Якщо руйнування призводить до утворення

вільних радикалів, то полімер зміщується з інгібітором, а за рахунок інгібітора визначають кількість розірваних зв'язків (при кожному розриві є два радикали, які реагують з інгібітором).

Схильність полімеру до руйнування та характер цього процесу залежать не тільки від термодинамічних, але й від кінетичних факторів та механізму руйнування. У реакціях руйнування макромолекула бере участь як одна ціла частинка, яка розкладається при розриві будь-якого зв'язку на дві незалежні кінетичні частинки. Міцність зв'язку макромолекули та швидкість розриву не залежать від ступеня полімеризації.

Руйнування макромолекулярних сполук відрізняється від аналогічного процесу в низькомолекулярних речовинах тим, що зазвичай не призводить до утворення нових типів сполук.

### **1.5.1. Окиснювана деструкція**

Окислювальна деградація полімерів починається в результаті взаємодії макрорадикалів з киснем та озоном і активується тепловою, світловою та механічною енергією; Термо-, фото- та механоокислювальні процеси відрізняються відповідно. В реальних умовах експлуатації полімерів процес окислення супроводжується термічним, світловим та механічним впливом. Вільні макрорадикали у твердому полімері залишаються після припинення реакції полімеризації, або вони виникають під впливом фотолізу, радіолізу, хімічної чи механічної дії. У твердому полімері їх рухливість невелика, а швидкість їх реакції з киснем зазвичай більша, ніж швидкість рекомбінації.

Швидкість окислювальної деструкції визначається швидкістю дифузії кисню в полімер і швидкістю хімічної взаємодії полімеру з киснем. Швидкість дифузії кисню в полімері найвища, якщо полімер знаходиться в розчині або розплаві. Полімери, які розбухають у воді, більше піддаються окислювальній деградації, оскільки в цьому випадку швидкість дифузії

кисню в полімері також збільшується. Чим вище кристалічність полімеру, тим менша швидкість дифузії кисню.

Окислювальна деградація насичених полімерів протікає повільніше, ніж ненасичені полімери і може супроводжуватися початковою появою пероксидів; отримані в суміші макрорадикали можуть давати полімерні пероксиди, розкладатися з одночасним розривом ланцюга, стабілізуватися шляхом рекомбінації диспропорції.

Рекомбінація макрорадикалів у твердому полімері протікає дуже повільно, якщо процес не активується при підвищенні температури. Однак рекомбінація макрорадикалів з окисленими кінцевими групами відбувається з досить високою швидкістю, що пояснює перенесення кінетичної ланцюга вздовж макрорадикала.

Схильність поліолефінів до окислення, їх реакційна здатність в реакціях окислення визначається структурою ланок і щільністю макромолекул в полімері.

Поліетилен повільно окислюється при нагріванні на повітрі. Під впливом світла швидкість реакції окислення різко зростає. Поглинання кисню спричиняє спочатку зниження молекулярної маси полімеру та температури його розм'якшення. При нагріванні частково окисленого поліетилену молекулярна маса починає збільшуватися внаслідок зв'язку макромолекул з кисневими містками. Процес старіння поліетилену супроводжується зміною не тільки хімічного складу макромолекул, але і їх структури. Швидкість окислення поліетилену трохи вище, ніж швидкість окислення парафінів низької молекулярної маси, що, очевидно, пояснюється наявністю в його макромолекулі невеликої кількості карбонільних і вінілових одиниць. Опромінення світлом призводить до руйнування макромолекул у місцях, де є карбонільні групи.

Чим вище ступінь розгалуження поліетилену, тим менша його стійкість до кисню через високу концентрацію атомів водню в макромолекулі.

Одночасно зі збільшенням ступеня розгалуження збільшується об'єм аморфної фази в поліетилені, де розвивається процес окислення.

Руйнування поліпропілену киснем відбувається швидше, ніж поліетилен. Лише короткочасним нагріванням поліпропілену до 250-300 ° C у присутності антиоксидантів можна запобігти його руйнуванню та погіршенню механічних властивостей. Процес старіння поліпропілену під впливом тепла і світла схожий зі старінням поліетилену: спочатку переважають процеси деградації, а довжина полімерних ланцюгів зменшується, потім починаються процеси міжмолекулярної взаємодії, що призводить до повної втрати еластичності та пластичності.

Часткове окислення часто є цілеспрямованим процесом модифікації властивостей поліолефінів. Наявність кисневмісних груп у складі поліолефінів збільшує адгезивну взаємодію полімерних плівок із захищеними поверхнями та адсорбцію азобарвників, надає продуктам стійкість до окислювальної деградації під впливом кисню, підвищує жорсткість та стійкість до деформації. У процесі окислення в полімері є групи, які полегшують приєднання до нього іншого полімеру. Доцільно окислювати поверхневі шари готового продукту, використовуючи суміш кисню та озону в якості реагенту. У процесі спрямованого (контрольованого) окислення в поліолефінах з'являються карбоксильні та гідропероксидні групи. Карбоксильні та гідропероксидні групи можуть ініціювати кополімеризацію трансплантатів [5].

### **1.5.2 Термічна деструкція поліолефінів**

Зміни структури полімеру під впливом теплового впливу можна спостерігати лише в інертному середовищі. Процес термодеструкції може спричинити реполімеризацію полімерів, деградацію його молекул,

циклізацію до сходів або графітоподібних структур. Переважання будь-якого процесу визначається структурою полімеру та температурою.

Під впливом високих температур в інертних середовищах або у вакуумі полімерні насичені вуглеводні розпадаються на полімерні ланцюги, розмір яких менший, чим вище температура і слабша СС-зв'язок у головному ланцюзі. Найбільша міцність характеризується вуглець-вуглецевим зв'язком в основному ланцюзі макромолекул поліметилену. У поліетилені вуглець-вуглецевий зв'язок ослаблений в місцях бічних гілок і в місцях окислення до гідропероксидних груп. У поліпропілені міцність зв'язку СС послаблюється наявністю в кожній ланці метильної групи.

Ці особливості будови поліолефінів яскраво проявляються в процесі термічної деструкції. Термодеструкція поліетилену починається при 290-300 ° С. Спочатку відбувається зниження молекулярної маси, і лише вище 360 ° С починається відбір продуктів низької молекулярної деградації. Розпад молекул в діапазоні 290-360 ° С відбувається в основному за рахунок ослаблених зв'язків С-С основного ланцюга. У процесі руйнування при температурі до 290 ° С поліетилен поступово збагачується одиницями СН = СН.

Зниження молекулярної маси поліпропілену вже помітно при температурі вище 230 ° С. Процес руйнування супроводжується вивільненням летких продуктів внаслідок розпаду макромолекул, особливо в місцях окислення вуглецю та воднем. Руйнування при більш високих температурах викликається перенесенням атома водню від третинного атома вуглецю до сусідньої ланки (як у випадку з поліетиленом у місцях розгалуження).

Продукти деструкції поступово збагачуються шматками з ненасиченими кінцевими одиницями.

У більшості випадків деградація полімеру слабкими зв'язками або відшарування лабільних груп з рекомбінацією макрорадикалів передусе

процесу деполімеризації. Деградація полімеру відбувається за допомогою радикально-ланцюгового механізму, рідше - іонного механізму. Гемолітичний розпад макромолекул призводить до утворення двох радикалів.

Опір термічному руйнуванню залежить від сили зв'язку між атомами головного ланцюга. Підвищення міцності зв'язку С-С у вуглецевих ланцюгах полімерів досягається відбором заміщених груп.

### 1.5.3 Механічна деструкція

Механічна деградація полімерів відбувається під впливом механічного навантаження, що перевищує енергію хімічних зв'язків в основних ланцюгах макромолекул. Під дією механічного напруження в полімерах одночасно відбуваються два процеси: ковзання макромолекул відносно один одного і розрив ковалентних зв'язків у місцях найбільшої концентрації напруги. Перевага будь-якого з цих процесів у лінійних полімерах визначається міцністю хімічних зв'язків, жорсткістю макромолекул та величиною міжмолекулярної взаємодії.

Руйнування під механічною дією призводить до руйнування макромолекул у частинки, молекулярна маса яких залежить від характеру полімеру та умов завантаження.

Механічне навантаження викликає переважно гомолітичний розрив макромолекул з утворенням макрорадикалів.

При деградації в присутності кисню утворюються пероксидні радикали, які ініціюють розвиток окислювальних процесів, що ускладнюють рекомбінацію макрорадикалів і призводять до зменшення молекулярної маси лінійного полімеру або руйнування випадкових частинок сітківки. В інертному середовищі макрорадикали рекомбінуються. Формування зв'язків спрямоване (згідно напрямку механічних сил), що виявляється в анізотропії

властивостей продуктів деструкції. Макрорадикальна рекомбінація може підвищити ступінь розгалуження макромолекул і збільшити кількість гелевих фракцій, оскільки частини лінійного полімеру перетворюються в мережевий полімер. При механічній деградації еластичного сітчастого полімеру рекомбінація макрорадикалів призводить до утворення нової полімерної сітки, більш стійкої до зовнішніх впливів. У той же час може спостерігатися непропорційність макрорадикалів, що призводить до зниження середньої молекулярної маси полімеру та його розподілу молекулярної маси [6].

Існуючі методи механічної обробки передбачають переробку полімерів у подрібненому вигляді. Обов'язковою умовою цих методів є ретельне сортування відходів, що суттєво ускладнює процес. Тому метою даної роботи є вивчення методів спільної обробки різних полімерних матеріалів, таких як поліетилен та поліпропілен.

## **1.6. Додатки**

### **1.6.1. Стабілізатори**

Властивості полімерів погіршуються через руйнування розплаву (під час переробки), термічного руйнування, тривалого термічного старіння та впливу атмосферних умов (включаючи фотоокислення). Деякі з цих процесів прискорюються невеликою кількістю металів. Фізичні (сонячне випромінювання та інші високоенергетичні випромінювання, тепло) та агресивні хімічні агенти (кисень та його активні форми, шкідливі домішки в атмосфері, такі як  $\text{NO}_x$  або  $\text{SO}_2$ ), посилені механічною дією, атакують полімер одночасно або по черзі.

Відмінності в схильності полімерних матеріалів до руйнування визначаються відмінностями в хімічній структурі і, зокрема, наявністю компонентів, чутливих до деградації. Прогресивна деградація посилюється

або сенсibiliзується неpoliмерними включеннями, включаючи домішки металів різного походження та фотоактивні барвники та пігменти. Хімічні зміни супроводжуються змінами зовнішнього вигляду полімеру: пожовтінням, втратою блиску або прозорості, поверхневим розтріскуванням і небажаними змінами механічних властивостей. Для усунення хімічних та фізичних навантажень на різних стадіях їхнього життя полімерні матеріали потребують стабілізації. Використовувані стабілізатори класифікуються за основними механізмами їх функціонування [7].

Взаємозв'язок між структурою стабілізатора та його загальною продуктивністю визначається для всіх класів основних стабілізаторів, які використовуються або як окремі добавки, або (набагато частіше) як фізичні суміші, що захищають полімери за допомогою різних механізмів дії.

### **1.6.2 Пластифікатори**

Добавки, які покращують засвоюваність та еластичність полімерних матеріалів або розтягують полімер за рахунок зменшення в'язкості розплаву або температури скляного переходу та модуля пружності без зміни його хімічної формули, називають зовнішніми пластифікаторами, наповнювачами або технологічними маслами.

Різні органічні сполуки використовуються як "зовнішні" пластифікатори. Вони приєднуються до макромолекул фізичними силами (ван дер Ваальс) і включають речовини з температурою кипіння вище 300 °С. Більшість фосфатів виступають тепловідновниками, деякі з них пригнічують дим одночасно.

Невидимі пластифікатори - це головним чином сополімери зі значно нижчою температурою склування, наприклад, поліетилен вінілацетат, що містить приблизно 45% вінілацетату, потрійний полімер етиленвінілацетату оксид вуглецю або хлорований поліетилен, використовуваний як "внутрішні"



пластифікатори в полімері. Поєднання внутрішніх і зовнішніх пластифікаторів може забезпечити оптимальний баланс властивостей.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1. Технологічний процес вторинної переробки переробки полімерних відходів з виготовленням грануляту

Характерною властивістю термопластів є те, що вони можуть бути розплавлені велику кількість разів, що є можливим внаслідок їхньої молекулярної будови. Тому, їхня вторинна переробка не викликає особливих проблем.

Організації, які займаються переробкою полімерних матеріалів, великий проміжок часу знайомі з процесом вторинного використання, оскільки наявність відходів, що виникають при виробництві полімерів та полімерних виробів є неминучою. Відходи від виробництва полімерних матеріалів подрібнюються із застосуванням методів, які запобігають забрудненню і при наявності необхідних умов, частину відходів додають у початкову сировину.

Для переробки відходів з полімерів найбільш вигідним та економічно ефективним і малозатратним для невеликих підприємств є екструзійна переробка. Екструзійна лінія з переробки відходів складається з наступних стадій:

- складування відходів;
- їх транспортування до місця подрібнення;
- очищення відходів від металічних включень при транспортуванні до наступної стадії. Даний процес найбільш ефективно реалізувати при транспортуванні по стрічковому конвеєрі;
- транспортування полімерного сміття на станцію подрібнення та ножового розмолу з водним середовищем;
- передача відходів до миючого лотка, де вони додатково очищаються від сторонніх домішок;

- стадія ушіння матеріалу за допомогою відцентрової машини з паралельним сушінням матеріалу;
- фільтрування використаної вода для подальшого циклічного її використання з метою економії ресурсів;
- подача полімерної маси через апарат змішування на екструдер;
- виготовлення грануляту екструзійним способом.

На рис 3.1 приведено технологічну схему процесу переробки полімерних термопластичних відходів.

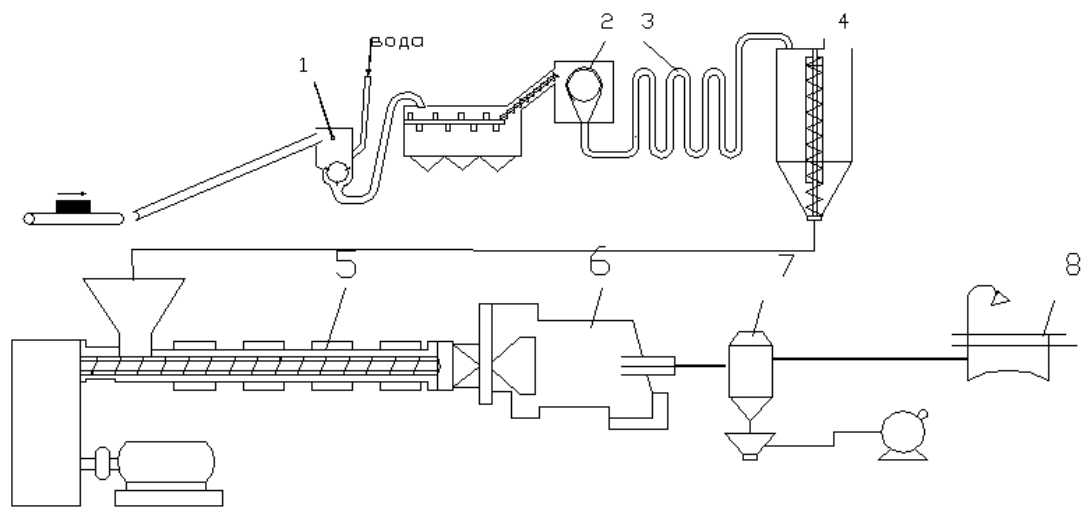


Рисунок 2.1 - Технологічна схема процесу переробки полімерних термопластичних відходів

1 – агрегат для дроблення з водним середовищем; 2 – бункер для промивання; 3 – автомат для сушіння відцентровим та термічним способом; 4 – змішувач; 5 – екструдер; 6 – лоток зниження температури; 7 – додаткова сушка.

Для збирання полімерних відходів необхідно використовувати приміщення з хорошим вентиляванням. Отримані матеріали висипаються на стіл, де проводиться їхній огляд з подальшим сортуванням, відбором вклюдень сміття. Також такий стіл маю бути у вигляді сита з метою

видалення сипучих включень. Після грубого сортування полімерні відходи упаковуються в контейнери і подаються на дробарку. Для сильно забруднених відходів застосовують водяний розчин в процесі дроблення. Розмір частинок після процесу розмелювання та дроблення складає 6-8 мм.

В подальшому перероблені відходи подаються в агрегат миття та розподілу. Полімерні відходи проходять через лоток промивки, де відбувається перемішування обрєтовими валами при подачі води температурою 333-353 К під тиском. Всі відходи ретельно перемішуються та промиваються. Далі починається процес відстоювання. При цьому важкі домішки осідають на дно, а легкі полімерні відходи піднімаються нагору.

Осажденні домішки з часом видаляються із промивочної ванни. Полімерні матеріали знімаються з водної поверхні та поступає в сушильну установку. В процесі транспортування відбувається частковий відведення водного середовища.

З метою економії води використане водне середовище фільтрується та йде на повторне використання.

Далі полімерні матеріали поступають на етап змішування. Змішувач виконано таким чином, що він забезпечує безперервне перемішування кількох партій полімеру.

Далі перемішаний матеріал подається в бункер-накопичувач і пневматичним способом з висушуванням поступає в екструдер.

Проходячи по екструзіному циліндрі полімер ущільнюється та утворює розтоп. На цьому етапі важливим є вивчення температурних режимів для забезпечення оптимальних режимів екструзії. Дані параметри встановлюються технологами в індивідуальному порядку і залежать від переважної частини типу відходів, які переробляються

Також в процесі екструзії необхідно видаляти гази, повітря і різні летючі речовини. Для цього у видавному циліндрі створені отвори. На виході екструдера встановлюється сито і матеріал видавлюється у вигляді ниток, які

відразу розрізаються ножами і попадають у водне середовище для запобігання склеюванню гранул. На наступному етапі проводиться сушіння гранул і їхнє остигання з подальшою упаковкою і фасуванням у мішки.

## 2.2 Опис принципу роботи дробильного агрегату

При переробці полімерів, а особливо при їх подрібненні слід відзначити, що механізм руйнування суттєво відрізняється. При цьому енергія руйнування витрачається на механічні втрати. Дані процеси характерні при подрібненні гумових виробів а також різного роду пластмас та матеріалів, що володіють здатністю значно деформуватися.

Для подрібнення даного виду відходів оптимальні умови виникають при високих швидкостях деформування. В процесів руйнування також бажано знижувати температуру, що робить відходи більш крихкими, знижуючи механічні затрати на руйнування. Також в процесі роботи продуктивність агрегату зменшується за рахунок затуплення та поломки ножів. Тому важливим фактором є контроль продуктивності, оскільки при її зменшенні на 25-35% необхідно перевіряти і при потребі заточувати або замінювати ножі. Також важливими є оптимальні режими роботи електроприводу та швидкість різання.

На рис. 3.2 показана конструкція подрібнюючого агрегату.

Також ефективним є використання кріогенної техніки для подрібнення полімерних відходів. В цьому випадку застосовується охолодження полімерів нижче температури склування.

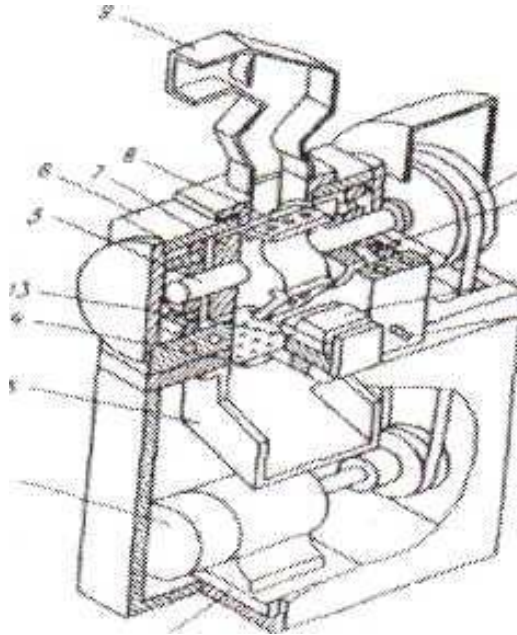


Рисунок 2.2 – Загальний вигляд роторно-ножового дробильного агрегату

1 - розворотна плита; 2 - електромотор; 3 - лоток; 4 - калібруюче сито; 5 – ротор електродвигуна; 6 - статорелектродвигуна; 7 – відбивач змащувальних рідин; 8 – роторні різальні інструменти; 9 - загрузочний бункер; 10 – інерційний маховик; 11 - підшипники; 12 - маслоподрібнювачі; 13 – леза статора регульовані; 14 – вхадний патрубок для подачв води.

### 2.3 Агрегат для промивання відходів

В процесі переробки пластмас та полімерів важливе значення має процес очищення матеріалу від сторонніх домішок. У відходах таких домішок велика кількість. Найбільш ефективним способом очистки є промивка водним розчином.

Даний агрегат складається з мийної установок для очищення і прогріву води, ванни, електронасоса.

Промивочна ємність являє собою барабан, в який завантажуються подрібнений матеріал, до нього під тиском подається гаряча вода і вся ємність перемішується.

В подальшому суспензія відстоюється, внаслідок чого відходи розшаровуються відносно густини. Матеріали, що мають меншу густину, яка менша за воду (поліетилен, поліпропілен), піднімаються угору, а з більшою щільністю – опускаються вниз на дно. Після процесу відстоювання спеціальні щупи пошарово збирають весь матеріал в накопичувач і переправляє їх на сушку.

Використовуваний водний розчин після очищення і фільтрації, де відділяються домішки. Процес рециркуляції води дозволяє суттєво знижувати витрати.

Вода, задіяна в процесі очищення відходів, фільтрується від сторонніх включень і бруду і використовується знову. Полімерна маса подається на екструдер через змішувач силосного типу, який дозволяє змішувати кілька партій.

## **2.4 Гідроциклоний агрегат**

Для додаткового ефективного відділення домішок також застосовують гідроциклони або центрифуги. Їхній принцип дії полягає в тому, що відцентрова сила в агрегаті викидає важкі включення на зовнішній радіус, а легкі стікають всередину. Схема такого агрегату приведена на рис. 3.3.

Вирішальними факторами, які обумовлюють вибір агрегату є: просте обслуговування; висока продуктивність; невисока вартість; невисокі експлуатаційні витрати.

Також важливим фактором є перемішування суміші відходів, які виходять з гідроциклону.

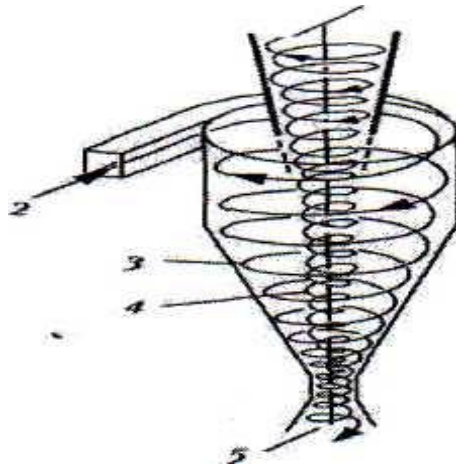


Рисунок 2.3 – Гідроциклонний агрегат:

1 - легкая фракція; 2 – суспензія; 3 – периферійний вихор; 4 – внутрішній вихор; 5 – важка фракція.

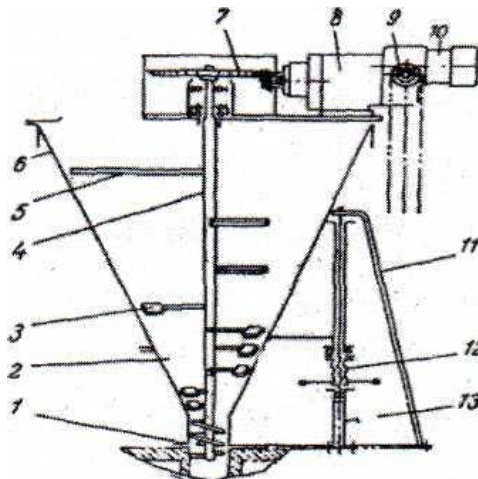


Рисунок 2.4 – Перемішувальний агрегат одношнекового екструдера з механізмом перемішування.

1 – фланець; 2 – нижня частина; 3 – лопасті нахилоного типу; 4 – вертикальний вал; 5 – планки; 6 – верхня частина захоплюючого виру; 7 – кінчна передача; 8 – редуктор; 9 – варіатор; 10 – електродвигун; 11, 13 – стійка для закріплення бункера на екструдері; 12 – домкрат для подйому і повертання бункера.

Принцип роботи та розрахунок екструдера приведено в наступному розділі.



## 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 3.1 Будова екструдера

Переобка полімерних відходів є актуальною на сьогоднішній час. Найбільш простим і ефективним методом при провадженні та економічних затратах є екструзійний спосіб переробки. Для дрібних підприємств актуальним є такий спосіб переробки, оскільки інші види процесів є більш затратними, хоча і дають кращу якість виробів та параметри вторинної переробки.

В деяких випадках для переробки полімерних відходів використовують безшнекові екструдери. Вони характеризуються тим, що в них робочим органом (циліндром) продавлюється розтоп в головку де розташований диск особливої форми. Сила тиску, що протискає розплав, виникає в них внаслідок розвитку в розтопі нормальних напружень, які направлені перпендикулярно дотичним. Такі екструдери застосовуються, при умові забезпечення поліпшого змішування компонентів при переробці.

Також у багатьох випадках використовуються комбіновані екструдери. В якості виконуючого органу вони мають елемент, який з'єднує одночасно шнековий і дисковий елементи, і називаються спіраль-но-дисковими. Вони використовуються для створення високого ефекту змішування, зазвичай при композитній переробці. На них проводиться переробка розтопі пластмас, які характеризуються малими значеннями в'язкості і відносно високу еластичність.

Найширшого використання набули шнекові екструдери. Для впровадження процесу переробки найбільш вигідним і простим є одношнековий екструдер. Слід відмітити, що в аспекті керування тип екструдера вносить незначні корективи. Самим простим є одношнековий екструдер з відсутньою зоною дегазації. Складовими частинами такого

екструдера є нагрівний штовхаючий елемент (як правило циліндр), шнек (з відсутньою або наявною системою охолодження), формуюча головка і сітки, які розміщуються на решітці. Виходячи з того, яка природа полімеру, які необхідні технологічні режими переробки використовуються різнопрофільні шнеки. Також від виду кінцевого виробу, який виготовляється використовують або довгошнекові або короткошнекові агрегати. Відношення діаметру до довжини шнеку, а також сам його діаметр є основними характеристиками екструдера з одним шнеком. Стандартизовані параметри шнеку наступні:

$$D = 20; 32; 45; 63; 90; 125; 160; 200; 250; 320 \text{ мм.}$$

У найменуванні типорозміру черв'ячного преса вказуються  $L$  і  $D$

На рис. 4.1 приведено схему найпростішого одношнекового екструдера.

Суть процесу екструзії полягає в послідовному переміщенні матеріалу шнеком, який обертається в його зонах: живлення (1), пластифікування (2), дозування розтопу (3), проштовхування розтопу через формувальну головку з подальшим зниженням температури ниток.

Ділення шнека на зони I-III відбувається відштовхуючись від технологічних ознак, і зони називаються відповідно до того, яку роботу виробляє вказана ділянка шнеку.

Такий поділ є умовним, адже залежно від природи полімерних відходів, швидкісних і температурних параметрів роботи екструдера та інших факторів ширина, початок і закінчення технологічних зон можуть змінювати своє положення, внаслідок чого вони можуть переходити з однієї зони в іншу або захоплювати інші зони. Це обумовлює необхідність багатьох точок контролю температури для чіткого регулювання параметрів технологічного процесу переробки.

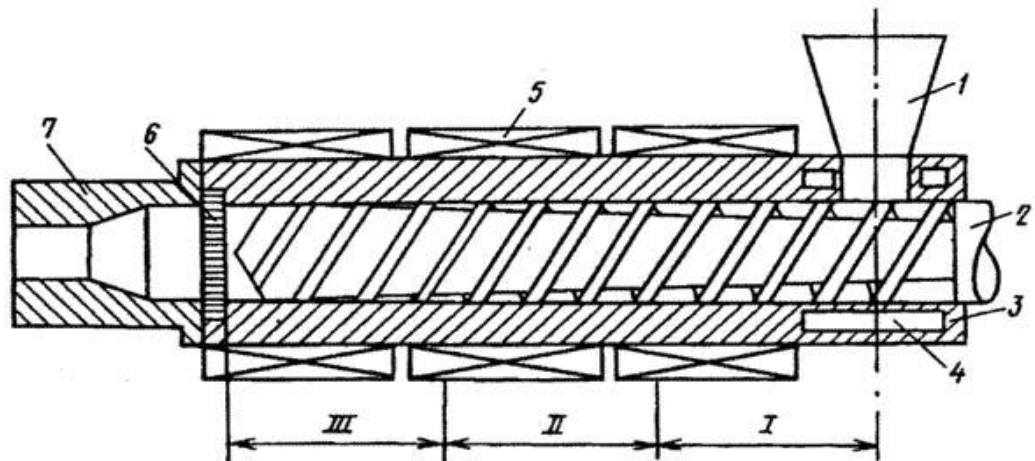


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд одношнекового екструдера:

1 – завантажувальний лоток; 2 – обертовий шнек; 3 – циліндрична основа; 4 – система отворів для забезпечення циркулювання рідини; 5 – нагрівні елементи; 6 - решітка з сітками; 7 – ниткоформуєча головка, I, II III - технологічні зони формування розтопу.

По усій зоні циліндру також встановлені зони нагріву. Їх параметри, такі як температура та довжина визначаються конструкцією екструдера. Проте задаючи в них температуру різних значень ми можемо в широких межах регулювати параметри технологічних зон. Межі зон обігріву циліндра, а також шнеку I-III можуть не співпадати. Для того, щоб меткріал добре переміщувався по шнеку необхідно враховувати умови просування з завантажувального бункера твердого гранульованого матеріалу і заповнення простору між витками, який розташований під бункерною лійкою.

Кількість матеріалу в завантажувальному лотку шнеку та його рівень в бункері також здійснює вплив на процес заповнення шнеку. У зв'язку з цим у лотку встановлено давачі рівня, які контролюють заповнення до встановленого значення. Полімерний матеріал завантажується в бункер за допомогою пневматичного приводу.

Живлення шнеку визначається від густини часток їхньої форми. Якщо частинки полімерних відходів, що отримуються при підготовці перед гранулятором мають малу кулякість гострих кутів та ребер, то сипучість такого матеріалу значно вища. Проте якщо технологічно неможливо забезпечити такі параметри, адже при холодній рубці утворення гострих кутів та площих має місце, то сипучість погіршується. У зв'язку з цим при довготривалому процесі головка екструдера може значно нагрітися. Це приводить до підвищення температури і збільшення імовірності злипання частинок відходів між собою, що може зупинити подачу в шнек. Тому важливим є зберігання температурного перепаду у різних зонах екструдера. Для цього в ньому передбачені пази з охолоджувальною рідиною, яка забезпечує процес охолодження екструдера.

Матеріал, який поступає з бункера попадає в зону живлення заповнює простір між витками шнеку у зоні 1 та стискається. Такий процес відбувається внаслідок зменшення кроку витків шнеку. В межах зони матеріал рухається за рахунок того, що тертя матеріалу стінок екструдера менше, ніж тертя зі шнеком. Якщо друга складова тертя виросте, то привід руху шнеку буде прикладати більше обертове зусилля для проштовхування матеріалу, що може привести до заклинювання. Оскільки контактна поверхня перероблюваного матеріалу з поверхнею шнеку більша, ніж з циліндровою поверхнею, виникає необхідність зменшення коефіцієнту тертя полімеру об шнек, тому що матеріал може прилипнути до шнеку і обертатися з ним, при цьому уздовж не просуваючись. Для запобігання цьому стінки циліндру нагрівають, а сам шнек охолоджують водним розчином.

Необхідна кількість тепла передається у зону за допомогою нагрівних елементів, які розташовані вздовж зони на поверхні циліндра. Якщо у циліндрі температура має критичне значення, то починається небажане передчасне розплавлення матеріалу біля стінок, що приводить до його проковзування і обертання зі шнеком. Це приводить до зупинки процесу

просування. При забезпеченні оптимальних температурних режимів у зоні 1 полімер ущільнений і спресований внаслідок поступального руху утворює тверду пробку. Оптимальним є її утворення на межі поділу зон, що означає технологічні параметри процесу екструзії.

На початку зони II відбувається перехід з пластичного стану в стан розтопу полімеру, який знаходиться безпосередньо біля поверхні екструдера.

Розплав поступово набирається і змінює розміри та габарити пробки, звужуючи її. У цій зоні характерним є зменшення глибини нарізання шнеку від зони 1 до зони 3. Це обумовлює створення тиску, який притискає пробку до гарячої стінки циліндру, що приводить до плавлення полімеру.

У зоні пластифікації пробка під дією тепла частково також плавиться внаслідок наявності тепла, яке утворюється за рахунок внутрішнього, тертя в'язкого типу в тонкому шарі розплаву у матеріалі, власне кажучи, тут відбуваються інтенсивні деформації зсувного типу, що забезпечує пластифікацію матеріалу. Вище сказане призводить до суттєвого змішувального ефекту.

Закінчення другої зони можна описати розпадом пробки на окремі фрагменти. В подальшому із залишками твердих частинок розтоп матеріалу потрапляє в зону дозування. Глибина нарізки зменшується і це власне приводить до створення тиску, який потрібний для забезпечення продавлювання розплаву через сітки фільтруючого типу, його подачі в голівку, де він має ущільнитися і в результаті - для виходу і забезпечення формування нитки необхідної товщини.

Головне значення тиску утворюється на межі зон 1 та 2 для розтопу. На цій межі із спресованого матеріалу формується пробка, яка ковзає вздовж шнекового валу в екструдері: твердий матеріал в зоні I, в II зоні – власне розтоп. Наявність пробки забезпечує підвищення тиску розплаву. Набраний по такому принципу: на виході з циліндра тиск витрачається на перевищення опору сітки або форми, і забезпечує формування виробу.

Далі матеріал попадає у зону 3, де відбувається дозування. В результаті переміщення матеріалу вздовж циліндру відбувається виділення внутрішнього тепла за рахунок деформацій зсувного типу.

Розплавлена маса продовжує гомогенізуватися, внаслідок чого відбувається остаточний розплав залишків твердих частинок полімеру, усередненні в'язкості і температура усереднюються для розтопу. У просторі між витками розплав має два головні струмені циркуляційний і поздовжній.

Величина поздовжнього потоку (вздовж осі шнека) визначає продуктивність екструдера  $Q$ , а циркуляційного - якість гомогенізації полімеру або змішування компонентів. Цей, власне кажучи, поздовжній потік складається з трьох потоків розтопу: прямого, зворотного (по шнеку) і потоку витоків.

Протікання розтопу через сітки і формовочну частину. Розплав обертовим шнеком продавлюється через решітку, до якої притиснуті металеві сітки. Сітки фільтрують, гомогенізують і створюють опір руху розплаву, на них втрачається частина тиску. Проходячи через систему фільтруючих сіток, порції полімерного розплаву з більшою в'язкістю затримуються на сітках. Цього часу має вистачити для того, щоб порція розплаву досягла потрібної температури. Надвисокомолекулярні фракції полімеру і різні домішки затримуються сітками і через деякий час їх разом з сіткою видаляють з циліндра екструдера.

Після проходження сіток гомогенізований розплав під залишковим тиском ( $P = 5,0-35$  МПа) продавлюється в формующу оснащення і, набуваючи певного профілю, виходить практично під дуже невеликим надлишковим тиском з кінцевої частини головки.

### **3.2 Розробка автоматизованої системи керування процесом переробки полімерних відходів**

Першочерговим завданням автоматизації є забезпечення безперервного циклу переробки полімерних відходів, внаслідок чого необхідно контролювати велику кількість параметрів: подачу матеріалу на протязі всієї лінії, дроблення відходів, промивка, реуциркуляція води тощо. Систему автоматизованого керування було розроблено на основі ПЛК ОВЕН:

- програмовані контролери ПЛК110-60;
- модулі виведення: МУ110-16Р і МУ110-8Р;
- модулі введення: МВ110-8А, МВ110-16Д;
- панель оператора СП270;
- блок мережевого фільтра БСФ-Д3;
- блок живлення БП30Б-Д3-24.

Основу керуючої системи утворюють три контролери ПЛК110. Функціональна схема управління агрегатом приведена на рис. 4.2.

Перший ПЛК управляє технологічним процесом – видавлюванням в екструдері, контролем температури в зонах і управлінням охолодженням. Другий контролер управляє виконавчими і допоміжними механізмами, подачі приводів, контролем заповнення бункерів, обрізанням виробів. Третій контролер слідкує за змінами продуктивностей приводі систем та узагальнює всю інформацію та виводить на табло оператора.

У нашому випадку екструдер має 7 зон нагріву, в кожній з яких встановлені електричні нагрівачі різної потужності, керуючий вплив на них формують електромагнітні твердотілі реле, охолоджуючий водний розчин. Температурний режим в кожній зоні налаштовується оператором на панелі управління. У робочому режимі на панель оператора СП270 може виводитися мнемосхема екструдера з зазначенням заданих і поточних

температур по зонах або мнемосхема самого агрегату, що відображає рух і положення всіх вузлів, показники датчиків. Функціональна схема розробленої системи приведена на рис 4.2.



Рисунок 3.2 – Загальна схема функціонування системи

Окрім самих механізмів агрегату, до яких відносяться електродвигуни, пневмо - і гідроциліндри, конвеєри, шафа автоматики управляє гідростанцією та іншими допоміжними пристроями. Система управління володіє можливістю легкого розширення при потребі шляхом додавання нових контролерів та модулів вводу-виводу.

Автоматизована система складається з наступних елементів:

- різального подрібнювача для мокрого розмелювання;
- промивного лотка;
- відцентрової і термічної сушки;
- змішувача;
- екструдера.



### **3.3 Розробка системи керування для контролю та управління температурними параметрами зон екструдера**

У пластифікаційному каналі, необхідна температура для правильного протікання технологічного процесу переробки полімеру, задається окремим контролером ОВЕН ПЛК 110 і керується за допомогою нагрівників термоелектричного типу. Біля кожного нагрівального елемента розташований датчик температури. Також датчики температури встановлені в пазах ц різних зонах екструдера.

В якості датчиків температури враховуючи їхні значення було вибрано термоелектричні перетворювачі (термопари) з металевими електродами.

Чутливий елемент являє собою два термоелектроди, з'єднаних між собою на робочому кінці в термопарі (робочий спай) і ізолюваних по всій довжині за допомогою керамічної трубки. Ізолюваний чутливий елемент поміщають в захисну арматуру, в комплект якої входить водозахищена головка з колодкою затискачів. Подвійні термопари мають два електрично ізолюваних чутливих елемента. Вільні кінці термопар через колодку затискачів приєднуються до вторинного приладу або перетворювача. В якості вторинного приладу використовується мілівольтметр.

Принцип дії термоелектричного перетворювача заснований на зміні електрорушійної сили, які виникає в термопарі за рахунок різного матеріалу двох провідників.

Для оптимізації процесу регулювання температури у зонах екструдера їх з'єднують по шахматному принципу. Блок ПІД регулювання залежно від дій оператора та заданих значень регулює температуру в кожній зоні нагрівання. Оптимальне значення нагріву реалізовано по принципу зворотнього зв'язку відносно опору терморезистора в зоні циліндра.. За сигналом розходження моста регулятор вмикає живлення на відповідний нагрівник

При нагріванні циліндра екструдера зворотній зв'язок балансується збільшенням значення опору від підвищення температури. Напруга на вході регулятора температури зменшується, відповідно зменшується і напруга на нагрівальних елементах. При балансі зворотнього зв'язку регулятор температури підтримує напругу на нагрівальних елементах постійною. При нагріванні його баланс порушується, фаза моста змінюється на протилежну і регулятор температури виробляє сигнал, яким відключає схему живлення нагрівальних елементів. При невеликому розходженні каналу зворотнього зв'язку з заданим значенням в ту або іншу сторону регулятор температури збільшує або зменшує напругу на нагрівальних елементах.

У циліндрі екструдера розташовується 7 зон нагріву, значення температур яких представлені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1

## Значення технологічних параметрів у зонах нагріву

Номер зони нагрівання	матеріал		
	ПЕВД	ПЕНД	ПП
1	95	95	100
2	180	185	180
3	195	185	180
4	195	185	180
5	200	195	180
6	200	195	160
7	200	200	160

Необхідно відмітити, що така реалізація дозволяє контролювати фактичну температуру у кожній зоні екструдера, що забезпечує оператору повний контроль і можливість оптимізації параметрів пробки та тиску екструдера.

Технічні характеристики датчиків температури приведені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2.

## Технічні характеристики термопари

Тип термо-пари	Позначення	Матеріал термопари		Температура, °С	
		позитивного	негативного	від	до
ТХК	ХК (L)	Хромовий сплав ТНХ 9,5 (90,5% №+9,5%Cr)	Копель МНМц 43-0,5 (56% Cu+44% Ni)	-200	800

В проектуваному екструдері також для контролю тиску на виходу головки використано давач типу MLK 346K-1 / 2-35C-15/46-T90.

Він має в своєму складі механічний щуп з чутливою мембраною, яка знаходиться відразу в області визначення і за рахунок газової трубки з'єднаний з електронним блоком – що перетворює значення тиску в напругу, яка через перетворювач подається на аналогові входи контролера. Перетворений сигнал може приймати значення від 0 В до 10 В, що еквівалентно від 0 до 3,6 Па відповідно. Якщо отриманий сигнал перевищує 2,2-10 Па, центральний контролер видає аварійний сигнал на привід двигуна постійного струму, який зупиняє обертання шнеку та насос розплаву і виконує аварійну зупинку екструдера.

Обраний давач дозволяє визначати тиск розплаву в найбільш навантажених зонах екструзійної машини.

Перша зона – звуження пластифікаційного каналу відразу після шнеку. У цій зоні відбувається найбільший стрибок тиску. При збільшенні тиску в цій зоні за допомогою контролера регулятор зменшує швидкість обертання валу екструдера або збільшує при його зменшенні.

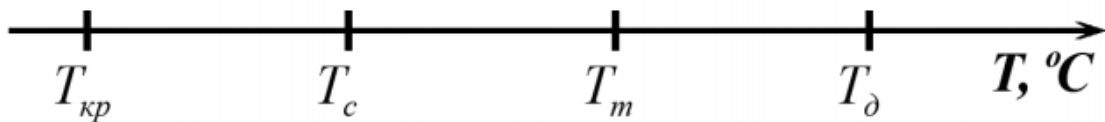
У передгрануляційній зоні, де проводиться фільтрування розтопу через сито. Зростання тиску свідчить про забивання елементам нерозтплавних включень, а зниження – про його поломку і погану фільтрацію.

Одразу після насосу, на фільтрі, де відбувається регулювання подачі на головку. При недостатньому тиску необхідно підвищити оберти насосу [11].

## 4. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 4.1 Фізико-хімічні основи переробки пластмас

Сам по собі процес переробки полімерів у вироби різного призначення в будь-якому вигляді зв'язаний з створенням форми й дотриманням необхідної якості цих виробів. Для створення форми переважно полімер переводять у в'язкотекучий або високоеластичний стан. Отже, якщо встановлено температурні інтервали це необхідна умова переробки вищезгаданих станів. Виходячи з цього полімер має наступні температурні показники фізичних переходів:



де:  $T_d$  – температура деструкції;  $T_{кр}$  – температура крихкості;  $T_c$  – температура склування;  $T_m$  – температура текучості (топлення);  $T_{кр} - T_c$  – склоподібний стан;  $T_m - T_d$  – в'язкотекучий стан;  $T_c - T_m$  – високоеластичний стан.

В інтервалі  $T_c - T_d$  відбуваються фізичні перетворення в полімері, а хімічні – для термопластів після  $T_d$ , для реактопластів інтервал хімічних перетворень знаходиться між  $T_m$  та  $T_d$ .

В основі більшості методів лежить переробка полімерів у в'язкотекучому стані, а відповідно, інтервал переробки в цьому випадку буде ( $T_m - T_d$ ). Інтервал ( $\Delta T$ ), власне кажучи, залежить від будови полімеру і може мати різні значення, наприклад,  $^{\circ}\text{C}$  [1]:

- поліетилен:  $T_m = 110$ ;  $T_d = 300$ ;  $\Delta T = 190$ ;
- поліпропілен:  $T_m = 170$ ;  $T_d = 300$ ;  $\Delta T = 130$ ;
- полівінілхлорид:  $T_m = 165$ ;  $T_d = 170$ ;  $\Delta T = 5$ ;
- поліамід-66:  $T_m = 220$ ;  $T_d = 260$ ;  $\Delta T = 40$ .

Ширина температурного інтервалу визначає наскільки буде простим технологічний процес переробки полімерних матеріалів з розплаву. Чим проміжок більший, тим відповідно більше можливостей для змінювання технологічних режимів переробки, а, звідси і можливостей прискорити, оптимізувати його, підвищити інтенсивність, у більшій мірі впливати на покращення параметрів виробів, обирати варіанти конструктивних рішень при виготовленні формувального інструменту, розширити методита область переробки та знизити трудозатрати. В чистому вигляді полімерні матеріали з вузьким температурним зазвичай інтервалом не переробляються, оскільки процес стає важким і складно дотримуватись потрібних режимів. Для полегшення переробки застосовують модифікатори та стабілізатори, які змінюють  $T_d$  і знижують  $T_m$ .

При виборі додаткових компонентів кількість і вид стабілізаторів та пластифікаторів, як правило, визначаються власне природою полімеру, тим, який у нього процес деструкції і надмолекулярна структура. Наявність оптимального температурного інтервалу ( $T_m - T_d$ ) – необхідна, проте недостатня умова для ефективного формування виробу. Дуже важливе значення також має в'язкість ( $\eta$ ) розплаву і її залежність від тиску  $P$  і наявної температури. Власне  $T_m - T_d$  можна збільшити або зменшити для одного і того ж полімеру шляхом його модифікації пластифікатором і стабілізатором, то залежності між параметрами  $\eta$  з  $P$  і  $T$  залежать від молекулярної маси полімеру, його будови і має нелінійний характер. Зі сказаного виходить, що чим нижча в'язкість  $\eta$  розплаву, тим він краще і з меншими затратами буде заповнювати канали і розповсюджуватися у порожнині форми, тобто, необхідно затрачати значно менші зусилля при процесів тиснення розплаву. У цьому випадку матеріал характеризується вищою текучістю. Власне кажучи зміна  $\eta$  від швидкості зсуву також має виражену залежність від

температури. Цей процес носить назву «аномалія в'язкості» - рівняння розтопної течії в загальному вигляді наступне:

$$\tau = \eta \cdot \bar{\gamma}^n \quad (4.1)$$

де:  $n$  – індекс текучості (перебуває в межах  $0,1 \div 1,0$ );  $\gamma$  – швидкість зсуву (градієнт швидкості течії по висоті потоку);  $\eta$  – коефіцієнт в'язкості  $\tau$  – напруження зсуву (зміщення одного шару рідини відносно другого).

Графіки відношення  $\tau$  від  $\gamma$  та  $\eta$  від абс. Температури  $T$  і  $\gamma$  можна побачити на рис. 4.1. аналізуючи рис. 4.1 (б, в) можна відзначити, що при пониженні величини аномалії ( $\eta$  наближається до одиниці) вона суттєво зменшується зі зростанням температури. Це явище, власне кажучи, викликає вищу швидкість течії, що, відбивається на якості виробу та продуктивності процесу. Слід відмітити, що із зростанням температури знижується напруження зсуву, відповідно необхідно забезпечувати менший тиск для течії і при цьому зменшується вплив ефектів у матеріалі, які викликаються зсувними напруженнями, як правило, знижується концентрація власне внутрішніх напружень.

Наведені залежності  $\eta$  від  $T$  свідчать про активацію руху енергетичного характеру – її власне енергія активації, характерна для в'язкої течії, (рис. 4.1, б) залежить від самої швидкості цієї течії.

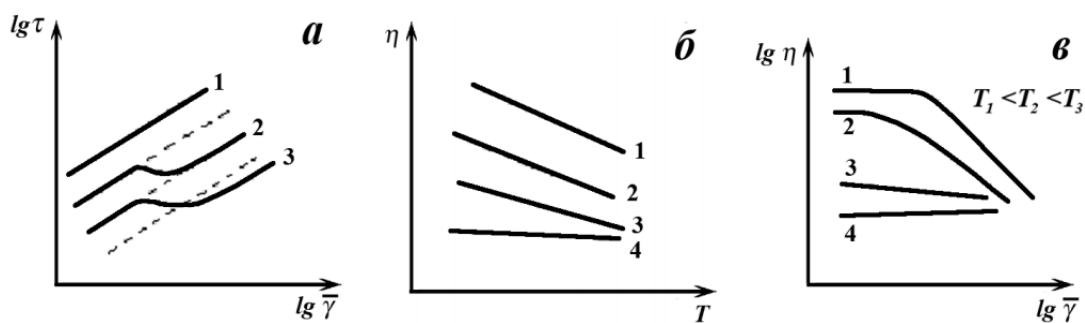


Рисунок 4.1 – Залежність  $\tau$  від  $\gamma$  (а) і  $\eta$  від  $T$  і  $\gamma$  (б і в). 1, 4 – класична ньютонівська рідина; 2, 3 – псевдопластична рідина; 2 – розплав; 3 – розчин полімеру.

Ця енергія і в'язкість самого розплаву, зв'язані наступними формулами:

$$\eta = A \cdot e^{\frac{E}{R \cdot T}} \quad \text{або} \quad \ln \eta = \ln A + \frac{E}{R \cdot T} \quad (4.2)$$

де:  $E$  – енергія активації в'язкої течії. Визначити температурну дію на полімерну в'язкість розплаву можна з залежності:

$$\eta = K_o \cdot e^{-b \cdot (T - T_o)} \quad (4.3)$$

де:  $T_o$  – температура стандартного випробування;  $T$  – абсолютна температура (біжуча);  $K_o$  – коефіцієнт реологічної залежності  $\tau$  від  $\dot{\gamma}$ ;  $b$  – коефіцієнт, який залежить від природи полімеру.

Якщо для двох температур при умові  $\dot{\gamma} = \text{const}$  розв'язати рівняння (4.2), то отримаємо:

$$E = \frac{R \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot \ln(\eta_1 / \eta_2)}{T_2 - T_1} \quad (4.4)$$

Аналізуючи сказане ми можна розрахувати, при якому значенні  $T_2$  варто нагрівати розплав, щоб отримати в'язкість  $\eta_2$ , яка є необхідною для забезпечення потрібної власне швидкості течії при процесі переробки. Якщо розглянути співвідношення, можна побачити, що відношення  $\eta$  від  $T$  можна взнати розраховуючи величину  $E$ , яка має своє значення залежно від природи полімеру (табл. 4.1). Відповідно, що чим більше значення  $E$ , тим, власне кажучи, більш впливає її значення  $T$  на  $\eta$  (рис. 4.1, б), що відбивається на великій зміні  $\eta$  в температурному інтервалі більш вузького характеру  $\Phi$ .

$$\eta = C \cdot \bar{M}^\alpha \quad (4.5)$$

де:  $C = \text{const}$ ;  $1 \leq \alpha \leq 3,5$ . При  $\dot{\gamma} \rightarrow 0$   $\alpha \cong 3,5$ , а при  $\dot{\gamma} \rightarrow \infty$   $\alpha \cong 1$ .



На рис. 4.2. приведено залежність молекулярної маси від в'язкості полімеру.

Таблиця 4.1

Енергія, необхідна для активації полімерної в'язкої текучості

Полімер	Інтервал температур, К	Е, кДж/моль
ПЕВГ	431 ÷ 547	25,1 ÷ 31,4
ПЕНГ	398 ÷ 513	54,5 ÷ 57,4
ПК	533 ÷ 589	108,9 ÷ 150,8
ПП	463 ÷ 563	79,6 ÷ 96,4
ПС	393 ÷ 523	96,4 ÷ 176
ПВХ	453 ÷ 483	103,5 ÷ 119
ПТФЕ	613 ÷ 638	104,9

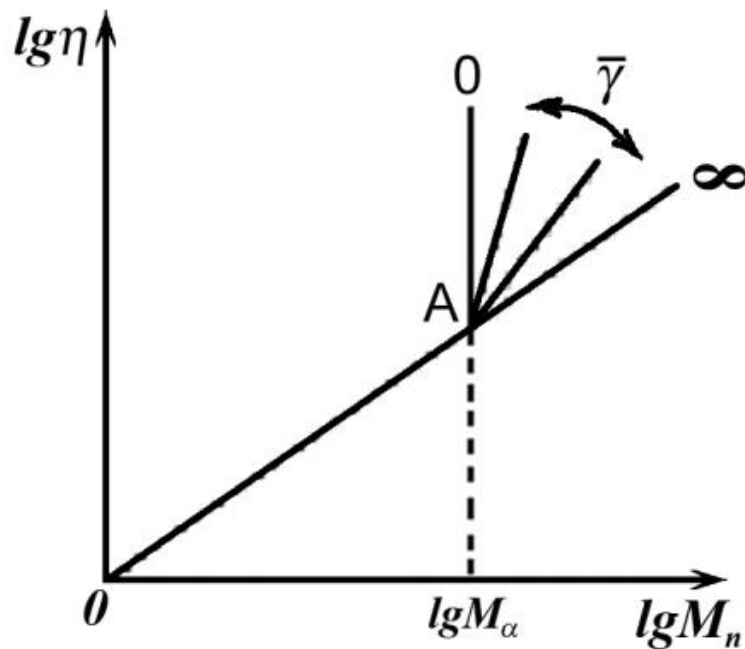


Рисунок 4.2 – Відношення  $\lg \eta$  від  $\lg M_n$ .

Розглянемо вплив тиску, заповнення форми при переробці полімерних виробів відбувається при високих значеннях тиску. При підзбільшенні значення тиску густина ( $\rho$ ) розплаву збільшується закономірно: зростає в'язкість, відбувається зближення макромолекул, збільшується міжмолекулярна взаємодія. Вказані перетворення мають місце до певної величини - критичного значення  $P_{кр}$ , при якому в'язкість, власне кажучи,

еквівалентна в'язкості нетекучого твердого тіла. Описане явище - псевдокристалізація. При переробці розплав ПКМ отримує вплив напружень зсування, що створює макромолекулярну орієнтацію, і може створити полегшену псевдокристалізацію й знизити  $R_{кр}$ . Вплив  $P$  на  $\eta$  носить невизначений характер і характерно залежить від полімерної будови. Він у більшій мірі чутливіший для матеріалів з великими боковими радикалами, і власне для полімерів розгалуженого типу: для поліетилену при такому значення тискового градієнту при 150°C у 4 ÷ 5 разів, для ПС при 195°C  $\eta$  збільшується майже в 135 разів коли сам тиск змінюється від 175 до 36 МПа. Таке відношення  $\eta$  від  $P$  при константній  $\gamma$  має таку залежність:

$$\eta_p = \eta_0 \cdot e^{\beta \cdot P} \quad (4.6)$$

де:  $\eta_0$  – в'язкість при атмосферному тиску;  $\beta$  – постійна, яка залежить від природи полімеру і швидкості зсуву ( $\gamma$ ), наприклад, для ПЕ  $\beta = 1,2 \cdot 10^{-8} \div 1,4 \cdot 10^{-8} \text{ Па}^{-1}$ , а для ПС  $\beta = 3,2 \cdot 10^{-8} \text{ Па}^{-1}$ .

Як результат явища псевдокристалізації створюється розрив струмин при течії розплаву, проскакують окремі порції у вигляді корків і заповнюється об'єм форми матеріалом пористої природи.

#### **4.2. Обґрунтування температурно-часового інтервалу переробки полімерів.**

Параметри виробів в значній мірі залежать від в'язкості розплаву матеріалу в процесі переробки, а також від концентрації вологи ньому (рис. 4.3). У зв'язку з цим для забезпечення стабільності перероблювального процесу і отримання стабільних, рівних якісних показників необхідно унеможливити коливання в'язкості переробного розплаву і наявність

коливань параметрів у формувальному процесі внаслідок гідролітичної та термоокисної полімерної деструкції при процесах переробки.

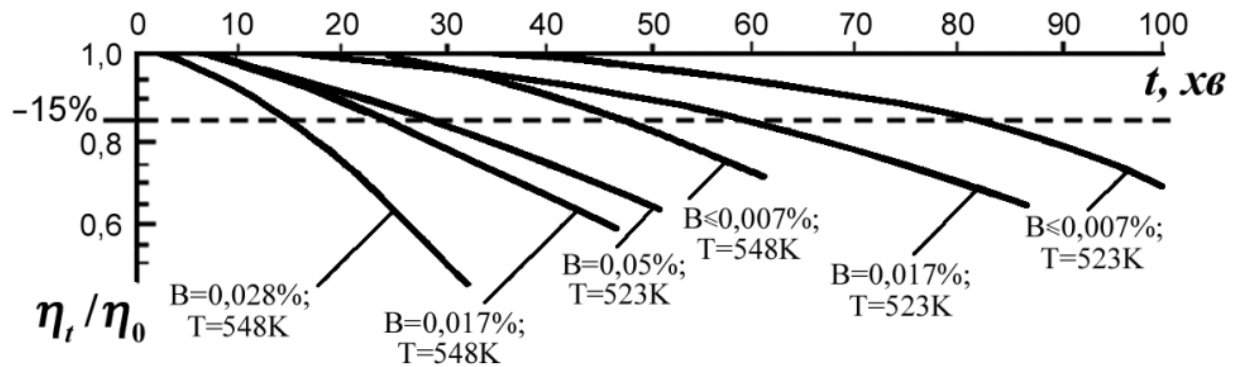


Рисунок 4.3 –Зміни в'язкості ПК марок ПК-1, ПК-2, ПК-3 в залежності від тривалості його нагріву ( $t$ ) при різних значеннях температури ( $T$ ) і вологості ( $B$ ) у вихідному матеріалі.

Для переробки полімерних виробів часово-температурно діапазон, у межах якого усуваються або набувають мінімального характеру процеси деструктивного типу, отримують із співвідношень температурної термостабільності полімерного розплаву (рис. 4.4).

Температурно-часовий інтервал, у якому може виконуватися переробка переробка полімерних відходів, виділена заштрихованою ділянкою на рисунку. Межа обмежена мінімальною температурою переробки  $T_{\min}$  від поля температур низького значення. Вона володіє залежністю від реологічних характеристик розплаву полімеру та температури матеріалової текучості, та власне від умов переробки, які є відмінними для різних видів переробки (табл. 4.2.) [1].

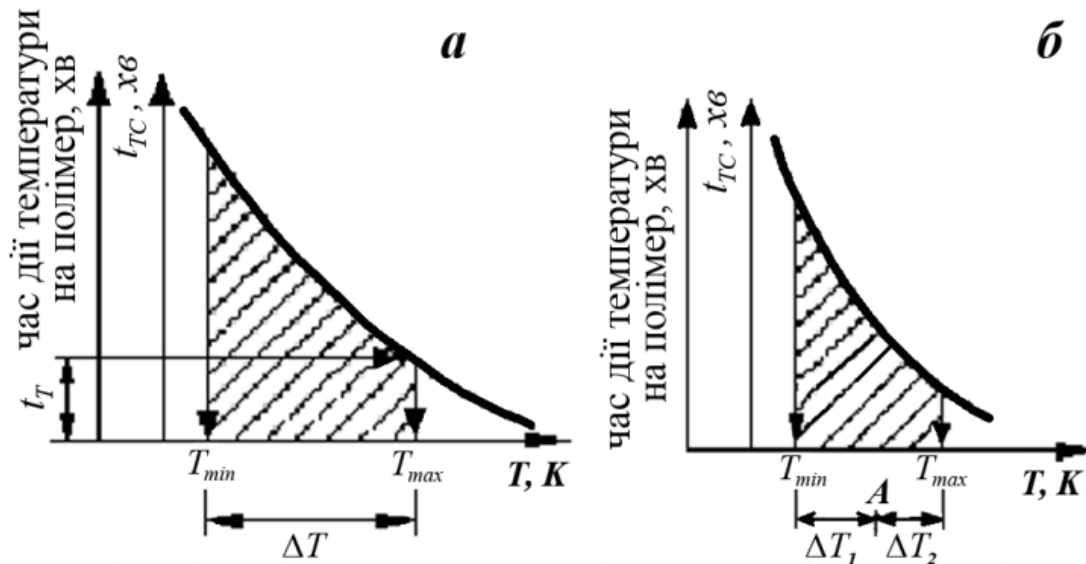


Рисунок 4.4 – Переробка полімерів - Температурно-часове поле.

З боку високих температур цей інтервал обмежений максимальною температурою переробки  $T_{max}$ . При визначенні цієї температури на осі ординат відкладають час дії температури переробки  $t_T$  на полімер в обладнанні, у якому здійснюється переробка. З цього пункту проводять лінію, паралельну до осі абсцис до перетину із залежністю: період термостабільності – температура (рис. 4.4, а). Абсциса одержаної точки перетину відповідає максимальній температурі переробки для даного випадку. Враховуючи можливі відхилення температурного режиму внаслідок інерційності системи нагрівання, а також враховуючи саморозігрівання матеріалу при течії з високими швидкостями зсуву (дисипація енергії), реальну температуру  $T'_{max}$  беруть нижчою на  $10 \div 15^\circ\text{C}$  від розрахункової. Час дії температури розраховують, виходячи із часу циклу:

$$t_T = \frac{m}{m_0} \cdot t_u \quad (4.7)$$

де:  $t_{ц}$  – час циклу переробки,  $m$  – маса матеріалу в нагрівному циліндрі;  
 $m_0$  – маса однієї відливки.

При екструзійних процесах час дії температури знаходимо із співвідношення:

$$t_T = v_{цл} / Q \quad (4.8)$$

де:  $v_{цл}$  – об'єм каналу шнека між витками,  $Q$  – продуктивність екструдера. Режим переробки полімеру визначений на рис. 4.4, б (точка А) повинен знаходитись в температурно-часовій області, причому робочі інтервали температур  $\Delta T_1$  і  $\Delta T_2$  повинні складати не менше  $10 \div 15$  К.

Таблиця 4.2

Характеристика перероблюваності термопластів, при використанні  
 литва під тиском

Термопласт	Марки	$T_{лік}$ , К	$T_{ликс}$ , К	$T_{ликс}^{**} \div T_{лік}$	Оцінка перероблюваності
1	2	3	4	5	6
ПСон	ПСМД, ПСМ ПСС, ПСП, ПСЕ- 1, ПСЕ-2	433 433	553 543	120 110	Добре Добре
ПК	ПК-1, ПК-2, ПК-3 ПК-6	523 523	563 593	40 70	Задовільно Добре
ПММА	ЛПТ, ЛСОМ, ЛСОМ-4Б, Дакрил 2М	458	503	45	Задовільно
ПСФ	Литтева А	553	613	60	Добре
ПЕВГ	Марки за ГОСТ 16338-77 (див. табл.3.8)	453	553	100	Добре
ПЕНГ	Марки за ГОСТ 16337-77 (див. табл.3.8)	433	553	130	Добре
ПП	04П, 05П	463	543	80	Добре

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6
ПА-12	П-12-10	493	558	65	Добре
ПА-610	ПА-610	503	543	40	Задовільно
ПА-6	ПА 6- 210/310	508	543	35	Задовільно
ПА-66	Литгева	538	558	20	Низька
СФД	СФД-А, СФД-Б, СФД-В, СФД-Д	448	493	45	Задовільно
СТД	СТД-А, СТД-Б, СТД-В, СТД-Г, СТД-Д	448	493	45	Задовільно
ПЕТФ	030 110	533	543	10	Низька
ПБТФ	508	543	35	Задовільно	

#### 4.3. Використання текучості під час проектування переробної полімерної технології.

Як відомо, текучість найголовніше характеризує полімер при процесах переробки. Власне це здатність розплаву полімеру до плинності в'язкого типу (течії), яка здійснюється за рахунок прикладання зусилля ззовні. Текучість рівна зворотньому значенню розплавної в'язкості:  $T_e \approx 1/\eta$ . При оцінюванні текучості можна використовувати криві течії (рис. 4.1) при відмінних значеннях температури та швидкості зсуву. Методи експрес типу для визначення текучості орієнтовані на оцінку “показника текучості розплаву” (ПТР) для матеріалів-термопластів (рис. 4.5) і текучості за Рашигом для матеріалів-реактопластів за природою (рис. 4.6) [1]. Термопласти також можна досліджувати ще одним методом визначення текучості, суть якого у визначенні траєкторії проходження розплаву внаслідок прикладання тиску по каналу спіралеподібної форми із встановленою температурою.

Таблиця 4.3

Умови визначення показника текучості розтопу деяких термопластів

Полімер	Температура, °С	Вага вантажу, Н	Діаметр капіляра, мм
Поліетилен ВТ	190 ± 0,5	21,2	Ø 2,095 ± 0,005
Поліетилен НТ	190 ± 0,5	49,0	Ø 2,095 ± 0,005
Поліпропілен	230 ± 0,5	21,2 або 49,0	Ø 2,095 ± 0,005
Полістирол	200 ± 0,5	49,0	Ø 2,095 ± 0,005

Текучість це здатність полімерних розплавів матеріалів до в'язкої течії під дією тепла і тиску. Умови проведення дослідження подані нижче (табл. 4.3). Для обчислення технологічних параметрів текучість подають у вигляді реологічної залежності:

$$\bar{\gamma} = \frac{3 \cdot n + 1}{n} \cdot \frac{ПТР}{600 \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^3} \quad (4.9)$$

де:  $n$  – індекс текучості;  $\rho$  – густина розтопу полімеру при температурі досліджу;  $r$  – радіус каналу, через який перетискається полімер.

#### 4.4. Особливості впливу текучості на якість перероблених виробів і параметри конструктивного типу для обладнання

Великі значення текучості характерні для великої кількості полімерів кристалічного типу. Під тиском високотекучі полімери мають здатність проникати в дуже малі щілини, що визначає виникнення переливки і створює необхідність для її видалення застосування додаткових операцій, ставить підвищені вимоги до герметизації оснащення.

Збільшення тиску викликає орієнтацію ланцюгів вздовж течії (напруження орієнтаційного типу), що призводить до збільшення анізотропії механічних характеристик, зниження розтріскувальної стійкості і пониження температурного значення власне короблення.

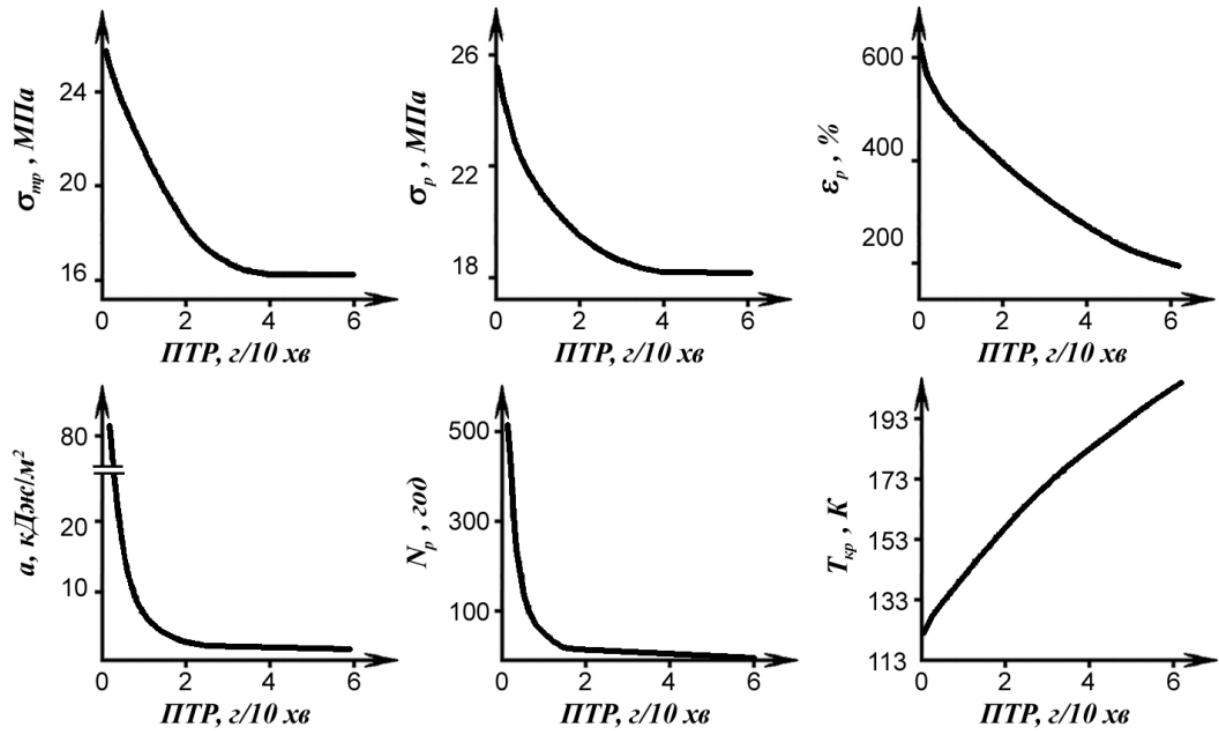


Рис. 4.7. Залежність границі текучості при розтягу  $\sigma_{тр}$ , руйнуючого напруження при розтягу  $\sigma_r$ , відносного видовження при розриві  $\epsilon_r$ , ударної в'язкості  $a$ , стійкості до розтріскування  $N_p$  та температури крихкості  $T_{хр}$  від ПТР для ПЕВГ.



## 5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 5.1 Оцінка реологічних властивостей полімеру і композицій на їх основі

Переробка полімерного матеріалу або композиції починається з оцінки нафтових, критерієм якої є технологічність. Коли мова йде про переробку нового композиційного матеріалу або створенні виробу принципово нового типу, то багато в чому доводиться покладатися на модельний експеримент і досвід технолога-переробника. При цьому первинна оцінка переробляється в будь-якому випадку повинна починатися з визначення меж області текучого стану термомеханическим методом з наступним визначенням реологічних характеристик в межах цього стану в порівнянні з властивостями відомих матеріалів.

Вивчення реологічних властивостей, тобто механічних характеристик розплавів полімерів і композицій на їх основі, використовується в основному в наступних цілях для:

оцінки властивостей полімерних матеріалів при порівнянні і з еталонними зразками окремих композицій або партій сировини між собою;

характеристики специфічних ефектів, які спостерігаються при перебігу полімерів на різних стадіях технологічних процесів;

визначення реологічних параметрів, наприклад в'язкості в широкому діапазоні швидкостей і напружень зсуву, що визначаються зоною нафтових даного полімерного матеріалу (ЗП), при температурах переробки, необхідних для розрахунку продуктивності обладнання.

Оскільки в текучому стані полімери являють собою рідини з великою в'язкістю, що мають впорядкованість структури на рівні лише ближнього порядку, то відмінності кристалічних і аморфних полімерів в такому стані

стираються: вони залежать не від вихідного фазового стану (до  $T_{пл}$ ), а від хімічної природи ланцюга полімеру і його молекулярної маси.

Величина  $T_t$  (для кристалічних полімерів це їх  $T_{пл}$ ) залежить від сил міжмолекулярної взаємодії. Наявність груп, схильних до утворення водневих зв'язків, призводить до зростання температур переходу в'язкотекучий стан.

При оцінці технологічності традиційних великотоннажних термопластів основний реологічний характеристикою є показник текучості розтопу (ПТР).

Під ПТР розуміють масу розплаву полімеру в грамах, що витікає через калібрований капіляр стандартних розмірів під дією фіксованого навантаження при обраній температурі розплаву певної для кожного полімеру за 10 хв. або перераховану на тривалість закінчення 10 хв.

Оцінка термопластів по їх ПТР служить основою для класифікації марочного асортименту по тому основному технологічному способу, який рекомендується для переробки у виробі. У таблиці 5.1 представлена залежність способу переробки полімерних матеріалів від ПТР [10].

Таблиця 5.1

Залежність способу переробки полімерних матеріалів від ПТР

Показник плинності розплаву (ПТР), г / 10хв	Спосіб переробки
0,03	пресування
0,30-3,00	екструзія
5,00-20,00	лиття під тиском
15,00-30,00	виробництво волокон

Необхідно відзначити, що зазначені рекомендації не є строгими.

Метою експериментальної частини дипломного проекту є визначення реологічних характеристик вторинного ПЕ, ПП і композиції на їх основі, а також завдання, які необхідні вирішити.

- 1) Визначення та аналіз значень ПТР, вторинних ПЕ, ПП і композиції на їх основі з метою вибору способу переробки.
- 2) Побудова реологічних кривих з метою вибору режиму переробки.
- 3) Визначення термостабільності композицій з метою вибору температурного режиму переробки.

## 5.2 Об'єкти дослідження і методика проведення експерименту

Об'єкти дослідження:

- 1) Вторинний ПЕ (циліндр одноразового шприца);
- 2) Вторинний ПП (Шток-поршень одноразового шприца);
- 3) Композиції ПП і ПЕ (50% ПЕ (циліндр.) І 50% ПП (поршень)) при температурах 210 і 230 ° С

Методика проведення експерименту.

Для визначення реологічних характеристик використовується прилад ПРТ-5, який представлений на малюнку 3.1. Принцип дії установки заснований на вимірюванні швидкості і закінчення розплаву через капіляр при певній температурі.

Прилад складається з екструзійної камери 4 (довжина становить  $123 \pm 0,25$  мм, внутрішній діаметр  $9,5 + 0,016$  мм), в порожнині якого встановлений поршень 3 (напрямна головка поршня має довжину  $6,35 \pm 0,10$  мм з діаметром  $9,48 \pm 0,1$ ).

Необхідна для випробування температура в термостаті нагрівальними елементами і підтримується за допомогою автоматичного регулятора температури.

### 1) Методика визначення ПТР

1. Завантажують навішення досліджуваного матеріалу (4-5г) в канал віскозиметра і вручну ущільнюють її. Щоб виключити потрапляння повітря в камеру час завантаження не має бути більшим однієї хвилини.

2. У камеру вводять поршень і поміщають додатковий вантаж на втулку. Після проходження витримки під тиском протягом п'яти хвилин, відпускають вантажі і дають полімеру текти під дією сили тяжіння.

3. Як тільки нижня кільцева відмітка на поршні опуститися до верхньої кромки екструзійної камери, видавлену частина матеріалу відсікають ножем і не беруть до уваги. Одночасно починають вимірювання швидкості течії розплаву до тих пір, поки мітка на поршні вгорі його поверхні не опуститися до межі верхньої мітки екструзійної камери.

4. Після охолодження отримані прутки зважують з похибкою не більше 0,001 г. Число їх повинно бути не менше трьох. Прутки, містять бульбашки повітря, бракують.

5. Після закінчення циклу вимірювань проводять звільнення капіляру і видалення залишків полімеру з приладу.

6. Розраховуються середнє арифметичне на трьох відрізках, розбіжність по масі не має бути більшою 5%.

7. Показник плинності розплаву (ПТР, г / 10 хв) визначається за формулою (5.1) [25]:

$$\text{ПТР} = \frac{600 \cdot m}{t} \quad (5.1)$$

де 600 - стандартний час, с;

m - середня маса екструдованих відрізків, г;

t - інтервал часу між двома послідовними різані прутків, с.

У процесі роботи були визначені ПТР вторинного ПЕ, ПП і композиції на їх основі, при температурі переробки 210 і 230 ° С

2) Методика побудови реологічних кривих

Для побудови кривих необхідно кілька точок залежності ефективної в'язкості  $\eta$  від напруги зсуву  $\tau$ . Для цього необхідно провести експеримент

при різних навантаженнях. В даному експерименті використовувалися навантаження 1,26; 2,16; 3,8 і 5; кг.

Напруга зсуву  $\tau_{сдв}$  розраховується за формулою (5.2):

$$\tau_{сдв} = \frac{4 \cdot G \cdot r}{2 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot l}, \quad (5.2)$$

де G-навантаження на поршень, Н;

d - діаметр поршня (0,00948м);

r-радіус капіляра (0,0010475м);

l-довжина капіляра (0,008м).

Швидкість зсуву ( $\gamma$ ) оцінюється за формулою (5.3):

$$\gamma = \frac{4,5 \cdot Q}{\pi \cdot r^3}, \quad (5.3)$$

де Q-витрата полімерної рідини в м / с, який можна розрахувати за формулою (5.4);

$$Q = \frac{\text{ПТР}}{600 \cdot \rho} \quad (5.4)$$

де  $\rho$ -щільність, г / см<sup>3</sup>.

Для побудови кривих розрахуємо ефективну в'язкість за формулою (5.5)

$$\eta = \frac{\tau}{\gamma}, \quad (5.5)$$

3) методика визначення термостабільності

Термостабільність розплавів характеризує тривалість перебування термопласта вище температури плавлення без порушення його хімічного складу і, отже, властивостей.

Чим довший період термостабільности розплаву, тим ширше технологічні можливості матеріалу, тим крива термостабільности матиме менший розкид точок.

Для визначення термостабільности композиції необхідно витримати розплав в екструзійної камері приладу ПРТ-5 протягом певного часу, після чого знімається ПТР.

За отриманими даними будується залежність ПТР від часу витримки в екструзійної камері.

В даному експерименті композиція дотримувалися протягом 3, 5, 7, 9 і 11 хвилин, після чого вимірювалося значення ПТР

### 5.3 Результати експерименту

1) Для побудови графіків залежності ПТР від навантаження експериментальні дані (значення мас екструдіруємих відрізків, з урахуванням часу закінчення розплаву полімеру) підставили в формулу (5.1). Отримані значення ПТР, звели в таблицю 5.2

2) Для побудови реологічних кривих (залежність  $\tau$  від  $\eta$ ) дані, отримані в ході експерименту, підставили в формули (3.2), (3.3), (3.4) і (3.5)

За результатами побудували графіки залежності ефективної в'язкості ( $\eta$ ) від напруги зсуву ( $\tau$ ) (рис. 5.2).

3) Для побудови кривої термостабільности були визначені значення ПТР композицій містять 50% ПЕ і 50% ПП, при температурі 210 і 230 ° С відповідно, в перебігу 3,5,7,9 і 11 хвилин

Таблиця 5.2

Експериментальні дані для розрахунку ПТР вторинного поліетилену, поліпропілену і композицій на їх основі

Полімер	Температура, °С	Маса вантажу, Н	Час, сек	Середня маса, г	ПТР, г / 10 хв
ПЭ	190	12,4	10	0,08054	4,8
ПП	230	12,4	5	0,17582	21,0
Композиция 1	210	12,4	5	0,08362	10,0
Композиция 2	230	12,4	5	0,12649	15,1
ПЭ	190	21,2	5	0,08815	10,5
ПП	230	21,2	5	0,34629	41,6

За даними таблиці побудували графіки залежності ПТР від прикладеного навантаження. Графік представлений на малюнку 5.1

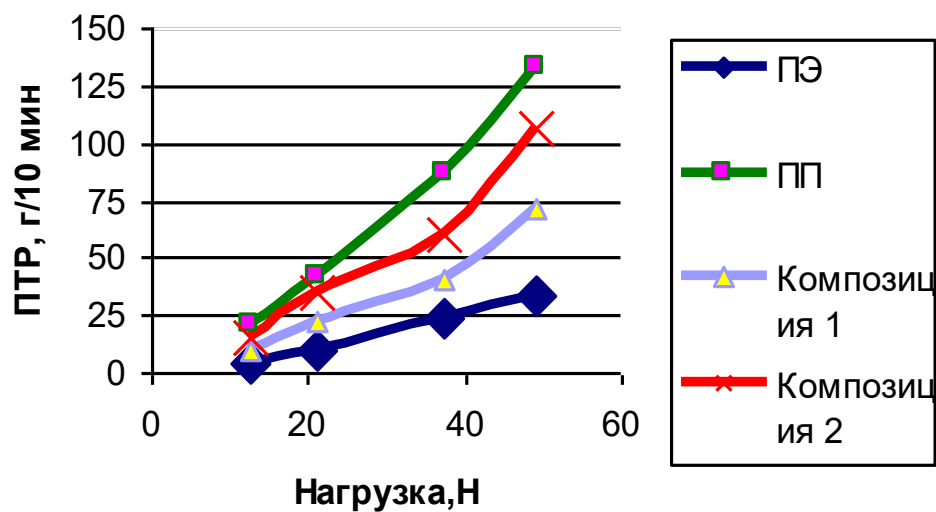


Рисунок 5.1 - Залежність ПТР від прикладеного навантаження.

За результатами побудували графіки залежності ПТР від часу витримки розплаву композицій (рис. 5.3).

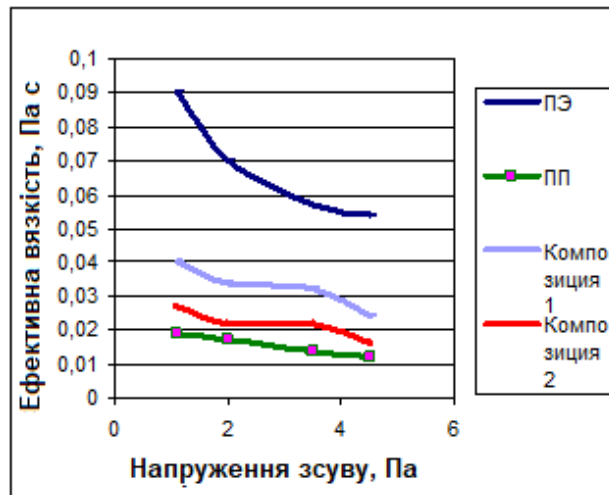


Рисунок 5.2 Графіки залежності ефективного в'язкості ( $\eta$ ) від напруги зсуву ( $\tau$ )

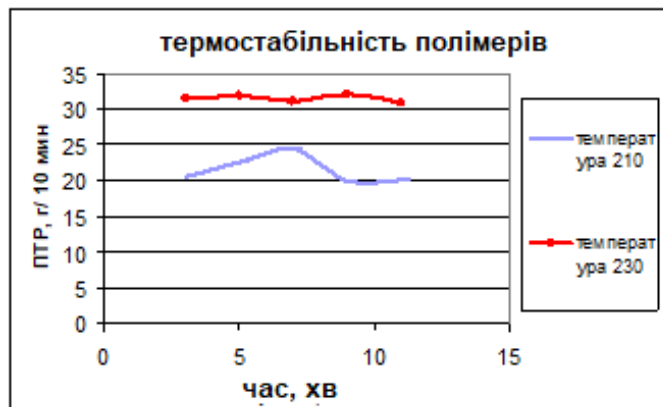


Рисунок 5.3 - Термостабільність полімерів

#### 5.4 Обговорення результатів

1) З графіка залежності ПТР від навантаження (рисунок 3.2), видно, що зі збільшенням навантаження різко збільшується ПТР вторинного ПП. Крива залежності ПТР від навантаження вторинного ПЕ змінюється незначно. Це можна пояснити тим, що у вторинному ПП деструкція йде набагато глибше, ніж у вторинному ПЕ так як, ПЕ і ПП відрізняються за своїм хімічним будовою. ПП має третинний атом вуглецю, який здатний легше утворювати вільні радикали за рахунок своєї активності при цьому молекулярна маса



зменшується, розплав починає текти швидше і ПТР отже збільшується. У той же час ПЕ має лінійну будову, так як відсутній третинний атом вуглецю, деструкція йде незначно і також змінюється молекулярна маса і ПТР.

Аналогічні криві залежності ПТР від навантаження, були побудовані для композицій складаються з 50% ПП і 50% ПЕ при температурах 210 і 230 ° С, в яких спостерігається різке збільшення кривої залежності ПТР від навантаження і вид кривих нагадує аналогічну залежність ПТР від навантаження для ПП.

При стандартній навантаженні 2,16кг, ПТР композицій при температурах 210 і 230 ° С склав відповідно 10 і 15 г / 10 хв, судячи з цими даними способом переробки можна запропонувати лиття під тиском.

2) За результатами експерименту були побудовані чотири реологічні криві, для ПП, ПЕ і композицій складається з 50% ПЕ і 50% ПП (рисунок 5.3).

Криві залежності ефективної в'язкості від напруги зсуву, для композицій складаються з 50% ПЕ і 50% ПП при температурах 210 і 230 ° С, змінюється за тим же законом що і крива залежності ефективної в'язкості від напруги зсуву для ПП, тому можна припустити режим переробки композицій що складається з 50% ПЕ і 50% ПП повинен бути близьким до режиму переробки вторинної ПП.

Якщо два полімеру мають різну в'язкість, а суміші мають перероблятися при однаковій в'язкості, їх спільна переробка можлива тільки при додаванні пластифікатора. У нашому випадку композицію можна переробляти при додаванні в якості пластифікатора "Recycloblend"

3) Для вибору температурного режиму переробки, була визначена термостабільність композиції ПЕ-ПП.

З залежності представленої на малюнку 5.4 можна зробити наступні висновки:

при температурі 210 ° С розплав зі збільшенням часу витримки має різні значення ПТР, пов'язані з термодеструкцією полімерів, в результаті якої змінюється молекулярна маса полімерів входять в композицію;

при температурі 230 ° С з плином часу ПТР змінюється незначно, це свідчить про термостабільності полімеру.

Тому доцільно проводити переробку композиції при температурі 230 ° С.

## **6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **6.1 Організація охорони праці при роботі з системою управління**

Охорона праці розглядає проблеми забезпечення здорових і безпечних умов праці. Виявляє і вивчає можливі причини нещасних випадків, професійних захворювань, аварій, вибухів, пожеж і розробляє систему заходів і вимог з метою виключення цих причин і створення безпечних і сприятливих для людини умов праці.

Завдання охорони праці є зведення до мінімуму імовірності пошкодження або захворювання працівників з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

Навчання працівників безпеці праці проводять відповідно до вимог ГОСТ 12. 0.004 - 79, який встановлює порядок і види навчання. На всіх підприємствах і в організаціях незалежно від характеру і ступеню небезпеки виробництва навчання працівників проводять при підготовці нових робітників, проведенні різноманітних видів інструктажів і підвищенні кваліфікації.

Контроль за своєчасним і якісним навчанням виконує відділ охорони праці чи інженер з охорони праці, або ІТП, на якого наказом керівника підприємства покладено ці обов'язки. Ті, що вперше поступають на роботу, навчання проходять згідно з "Типовим положенням про підготовку і підвищення кваліфікації робітників". В журналі обліку навчальної роботи реєструють навчальну тему, за якою проводилось навчання.

Інструктаж працюючих поділяють на вступний, початковий, на робочому місці, повторний, позаплановий і початковий.

Вступний інструктаж з усіма, хто поступає на роботу незалежно від їх освіти і стажу роботи по даній професії, проводить інженер з охорони праці за програмою, затвердженою головним інженером підприємства, про

проведення вступного інструктажу з обов'язковим підписом того, хто проводив інструктаж і того, хто його отримував.

Початковий інструктаж на робочому місці, повторний, позаплановий і поточний проводить керівник робіт.

Початковий інструктаж на робочому місці проводять при прийомі на роботу нових робітників за інструкцією з охорони праці, розробленою для окремих професій або видів робіт. Всі робітники після цього інструктажу і перевірки знань 2-5 змін (залежно від навичок і стажу роботи) працюють під наглядом бригадира чи майстра, потім оформляється допуск до їх самостійної праці.

Повторний інструктаж проходять всі працівники незалежно від кваліфікації, освіти і стажу роботи через три місяці. Його проводять з метою перевірки знання робітниками правил і норм з охорони праці.

Позаплановий інструктаж проводять коли змінилися правила охорони праці або технологічний процес, обладнання, інструмент та інші фактори, що впливають на безпеку праці; коли працівники порушують правила охорони праці, що можуть призвести чи призвели до травм, аварій чи пожежі, вибуху. Його проводять індивідуально чи з групою робітників однієї професії за програмою початкового інструктажу на робочому місці. При його реєстрації вказують причину, яка спричинила його проведення.

Умови праці мають велике значення практично для всіх виробничих показників - продуктивності праці, якості робіт, безпеки працівників та інше.

Санітарно-гігієнічні умови праці характеризуються показниками виробничого середовища - рівнем освітлення, мікрокліматичними параметрами, загазованістю і запиленістю повітряного середовища, рівнем шуму і вібрації, наявністю іонізуючого випромінювання та інше.

## 6.2 Електробезпека

Електричні установки, з якими доводиться мати справу практично всім працюючим по встановленню та налагодженню засобів автоматизації, виявляють для людини велику потенційну небезпеку, яка збільшується у зв'язку з тим, що органи чуття людини не можуть на відстані виявити присутність електричної напруги на обладнанні.

Степінь ураження електричним струмом залежить від цілого ряду факторів: значення сили струму, електричного опору тіла людини та тривалості протікання через неї струму, виду та частоти струму, індивідуальних властивостей людини та умов навколишнього середовища.

Конструкція електроустановок має відповідати умовам їх експлуатації та забезпечувати захист персоналу від дотику з струмоведучими та рухомими частинами, а обладнання - від попадання всередину посторонніх твердих тіл та води.

Конструкція, вид виконання, спосіб встановлення, клас ізоляції застосовуваних провідників, кабелів, пристроїв та іншого електрообладнання відповідають вимогам електробезпеки. За ступенем ураження людей електричним струмом котельня відноситься згідно ПУЕ 1.1.13 до категорії приміщень з підвищеною небезпекою (висока температура, можливість одночасного дотику до металевих елементів технологічного обладнання або металоконструкцій будинку та металевих корпусів електрообладнання).

У нормальному режимі роботи обладнання - можливість ураження працівників електричним струмом виключена. Але на випадок аварії для запобігання ураження струмом людей передбачене захисне заземлення. Згідно ПУЕ 1.7.65 допустимий опір заземлення повинен бути не більшим 10 Ом.

При виконанні монтажних робіт використовуються переносні електроінструменти (електродрилі, електрошліфувальні установки, тощо). Для забезпечення безпечної праці корпуси однофазних електроприймачів повинні занулюватись.

Захист людини від ураження електричним струмом в мережах з зануленням здійснюється тим, що при замиканні одної з фаз на занулений корпус в ланці цієї фази виникає струм короткого замикання, що діє на струмовий захист (плавкий запобіжник, автомат), в результаті чого відбувається відключення аварійної ділянки від мережі. Крім того, ще до спрацювання захисту струм короткого викликає перерозподіл напруги в мережі, що приводить до зниження напруги корпусу відносно землі. Таким чином, занулення зменшує напругу дотику та обмежує час, на протязі якого людина, що доторкнулася до корпусу, може потрапити під дію напруги.

Для того, щоб забезпечити швидке (на протязі декількох секунд) відключення аварійної ділянки, струм короткого замикання повинен бути достатньо великим. Відповідно до вимог ПУЕ струм короткого замикання повинен не менше ніж в три рази перевищувати номінальний струм плавкої вставки найближчого запобіжника або номінальний струм нерегульованого розчеплювача автоматичного вимикача. При використанні автоматичних вимикачів, що мають тільки електромагнітний розчіплювач (відсічку), струм короткого замикання повинен перевищувати значення струму встановлення миттєвого спрацювання в 1,25-1,4 рази в залежності від номінального струму.

В однофазних електроприймачів, що включені між фазним та нульовим робочим проводами, занулення корпусів слід виконувати з допомогою окремого (третього) провідника, який повинен з'єднувати корпус електроприймача з нульовим захисним проводом. В таких випадках під'єднувати корпуси електроприймачів для забезпечення електробезпеки до нульового робочого проводу недопустимо, оскільки при його розриві

(перегоранні запобіжника) всі під'єднані до нього корпуси виявляться під фазною напругою відносно землі.

В мережі з зануленням недопустимо використовувати заземлення окремих електроприймачів, не під'єднавши їх перед цим до нульового захисного провідника. В цьому випадку при замиканні фази на заземлений, але не приєднаний до нульового захисного провідника корпус створюється коло струму через заземлення цього корпусу та заземлення нейтралі джерела струму. Такий випадок небезпечний, оскільки засоби захисту не зможуть відключити такий електроприймач через мале значення струму і тому небезпечна напруга на всіх корпусах може зберігатися тривалий період, поки заземлений приймач не буде відключений вручну.

Важливо відмітити, що якщо занулений корпус одночасно заземлений, то це тільки покращує умови безпеки, оскільки забезпечує додаткове заземлення нульового захисного проводу.

Для ізоляції людини від частин електроустановок, що знаходяться під напругою, використовуються основні та допоміжні ізолюючі засоби, а саме слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками, коврики, ізолюючі підставки, тощо.

У приміщеннях, де знаходяться вимірювальні прилади, необхідно забезпечити виконання заходів по боротьбі з статичною електрикою (тобто прилади повинні бути заземлені). Найпростішим засобом є підтримка відносної вологості повітря на рівні 50 - 60 % за допомогою побутового електрозволожувача.

Підлогу слід виконувати відповідно до ГОСТ 12.4.124-83, використовуючи антистатичне покриття на проходах і біля робочих місць.

Робітникам рекомендовано носити одягу з природних матеріалів або з комбінованих - природних і штучних волокон. Для зняття електростатичних зарядів з одягу слід використовувати антистатика побутового призначення.

Оскільки корпуси приладів виконані з металу, то для усунення небезпеки ураження людини електричним струмом (можливий пробій на корпус приладу) використовується захисне заземлення.

### 6.3 Розрахунок заземлення

Розрахуємо систему заземлення для електроустаткування, яке працює від напруги 220 В.

$$R_{\text{ззз}} \leq \frac{U}{I_p} = \frac{220}{66} = 3.3 \leq 4 \text{ Ом}$$

Визначаємо опір ґрунту:  $\rho = k_n * \rho_n = 2 * 200 = 400 \text{ Ом м}$ ,

де  $k_n$  - коефіцієнт підсилення;

$\rho_n$  — питомий опір ґрунту (вибирається з довідкової літератури).

Визначаємо опір одиночного вертикального заземлювача:

$$R_B = \frac{\rho}{2\pi} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} * \frac{4t+1}{4t-1} \right)$$

де  $t$  - відстань від середини заземлювача до поверхні ґрунту, м;

$l, d$  - довжина і діаметр стержня заземлювача, м;

$$R_B = 96 \text{ Ом.}$$

Визначаємо опір сталевій полосі, що з'єднує стержневі заземлювачі:

$$R_{II} = (\rho / 2\pi l) * \ln(l^2 / dt) = 61 \text{ Ом.}$$

Визначаємо орієнтовне число стержневих заземлювачів:

$$n = R_B / [r_B] \eta_B = 96 / 4 * 1 = 24 \text{ шт.};$$

$r_B$  - допустимий по нормам опір заземляючого пристрою,

$\eta_B$  - коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів (для орієнтовного розрахунку приймається рівним 1).



Приймаємо розміщення вертикальних заземлювачів по контуру з відстанню між сталевими заземлювачами рівним 21. З довідкової літератури визначаємо  $\eta_B = 0,66$  і  $\eta_r = 0,39$ .

Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів

$$n = R_B / [r_B] \eta_B = 96 / (4 * 0.66) = 36$$

Розраховуємо загальний розрахунковий опір аземлюючого пристрою R з врахуванням з'єднувальної полоси

$$R = R_B R_{II} / (R_B \eta_r + R_{II} \eta_B n) = 3.9 \text{ Ом.}$$

Розрахунок проведено правильно, оскільки виконується умова  $R \leq [r_B]$ .

### Розрахунок штучного заземлення:

Приймаємо, що опір захисного заземлення не повинен перевищувати 4 Ом:

$$R_{33} = \frac{R_c R_n}{R_c + R_n} \leq 4 \text{ Ом}$$

де  $R_{33}$  – опір захисного заземлення;

$R_c$  – опір стержневих заземлювачів;

$R_{II}$  – опір поперечних заземлювачів.

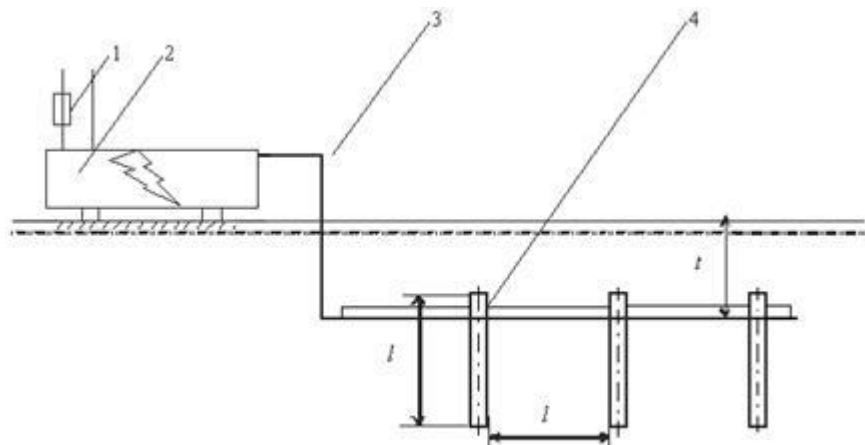


Рисунок 6.1 - Пристрій заземлення

4 – плавка вставка; 2 – електроустановка; 3 – з'єднувальна штаба; 4 – трубчатий заземлювач

Опір одиночного стержневого заземлювача розтіканню електричного струму:

$$R_{oc} = \frac{\rho_{\text{г}}}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{4h' + l}{4h' - l} \right)$$

де  $h$  – відстань від поверхні ґрунту до заземлювача і становить 0,8 м;

$l$  – довжина стержневого заземлювача 3 м;

$d$  – діаметр стержневого заземлювача 50 мм.

$$R_{oc} = \frac{750}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left( \ln \frac{2 \cdot 3}{0,05} + \ln \frac{4 \cdot 0,8 + 3}{4 \cdot 0,8 - 3} \right) = 39,8 \cdot (0,18 + 3,43) = 143,8 \text{ Ом}$$

Опір одиночного поперечного заземлювача:

$$R_{ок} = \frac{\rho_{\text{г}}}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bh'}$$

де  $l$  – довжина поперечного заземлювача 2,5 м;

$b$  – ширина полоси заземлювача 30 мм;

$\rho_{\text{г}}$  – розрахунковий опір ґрунту: для поперечних електродів 1000 Ом·м, для стержневих електродів 750 Ом·м.

$$R_{ок} = \frac{1000}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \ln \frac{2 \cdot 2,5^2}{0,03 \cdot 0,8} = 63,7 \cdot 6,25 = 398,1 \text{ Ом}$$

В наслідок взаємовпливу вводимо коефіцієнт використання заземлювачів:

$$\eta = \frac{R_0}{nR_{\text{д}}}$$

де  $R_{\text{д}}$  – допустимий опір заземлення, що становить 4 Ом;

$R_0$  – опір одиночного заземлювача.

З цієї формули методом ітерацій підбирають  $n$ , при якому  $\eta = 1$ :

<b>n</b>	<b>R<sub>n</sub></b>	<b>R<sub>c</sub></b>	<b>R<sub>o</sub></b>	<b>η</b>
1	398,1	143,8	105,6	26,1
5	398,1	143,8	105,6	5,2
10	398,1	143,8	105,6	2,6
15	398,1	143,8	105,6	1,7
20	398,1	143,8	105,6	1,3
25	398,1	143,8	105,6	1,1
26	398,1	143,8	105,6	1,0
27	398,1	143,8	105,6	0,9

Отже приймаємо кількість одиночних заземлюючих електродів рівною

26.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У роботі розроблено автоматизовану систему керування технологічним процесом переробки полімерних відходів для невеликих підприємств. Система керує процесом вологого розмолу сировини з подальшою її промивкою та сепарацією, подачею відходів на екструдер, де шляхом утворення розтопу полімер переробляється на нитки, які потім подрібнюються та фасуються у мішки.

Основними параметрами, які контролює система є: продуктивність дробильних установок та стан електроприводу у них; процес рециркуляції води та відстоювання полімеру; процес екструзії (продуктивність установки, тиск на виході, температура в зонах екструдера).

Слід відмітити, що контроль температури в різних зонах екструзійного агрегату дуже важливо контролювати температуру для забезпечення необхідних величин зон пластичності та розтопу.

Автоматизована система реалізована на базі логічного програмованого контролера, який приймає сигнали від датчиків і передає на комп'ютер оператору дані про технологічний процес. Загалом було використано 3 ПЛК для повного моніторингу процесу.

Впровадження такої системи дозволяє дослідити процеси екструзії залежно від різновиду відходів, оптимізувати процес, збільшуючи продуктивність установки за рахунок регулювання розміру зони пластичної деформації, що забезпечує економію енергоресурсів та збільшує прибуток підприємства.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 1. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-8052 від 28.05.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2013. – 256 с.
2. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-11650 від 16.07.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2014. – 312 с.
3. Микитишин А.Г., Митник, П.Д. Стухляк. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем: навчальний посібник – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – 256 с.
4. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.
5. Суберляк О.В., Баштанник П.І. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів. – Київ.: 2006. – 270 с.
6. Пахаренко В.А., Яковлева Р.А., Пахаренко А.В. Переработка полимерных композиционных материалов. – Київ: Воля, 2006. – 552 с.
7. Вторинна переробка пластмас / Франческо Ла Мантия (ред); пер. з англ. під ред. Г.Е. Заїкова - СПб.: Професія, 2006. – 400 с.
8. Матюшин Г.А. Утилизация полимерных медицинских изделий одноразового использования: // журн. экология и промышленность. - 1997, вып. №7. - М. – 38-42 с.
9. Холмс-Уолкер В.А. Переработка полимерных материалов / Перевод с англ. под ред. М. Л. Фридмана. -М.: Химия, 1979. -304 с.
10. Вторичная переработка пластмасс [Текст] / Ф Ла Мантия (ред); пер. с англ. под ред. Г.Е. Заикова - СПб.: Профессия, 2006. - 400 с.

11. Ханин М.В., Зайцев Г.П. изнашивание и разрушение полимерных композиционных материалов. -М.: Химия, 1990. -256 с.
12. Бобович Б.Б. Переработка отходов производства и потребления [Текст] / Под ред. Б.Б.Бобовича. - М. : "Интернет Инжиниринг", 2000. - 495 с.
13. Марков А.В. Принципы выбора технологии переработки полимерных материалов в изделия [Текст] / А.В. Марков, С.В. Власов; - М.: Химия, 2004.
14. ГОСТ 11645. Пластмассы. Метод определения показателя текучести расплава термопластов, 1973.
15. Автоматизация измерений и контроля электрических и неэлектрических величин: Учебное пособие для вузов/ Под ред. А. А. Сазонова. - М. :Изд-во стандартов, 1987. –328 с.
16. [www.owen.ru](http://www.owen.ru).