

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Інженерно-хімічний факультет
Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування

До захисту допущено
Завідувач кафедри
_____ **О.В. Гондлях**
«_____» _____ 2021р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 133 – *Галузеве машинобудування*

на тему: Сферонізатор з дослідженням динамічних характеристик гранул

Студент групи *IV к. ЛП-71* Кувшинов Олексій Валентинович
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник проекту:

доктор технічних наук, професор Гондлях О.В.
(вчена ступінь, звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультанти

ТЕХ. МАШ. _____  **С.О. Борщик**

ПЕРЕВІРКА НА СХОЖІСТЬ _____ **В.Ю. Щербина**

РЕЦЕНЗЕНТ _____

Засвідчую, що у цьому
дипломному проєкті немає
запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.
Студент _____

Київ 2021 рік

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність –133 – *Галузеве машинобудування*

Програма професійного спрямування - *для студентів групи ЛПІ-71 - Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання виробництв полімерних та будівельних матеріалів та виробів.*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

О.В.Гондлях

«___» _____ 2021р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Кувшинов Олексій Валентинович

1. Тема проекту *«Сферонізатор з дослідженням динамічних характеристик гранул»*, керівник проекту *Гондлях Олександр Володимирович, доктор технічних наук, професор*, затверджені наказом по університету від «___» _____ 2021 р. № _____

2. Термін подання студентом проекту _____.06.2021.

3. Вихідні дані до проекту

Діаметр черв'яка – 63 мм, відношення довжини черв'яка до діаметра – 30, потужність двигуна – 30 кВт, тиск розплаву – 17 МПа, ККД двигуна – 0,92.

4. Зміст пояснювальної записки

Реферат. Перелік позначень. I Пояснювальна записка. II Розрахунки.

III Технологія машинобудування. Висновки. Перелік посилань. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників)

ЛПІ71.101153.000-70ВЗ – Сферонізатор з дослідженням динамічних характеристик гранул.

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Тех.машинобудув.	Борщик О.С., ст.вик.		
Перевірка на схожість	Щербина В.Ю., доцент		

Дата видачі завдання

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	Вступ. Технічна характеристика.	06.02.2021-12.02.2021	
2.	Призначення і галузь застосування.	13.02.2021-20.02.2021	
3.	Опис конструкції та принцип дії.	21.02.2021-26.02.2021	
4.	Літературно-патентний огляд.	27.02.2021-16.02.2021	
5.	Розрахунки.	22.03.2021-06.06.2021	
6.	Охорона праці.	25.05.2021-07.06.2021	
7.	Технологія машинобудування.	21.05.2021-07.06.2021	
8.	Висновки.	07.06.2021-10.06.2021	

Студент

Кувшинов О. В.

Керівник проекту

Гондлях О.В.

Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «Сферонізатор з дослідженням динамічних
характеристик гранул»

Київ – 2021 рік

ЗМІСТ

Реферат (українська мова).....	6
Реферат (іноземна мова).....	7
Реферат (російська мова).....	8
Перелік умовних позначень	9
Пояснювальна записка.....	10
Розділ «Розрахунки».....	47
Розділ «Технологія машинобудування».....	74
Додаток А. Таблиця патентів	85
Додаток Б. Специфікація	88
Додаток В. Тези	89

					<i>ЛП71.101156.01-70ПЗ</i>			
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Кувшинов							
Перевірів.	Гондляр							
Н. Контр.								
Утвердив.								
					Лит.	Лист	Листів	
						5	104	

Реферат

Об'єктом дослідження є сферонізатор з аналізом динамічних характеристик гранул.

Метою проекту є вивчення, згідно технічного завдання, сферонізатора з аналізом динамічних характеристик гранул на основі існуючих досліджень і визначення їх можливостей.

Проект містить опис технологічного процесу, в якому знаходиться сферонізатор на основі екструдера-сферонізатора, розглядається його призначення і місце в технологічній схемі.

В роботі представлені технічні характеристики, розглянуті конструкція і принцип дії агрегату для сферонізації, виконані дослідницькі розрахунки, які підтверджують ефективність і надійність роботи машини.

У проекті було проведено літературно-патентний огляд досліджень в напрямку динамічних характеристик полімерних гранул.

Також в дипломному проекті бакалавра розглядається відповідність сферонізатора вимогам охорони праці та техніки безпеки.

Ключові слова: процес сферонізації, сферонізатор, екструдер-сферонізатор, сфери, гранули, міцність, продуктивність, змішування, полімери, пелети.

					<i>ЛП71.101156.01-70ПЗ</i>	Арк
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Abstract

The object of study is a spheronizer with analysis of the dynamic characteristics of the granules.

The aim of the project is to study, according to the terms of reference, the spheronizer with the analysis of the dynamic characteristics of the granules on the basis of existing research and determine their capabilities.

The project contains a description of the technological process in which the spheronizer is based on the extruder-spheronizer, its purpose and place in the technological scheme are considered.

The paper presents the technical characteristics, considers the design and principle of operation of the unit for spheronization, performed research calculations that confirm the efficiency and reliability of the machine.

The project conducted a literature-patent review of research in the direction of the dynamic characteristics of polymer granules.

Also, the bachelor's thesis project considers the compliance of the spheronizer with the requirements of labor protection and safety.

Key words: spheronization process, spheronizer, extruder-spheronizer, spheres, granules, strength, productivity, mixing, polymers, pellets.

					ЛП71.101156.01-70ПЗ	Адк
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Реферат

Объектом исследования является сферонизатор с анализом динамических характеристик гранул.

Целью проекта является изучение, согласно технического задания, сферонизатора с анализом динамических характеристик гранул на основе существующих исследований и определения их возможностей.

Проект содержит описание технологического процесса, в котором находится сферонизатор на основе экструдера-сферонизатора, рассматривается его назначение и место в технологической схеме.

В работе представлены технические характеристики, рассмотрены конструкция и принцип действия агрегата для сферонизации, выполнены исследовательские расчеты, подтверждающие эффективность и надежность работы оборудования.

В проекте было проведено литературно-патентный обзор исследований в направлении динамических характеристик полимерных гранул.

Также в дипломном проекте бакалавра рассматривается соответствие сферонизатора требованиям охраны труда и техники безопасности.

Ключевые слова: процесс сферонизации, сферонизатор, экструдер-сферонизатор, сферы, гранулы, прочность, производительность, смешивание, полимеры, пеллеты.

					<i>ЛП71.101156.01-70ПЗ</i>	Адк
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ

Умовні позначення:

D, d – діаметри, м;

L, l – довжини, м;

H, h – висоти, м;

P – тиск, МПа;

N – потужність, кВт;

T – температура матеріалу, °С;

η – ККД,

μ – коефіцієнт Пуассона,

σ_k – контактний тиск, H/m^2 ,

σ_t – тангенціальне напруження, H/m^2 ,

$\sigma_{екв}$ – еквівалентне напруження, H/m^2 ,

n – запас міцності,

K – коефіцієнт геометричної форми, mm^3 ,

α – коефіцієнт прямого потоку, mm^3 ,

β – коефіцієнт зворотного потоку, mm^3 ,

Π – вагова продуктивність, кг/год,

Q – кількість теплоти.

					ЛП71.101156.01-70ПЗ	Арк
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту**

на тему: Сферонізатор з дослідженням динамічних характеристик гранул

Київ – 2021 року

					<i>ЛП71.101156.01-70ПЗ</i>	Арк
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ.....	12
1. Призначення та область застосування сферонізатора.....	13
2. Технічна характеристика сферонізаторів.....	14
3. Опис конструкції сферонізатора.....	16
3.1 Екструдер – сферонізатор.....	16
3.2 Сферонізатор.....	18
3.3 Процес сферонізації.....	20
4. Патентно – літературний огляд.....	21
5. Охорона праці.....	36
5.1. Повітря робочої зони	37
5.2. Техніка безпеки праці на лінії	39
5.3. Пожежна безпека.....	40
5.4. Електробезпека приміщення.....	40
5.5. Виробничий шум.....	41
6. Очікувані механіко – економічні показники.....	42
Висновки.....	43
Список літератури.....	44

					<i>ЛП71.101156.01-70ПЗ</i>		
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Кувшинов						
Перевірів.	Гондляр						
Н. Контр.							
Утвердив.							
					Лист.	Лист	Листів
						11	

Вступ

Метою виконання даного проекту є розгляд сферонізатора з дослідженням динамічних характеристик гранул.

Екструдер сферонізатор, або сферонізатор широко застосовується при гранулюванні сферичних частин і гранул. Робочим матеріалом для сферонізатора є тверді частинки несфероїдної форми, які в процесі сферонізації перетворюються на сфероїди.

Для оптимізації виробництва сферичних частинок у сферонізаторі необхідно знати усі тонкощі цього процесу, тому в цій роботі методом “скінченних елементів” досліджується напружено – деформований стан екструдатів, які в процесі сферонізації набувають певних змін.

Екструзія-сферонізація є багатоступеневим процесом, що включає сухе змішування, вологе гранулювання, екструзію, сферонізацію, сушіння та просіювання.

Екструдер, що має певні розміри матриці, виробляє екструдати, які потім подаються в сферонізатор, який формує їх в сфероїди (кульки) з однаковим розміром і характеристиками потоку.

					<i>ЛП71.101156.01-70ПЗ</i>	Арк
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СФЕРОНІЗАТОРА

Сферонізатор оснащений роторним механізмом спеціальної конструкції, який має змогу обробляти сухий та вологий дисперсний матеріал, формуючи з нього гранули практично ідеальної сферичної форми. Дане грануляційне обладнання використовується для таких галузей, як:

1. хімічна промисловість;
2. фармацевтика і харчова промисловість;
3. виробництво косметики, барвників;
4. виробництво керамічних виробів.

Сферонізаторам властиві такі характеристики:

1. здатність виробляти гранули діаметром 0.5 ~ 2.0 мм;
2. здатність обробляти сухий та вологий матеріал з метою виробництва однорідних гранул в формі кульок;
3. простота в експлуатації і ефективність.

Екструзія-сферонізація є багатоступеневим процесом, що включає сухе змішування, гранулювання, екструзію, сферонізацію, сушіння та просіювання. Існує два основні процеси сферонізації, так звані вологий і сухий, для сферонізації завантажується сухий матеріал або вологий вихідний матеріал, який потім обробляється за допомогою обертового відцентрового диска, повітрорудки і пневматичного сопла, в результаті чого виходять сухі гранули сферичної форми.

2. Технічна характеристика сферонізаторів

Технічна характеристика несе в собі інформацію про апарат. Саме за цими показниками проводиться порівняння зразка з подібними йому та для наступного вибору і обґрунтування обраного варіанту. Розглянемо основні технічні характеристики сферонізаторів різних типів:

– сферонізатор QZL (Виробник Росія)

Таблиця 2.1.

Спецификации	QZL-230	QZL-400	QZL-700	QZL-1000
Потужність (кВт)	0.75	2.2	3.7	5.5
Виробнича потужність (л/г)	10 - 30	40 - 120	200 - 600	500 - 1500

– сферонізатор JW (Виробник Росія)

Таблиця 2.2.

Специфікації	Продуктивність (кг/год)	Діаметр гранул (мм)	Потужність (кВт)	Габарити (мм)
5	3-5	0.6-3.5	4.2	900*680*1100
10	5-10	0.6-3.5	8.6	1550*950*1350
30	10-30	0.6-3.5	17	1850*950*1400

– сферонізатор JZL (Виробник Росія)

Таблиця 2.3.

Модель	JZL60	JZL130
Дистанція між двома шнеками (мм)	60	130
Продуктивність вологого матеріала (кг)	20 - 50	20 - 350
Размір готового продукту (мм)	Φ 0.5 - Φ 3	Φ 0.5 - Φ 3
Швидкість екструзійних стержнів (об/хв)	15 -16 безступінчастий	35, 47, 60
Двигун (кВт)	1.5	5.5
Вага (кг)	300	500
External Dimension (Д × Ш × В) (мм)	890 × 650 × 1460	900 × 660 × 1530

– сферонізатор BEXROLLER BR300 (Виробник Білорусь)

Таблиця 2.4.

Модель	Потужність, кВт	Кількість, прибл., дм ³ *
BR150	0,55	0,1-0,4
BR300	1,5	0,3-2,5
BR450	1,5	2-9
BR600	3,0	7-23
BR900	5,5	20-70

– сферонізатор модель 15 SPHERONIZER G.B.Caveva LTD (Англія)



Рис. 2.1 SPHERONIZER G.B.Caveva LTD.

Таблиця 2.5.

Завантаженість	Потужність, кВт	Продуктивність, кг/год
250гр. – 5 кг	2,2	50

Основні показники сферонізаторів різних типів наведено також в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6.

Діаметр робочої камери	Потужність (кВт)	Продуктивність (кг / год)
Ø230 (СJM-23) (Росія)	0.75	10 ~ 100
Ø400 (JCD-40) (Росія)	2.2	20 ~ 150
Ø700 (СJM-70) (Росія)	3.7	30 ~ 200
Ø1000 (JCD-100)(Росія)	5.5	40 ~ 300

3. Опис конструкції сферонізатора

Сферонізатор широко застосовується при гранулюванні сферичних частин і гранул [1].

Використання сферонізатора складається з чотирьох основних етапів:

1. формування сухої маси (грануляція);
2. формування сухої маси в циліндри (екструдер);
3. розпад екструдата і формування фрагментів в сфери (сферонізатор);
4. сушка гранул.

Виробництво гранул з використанням сферонізатора починається з змішування і сухого перемішування інгредієнтів.

Екструдер, що має певні розміри матриці, виробляє екструдати.

Потім екструдати подаються в сферонізатор, який формує їх в сфероїди (кульки) з однаковим розміром і бажаними характеристиками потоку.

Гранули проходять подальшу обробку для формування капсул або таблеток.



Рис. 3.1. Екструдер - сферонізатор

Зазвичай процес екструзії сприяє ущільненню сухої суміші до точки насичення.

Беремо до уваги, що сферонізація є в основному формуючою операцією, яка підтримує гідротекстурний стан.

3.1 Екструдер - сферонізатор

Як видно з Рисунка 3.2, екструдер сферонізатор є збіркою з різних частин і компонентів. Очевидно, що кожна деталь і компонент виконують різні функції, про що описується нижче.

					<i>ЛП71.101156.01-70ПЗ</i>	Арк
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

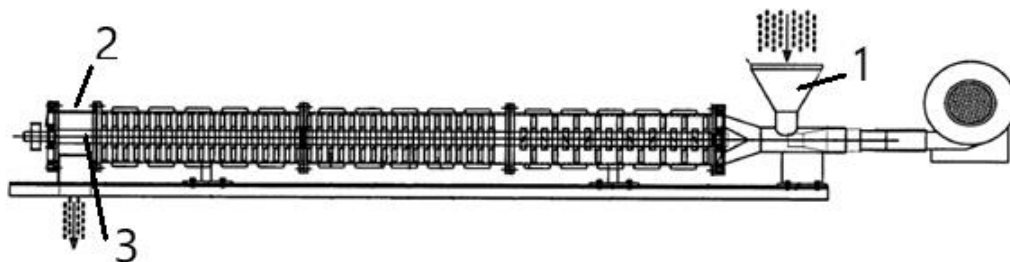


Рис. 3.2. Екструдер – сферонізатор машина

1 – завантажувальна воронка, 2 – робочий простір, 3 – обмежений отвір.

Перейдемо до опису основних частин екструдера:

1. Завантажувальна воронка представляє собою бункер конічної форми в який подається сировина та доставляє інгредієнти в робочій простір. Переважно, розташування бункера знаходиться над столом, і частина шнека присутня на нижньому кінці бункера. Швидкість шнека, площа поперечного перерізу матриці і характеристики потоку матеріалу визначають спосіб регулювання швидкості подачі.

2. Робочий простір з гвинтовим шнеком являє собою порожній циліндричний сталевий корпус з гвинтовим шнеком, який пропускає завантажені матеріали через завантажувальний бункер. У більшості випадків стовбур складається з блоку подачі, блоку стиснення і дозатора [1].

Стиснення інгредієнтів всередині циліндра перетворює їх в однорідну масу перед входом в фільтеру. Для досягнення зсуву і стиснення в циліндрі з постійним діаметром необхідно зменшити крок гвинта або використовувати конічний гвинт. Дозуючий пристрій дозволяє рівномірно змішувати стислу масу шляхом додавання рівномірного тиску.

3. Обмежений отвір, що знаходиться в нижній частині стовбура, формує необхідну форму поперечного перерізу для екструдованого продукту. Після

виходу з дозуючого пристрою циліндра змішана маса відчуває падіння тиску при вході в фільтеру.

Матриця може мати один отвір або кілька отворів. Для отримання екструдованого продукту хорошої якості важливо використовувати матрицю без дефектів і подряпин.

3.2 Сферонізатор

Тепер опишемо основні частини сферонізатора у складі машини Екструдер-Сферонізатор [1, 2].

Сферонізатор складається з трьох основних частин:

1. кругова фрикційна пластина;
2. вертикальний циліндр, що має випускний порт;
3. привід змінної швидкості, який повертає пластину.

На Рисунку 3.3 нижче деталі і вузли сферонізатора.

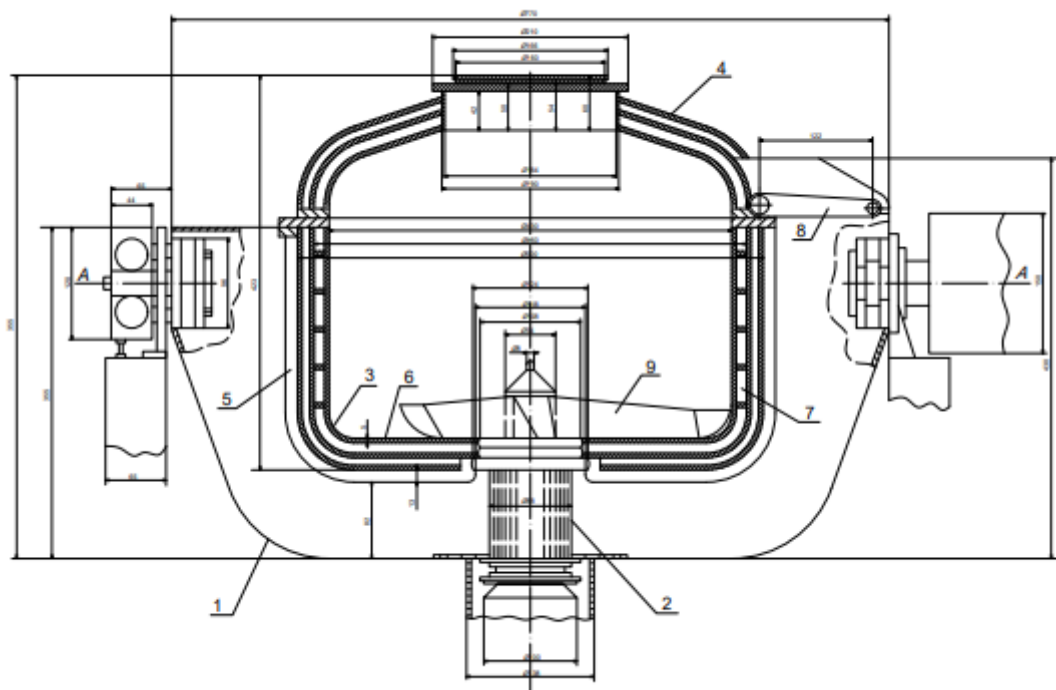


Рис. 3.3. Сферонізатор

А-А – вісь, 1 – апарат (пристрій), 2 – обертовий шпиндель,
3 – посудина, 4 – кришка, 5 – водна куртка, 6 – фрикційна пластина, 7 – повітряні
простори, 8 – важіль, 9 – лезо.

Базова машина сферонізатора має круглий диск з обертовим приводним валом. Він обертається з високою швидкістю біля основи нерухомою циліндричної чаші.

Фрикційна плита – це основна частина сферонізатора з рифленою поверхнею для посилення сили тертя. Форма фрикційної пластини, яка використовується при сферонізації екструдатів, впливає на властивості гранул.

Скребок – це компонент сферонізатора призначений для операції очищення частинок пилу від стінки чаші і фрикційної пластини.

Водна куртка – це камера сферонізації. Вона має водяну сорочку, що полегшує охолодження обладнання.

Впливи різних аспектів гранулювання або змішування можуть бути недооцінені. В більшості випадків змішування може мати незначний вплив на процес сферонізації. Звичайно, це також може відноситися до результату кінцевого продукту. При проведенні розробок бажано підтримувати постійні параметри грануляції / змішування.

Екструзія є важливим процесом для підготовки частинок, які вступають в процес сферонізації. Діаметр екструдата, що наноситься під час процесу сферонізації, визначає кінцевий розмір гранул.

Наприклад, щоб отримати сфери діаметром близько 1 мм, треба використовувати фільтру 1 мм на екструдері (Рис. 3.4). Проте, рекомендується використовувати фільтри з отворами трохи більшого діаметра, щоб компенсувати усадку після сушки.



Рис. 3.4. Фільєра.

У сферонізаторі зручно виготовляти сфери, що мають діаметр приблизно 0,4 – 10 мм.

					ЛП71.101156.01-70ПЗ	Адк
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3. Процес сферонізації

Важливо з'ясувати, де саме починається процес сферонізації (Рис. 3.5).

Він починається з додавання екструдатів в сферонізатор, які падають на обертову пластину (Рис. 3.5а). При ранній взаємодії фрикційної пластини з циліндричними гранулами екструдату за рахунок виникнення згинальних і розтягуючих напружень, виникає руйнування довгих циліндричних гранул екструдату на підфрагменти, довжина яких сягає від 1 до 1,2 рази їх діаметра (Рис. 3.5б). Ці фрагменти потім стикаються зі стінкою чаші, яка в свою чергу відкидає їх назад в середину фрикційної пластини. Відцентрова сила виштовхує матеріали назовні диска.

Ці циліндричні фрагменти поступово округлюються, натикаючись один на одного, стінку чаші і тарілку. Через стінку чаші розвивається безперервне зіткнення частинок зі стінкою чаші і виштовхування назад всередину фрикційної пластини (Рис. 3.5в). Зазвичай, це зіткнення буде поступово перетворювати циліндричні фрагменти в сфери. Звичайно, це буде відбуватися до тих пір, поки гранули досить пластичні, щоб полегшити деформацію без руйнування. Важливо, що для формування оптимальної сферонізації необхідний безперервний рух.

По ходу процесу форма фрагментів постійно змінюється і, коли вони досягли необхідної форми (Рис. 3.5г), видаляються сфероїди. Коли сегменти досягають необхідної сферичної форми, камера сферонізації відкриває свій випускний клапан. У зв'язку з цим здійснюється можливість отримати вузький розподіл часток за діаметром.

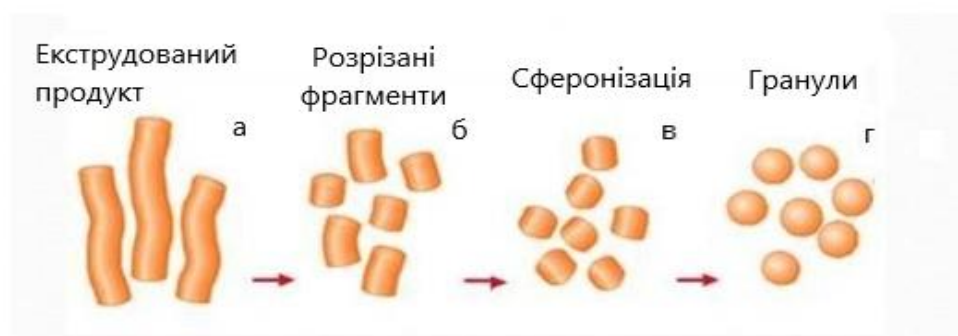


Рис. 3.5 Процес сферонізації.

4. Патентно-літературний огляд

Під час дипломної практики з метою визначення можливих варіантів покращення конструкції було проведено патентний огляд.

У статті [3] досліджується процес сферонізації екструзії, який є однією з найбільш часто використовуваних технік у формуванні таких багатошарових кульок та гранул, що забезпечують поступове та контрольоване вивільнення або модифіковане вивільнення хімічних засобів.

У цьому огляді викладено різні етапи, що беруть участь у процесі сферонізації екструзії (Рис. 4.1), допоміжні речовини, що використовуються в такій рецептурі разом з деякими модифікаціями та різними змінними обробками, що впливають на якість і утворюють гранули. Процеси, які розглядаються в данній статті, можуть бути використані для опису взаємодії частинок в сферонізаторі, а також в псевдозріджених шарах.

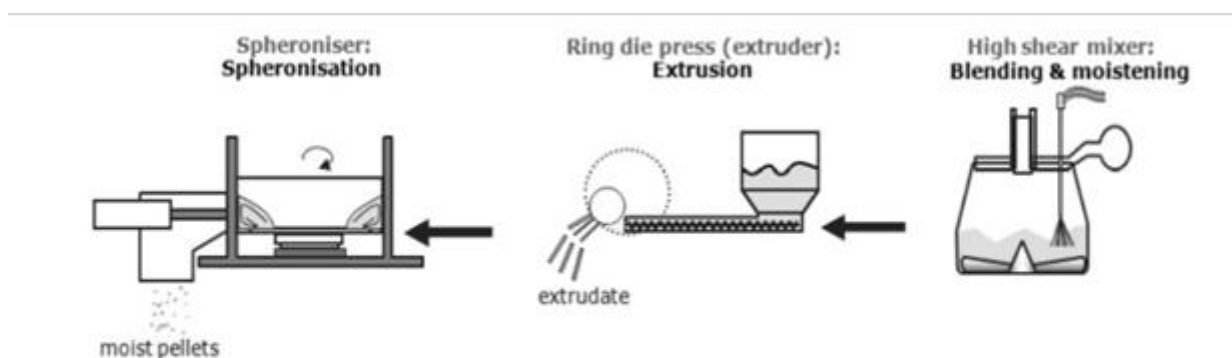


Рис. 4.1 Етапи процесу сферонізації екструзії [3].

У оглядовій статті [4] розглядаються різні методи гранулювання, що застосовуються у хімічній промисловості для виробництва сфероїдальних частинок, які можуть бути додатково сформовані в декількох різних формах, таких як таблетки, капсули. В цій статті використовується техніка – “Екструзійна сферонізація” (Рис. 4.2).

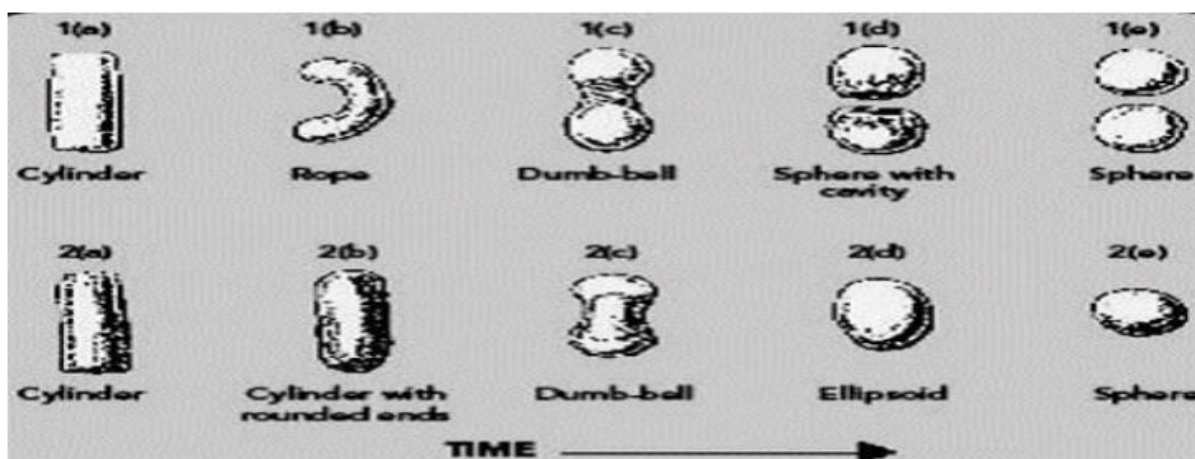


Рис. 4.2 Механізм утворення гранул шляхом екструзійної сферонізації [4].

Автори статті [5] розглядають екструзію-сферонізацію як процес гранулювання для виготовлення гранул, які піддаються негайному та контрольованому випуску препаратів.

Встановлені механізми враховують лише деформацію руйнованих частинок, але не враховують перенесення маси між частинками, як фактор досягнення сферичних частинок. Більше того, це очевидно, що існують регіональні відмінності в обсязі масообміну в поверхні частинок. Тому загальноприхильним є те, що механізми гранулювання повинні бути розширені з урахуванням розподілу матеріалу між частинками гранул, чого не було розглянуто раніше.

У статті [6] розглядаються багаточасткові кулясті форми, де присутня діюча речовина у вигляді ряду малих незалежних субодиниць. Гранули визначаються як сферичні або напівсферичні, сипучі тверді одиниці з вузькими розмірами та діаметром від 0,5-1,5 мм. Грануляція – це збільшення розміру або агрегація, тобто процес, який перетворює дрібні порошки або частинки сипучих препаратів та допоміжних речовин у гранули. Даний огляд окреслює переваги та недоліки пелет, необхідність гранулювання, формування та механізм росту гранул і техніку гранулювання (Рис. 4.3).

У статті йдеться про фактори, що впливають на техніку гранулювання, а також висвітлена їх характеристика та застосування.

					ЛП71.101156.01-70ПЗ	Адк
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

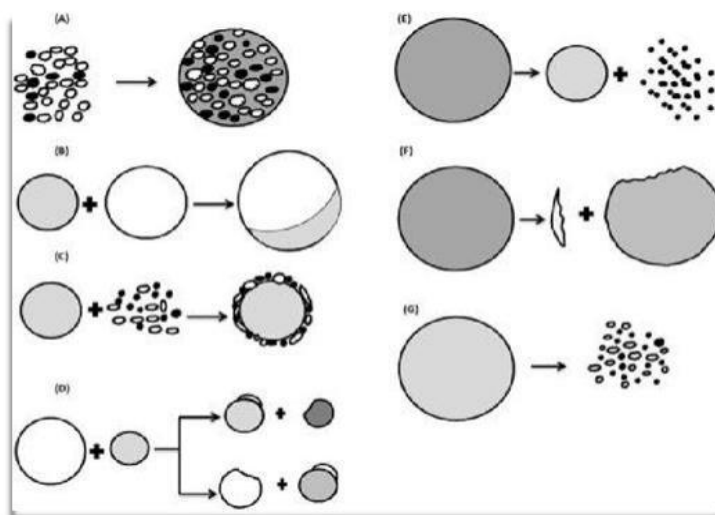


Рис. 4.3 Механізм утворення та росту гранул [6].

У цьому огляді статті [7] подано короткий опис усіх важливих методів із особливим посиленням на екструзію-сферонізацію (Рис. 4.4). Екструзія-сферонізація є багатоступеневим процесом, що включає сухе змішування, вологе гранулювання, екструзію, сферонізацію, сушіння та просіювання; тоді як нашарування розчину або суспензії передбачає нанесення послідовних шарів суспензії на гранули, які можуть бути як інертним матеріалом, так і гранулами того самого препарату.

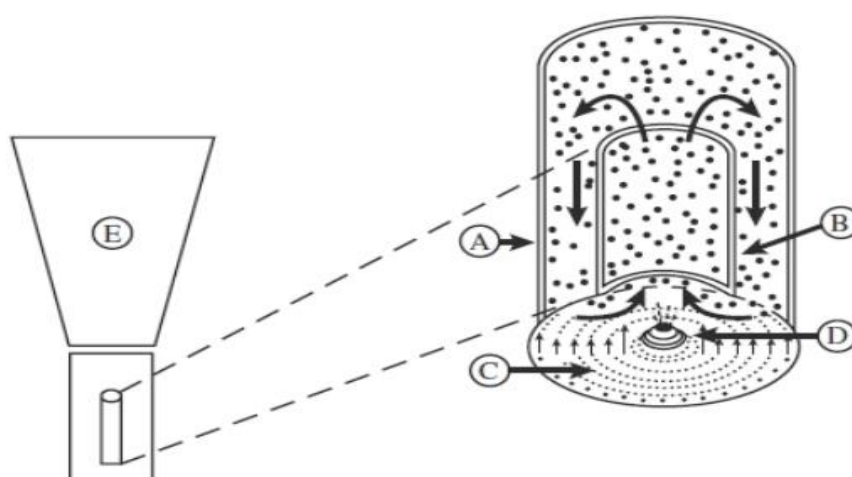


Рис. 4.4 Схематичне зображення камери та процесу екструзії – сферонізації
(А) Робоча камера, (В) Перегородка, (С) Діафрагма, (D) Насадка та (Е)
Розширювальна камера [7].

У статті [8] йде опис роботи хімічного процесу, де гранули можна визначити як агломерати дрібних порошків або гранули сипучих препаратів та допоміжних речовин (Рис. 4.5). Вони складаються з невеликих, сипучих, сферичних або напівсферичних твердих одиниць, як правило приблизно від 0,5 мм до 1,5 мм, і призначені, зазвичай, для введення.

Гранульовані продукти можуть підвищити безпеку та ефективність активного агента. Ці багаторазові одиниці, зазвичай, формулюються у вигляді суспензій, капсул або таблеток, що розпадаються, демонструючи ряд переваг перед дозованою системою.

Відмова декількох одиниць може бути не такою наслідковою, як відмова одиничної системи. Це очевидно у продовженому випуску одиничної хімічної форми, що може призвести до відмови дозування препарату.

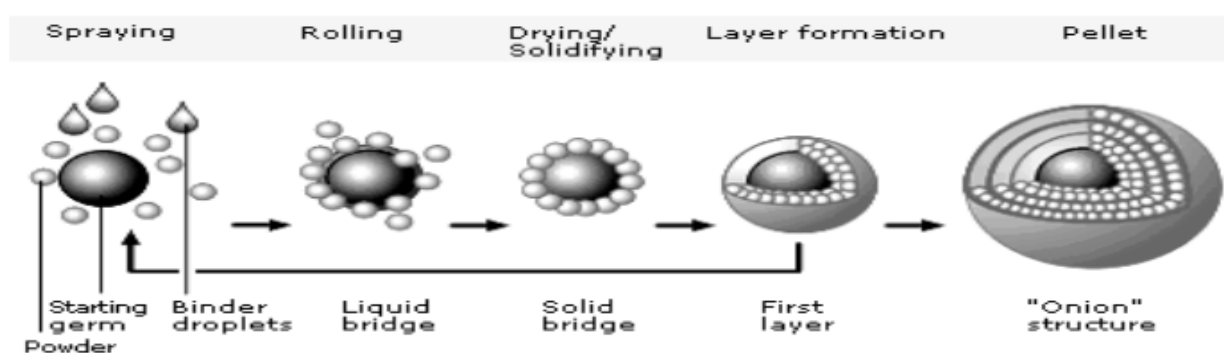


Рис. 4.5 Принцип розсипу порошку гранул як агломератів [8].

У статті [9] описаний вплив форми частинок на проаналізовану динаміку частинок у процесі сферонізації (Рис. 4.6). Для калібрування описаної моделі необхідні параметри матеріалу визначалися шляхом стиснення та випробування на удар сферонізованих гранул. Різні етапи деформації моделювались за допомогою багатосфериних підходів. Моделювання надає інформацію про ймовірність проживання та режим потоку різних фігурних частинок. Більше того, були обстежені вплив на зіткнення, тобто швидкість та сила зіткнень з фрикційною пластиною.

Параметр, отриманий на мікрошкалі є основою для опису загального округлення в сферонізаторі.

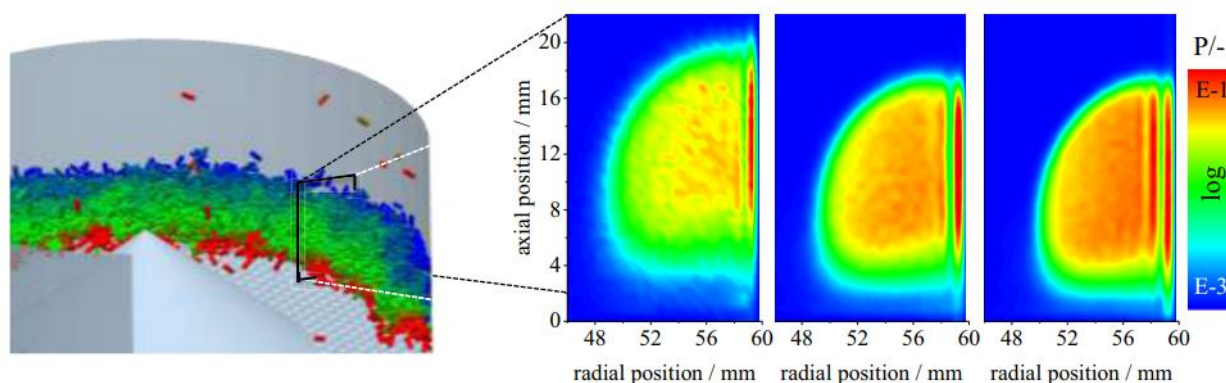


Рис. 4.6 Динаміка частинок у процесі сферонізації [9].

У статті [10] розглянуто методи виробництва пелет за допомогою сферонізатора QJ-400TG Marumerizer (LCI Corporation, США), при якому сушка пелет, отриманих на стадії сферонізації, в залежності від продукту може бути реалізована на різних сушилках – від поличних до псевдозріджених, в результаті чого пелети забезпечують високу гнучкість при проектуванні і розробці різних форм. Пелети можуть бути розділені на бажані дози без зміни складу і технології виробництва, а також можуть бути змішані з іншими пелетами для доставки несумісних активних інгредієнтів одночасно.

Перша частина дисертації [11] стосувалася впливу дрібних фракцій на процес сферонізації. Можливо візуалізувати агрегацію цих дрібних частинок під час сферонізації відносно тривалості сферонізації та розташування на поверхні гранул (Рис. 4.7).

Для кількісної оцінки цих агрегаційних експериментів проводили різну грануляцію, допоміжні засоби, різні активні фармацевтичні інгредієнти та за різних параметрів процесу. А новий метод опису кількості маси дрібною фракцією, дав змогу визначити передавальну частку маси.

Вплив цього масообміну на сферонізацію систематично оцінювали протягом трьох різних допоміжних засобів для сферонізації та для різної тривалості сферонізації. Тоді як сферонізація призвела до сферичних гранул

для всіх трьох речовин, фактична роль яких агломерація відрізнялася від мікрокристалічної целюлози до мікрокристалічної целюлози до к-карагенану.

Кінематику частинок під час сферонізації можна проаналізувати щодо шести процесів – це параметри у факторіальному дизайні експерименту. Результати показали вплив вмісту води, завантаження сферонізатора та тривалість сферонізації на швидкості частинок, тоді як загальна тороподібна форма шару частинок була видимою для всіх комбінацій параметрів.

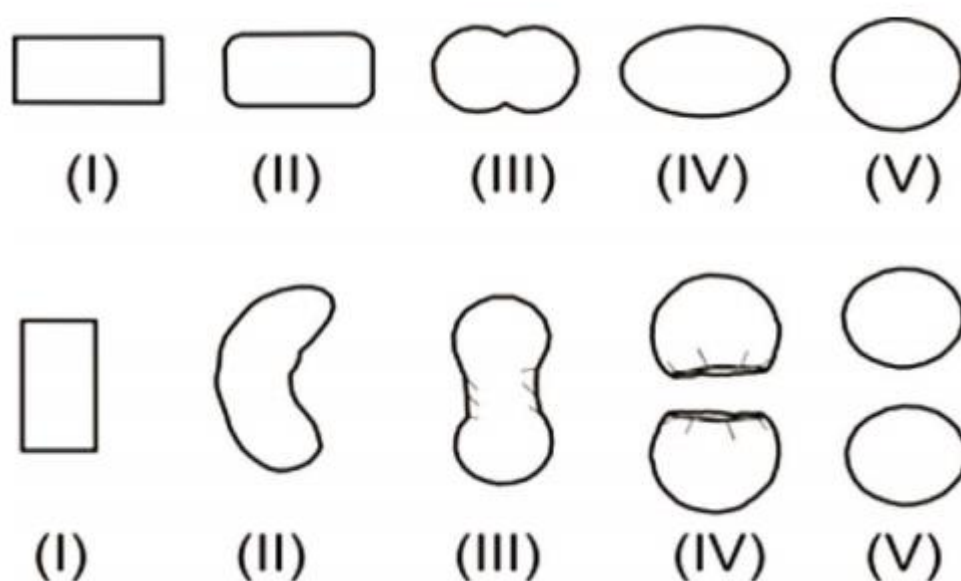


Рис. 4.7 Різні механізми гранулювання (верхній ряд: I, циліндр; II, закруглені краї; III, німий дзвоник; IV, еліпс; V, сфера) [11].

У дисертації [12] було виявлено, що розмір гранул пов'язаний з часом сферонізації (Рис. 4.8). Збільшений час сферонізації призвів до отримання гранул з вужчим розподілом за розмірами, вищої форми округлості, меншої розсипчастості, більш гладкої поверхні, зменшення об'єму пор.

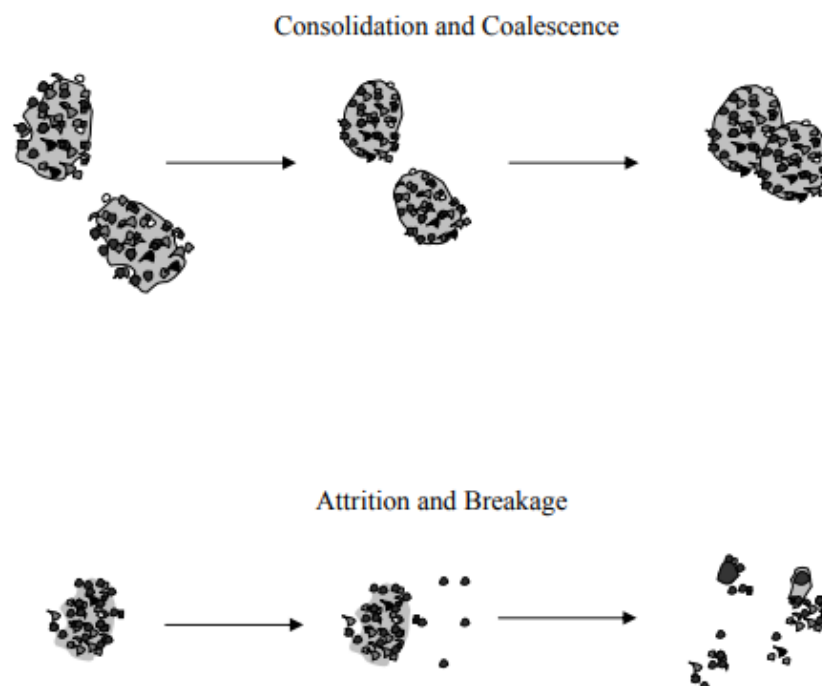


Рис. 4.8 Схема процесу агломерації - альтернативний підхід [12].

Гранули сферичної форми виробляються за допомогою представленого авторами патенту [13] нового апарату сферонізації в процесі безперервної сферонізації розплаву, в якому активний хімічний агент змішується з різними допоміжними речовинами, подається в екструдер, розрізається і згодом подається до нового сферонізатора для постійного отримання однорідних сферичних гранул у формі (Рис. 4.9). Гранули можуть мати додаткове покриття таким чином, щоб забезпечити різні характеристики модифікованого вивільнення.

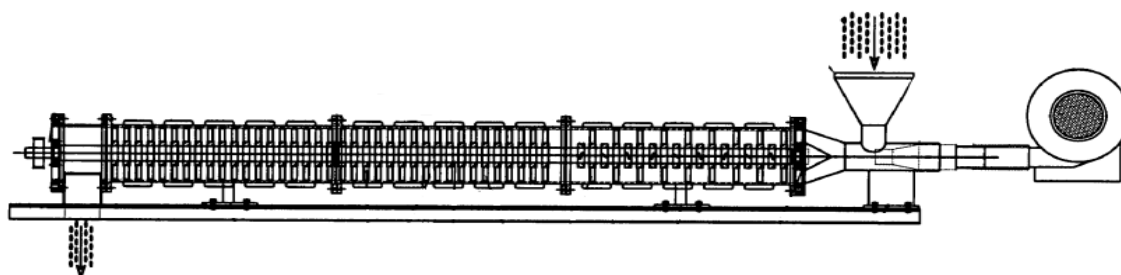


Рис. 4.9 Апарат сферонізації [13].

Авторами патенту [14] представлені сферичні гранули, що містять активний агент і були успішно виготовлені за допомогою екструзії / сферонізації методом термоплавлення. Бісер, оброблений цією новою технікою, порівнювали з бісером, виготовленим шляхом традиційного гранулювання / сферонізації вологої маси. Екструдовані сферичні гранули, що розплавляються, виготовляли спочатку нарізанням тонкого екструдованого стрижня на майже симетричні гранули. Потім ці гранули сферонізували в традиційному сферонізаторі при підвищеній температурі. Незважаючи на те, що рецептури були ідентичними для бісеру, обробленого обома методами, кульки демонстрували суттєво різні шаблони вивільнення. Гранули з вологою масою вивільняють активний агент швидше, ніж екструдовані кульки, що розплавляються. Незалежно від розчинності термоформованої композиції, що містить гранули, екструдовані кульки, що розплавляються, демонстрували більший контроль вивільнення активного агента, ніж гранули з вологою масою. Різниця в матрицях бісеру ілюструється скануючою електронною мікроскопією (Рис. 4.10). Крім того, головки, оброблені цією новою технікою, мають більш вузький розподіл частинок за розміром. Нова техніка екструзії / сферонізації термоплавкою може утворювати сферичні частинки без додавання води або інших розчинників.

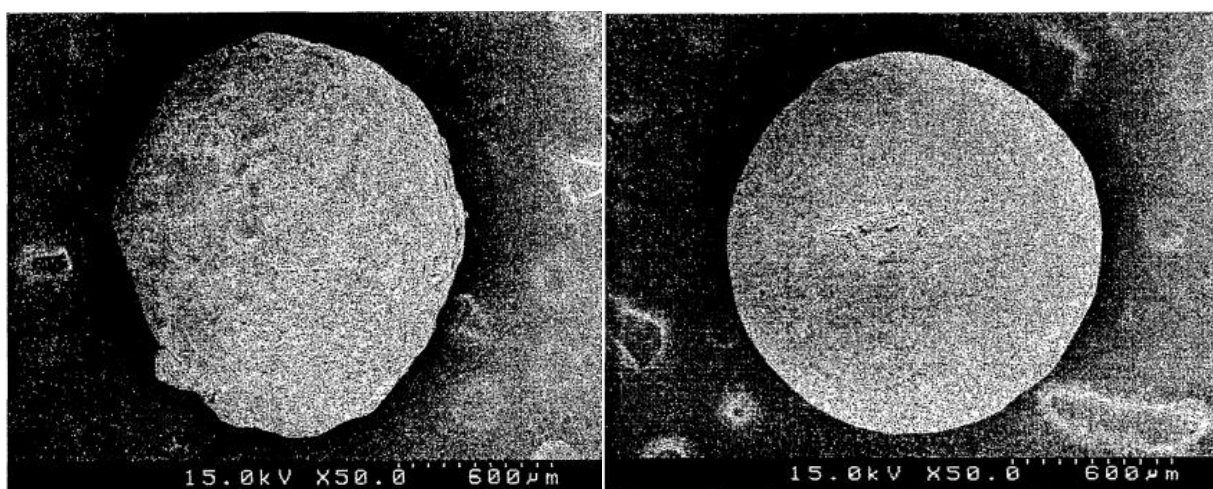


Рис. 4.10 Різниця в матрицях бісеру ілюструється скануючою електронною мікроскопією [14].

Авторами патенту [15] представлено пакетні системи для виробництва препаратів. Кожна система складається з двошнекового LCI Radial Extruder® (екструдер) Модель EXDS-100 та Marumerizer® (марумезатор, сферонізатор) Модель QJ-700. Спочатку продукти гранують за допомогою змішувача, вручну передається до лікарського гранулятора, де суху грануляційну суміш екструдують, сферонізують, потім переносять у приймальний горщик нагрівача з псевдозрідженим шаром. Гранули сушать і наносять покриття для подальшої інкапсуляції.

Інтеграція нового LCI безперервного гранулювання значно покращила якість пелет, вирішивши кілька ключових питань.

- Знижений рівень втручання оператора та мінливість.
- Більша пропускна здатність виробництва завдяки постійній обробці.
- Вироблені екструдати є більш стабільними завдяки безперервній та регульованій подачі за допомогою Circle Feeder (Рис. 4.11).



Рис. 4.11 Система Circle Feeder [15].

Винахід [16] Інтегрований екструдер-сферонізатор – це машина для виготовлення гранул Pharma, при цьому виробництво однієї партії займає 3-6 хвилин, тому кількість отриманих партій складає 10-12 за годину (продуктивність кг / год).

В інтегрованому екструдері-сферонізаторі із збірного ковша матеріал потрапляє на клітчасту пластину барабана сферонізатора, де він обертається з певною швидкістю, і завдяки відцентровій силі екструзії перетворюється на гранули через пневматичне відкривання дверей.

					ЛП71.101156.01-70ПЗ	Арк
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Система гранулювання забезпечує різні конструкції екструзії, такі як шнекова екструзія, радіальна екструзія, конусна екструзія, куполна екструзія, екструзія кошика, штампувальна екструзія або екструдер змішувача, що встановлюються поверх системи подвійної сферонізації.

В патенті [17] пропонується встановити дві перфоровані труби у порожнині валу: одну для відведення, а іншу для підведення охолоджувальної рідини по всій довжині порожнини черв'яка, тим самим забезпечивши своєчасне усунення відпрацьованої підігрітої рідини від поверхні (Рис. 4.12.1). Також пропонується додати повздовжні шліци на поверхні порожнини валу, у яких розміщується зазначений наповнювач, що підвищує його процес охолодження; виконання в заповнювачі розривів по довжині шліців значно зменшить теплообмін черв'яка (Рис. 4.12.2).

Це конструктивне рішення дозволяє усунути суттєві проблеми з охолодженням черв'яка та допомагає підвищити її інтенсивність, рівномірність та ефективність.

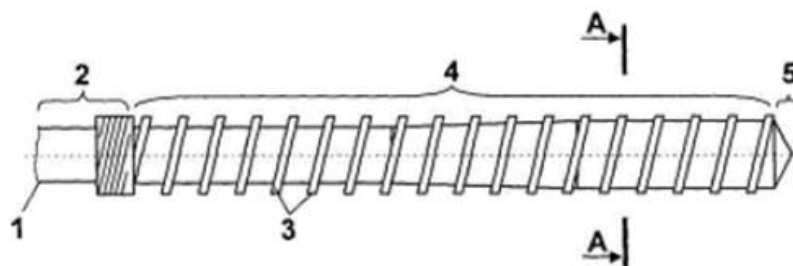


Рис. 4.12.1 Загальний вигляд черв'яка [17].

1 – порожнистий вал, 2 – хвостовик, 3 – гвинтова нарізка, 4 – ділянка, 5 – наконечник

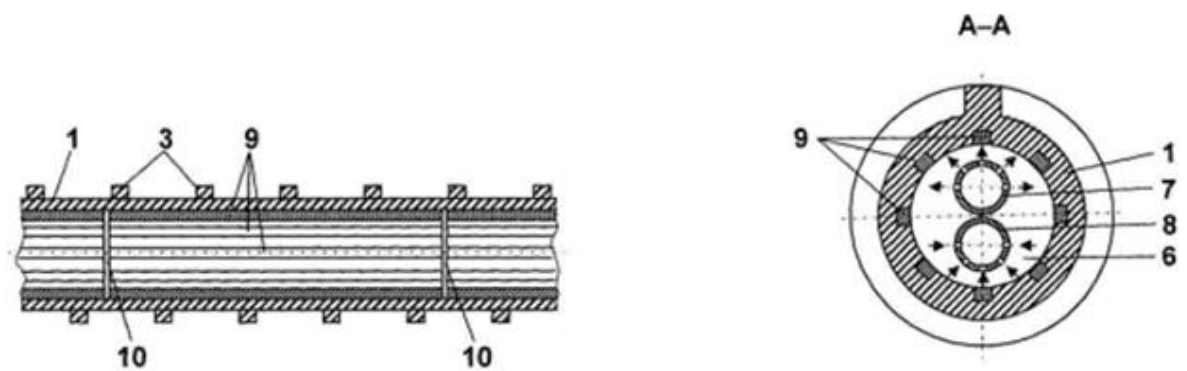


Рис. 4.12.2 Повздовжній розтин черв'яка [17].

1 – порожнистий вал, 3 – гвинтова нарізка, 6 – порожнина, 7 – труба для підведення, 8 – труба для відведення, 9 – заповнювач, 10 – розриви.

Авторами патенту [18] було запропоновано таке конструктивне рішення (Рис.4.13), що розглядає можливість модернізації черв'ячного екструдера за допомогою проектування нового секційного черв'яка, яке дозволить розвантажити найбільш навантажені хвостові частини черв'яка, тим самим забезпечивши стабільними умовами переробки вторинної полімерної сировини з високою якістю за допомогою надання можливості зміни швидкості обертання обох секцій черв'яка. Виконання цього вдосконалення досягається тим, що в черв'ячному екструдері, який складається з порожнистого корпусу із завантажувальними та розвантажувальними отворами і розміщеному у ньому черв'яка з можливістю обертання, у якого присутній вузол опорного підшипника, що виконаний по довжині двох секцій. Особливою відмінністю є те що секція черв'яка з боку розвантажувального отвору оснащена приводом обертання.

За допомогою розвантаження самої навантаженої в звичайній конструкції хвостової частини черв'ячної машини шляхом забезпечення передачі осьових зусиль та обертових моментів на кожен секцію окремо досягається значне покращення експлуатаційних характеристик. Ця модернізація дозволяє екструдерам перероблювати термопласти низької насипної густини.

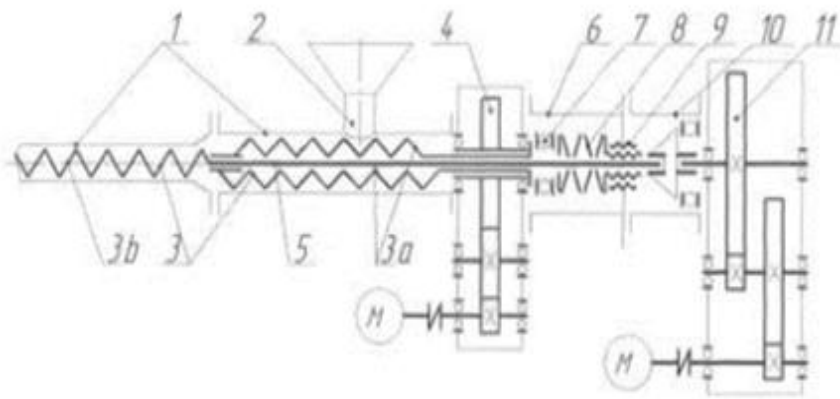


Рис. 4.13 Кінематична схема двох секційного черв'ячного екструдера [18].
1 – порожнистий корпус, 2 – завантажувальна горловина, 3 – двосекційний черв'як, 3а – перша секція, 3б – друга секція, 4 – незалежний привід, 5 – хвостовик, 6 – осьові зусилля, 7 – незалежний опорний підшипник, 8 – пружний елемент, 9 – пристрій регулювання жорсткості, 10 – опорний підшипник, 11 – привід.

В патенті [19] для вдосконалення даної моделі було вирішено змінити наконечник таким чином, щоб він забезпечував ефективне згладжування пульсацій потоку розплаву в широкому діапазоні, тим самим досягаючи отримання більш якісної продукції зі стабільними формами та розмірами.

При послідовному розміщенню пружного елемента між поршнем та дном осьового отвору вала (Рис. 4.14.2), за рахунок плавного перетікання в'язкої рідини крізь дросельну шайбу під час раптової зміни тиску зі сторони розплаву на наконечник черв'яка спочатку пружно zdeформується пружний елемент, а лише потім буде “деформуватися” ділянка отвору валу з поршнем. Якщо ж розташувати пружний елемент між наконечником і дросельною шайбою (Рис. 4.14.3), то деформація пружного елемента дорівнює деформації її в'язкого елемента. Можна стверджувати, що запропоновані модернізації черв'яка ефективно зменшують будь-які коливання витрати розплаву на вході екструзійної головки, і як наслідок отримання більш якісної продукції.

Основна перевага цієї ідеї у тому, що ця модель (Рис.4.14.1) не складна для виробництва, а застосування дає багато переваг для роботи екструдерами.

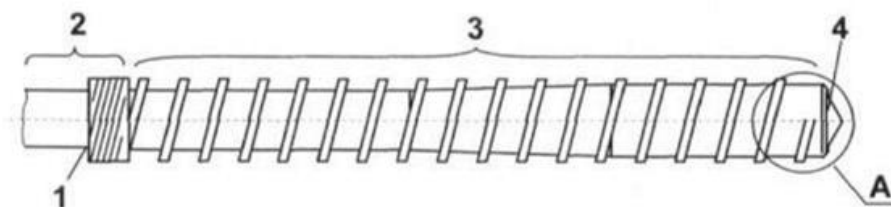


Рис. 4.14.1 Загальний вигляд черв'яка [19].

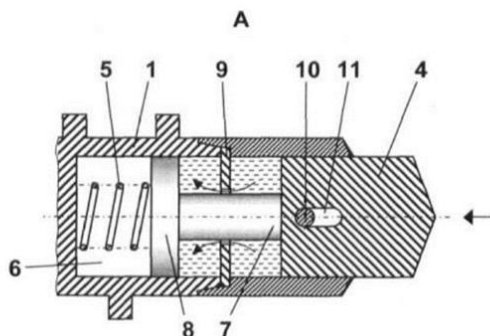


Рис. 4.14.2 Виносний елемент з рис. 4.14.1, приклад розташування пружного елемента між поршнем та дном осьового отвору валу.

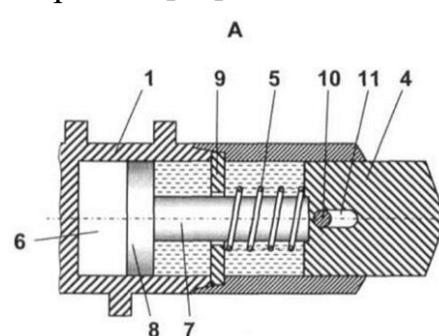


Рис. 4.14.3 Виносний елемент з рис. 4.14.1 приклад розташування пружного елемента між наконечником та дросельною шайбою.

1 – вал, 2 – хвостовик, 3 – робоча зона, 4 – головка, 5 – пружина стиснення, 6 – осьовий отвір, 7 – шток, 8 – поршень, 9 – нерухома дросельна шайба, 10 – штифт, 11 – овальний отвір [19].

Авторами патенту [20] запропонована модернізація шнекового екструдера (Рис.4.15) для поліпшення виробничої продуктивності за допомогою підшипникового вузла, який з'єднаний підшипниками зі шнеком та розташований в корпусі екструдера. Також цей вузол забезпечений завантажувальним патрубком.

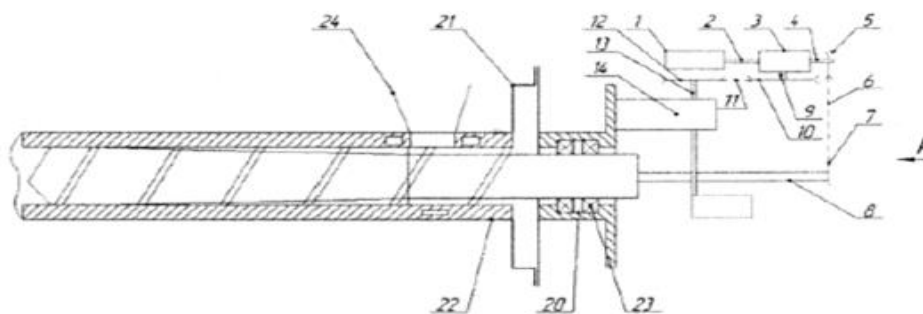


Рис. 4.15 Шнековий екструдер [20].

1 – мотор, 2 – вал, 3, 9 – конічні редуктори, 4 – перший вихідний вал, 5, 7, 10 – колеса, 6, 11 – гнучкі елементи, 8 – шнек, 13 – вхідний вал, 14 – розгалужувач редуктора, 15, 16 і 17 – шестерні, 18 і 19 – дисбаланси, 20 – підшипниковий вузол, 21 – пластинчаста пружина, 22 – корпус екструдера, 23 – підшипники, 24 – завантажувальний патрубок.

Авторами патенту [21] запропонований екструдер (Рис.4.16), що інтенсифікує процес підігріву та підсушування сировини за рахунок повторного використання теплової енергії; скорочує процес сушіння за рахунок збільшення температури підігріву повітря; покращує якість виробів за рахунок точності і надійності терморегулювання процесу виробництва та підвищення механічних властивостей готового продукту за рахунок якісного змішування розплаву в процесі теплообміну.

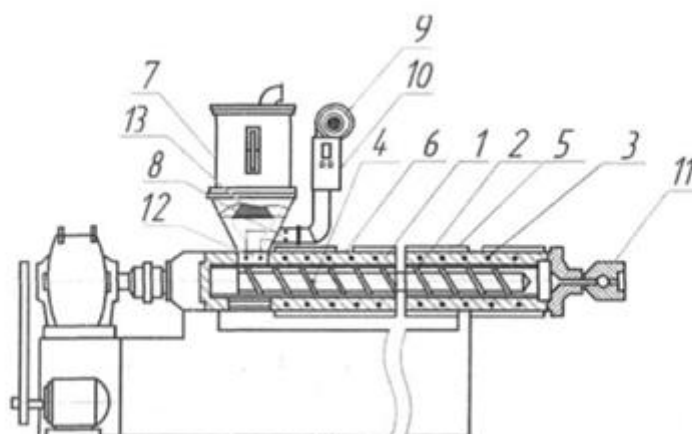


Рис. 4.16 Одношнековий екструдер для виробництва полімерних полімерних матеріалів з теплообмінним пристроєм [21].

1 – матеріальний циліндр, 2 – робоча камера, 3 – теплообмінний пристрій, 4 – шнек, 5 – електронагрівачі, 6 – теплоізоляційний кожух, 7 – завантажувальний бункер, 8 – трубопровід, 9 – вентилятор, 10 – система контролю і регулювання, 11 – формуюча головка, 12 – завантажувальний отвір, 13 – сітка екрана.

В патенті [22] представлено черв'ячний екструдер для переробки полімерних матеріалів (Рис. 4.17), в якому підприжинений черв'як розміщено з можливістю переміщення вздовж поздовжньої осі обертання. З метою підвищення якості полімерного матеріалу, що екструдується, та збільшення терміну служби екструдера, в тілі корпусу виконаний паз, в якому розміщена втулка, що з'єднується з черв'яком за рахунок закріпленого на втулці пальця.

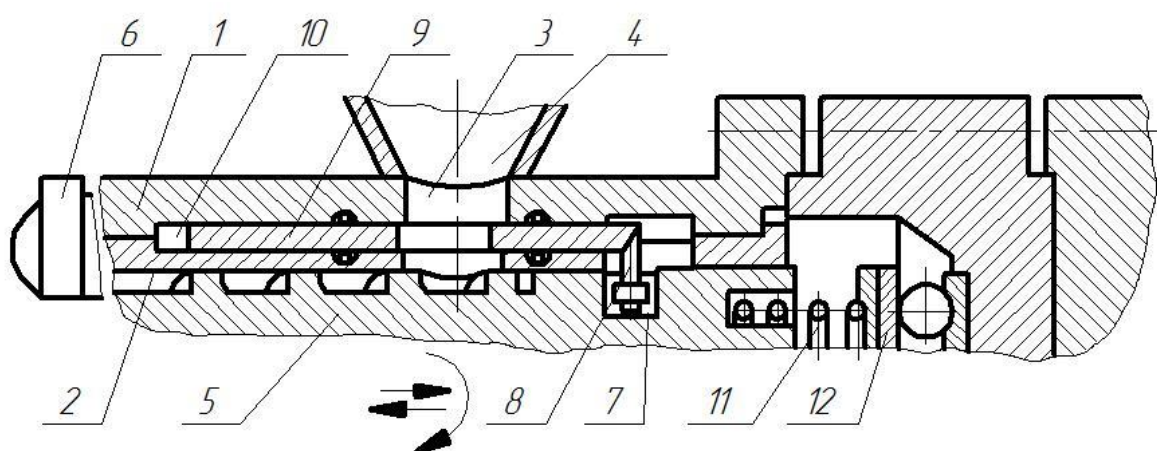


Рис. 4.17 Черв'ячний екструдер для переробки полімерних матеріалів [22].

1 – циліндр, 2 – запресована гільза, 3 – завантажувальний отвір, 4 – завантажувальна лійка, 5 – черв'як, 6 – формуюча головка, 7 – кільцева проточка, 8 – палець, 9 – втулка, 10 – паз, 11 – пружинний пристрій, 12 – упорний підшипник.

5. Охорона праці

Технічним завданням дипломного проектування передбачено дослідження динамічних характеристик гранул на базі сферонізатора.

Незважаючи на велику різноманітність хімічних виробництв, вони мають багато спільного. Існує кілька класифікацій технологічних процесів: за фізико-хімічними властивостями реакційних систем; за агрегатним станом реагуючих речовин; за процесами й апаратами та ін.

Встановлення параметрів процесу та управління здійснюється оператором. Панель управління оператора розташована у виробничому цеху на відстані 3 м від сферонізатора, площа цеху $S = 300\text{м}^2$, $V = 900\text{м}^3$.

Найбільш удаюю щодо гігієнічного відношення є класифікація, відповідно до якої усі технологічні процеси й операції поділяються на наступні етапи [23]:

- 1) підготовчі операції (розмелювання, дозування, змішування, просівання і розділення на фракції сировинних матеріалів, транспортування);
- 2) власне хімічні процеси (окислювання, відновлення, хлорування, нітрація, електрохімічні процеси тощо);
- 3) розділення хімічних компонентів (відгонка, ректифікація, центрифугування, фільтрація, екстракція, кристалізація тощо);
- 4) завершальні операції (сушіння, подрібнювання, розфасовка, пакування і зберігання);
- 5) додаткові операції (відбирання технологічних проб, заміна каталізаторів, профілактичні й аварійні ремонти тощо).

Крім того, технологічні процеси за своїм характером поділяються на періодичні і безперервні. Для більшості сучасних крупнотоннажних виробництв характерні замкнені безперервні цикли, що виключають надходження шкідливих речовин у повітря робочої зони і навколишнє середовище.

					<i>ЛП71.101156.01-70ПЗ</i>	Адк
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Періодичні процеси все ще використовуються у малотоннажних виробництвах. Вони включають розкриття апаратури, завантаження і вивантаження сировини, реакційних мас, напівфабрикатів і кінцевої продукції, а отже, створюють небезпеку надходження шкідливих речовин у повітря виробничих приміщень.

Безперервний процес виробництва є прогресивним і порівняно з періодичним має всі техніко-економічні й гігієнічні переваги: можливість комплексної механізації й автоматизації, різкого скорочення обслуговуючого персоналу, підвищення продуктивності устаткування і якості продукції, що випускається. Особливо важливою є можливість застосування дистанційного управління технологічним процесом і його автоматизації, що значно скорочує контакт працівників зі шкідливими речовинами. Крім того, безперервний процес дає змогу підтримувати в апаратах більш стабільний технологічний режим (температура, тиск), що полегшує збереження герметичності апаратури і зменшує витік шкідливих речовин [23].

Розрізняють низькотемпературні, високотемпературні, некаталітичні, каталітичні, електрохімічні та інші хімічні процеси. У гігієнічному відношенні найбільш несприятливими є процеси, що проводяться під підвищеним атмосферним тиском. За таких умов часто спостерігається виділення шкідливих речовин через нещільності в апаратурі. До подібних негативних наслідків найчастіше призводить і підвищена температура реакційної маси в апаратах. Більш сучасними є хімічні процеси, що проводяться в апаратурі під тиском, нижчим за атмосферний, чи у вакуумі, а також при низькій температурі.

5.1. Повітря робочої зони

Умови праці на сферонізаторі, що розробляється, і лінії в цілому класифікуються як помірні. Температура повітря в робочій зоні становить 20-23°C в теплу пору року і 18-22°C в холодну пору року, відносна вологість

					<i>ЛП71.101156.01-70ПЗ</i>	Адк
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повітря 40-70%, швидкість повітря 0,3 м/с, ці параметри та вміст шкідливих домішок відповідають вимогам ДСН 3.3.6.042-99 "Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень".

Головним несприятливим виробничим фактором хімічних виробництв у більшості випадків є хімічний фактор, тобто забруднення повітря робочої зони і промислової площадки шкідливими речовинами [24], [25]. На підприємствах органічного синтезу при термічній переробці полімерів виділення шкідливих речовин за умови недотримання гігієнічних вимог можливе на всіх етапах технологічного процесу. Виділення шкідливих речовин спричиняється, в першу чергу, використанням високих температур і тисків, а також негерметичних апаратів і комунікацій. Крім того, частими причинами забруднення повітря робочої зони шкідливими речовинами є порушення технологічного режиму, розгерметизація ємкостей для відбирання технологічних проб, прориви комунікацій та інші аварійні ситуації [23].

У момент відбирання технологічних проб концентрація шкідливих речовин у повітрі підвищується в багато разів. Щоб уникнути цього, останнім часом розробляються і на багатьох підприємствах уже впроваджені засоби автоматичного контролю за фізико-хімічним станом реакційних мас.

Із гігієнічної точки зору значної уваги заслуговують такі операції, як чищення і ремонт апаратури та проведення аварійних робіт, при яких спостерігається найбільший контакт працівників із різними шкідливими речовинами.

Склад забруднень. Повітря робочої зони найчастіше забруднене багатьма шкідливими речовинами. У повітрі може одночасно міститися багато речовин у різному агрегатному стані - аерозолі, пари, гази, що є початковими, проміжними, кінцевими продуктами, а також сполуки, які утворюються в результаті взаємодії, чи продукти термічного розпаду. Шкідливі речовини, що надходять у повітря, продовжують взаємодіяти, зазнавати окислювання, гідролізу й інших перетворень.

					<i>ЛП71.101156.01-70ПЗ</i>	Адк
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пари і гази, що мають більшу, ніж повітря, відносну густину, накопичуються в нижній зоні, а при вертикальному плануванні приміщень перетікають із верхніх поверхів у нижні.

Недотримання гігієнічних вимог при виконанні підготовчих і заключних етапів технологічного процесу на хімічних заводах призводить до підвищення концентрації пилу в повітрі в десятки разів. Дисперсність пилу, який виділяється, звичайно висока: у його складі переважають пилові частки розміром менше 5 мкм. При цьому вдихуваний пил, який добре сорбує гази і пари шкідливих речовин, служить додатковим джерелом їх надходження в організм. На сучасних хімічних заводах застосовуються радіоактивні речовини у вимірювальній апаратурі і як каталізатори. У хімічних цехах існує значна небезпека виникнення травм, які можуть бути хімічними, термічними, механічними й електричними [23].

5.2. Техніка безпеки праці на лінії

Перед початком роботи необхідно перевірити:

- робоче місце, щоб воно було чистим і не містило зайвих предметів;
- перевірка справності усіх механізмів, приладів, пристроїв;
- перевірка витяжної вентиляції, щоб вона справно працювала;
- справність та належне функціонування кнопок для аварійної зупинки;
- перевірка стану заземлення пристроїв, належна ізоляція споживачів електроенергії, провідників, пристроїв, якими буде користуватися робітник, відповідно до виробничих вимог.
- стан заземлюючих пристроїв та електроізоляції споживачів електроенергії, провідників, пристроїв та обладнання відповідно до вимог ЕМП (ДСНіП 3.3.6.096-2002).

Робітнику забороняється [24]:

- заборонено торкатися рухомих частин пристрою до повного припинення його роботи;

					<i>ЛП71.101156.01-70ПЗ</i>	Адк
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- не можна підтягувати кінець кабелю до рухомих частин обладнання під час його роботи;
- заборонено проведення ремонтних робіт в момент роботи пристроя, якщо певна система знаходиться під тиском.

Для запобігання травм обертів деталі оснащені захисними кришками та щитками.

5.3. Пожежна безпека

Можливі причини пожежної небезпеки це:

- при порушенні технологічного режиму;
- при несправності електроживлення, або електрообладнання;
- паління у невстановлених місцях.

Заходи безпеки:

Ширина евакуаційних дверей повинна бути 2 штуки по 0,9 м. В приміщенні мають бути встановлені пожежні гідранти та теплові датчики, які реагують, коли температура у приміщенні піднімається вище зазначеної межі. Обов'язковий захист статичної електрики, а саме заземлення обладнання.

- Основним засобом пожежогасіння є ОУБ-3А. Порошкові вогнегасники ДСТУ 3105-95 "Порошки вогнегасні. Загальні технічні вимоги і методи випробувань" в кількості 10 шт, ящики з піском - 5 шт, пожежні гідранти - 4 шт.

5.4. Електробезпека приміщення

Важливим фактором для забезпечення електробезпеки [25] є проектування пристроїв виробничої лінії, що знижує смертність та травматизм у виробничих умовах серед обслуговуючого персоналу.

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом відповідно до класифікації приміщень, виробничих майстерень, в яких встановлені такі лінії, відносяться до класу приміщень із підвищеною небезпекою.

					ЛП71.101156.01-70ПЗ	Адк
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для подачі електроенергії використовується трифазна трипроводова мережа з ізолюваною нейтраллю, тому що під'єднання до робочої лінії складає напругу 220/380 В з частотою 50 Гц. В ізолюваному режимі мережа з ізолюваною нейтраллю є набагато безпечнішою у разі дотику до фазного проводу.

В аварійному режимі використовується захисне заземлення. Вертикальний заземлюючий електрод з вертикальними електродами завдовжки 1,5 м, які з'єднані сплайсингом і мають загальний опір $R_{\text{sag}} = 3,7$ Ом.

5.5. Виробничий шум

Шум, що створюється сферонізатором та іншим обладнанням, є постійним. Відповідно до стандартів шуму в приміщенні, рівень шуму в джерелі 100 дБА. Звукоізоляційна здатність дверного отвору приміщення повинна бути не менше 30 дБА.

Стіни та стеля даного приміщення мають бути забезпечені звукоізоляційною обшивкою з коефіцієнтом звукопоглинання не менше 0,7 і мати звукоізоляційну здатність не менше 50 дБА.

Необхідно стежити за рівнем масла в підшипникових блоках для зменшення шуму обертових елементів.

Після проведення цих заходів величина загальної вібрації на робочих місцях з робочою лінією не перевищує санітарно-гігієнічних норм, встановлених ДСН 3.3.6.039-99 "Державні санітарні норми виробництва загальної та локальної вібрації".

					<i>ЛП71.101156.01-70ПЗ</i>	Адк
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Очікувані механіко - економічні показники

Дослідження динамічних характеристик полімерних гранул допоможе зберегти кошти при виготовленні гранул завдяки:

- більш кращому підбору сферонізатора;
- проектуванню більш придатної геометрії;
- більш точної оцінки ефективності сферонізації матеріалу;
- оптимізації загрузки часток до робочої зони;

					<i>ЛП71.101156.01-70ПЗ</i>	Арк
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

У дипломному проекті було проведено розгляд сферонізатора з дослідженням динамічних характеристик гранул в полімерній суспензії.

На протязі усієї роботи було виконано наступне:

- Детально розглянуто область застосування та призначення сферонізатора;
- Описана технічна характеристика сферонізатора;
- Проведено літературно-патентний огляд. Під час нього було розглянуто різноманітні типи екструдерів-сферонізаторів і виявлено різноманітні конструктивні рішення для ліній, які мають відношення до них.

Гранули або кульки, виготовлені з використанням екструзії-сферонізації, забезпечують наступні переваги в порівнянні зі звичайною системою доставки ліків:

1. Генерує сфероїди, що мають високу навантажувальну здатність активних компонентів, без створення надмірно великих часток.
 2. Виробляє частки постійного розміру, мають вузький розподіл за розмірами і виняткові характеристики потоку.
 3. Дозволяє успішно покривати сфероїди через їхню низьку відносно площі поверхні до об'єму і сферичної форми.
 4. Включає змішування і складання гранул, що містять різні ліки, в одній лікарській формі. Це дозволяє доставляти два або більше ліків.
 5. Пелети часто знаходять застосування в системі доставки з контрольованим вивільненням. Це пов'язано з тим, що є можливість розсіювання вільних сфероїдів в шлунково-кишковому тракті.
- Крім того, це дає гнучкість для подальшого поліпшення.
6. Підвищує безпеку та ефективність активних компонентів.
- Отже, розглянуте обладнання є повністю працездатним.

Список літератури:

1. Экструдер сферонизатор: полное руководство. / © TRUSTAR Pharma Pack Equipment Co., Ltd, Китай, Jul 03, 2019.
2. Басов Н.И., Казанков Ю.В., Любартович В.А. Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов. – М.: Химия, 1986. – 487 с.
3. Nagasamy Venkatesh Dhandapani*, Ayush Shrestha, Niroj Shrestha, Anup Thapa, Goti Sandip, Rajan Sharma Bhattarai. Pelletization by Extrusion-Spheronization- A detailed review. / The all results journals. Issue 2, 2012, Vol. 3, 10–23.
4. REHANA BEGUM A., GANESH N. S., VINEETH CHANDY. A STUDY ON DIFFERENT PELLET FORMATION TECHNIQUES AND ITS EVALUATION PARAMETERS-A REVIEW. / Department of Pharmaceutics, T. John College of Pharmacy, Bangalor. – Received: 14 Nov 2018, Revised and Accepted: 20 Feb 2019.
5. Achhrish Goel, Swati Aggarwal. SPECIAL EMPHASIS GIVEN ON SPHERONIZATION: A REVIEW. / INTERNATIONAL JOURNAL OF INSTITUTIONAL PHARMACY AND LIFE SCIENCES. – Teerthankar Mahaveer University, Moradabad, Accepted: 05-03-2012.
6. Harshada Dattatraya Dalvi, Dr. Nilesh Khutle, Priyanka Pawar and Abhijeet Kunwarpuriya. REVIEW ON PELLETIZATION: TECHNIQUES, CHARACTERIZATION AND APPLICATIONS. // Dr. L. H. Hiranandani College of Pharmacy, Ulhasnagar. «World Journal of Pharmaceutical Research». – Vol. 7, Issue 7, 2018, p. 606-625.
7. Deb Ratul, Ahmed Abdul Baguec. Pellets and pelletization techniques: a critical review. / Department of Pharmaceutics, Girijananda Chowdhury Institute of Pharmaceutical Science (GIPS), Hathkhowapara, Azara, Guwahati, India. «International research journal of pharmacy». – Int. Res. J. Pharm, 2013, 4(4), p. 90-95.
8. Jagan Mohan Kandukuri, Venkatesham Allenki, Chandra Mohan Eaga, Vasu Keshetty, Kiran Kumar Jannu. Pelletization Techniques for Oral Drug Delivery. //

					<i>ЛП71.101156.01-70ПЗ</i>	Адк
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research 2009; 1(2): 63-70.

9. Dominik Weis, Maria Niesing, Markus Thommes, Sergiy Antonyuk. Effect of the particle shape on the particle dynamics in a spheronization process. / Institute of Particle Process Engineering, University of Kaiserslautern, 67663 Kaiserslautern, Germany 2; Chair of Solids Process Engineering, Technical University Dortmund, 44227 Dortmund, Germany EPJ Web of Conferences 140, Powders & Grains 2017, p. 1-4.

10. Могилюк В. Технології: методи виробництва пелет. / Фармацевтична галузь «Pharmaceutical Industry Review». – К. : 11.2015. – №6(53). – С. 76-78.

11. Martin David Köster. Spheronization Process - Particle Kinematics and Pellet Formation Mechanisms. // Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, 2012, 118 p.

12. Studies on spheronization processes by rotary and extrusion. / A thesis submitted for the degree of doctor of philosophy department of pharmacy national university of singapore, 2005, p. 184.

13. Isaac Ghebre-Sellassie, Charles Martin, Bert Elliot. Continuous melt spheronization apparatus and process for the production of pharmaceutical pellets. // Авторське свідоцтво US7771632B2 (10.08.2010).

14. Christopher R. Young, John J. Koleng, James W. McGinity. Spherical particles produced by a hot-melt extrusion/spheronization process. // Авторське свідоцтво WO2002035991A2 // (10.05.2002).

15. Continuous Extrusion-Spheronization. / CASE STUDY PHARMACEUTICAL (LCI) – PRODUCT: Twin Radial Extruder, Marumerizer® Model QJ-700. – KEY BENEFIT: Consistent quality and large capacity. – LCI Corporation, 4433 Chesapeake Drive, Charlotte, NC 28216, Sales: 704-394-8341, Service: 704-458-3338 Canada.

16. INTEGRATED EXTRUDER SPHERONIZER. // UMANG encapsulation solutions. // Extruder Spheronizer – Umang pharma Integrated Process

					<i>ЛП71.101156.01-70ПЗ</i>	Адк
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

.(Экструдер-сферонизатор - интегрированный процесс Umang pharma ...).
UMANG PHARMATECH PVT. LTD. Survey No. 146, H. No. 1 (PT) , Vasai Phata
Highway Junction, Pelhar, NH-8, Vasai-Virar, Maharashtra 401208 (India).

17. Мікульонок І. О., Войцехов Є. М., Рудакова В. А. Система охолодження черв'яка екструдера. // Авторське свідоцтво: UA №66668U (2012).

18. Мікульонок І. О., Івіцький І. І., Сокольський О. Л., Сівецький В. І.,
Куриленко В. М., Романюк В. В. Черв'ячний екструдер. // Авторське свідоцтво
UA №102098U (2015).

19. Мікульонок І. О., Івіцький І. І., Сокольський О. Л. Черв'як екструдера. // Авторське свідоцтво UA №102908U (2015).

20. Невзоров В. Н., Холопов В. Н., Безязиков Д. С., Янова М. А. Шнековий екструдер. // Авторське свідоцтво RU №2626208C1 (2016).

21. Потапов В. О., Білий Д. В. Одношнековий екструдер для виробництва полімерних матеріалів з теплообмінним пристроєм. // Авторське свідоцтво UA №12597 U (2016).

22. Сівецький В. І., Сідоров Д. Е., Івіцький І. І., Устенко О. О., Швачко Д. Г. Черв'ячний екструдер для переробки полімерних матеріалів. // Авторське свідоцтво UA №129774 U (2018).

23. https://pidru4niki.com/14821111/bzhd/himichni_pidpriyemstva

24. Кувшинов О. В. Небезпеки на полімерному виробництві / XXIII Всеукраїнська науково-методична конференція “Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки” (з 16 по 18 листопада 2020 року). – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 116-118.

25. Kuvshynov O., Kovtun A., Kutsenok N. DANGERS IN POLYMER PRODUCTION / Матеріали XXI Міжнародної студентської науково-практичної онлайн конференція «Science and technology of the XXI century» (17 грудня 2020 р.). – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 84-85.

					<i>ЛП71.101156.01-70ПЗ</i>	Адк
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ «Розрахунки»
до дипломного проекту

на тему: Сферонізатор з дослідженням динамічних характеристик гранул

Київ – 2021 року

					<i>ЛП71.101156.02-70PP</i>	Арк
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

1. Розрахунки ЧП 63.....	49
1.1 Параметричний розрахунок черв'яка.....	49
1.2 Розрахунок черв'яка на міцність.....	50
1.3 Розрахунок корпусу екструдера на міцність.....	51
1.4 Кінематичний розрахунок головки черв'ячного екструдера.....	54
1.4.1 Розрахунок коефіцієнта геометричної форми голівки.....	54
1.4.2 Розрахунок продуктивності черв'ячної машини.....	57
1.4.3 Розрахунок перепаду тиску в екструзійній головці.....	59
1.5 Розрахунок потужності приводу екструдера.....	59
1.6 Тепловий розрахунок.....	60
2. Дослідження динамічних характеристик полімерних гранул.....	63
Висновки.....	72
Список літератури.....	73

					<i>ЛП71.101156.02-70РР</i>		
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Кувшинов						
Перевірів.	Гондляр						
Н. Контр.							
Утвердив.							
					Лит.	Лист	Листів
						48	

1. Розрахунки ЧП 63

1.1 Параметричний розрахунок черв'яка

Черв'як є основним вузлом черв'ячної машини і призначений для транспортування полімерного матеріалу від завантажувальної лійки до формуючої головки, а також для ретельного перемішування і видавлювання з головки.

Діаметр черв'яка є основним параметром, та дорівнює $D = 63$ мм.

1. Довжина гвинтової частини черв'яка:

$$L = 30 \cdot 63 = 1890 \text{ мм}$$

2. Довжина зони завантаження приймається:

$$L_{\text{зав}} = (4 \div 7) \cdot D = 5 \cdot 63 = 315 \text{ мм}$$

3. Довжина зони дозування приймається:

$$L_{\text{доз}} = (3 \div 8) \cdot D = 8 \cdot 63 = 504 \text{ мм}$$

4. Довжина зони стиску приймається:

$$L_{\text{ст}} = L - L_{\text{доз}} - L_{\text{зав}} = 1890 - 504 - 315 = 1071 \text{ мм}$$

5. Товщина витка:

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

6. Крок гвинтової навивки:

$$t = (0,7 \div 1) \cdot D = 1 \cdot 63 = 63 \text{ мм}$$

7. Глибина нарізки черв'яка в зоні завантаження складає:

$$h_1 = (0,12 \div 0,16) \cdot D = 0,14 \cdot 63 = 8,9 \text{ мм.}$$

8. Діаметр осердя в зоні завантаження:

$$d_1 = D - 2 \cdot h_1 = 63 - 2 \cdot 8,9 = 45,2 \text{ мм}$$

9. Діаметр черв'яка в зоні дозування:

$$d_2 = D - 2 \cdot h_2 = 63 - 2 \cdot 3 = 57 \text{ мм}$$

10. Глибина нарізки в зоні дозування складає:

$$h_2 = 0,5 \cdot \left[D - \sqrt{D^2 - \frac{4 \cdot h_1}{i} \cdot (D - h)} \right] = 3 \text{ мм}$$

11. Довжина циліндричної зони хвостовика:

$$L_{\text{цил}} = (0,7 \div 1,5) \cdot D = 1,3 \cdot 63 = 82 \text{ мм}$$

12. Довжина шліцевої частини:

$$L_{\text{шл}} = (1 \div 2) \cdot D = 1,5 \cdot 63 = 94,5 \text{ мм}$$

13. Зазор між черв'яком і корпусом складає:

$$\delta = (0,002 \div 0,003) \cdot D = 0,126 \text{ мм}$$

					ЛП71.101156.02-70PP	Арк
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Розрахунок черв'яка на міцність

Розрахункова схема сил, що діють на черв'як зображені на рисунку.

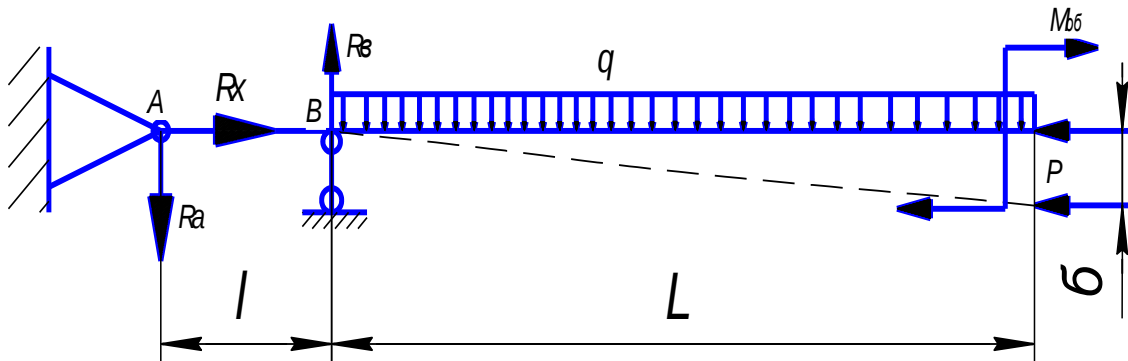


Рисунок 5.2.1 Схема сил, що діють на черв'як

На черв'як діє осьове зусилля, яке виникає у гвинтовому каналі черв'яка, та зусилля, що виникає при видавлюванні перед головкою.

1. Крутний момент, який діє на черв'як:

$$M_{кр} = \frac{9550 \cdot N}{n} = \frac{9550 \cdot 30}{100} = 2865 \text{ Нм}$$

Де $N = 30$ кВт – потужність, яка споживається черв'яком; $n = 100$ – частота обертання, об/хв.

2. Осьове зусилля:

$$P_{oc} = \frac{2 \cdot M_{кр}}{D} \cdot \operatorname{tg} \varphi = \frac{2 \cdot 2865}{0.063} \cdot 0.3 = 27.28 \text{ кН}$$

Де $D = 0,063$ м – зовнішній діаметр черв'яка; $\varphi = 16,5^\circ$ – кут підйому нарізки.

3. Маса черв'яка:

$$G = \frac{\pi \cdot (D - d_0)^2}{4} \cdot \rho \cdot l_p = \frac{3,14 \cdot (0,063 - 0,018)^2}{4} \cdot 7800 \cdot 2,25 = 27,9 \text{ кг}$$

Де $d_0 = 18$ мм – діаметр отвору черв'яка; $\rho = 7800$ кг/м³ – густина матеріалу черв'яка (40 ХН2МА); $l_p = 2,25$ – довжина робочої частини.

4. Розподілене навантаження від власної ваги:

$$q = \frac{g \cdot G}{l_p} = \frac{9,81 \cdot 27,9}{2,25} = 121,64 \text{ Н/м}$$

5. Максимальний згинаючий момент:

$$M_{max} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l_p^2 = \frac{1}{2} \cdot 121,64 \cdot 2,25^2 = 307,9 \text{ Нм}$$

					ЛП71.101156.02-70РР	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

6. Площа небезпечного перерізу (В):

$$F = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot (1 - \alpha^2) = \frac{3,14 \cdot 0,045^2}{4} \cdot (1 - 0,4^2) = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

$$\alpha = \frac{d_0}{d_1} = \frac{18}{45,2} = 0,4$$

7. Осьовий момент опору:

$$W_x = \frac{\pi d_1^3 \cdot (1 - \alpha^3)}{32} = \frac{3,14 \cdot 0,045^3 \cdot (1 - 0,4^3)}{32} = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

8. Дотичні напруження в перерізі В:

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_x} = \frac{2865}{1,6 \cdot 10^{-5}} = 179 \text{ МПа}$$

9. Полярний момент інерції:

$$I = \frac{\pi d_1^4}{64} \cdot (1 - \alpha^4) = \frac{3,14 \cdot 0,045^4}{64} \cdot (1 - 0,4^4) = 0,19 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

10. Стискання напруження:

$$\sigma_{ст} = \frac{P_{ос}}{F} + \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{27,28 \cdot 10^3}{1,33 \cdot 10^{-3}} + \frac{307,9}{1,6 \cdot 10^{-5}} = 20,51 \cdot 10^6 + 19,2 \cdot 10^6 \\ = 39,71 \text{ МПа}$$

11. Еквівалентні напруження:

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma_{ст}^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{39,71^2 + 4 \cdot 179^2} = 360,2 \text{ МПа}$$

12. Коефіцієнт запасу повинен перевищувати допустиме значення:

$$n = \frac{\sigma_t}{\sigma_{екв}} \geq [n]$$

Матеріал черв'яка сталь 40ХН2МА для якої $\sigma_t = 850 \text{ МПа}$

$$n = \frac{850}{360,2} = 2,36 > [n]$$

Умова міцності черв'яка виконується.

1.3 Розрахунок корпуса екструдера на міцність

Вихідні данні для розрахунку:

Внутрішній діаметр гільзи: $D_1 = 63 \text{ мм}$

Зовнішній діаметр гільзи: $D_2 = 130 \text{ мм}$

					ЛП71.101156.02-70РР	Адк
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зовнішній діаметр корпусу: $D_3 = 155 \text{ мм}$

Границя текучості корпусу: $\sigma_{\text{ТК}} = 550 \text{ МПа}$

Потужність привода: $N = 30 \text{ кВт}$

Частота обертів: $n = 1,67 \text{ с}^{-1}$

Тиск розплаву: $P = 17 \text{ МПа}$

ККД двигуна: $\eta = 0,92$

Коефіцієнт Пуассона: $\mu = 0,25$

1. Розтяжне зусилля:

$$Q = \frac{P \cdot \pi \cdot D_1^2}{4} = \frac{17 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot 0,063^2}{4} = 0,53 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

2. Осьове напруження, що розтягує:

$$\sigma_z = \frac{Q}{S} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot (D_3^2 - D_2^2)} = \frac{4 \cdot 0,053 \cdot 10^5}{3,14 \cdot (0,155^2 - 0,13^2)} = 0,95 \cdot 10^7 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

3. Момент обертання, що діє на циліндр:

$$M_{\text{об}} = 162,3 \cdot \frac{N}{n} \cdot \eta = 162,3 \cdot \frac{30}{1,67} \cdot 0,92 = 2,68 \text{ кНм}$$

4. Відношення діаметрів:

$$\alpha = \frac{D_2}{D_3} = \frac{130}{155} = 0,84$$

5. Полярний момент опору:

$$W = \frac{\pi D_3^3}{16} \cdot (1 - \alpha^4) = \frac{3,14 \cdot 0,155^3}{16} \cdot (1 - 0,84^4) = 3,67 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

6. Дотичні напруження, при обертанні:

$$\tau_{\text{об}} = \frac{16 \cdot M_{\text{об}}}{W} = \frac{16 \cdot 2,68 \cdot 10^3}{3,67 \cdot 10^{-4}} = 1,16 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$$

7. Приведене напруження по третій теорії міцності:

$$\sigma_{\text{пр}} = \sqrt{\sigma_z^2 + 4 \cdot \tau_{\text{об}}^2} = \sqrt{(0,95 \cdot 10^7)^2 + 4 \cdot (1,16 \cdot 10^8)^2} = \sqrt{540,9 \cdot 10^{14}} = 2,3 \cdot 10^8 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

					ЛП71.101156.02-70PP	Арк
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Запас міцності:

$$n = \frac{[\sigma_T]}{\sigma_{\text{пр}}} = \frac{550 \cdot 10^6}{2,3 \cdot 10^8} = 2,4 > [n] = 1,4$$

9. Відношення діаметрів:

$$K_1 = \frac{D_1}{D_2} = \frac{63}{130} = 0,48$$

$$K_2 = \frac{D_2}{D_3} = \frac{130}{155} = 0,84$$

10. Контактний тиск:

$$\begin{aligned} \sigma_K &= \left(\frac{2 \cdot P_p \cdot K_1^2}{1 - K_1^2} + \mu \cdot \sigma_z \right) \cdot \frac{(1 - K_1^2) \cdot (1 - K_2^2)}{2 \cdot (1 - K_1^2 \cdot K_2^2)} \\ &= \left(\frac{2 \cdot 17 \cdot 10^6 \cdot 0,48^2}{1 - 0,48^2} + 0,25 \cdot 0,95 \cdot 10^7 \right) \\ &\quad \cdot \frac{(1 - 0,48^2) \cdot (1 - 0,84^2)}{2 \cdot (1 - 0,48^2 \cdot 0,84^2)} = 3,4 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2 \end{aligned}$$

11. Тангенціальне напруження від дії контактної:

$$\sigma_t = \sigma_K \cdot \frac{1 + K_2^2}{1 - K_2^2} = 3,4 \cdot 10^6 \cdot \frac{1 + 0,84^2}{1 - 0,84^2} = 1,97 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$$

12. Еквівалентне напруження в шарі сполучення циліндра і гільзи:

$$\sigma_{\text{екв}} = \frac{\sqrt{3} \cdot \sigma_K}{1 - K_2^2} = \frac{\sqrt{3} \cdot 3,4 \cdot 10^6}{1 - 0,84^2} = \frac{5,88 \cdot 10^6}{0,29} = 2,03 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$$

13. Еквівалентне напруження внутрішньої поверхні гільзи:

$$\sigma_r = 0;$$

$$\sigma_t = -\sigma_K \frac{2}{1 - K_1^2} = -3,4 \cdot 10^6 \cdot \frac{2}{1 - 0,48^2} = -0,88 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$$

14. Напруження від дії гідростатичного тиску розплаву на внутрішній поверхні гільзи:

$$\sigma_t^r = P_p = 17 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$$

$$\sigma_t^r = P_p \cdot \frac{1 + K_1^2}{1 + K_2^2} = 17 \cdot 10^6 \cdot \frac{1 + 0,48^2}{1 + 0,84^2} = 12,3 \cdot 10^6$$

15. Сумарне напруження:

$$\sigma_t^E = \sigma_t^r + \sigma_t^H = 12,3 \cdot 10^6 - 8,8 \cdot 10^6 = 3,5 \cdot 10^6$$

$$\sigma_t^E = \sigma_t^r + \sigma_t^H = 17 \cdot 10^6 \frac{H}{M^2}$$

16. Сумарне еквівалентне напруження по енергетичній теорії міцності:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{екв}} = \sigma_{\text{екв}}' + \sigma_{\text{екв}}'' &= \frac{\delta_3 \cdot \sigma_K}{1 - K_1^2} - \frac{2 \cdot \sigma_K}{1 - K_1^2} = \frac{1,73 \cdot 3,4 \cdot 10^6}{1 - 0,48^2} - \frac{2 \cdot 3,4 \cdot 10^6}{1 - 0,48^2} \\ &= -1,2 \cdot 10^6 \frac{H}{M^2} \end{aligned}$$

17. Запас міцності по границі текучості:

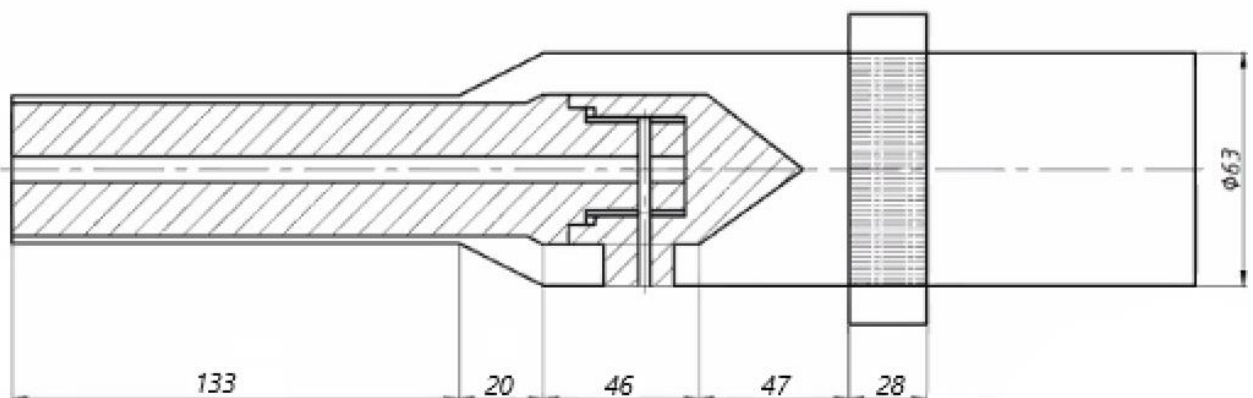
$$n = \frac{[\sigma_T]}{\sigma_{\text{екв}}} = \frac{550 \cdot 10^6}{1,2 \cdot 10^6} = 458,3 > [n]$$

Робимо висновок, що корпус екструдера обраний вірно.

1.4 Кінематичний розрахунок головки черв'ячного екструдера

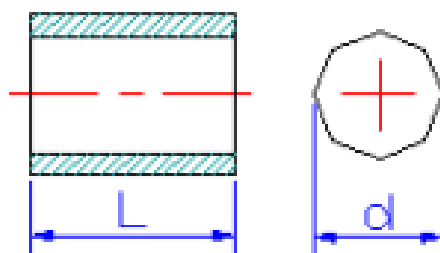
1.4.1 Розрахунок коефіцієнта геометричної форми голівки

$$K_{\text{заг}} = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} + \frac{1}{K_4} + \frac{1}{K_5}}$$



1. Коефіцієнт геометричної форми, 160 круглих циліндричних отворів:

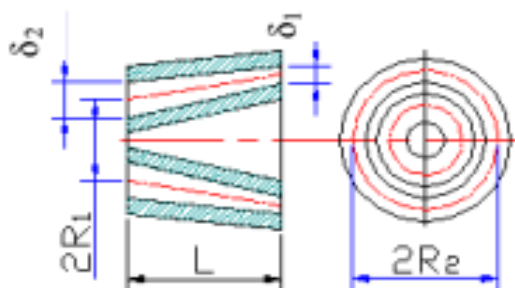
$$L = 28\text{мм} \quad d = 2\text{мм}$$



$$K_1 = \frac{\pi \cdot d^4}{128L} \cdot 160 = \frac{3,14 \cdot 2^4}{128 \cdot 28} \cdot 160 = 2,24 \text{ мм}^3$$

2. Конічний кільцевий канал:

$$L = 47\text{мм}; R_1 = 16\text{мм}; R_2 = 26\text{мм}; \delta_1 = 32\text{мм}; \delta_2 = 11\text{мм}$$

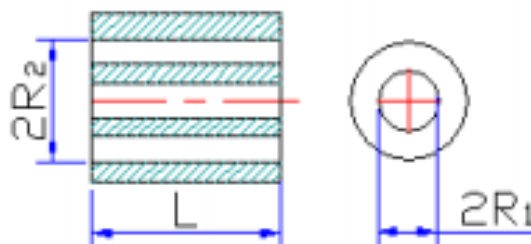


$$\begin{aligned} w &= \left(\frac{R_1 - R_2}{R_1 \delta_2 - R_2 \delta_1} \right)^2 \cdot \ln \left(\frac{R_1 \delta_2}{R_2 \delta_1} \right) - \frac{(R_1 - R_2)(\delta_1 - \delta_2)}{(R_1 \delta_2 - R_2 \delta_1) \delta_1 \delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2 \delta_1^2 \delta_2^2} \\ &= \left(\frac{16 - 26}{16 \cdot 11 - 26 \cdot 32} \right)^2 \cdot \ln \left(\frac{16 \cdot 11}{26 \cdot 32} \right) - \frac{(16 - 26) \cdot (32 - 11)}{(16 \cdot 11 - 26 \cdot 32) \cdot 32 \cdot 11} \\ &\quad - \frac{32^2 - 11^2}{2 \cdot 32^2 \cdot 11^2} = -0,0049 \end{aligned}$$

$$K_2 = \frac{\pi(R_1 \delta_2 - R_2 \delta_1)}{6L\omega} = \frac{3,14 \cdot (16 \cdot 11 - 26 \cdot 32)}{6 \cdot 47 \cdot (-0,0049)} = 14,9069 \text{ мм}^3$$

3. Для круглого кільцевого каналу:

$$L = 47\text{мм}; d_1 = 47\text{мм}; d_2 = 41\text{мм}$$



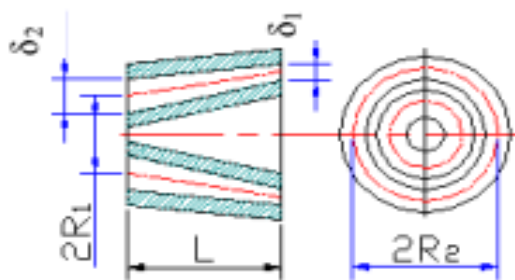
$$R_1 = \frac{d_2}{2} = \frac{41}{2} = 20,5 \text{ мм}$$

$$R_2 = \frac{d_1}{2} = \frac{47}{2} = 23,5 \text{ мм}$$

$$K_3 = \frac{\pi(R_1 + R_2)(R_2 - R_1)^2}{12 \cdot L} = \frac{3,14 \cdot (20,5 + 23,5) \cdot (23,5 - 20,5)^2}{12 \cdot 47} = 22,044 \text{ мм}^3$$

4. Конічний кільцевий з конічною щілиною:

$$L = 20 \text{ мм}; R_1 = 19 \text{ мм}; R_2 = 26 \text{ мм}; \delta_1 = 11 \text{ мм}; \delta_2 = 3 \text{ мм}$$



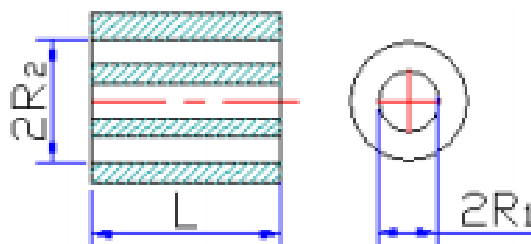
$$w = \left(\frac{R_1 - R_2}{R_1 \delta_2 - R_2 \delta_1} \right)^2 \cdot \ln \left(\frac{R_1 \delta_2}{R_2 \delta_1} \right) - \frac{(R_1 - R_2)(\delta_1 - \delta_2)}{(R_1 \delta_2 - R_2 \delta_1) \delta_1 \delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2 \delta_1^2 \delta_2^2}$$

$$= \left(\frac{19 - 26}{19 \cdot 3 - 26 \cdot 11} \right)^2 \cdot \ln \left(\frac{19 \cdot 3}{26 \cdot 11} \right) - \frac{(19 - 26) \cdot (11 - 3)}{(19 \cdot 3 - 26 \cdot 11) \cdot 11 \cdot 3} - \frac{11^2 - 3^2}{2 \cdot 11^2 \cdot 3^2} = -0,06034$$

$$K_4 = \frac{\pi(R_1 \delta_2 - R_2 \delta_1)}{6L\omega} = \frac{3,14 \cdot (19 \cdot 3 - 26 \cdot 11)}{6 \cdot 20 \cdot (-0,06034)} = 9,930 \text{ мм}^3$$

5. Круглий кільцевий:

$$L = 133 \text{ мм}; d_1 = 41 \text{ мм}; d_2 = 35 \text{ мм}$$



$$R_1 = \frac{d_2}{2} = \frac{35}{2} = 17,5 \text{ мм}$$

$$R_2 = \frac{d_1}{2} = \frac{41}{2} = 20,5 \text{ мм}$$

$$K_5 = \frac{\pi(R_1 + R_2)(R_2 - R_1)^2}{12 \cdot L} = \frac{3,14 \cdot (17,5 + 20,5) \cdot (20,5 - 17,5)^2}{12 \cdot 133} = 0,673 \text{ мм}^3$$

Загальний коефіцієнт геометричної форми голівки:

$$K_{\text{заг}} = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} + \frac{1}{K_4} + \frac{1}{K_5}} = \frac{1}{\frac{1}{2,24} + \frac{1}{14,907} + \frac{1}{22,044} + \frac{1}{9,930} + \frac{1}{0,673}} = 0,4661 \text{ мм}^3$$

1.4.2 Розрахунок продуктивності черв'ячної машини

Продуктивність черв'ячної машини розраховуємо:

$$Q = \frac{\alpha K_n}{K + \beta + \gamma} \text{ мм}^3/\text{с}$$

1. Кут нахилу лінії нарізки:

$$\varphi = \arctg \frac{1}{\pi D} = \arctg \frac{63}{3,14 \cdot 63} = 0,308 \text{ рад}$$

2. Коефіцієнт прямого потоку:

$$\alpha = \frac{\pi D h_2 (t - e) \cos^2 \varphi}{2} = \frac{3,14 \cdot 63 \cdot 5,79 (63 - 8,1) \cdot \cos^2(0,308)}{2} = 31439,712 \text{ мм}^3$$

3. Коефіцієнт зворотного потоку:

$$\beta = \frac{h_2^3 \cdot (t - e) \cos^2 \varphi}{2} = \frac{5,79^3 \cdot (63 - 8,1) \cdot \sin^2(0,308)}{24 \cdot 1035} = 0,1107 \text{ мм}^3$$

4. Коефіцієнт перетоку через гребінь витків:

$$\gamma = \frac{\pi^2 D^2 \delta^3 \cdot \tg \varphi \cdot \sin \varphi}{10 e \cdot l g} = \frac{3,14^2 \cdot 63^2 \cdot 0,18^3 \cdot \tg(0,308) \cdot \sin(0,308)}{10 \cdot 8,1 \cdot 1035} = 2,459 \cdot 10^{-4}$$

5. Об'ємна секундна продуктивність черв'ячної машини:

$$Q = \frac{\alpha K_n}{K + \beta + \gamma} = \frac{31439,712 \cdot 0,6459 \cdot (63/60)}{0,6459 + 0,1107 + 2,459 \cdot 10^{-4}} = 28172,5 \text{ мм}^3/\text{с}$$

6. Вагова продуктивність:

$$\Pi = 3600 \cdot Q \cdot \rho \cdot 10^{-9} = 3600 \cdot 28172,5 \cdot 10^{-9} \cdot 1040 = 105,478 \text{ кг/год}$$

1.4.3 Розрахунок перепаду тиску в екструзійній головці

Для кожної ділянки постійної геометрії визначаємо швидкість зсуву j , після якої з графіка, формули або табличних даних визначають в'язкість μ .

$$\Delta P = \frac{Q \cdot \mu}{K}$$

Матеріал: ПВХ-ПХ1183; $t = 180 \text{ }^\circ\text{C}$; $\mu = 4461,3 \cdot \gamma^{-0,532}$

					ЛП71.101156.02-70PP	Адк
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. 160 круглих циліндричних отворів:

$$d = 2 \text{ мм} \quad K_1 = 2,24 \text{ мм}^3$$

$$Y_1 = \frac{32Q}{\pi d^3} \cdot \frac{1}{160} = \frac{32 \cdot 28172,5}{3,14 \cdot 2^3 \cdot 160} = 224,303 \text{ с}^{-1}$$

$$\mu = 4461,3 \cdot 224,303^{-0,532} = 250,5054 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\Delta P_1 = \frac{28172,5 \cdot 250,5054}{2,24} = 3,151 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

2. Конічний кільцевий з конічною щілиною:

$$R_1 = 16 \text{ мм}; R_2 = 26 \text{ мм}; \delta_1 = 32 \text{ мм}; \delta_2 = 11 \text{ мм}; K_2 = 14,907 \text{ мм}^3$$

$$Y_2 = \frac{22,32 \cdot Q}{\pi(R_1 + R_2)(\delta_1 + \delta_2)^2} = \frac{22,32 \cdot 28172,5}{3,14 \cdot (16 + 26) \cdot (32 + 11)^2} = 2,579 \text{ с}^{-1}$$

$$\mu = 4461,3 \cdot 2,579^{-0,532} = 2695,065 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\Delta P_2 = \frac{28172,5 \cdot 2695,065}{14,907} = 5,093 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

3. Круглий кільцевий канал:

$$R_1 = 20,5 \text{ мм}; R_2 = 23,5 \text{ мм}; K_3 = 22,044 \text{ мм}^3$$

$$Y_3 = \frac{5,58 \cdot Q}{\pi(R_1 + R_2)(R_2 - R_1)^2} = \frac{5,58 \cdot 28172,5}{3,14 \cdot (20,5 + 23,5) \cdot (23,5 - 20,5)^2} = 12,642 \text{ с}^{-1}$$

$$\mu = 4461,3 \cdot 12,642^{-0,532} = 2932,888 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\Delta P_3 = \frac{28172,5 \cdot 2932,888}{22,044} = 3,748 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

4. Конічний кільцевий з конічною щілиною:

$$R_1 = 19 \text{ мм}; R_2 = 26 \text{ мм}; \delta_1 = 11 \text{ мм}; \delta_2 = 3 \text{ мм}; K_4 = 9,930 \text{ мм}^3$$

$$Y_4 = \frac{22,32 \cdot Q}{\pi(R_1 + R_2)(\delta_1 + \delta_2)^2} = \frac{22,32 \cdot 28172,5}{3,14 \cdot (19 + 26) \cdot (11 + 3)^2} = 2,27 \text{ с}^{-1}$$

$$\mu = 4461,3 \cdot 2,27^{-0,532} = 2884,401 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\Delta P_4 = \frac{28172,5 \cdot 2884,401}{9,930} = 8,183 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

5. Круглий кільцевий канал:

$$R_1 = 17,5 \text{ мм}; R_2 = 20,5 \text{ мм}; K_5 = 6,730 \text{ мм}^3$$

$$Y_3 = \frac{5,58 \cdot Q}{\pi(R_1 + R_2)(R_2 - R_1)^2} = \frac{5,58 \cdot 28172,5}{3,14 \cdot (17,5 + 20,5) \cdot (20,5 - 17,5)^2}$$

$$= 14,638 \text{ с}^{-1}$$

$$\mu = 4461,3 \cdot 14,638^{-0,532} = 3143,504 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\Delta P_5 = \frac{28172,5 \cdot 3143,504}{6,730} = 13,168 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Загальний перепад тиску в головці:

$$\Delta P = \sum \Delta P_i = 3,3 \cdot 10^7 \text{ Па} = 33 \text{ Мпа}$$

1.5 Розрахунок потужності приводу екструдера

Визначити потужність, що витрачається на переробку поліетилену.

1) Потужність, споживана в гвинтовому каналі:

$$I = \frac{\pi^2 \cdot D^2 - 4 \cdot t^2}{\pi^2} + \frac{\pi^2 \cdot D^5}{t^2 + \pi^2 \cdot D^2} = \frac{3,14^2 \cdot 63^2 - 4 \cdot 63^2}{3,14^2} +$$

$$+ \frac{3,14^2 \cdot 63^5}{63^2 + 3,14^2 \cdot 63^2} = 275912 \text{ мм}^2$$

$$\gamma_k = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot n}{60h_2 \cdot \sqrt{\pi^2 \cdot D^2 + 2 \cdot t^2}} = \frac{3,14^2 \cdot 63^2 \cdot 120}{60 \cdot 3,79 \cdot \sqrt{3,14^2 \cdot 63^2 + 2 \cdot 63^2}} = 95$$

при $\gamma_k = 95$, $\mu_k = 825$.

$$N_1 = \frac{\pi^3 \cdot (t - e) \cdot l_d \cdot I \cdot \mu_k \cdot n^2}{136 \cdot t} \cdot 10^{-13} + \frac{\alpha \cdot \Delta P \cdot n}{6} \cdot 10^{-5} =$$

$$= \frac{3,14^3 \cdot (63 - 5,04) \cdot 756 \cdot 275912 \cdot 825 \cdot 120^2}{136 \cdot 63} \cdot 10^{-13} +$$

$$+ \frac{19730,61 \cdot 22,914 \cdot 120}{6} \cdot 10^{-5} = 4,1 \text{ кВт}$$

2) Потужність, споживана в зазорі між гребенем і корпусом:

$$N_2 = \frac{\pi^3 \cdot D^3 \cdot e \cdot l_d \cdot \mu_3 \cdot n^2}{136 \cdot t \cdot \delta} \cdot 10^{-13} = \frac{3,14^3 \cdot 63^3 \cdot 5,04 \cdot 756 \cdot 186 \cdot 120^2}{136 \cdot 63 \cdot 0,126} \cdot 10^{-13} = 9,7 \text{ кВт}$$

3) Потужність, споживана в зоні дозування:

$$N_d = N_1 + N_2 = 4,1 + 9,7 = 13,8 \text{ кВт}$$

					ЛП71.101156.02-70PP	Адк
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4) Потужність, споживана черв'яком:

$$N_r \approx 2N_d = 2 \cdot 13,8 = 27,6 \text{ кВт}$$

5) Потужність двигуна:

ККД приводу приймаємо $\eta = 0.92$;

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_r}{\eta} = \frac{27,6}{0,92} = 30 \text{ кВт}$$

1.6 Тепловий розрахунок

Визначаємо кількість тепла, яку необхідно підвести електронагрівачами.

Вихідні дані:

Потужність, встановлена електродвигуном	$N = 30 \text{ кВт},$
Продуктивність до пластифікованого ПВХ	$G_M = 0,0272 \text{ кг/с},$
Початкова температура матеріалу	$T_{II} = 20 \text{ }^\circ\text{C},$
Кінцева температура матеріалу	$T_K = 180 \text{ }^\circ\text{C},$
Температура поверхні кожуха	$T_{\text{кож}} = 45 \text{ }^\circ\text{C},$
Температура повітря	$T_B = 20 \text{ }^\circ\text{C},$
Ширина теплообмінної поверхні	$B = 0,23 \text{ м},$
Довжина теплообмінної поверхні	$L = 1,382 \text{ м},$
К.К.Д. приводу преса	$\eta_1 = 0,6$
К.К.Д. електродвигуна	$\eta_2 = 0,9$
К.К.Д. перетворення механічної енергії в теплову	$\eta_3 = 0,8$

1) Тепловий баланс преса:

$$Q_N + Q_{QI} = G_M \cdot C_M \cdot (T_K - T_{II}) + Q_o + Q_{\text{втр}}$$

де Q_N - кількість тепла, яке виділяється при використанні потужності і визначене:

$$Q_N = N \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 30 \cdot 0,6 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 12,96 \text{ кВт}$$

2) $Q_{\text{втр}}$ - втрати тепла в оточуюче середовище:

$$Q_{\text{втр}} = Q_K + Q_{\text{втр}}$$

де Q_K - втрати тепла в оточуюче середовище конвекцією:

$$Q_K = \alpha_K \cdot F \cdot (T_{\text{кож}} - T_B)$$

де F – площа теплообмінної поверхні кожуха:

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

α_K - коефіцієнт тепловіддачі від стінки корпуса в оточуюче середовище, визначений за формулою:

$$\alpha_K = \frac{Nu \cdot \lambda_M}{B}$$

де Nu - критерій Нуссельта,

λ_M - коефіцієнт теплопровідності при середній температурі,

Критерій Нуссельта визначається за формулою:

$$Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n$$

де Gr - критерій Грасгофа, визначений за формулою:

$$Gr = \frac{\beta \cdot B^3 \cdot g \cdot \Delta T}{\nu^2}$$

Розрахункова температура:

$$T_P = \frac{T_{\text{кож}} + T_B}{2} = \frac{45 + 20}{2} = 32,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Знаходимо значення теплофізичних параметрів та критеріїв подібності при розрахунковій температурі:

$$\lambda_M = 2,69 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} - \text{коефіцієнт теплопровідності}$$

$$\nu_M = 18,95 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}} - \text{коефіцієнт кінематичної в'язкості}$$

$$Pr = 0,7 - \text{критерій Прандля}$$

За формулою знаходимо критерій Грасгофа:

$$Gr = \frac{\beta \cdot B^3 \cdot g \cdot \Delta T}{\nu_M^2} = \frac{1}{273 + 32,5} \cdot \frac{0,23^3 \cdot 9,8}{(18,95 \cdot 10^{-6})^2} \cdot (45 - 20) = 27,17 \cdot 10^6$$

Добуток $Gr \cdot Pr$:

$$Gr \cdot Pr = (27,17 \cdot 10^6 \cdot 0,7) = 19,02 \cdot 10^6$$

Критерій Нуссельта знаходимо за формулою:

$$Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n = 0,54 \cdot (19,02 \cdot 10^6)^{\frac{1}{4}} = 35,66$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки корпусу в оточуюче середовище, визначається за формулою:

$$\alpha_K = \frac{Nu \cdot \lambda_M}{B} = \frac{35,66 \cdot 2,69 \cdot 10^{-2}}{0,23} = 4,17 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Втрати тепла в оточуюче середовище конвекцією за формулою:

$$Q_K = \alpha_K \cdot F \cdot (T_{\text{кож}} - T_B) = 4,17 \cdot 0,318 \cdot (45 - 20) = 33,15 \text{ Вт}$$

Втрати тепла в оточуюче середовище випромінюванням:

$$Q_{\text{випр}} = 5,67 \cdot \varepsilon \cdot F \cdot \left(\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right) = 5,67 \cdot 0,6 \cdot 0,318 \cdot \left(\left(\frac{306,5}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right) = 15,74 \text{ Вт}$$

де $E = 0,6$ - степінь чорноти матеріала кожуха, $T_1 = 306,5 \text{ К}$ - абсолютна температура кожуха, $T_2 = 293 \text{ К}$ - абсолютна температура оточуючого середовища.

Втрати тепла в оточуюче середовище визначаємо за формулою:

$$Q_{\text{втр}} = Q_K + Q_{\text{випр}} = 33,15 + 15,74 = 48,89 \text{ Вт}$$

3) Q_o – кількість теплоти, що відводиться водою, яка охолоджує черв'як:

$$Q_o = G_B \cdot C_B \cdot \Delta t_B ,$$

де G_B – витрата води ($G_B = 0,0174 \text{ кг/с}$), C_B – питома теплоємність води ($C_B = 4200 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$), Δt_B – перепад температур води між входом та виходом ($\Delta t_B = 7 \text{ }^\circ\text{C}$).

$$Q_o = G_B \cdot C_B \cdot \Delta t_B = 0,0174 \cdot 4200 \cdot (130 + 7) = 12204,7 \text{ Вт}$$

4) Кількість тепла, яке підводиться до корпусу електронагрівачами:

$$Q_{Q1} = G_M \cdot C_M \cdot (T_K - T_{II}) + Q_{\text{втр}} + Q_o - Q_N = (0,0272 \cdot 1,7 \cdot (180 - 20)) + 48,89 + 20462,4 - 12960 = 13,03 \text{ кВт}$$

2. Дослідження динамічних характеристик полімерних гранул

Метою виконання дипломного проекту є дослідження динамічних характеристик гранул. Під час виконання дипломного проекту проведено дослідження динамічних характеристик гранул згідно договору про співпрацю кафедри ХПСМ з технічним університетом Кайзерслаутерна (Німеччина).

На базі системи Abaqus проведено дослідження по визначенню динамічних характеристик полімерної сферичної частинки, яка знаходиться в сферонізаторі. На базі методу скінченних елементів побудована її розрахункова схема.

В якості розрахункової моделі вибрана схема, загальний вид якої наведено на Рис.1.

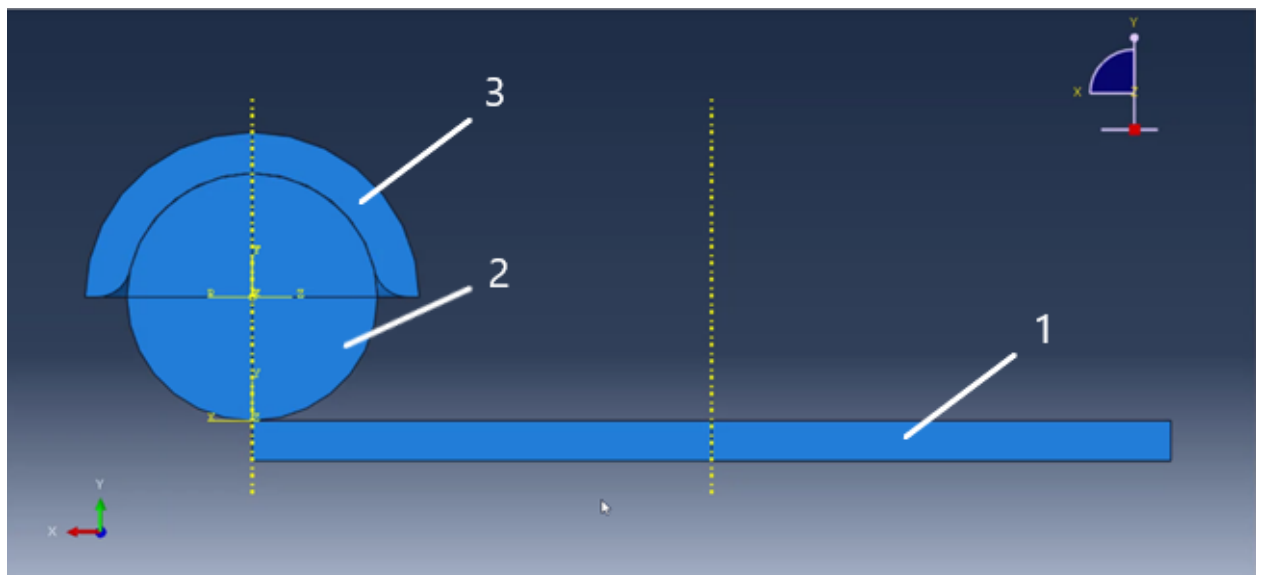


Рис.1 Розрахункова модель.

1 – фрикційна плита; 2 – полімерна частинка; 3 – контактний шар.

Розрахункова модель складається з:

1. фрикційна плита 1.
2. полімерна частинка 2 виконана з полімерного матеріалу Tescamid 66 з фізико-механічними характеристиками, які наведені в Табл.1. Діаграма пластичності наведена на Рис.2.

					ЛП71.101156.02-70PP	Арк
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. контактного шару 3 для моделювання впливу полімерних частинок, які оточують в сферонізаторі частинку, яка розглядається в даній схемі.

Табл.1. Фізико-механічні характеристики Tescamid 66.

Модуль пружності	3500	Мпа
Межа міцності	85	Мпа
Межа міцності при розтягуванні	84	МПа
Теплове розширення (CLTE), 23 - 60 ° C (DIN EN ISO 11359-1	11	[10-5 K-1]
Теплове розширення (CLTE), 23 - 100 ° C (DIN EN ISO 11359-	12	[10-5 K-1]
Питома теплоємність	1,3	[J / (g*K)]
Теплопровідність	0.36	[W/(m*K)]

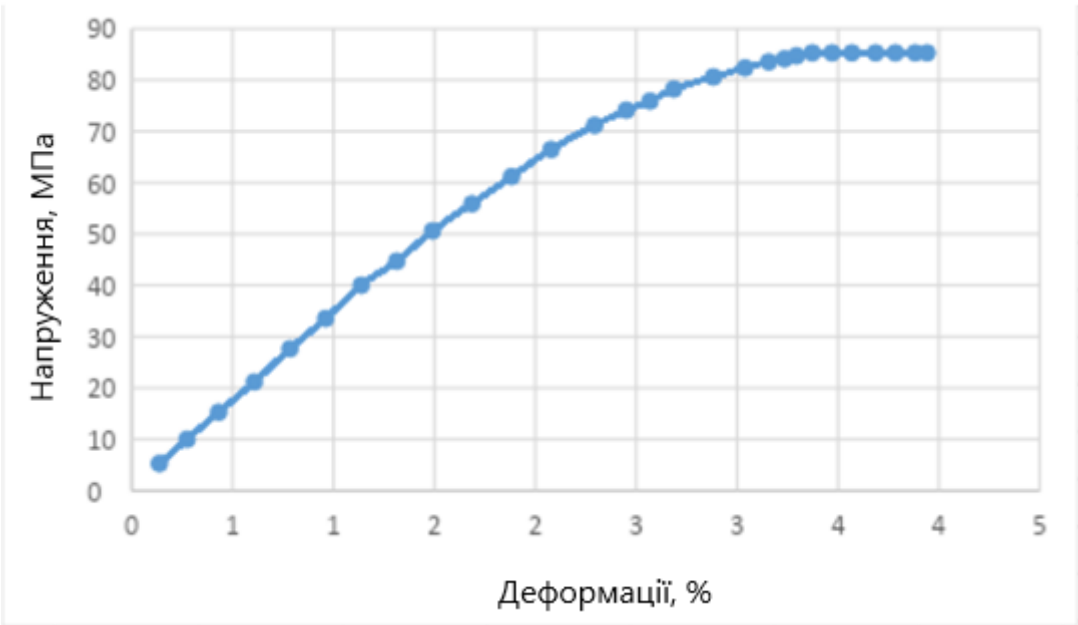


Рис.2. – Діаграма пластичності Tescamid 66.

Контактна взаємодія між фрикційною плитою 1 і полімерною частинкою 2 описується в рамках системи Abaqus, як:

1. Контакт до нормальні к поверхні фрикційної плити та сферичної частинки описується жорстким контактом Рис.3.

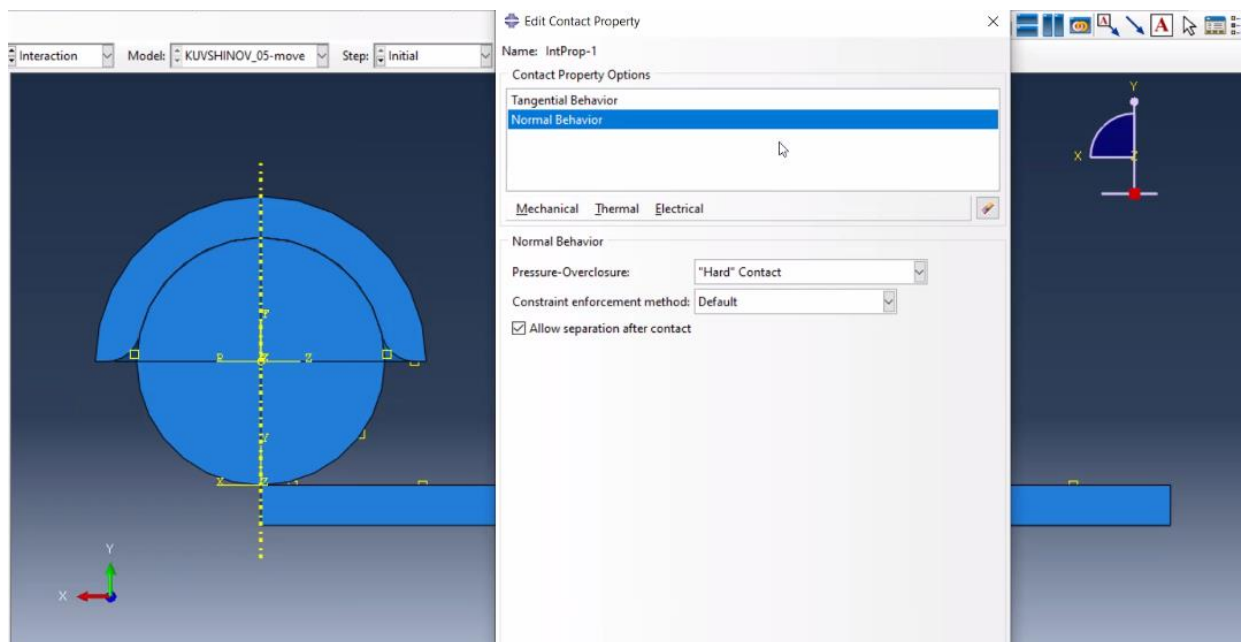


Рис. 3 Нормальна взаємодія.

2. Тангенціальна взаємодія описується з урахуванням коефіцієнта тертя між фрикційною плитою і полімерною частинкою Рис.4.

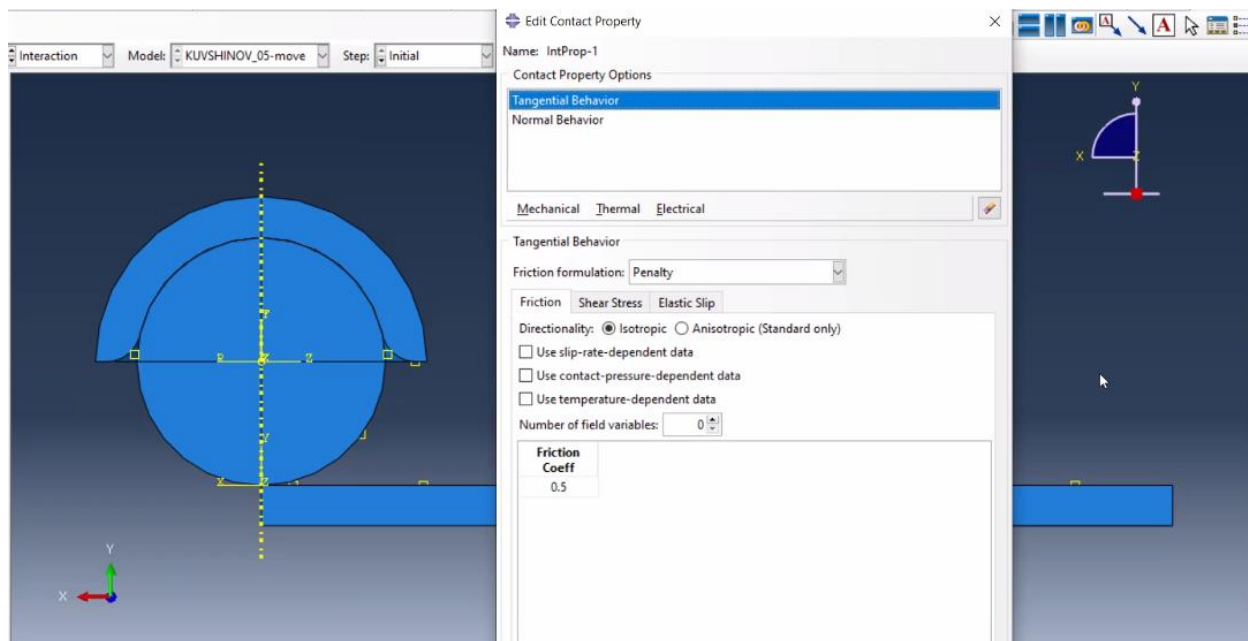


Рис. 4 Тангенціальна взаємодія.

Контактна взаємодія між розглянутою частинкою полімеру і оточуючими в сферонізаторі частинками полімеру в даній моделі здійснюється також, як і з фрикційною плитою, але з коефіцієнтом тертя «полімер - полімер».

В системі Abaqus побудована скінченно-елементна модель (Рис.5).

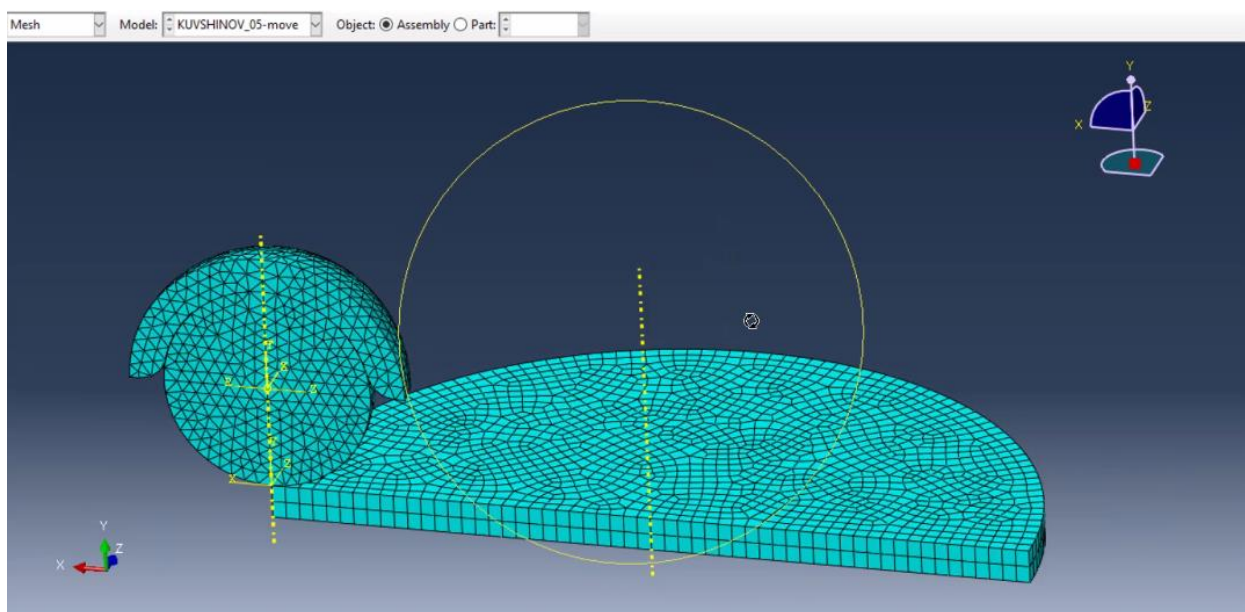


Рис.5 Скінченно-елементна модель.

Скінченно-елементна модель даної системи без площини симетрії представлена на Рис. 6.

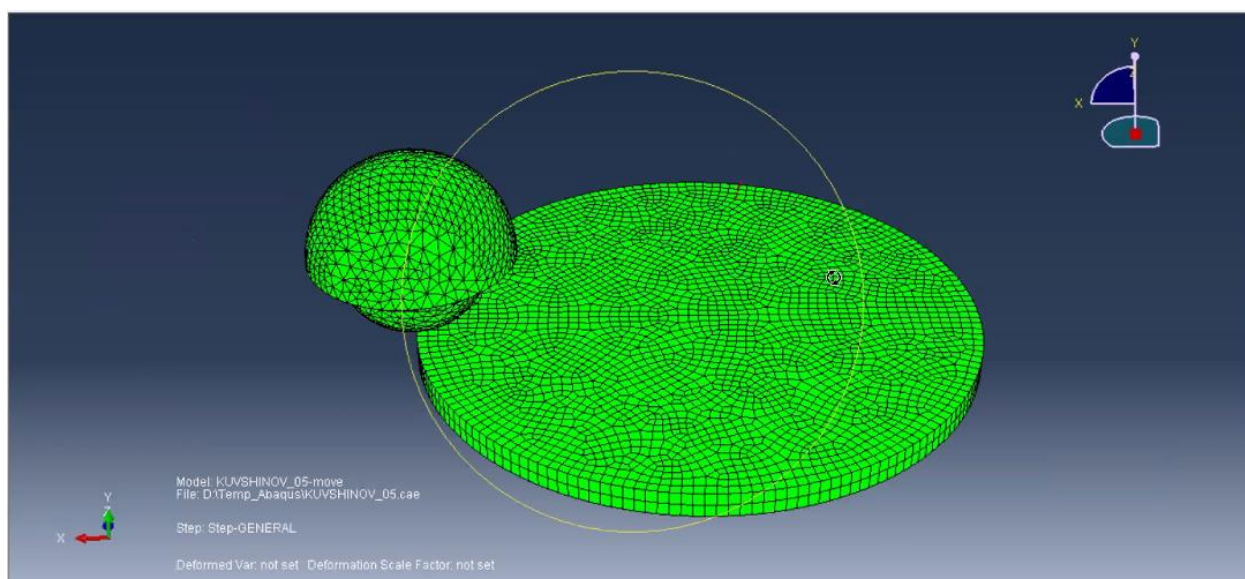


Рис. 6 Скінченно-елементна модель даної системи без площини симетрії.

На Рис. 7 представлені умови навантаження системи, які відповідають моделюванню процесу переміщення даної частинки полімеру уздовж фрикційної плити.

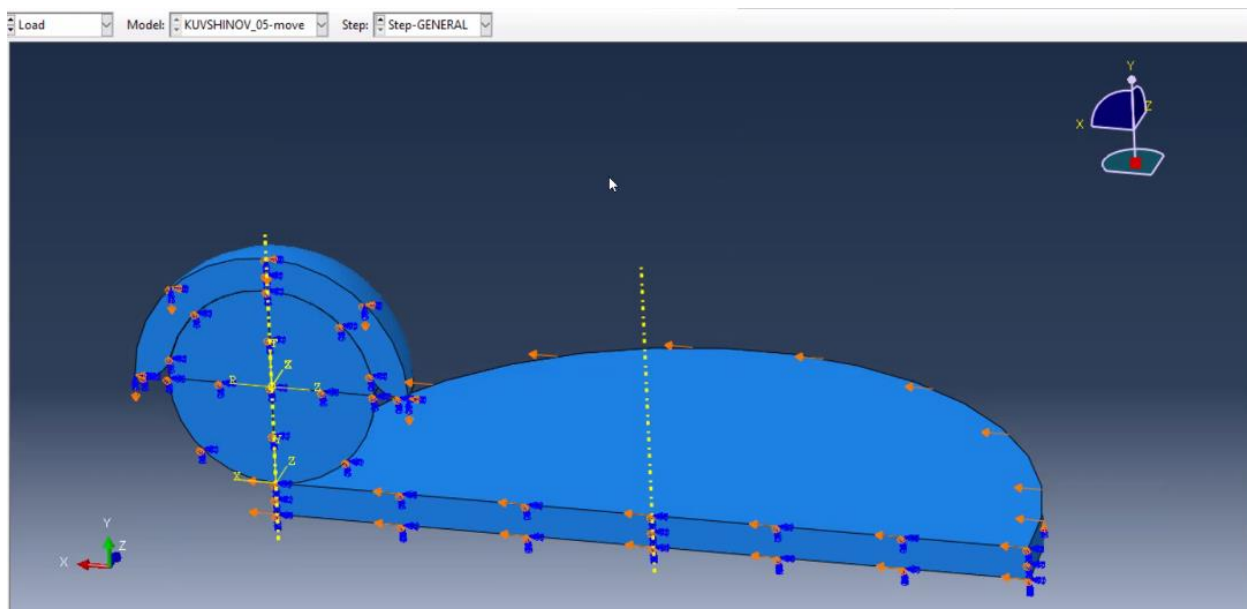


Рис.7 Умови навантаження системи.

В результаті виконаних розрахунків отримана еволюція процесу контактної взаємодії плити з полімерною часткою.

Зміни напружено-деформованого стану в часі показано (наведених напружень за Mises) на Рис. 8-12.

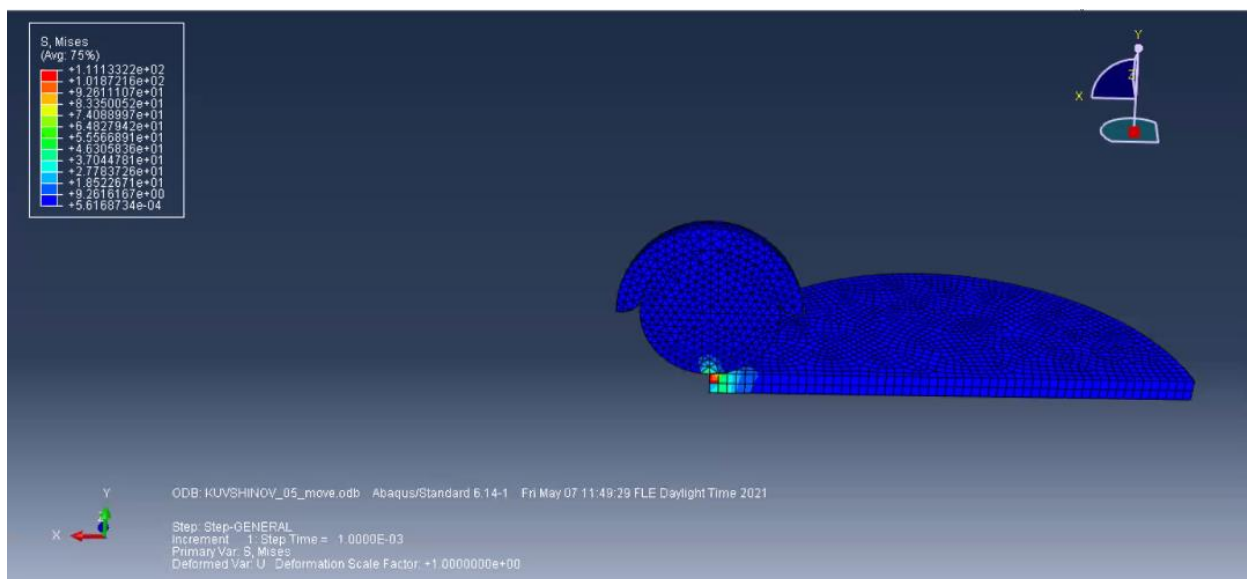


Рис. 8 Розподіл приведених напружень за Mises на першому кроці за часом.

					ЛП71.101156.02-70PP	Адк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
						67

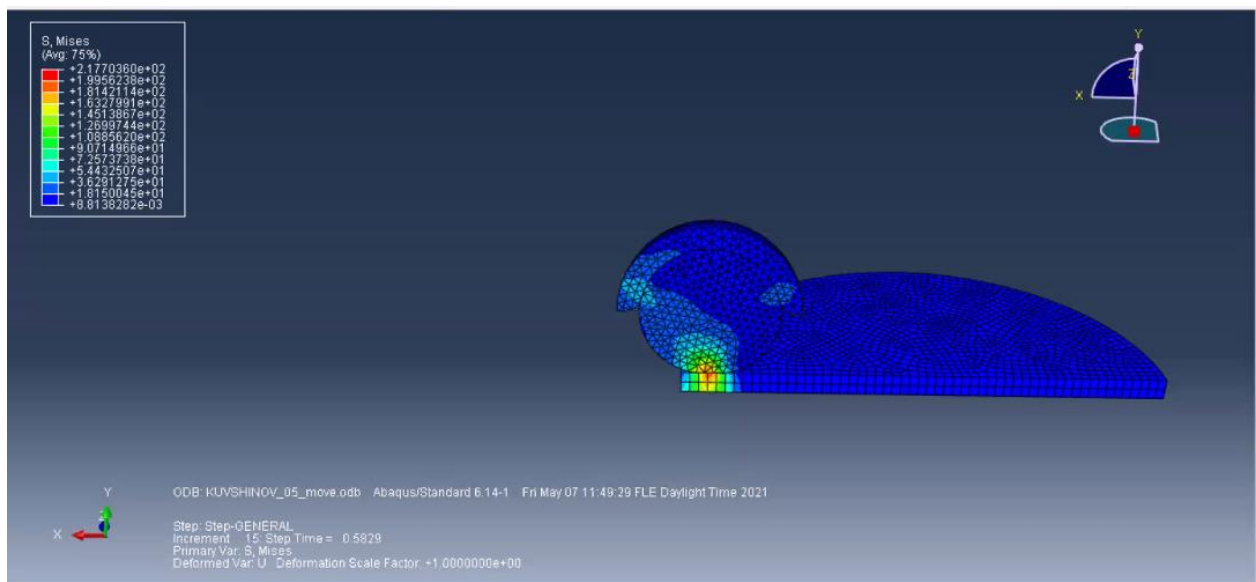


Рис. 10 Розподіл приведених напружень за Mises на третьому кроці за часом.

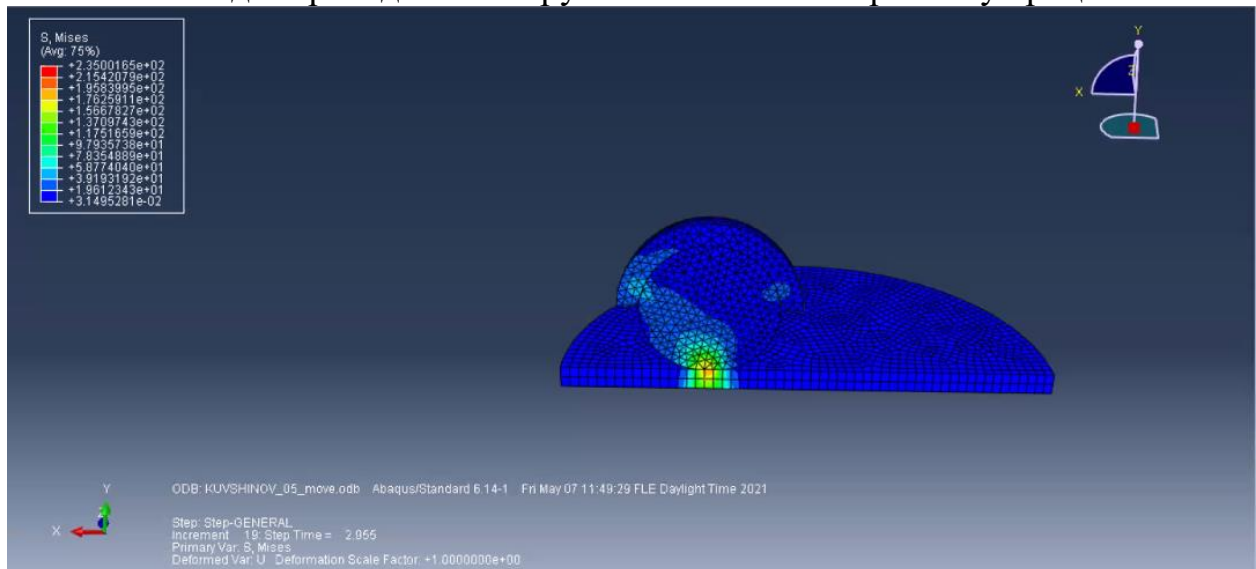


Рис. 11 Розподіл приведених напружень за Mises на шостому кроці за часом.

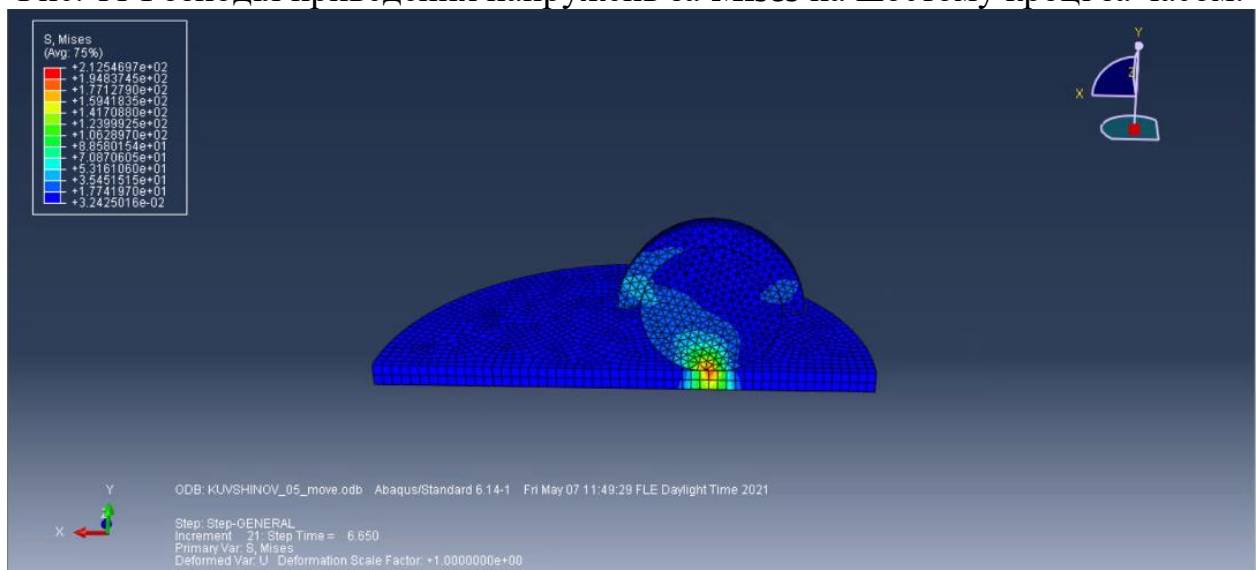


Рис. 12 Розподіл приведених напружень за Mises на восьмому кроці за часом.

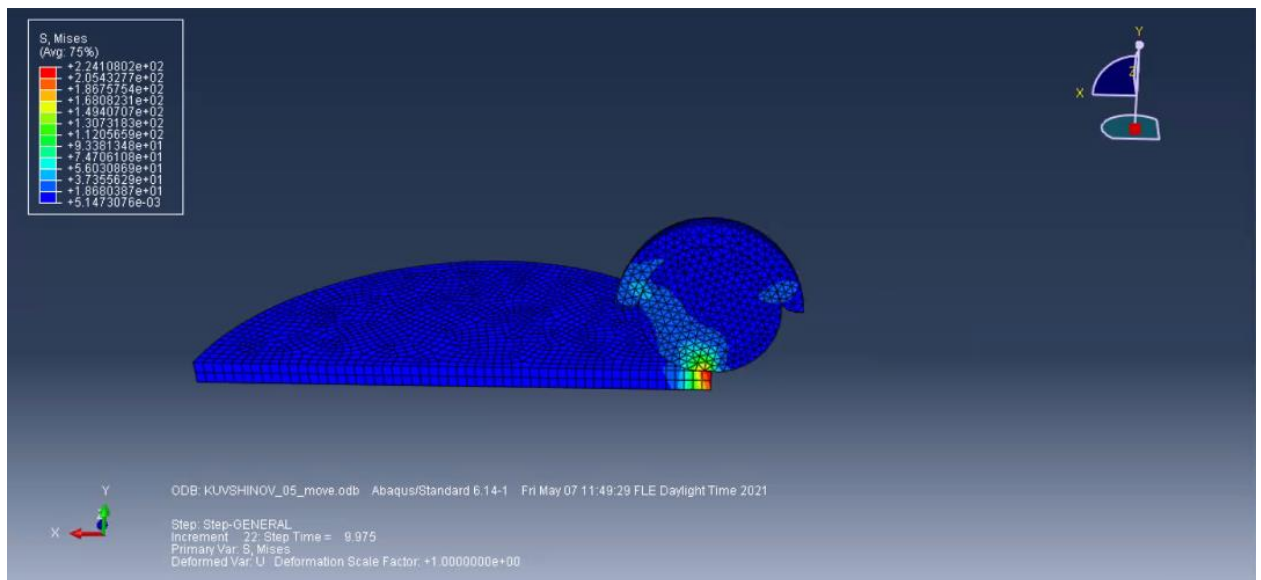


Рис. 13 Розподіл приведених напружень за Mises на десятому кроці за часом.

В результаті розрахунків побудовано графік зміни контактних зусиль між плитою та полімерною частинкою.

Як видно з графіка, приведенного на Рис.14, максимальне контактне зусилля виникає між плитою і частинкою на 0,7 секунді після початку руху, а після повороту частинки контакт в цій точці частинки з плитою зникає.

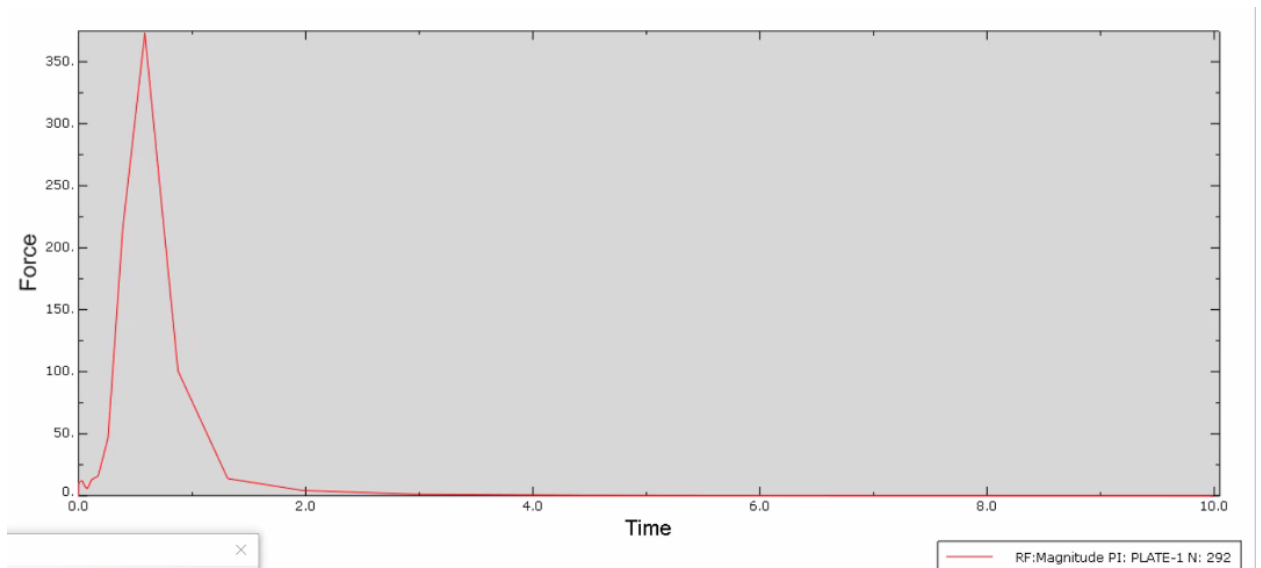
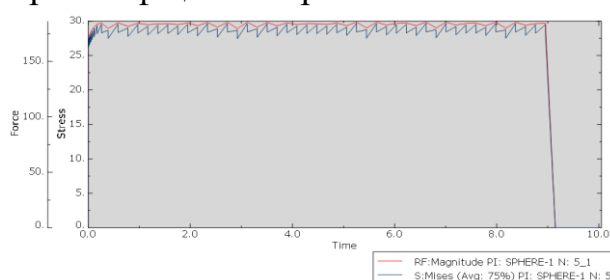


Рис. 14 Графік зміни сили контакту між фрикційною плитою і полімерною часткою в часі.

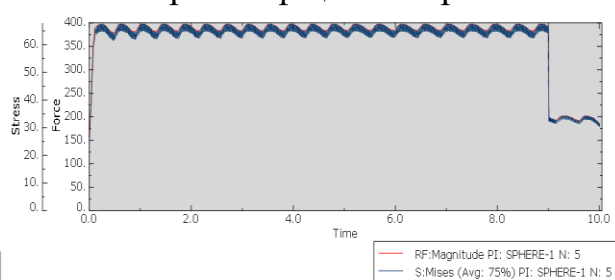
Виконано дослідження впливу коефіцієнта тертя на динамічні характеристики полімерної сферичної частинки з урахуванням її нелінійних властивостей матеріалу згідно діаграми пластичності Tescamid 66 (Рис.2).

В результаті виконаних чисельних експериментів отримано графіки залежності реакції у точці контакту гранули з фрикційною плитою та приведених напружень за Mises з урахуванням коефіцієнту тертя. Результати цих досліджень приведені на Рис. 15.

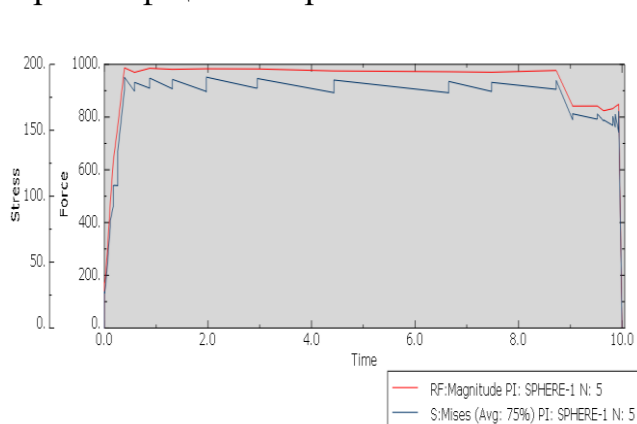
При коефіцієнті тертя = 0



При коефіцієнті тертя = 0.2



При коефіцієнті тертя = 0.6



При коефіцієнті тертя = 0.8

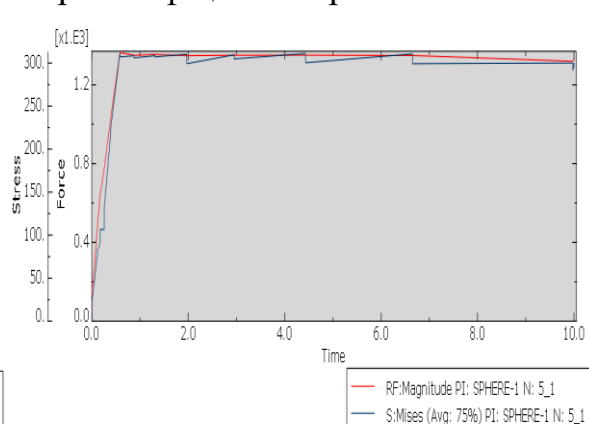


Рис. 15 Діаграми залежності реакції (Force, Н) у точці контакту та приведених напружень за Mises (Stress, МПа) в залежності від коефіцієнту тертя (червоним кольором позначені реакції, а синім – напруження).

Аналіз результатів чисельного моделювання, приведений на рис. 15, свідчить про те, що залежність, приведених напружень за Mises від коефіцієнту тертя, носить суттєво нелінійний характер (червона крива на рис. 16). Інтерполяційна функція (Approximating dependence), яка побудована на

базі максимальних значень, взятих з діаграм рис. 15, добре описується (до 2%) рівнянням четвертого порядку.

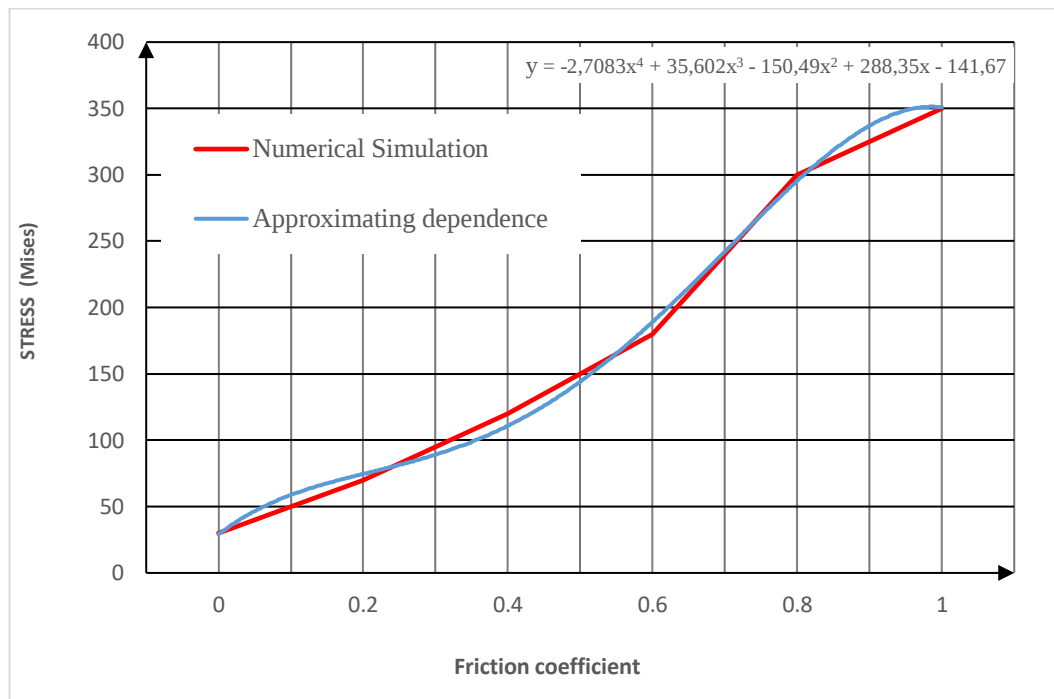


Рис. 16. Інтерполяційна функція залежності напружень приведених за Mises, в точці контакту гранули з фрикційною плитою, від коефіцієнта тертя.

Аналіз цих результатів дозволяє зробити наступні висновки:

- 1 – при коефіцієнті тертя менше ніж 0.1, відбувається лінійна деформація гранул;
- 2 – якщо коефіцієнт тертя знаходиться в діапазоні від 0.1 до 0.27, то при деформуванні гранули виникають суттєві пластичні деформації;
- 3 – починаючи з коефіцієнту тертя 0.3 і більше, в точці контакту гранули з фрикційною плитою досягаються напруження, які перевищують межу несучої спроможності матеріалу Tescamid 66, що призводить до виникнення зон руйнування.

Висновки

У дипломному проекті було проведено наступні розрахунки та досліді: параметричний розрахунок черв'яка; розрахунок черв'яка на міцність; розрахунок корпусу екструдера на міцність; кінематичний розрахунок головки черв'ячного екструдера; розрахунок коефіцієнта геометричної форми голівки; розрахунок продуктивності черв'ячної машини; розрахунок перепаду тиску в екструзійній головці; розрахунок потужності приводу екструдера; тепловий розрахунок та дослідження динамічних характеристик полімерних гранул.

В результаті виконаних розрахунків отримана еволюція процесу контактної взаємодії плити з полімерною часткою. Побудований графік зміни контактних зусиль між плитою та полімерною частинкою. Як видно з графіка, приведеного на Рис.14, максимальне контактне зусилля виникає між плитою і частинкою на 0,7 секунді після початку руху, а після повороту частинки контакт в цій точці частинки з плитою зникає.

В результаті виконаних чисельних експериментів отримано графіки залежності реакції у точці контакту гранули з фрикційною плитою та приведених напружень за Mises з урахуванням коефіцієнту тертя. Аналіз результатів чисельного моделювання, приведений на рис. 15, свідчить про те, що залежність, приведених напружень за Mises від коефіцієнту тертя, носить суттєво нелінійний характер (червона крива на рис. 16).

Інтерполяційна функція (Approximating dependence), яка побудована на базі максимальних значень, взятих з діаграм рис. 15, добре описується (до 2%) рівнянням четвертого порядку. Аналіз інерполяційної функції дозволяє зробити наступні висновки: 1 – при коефіцієнті тертя менше ніж 0.1, відбувається лінійна деформація гранул; 2 – якщо коефіцієнт тертя знаходиться в діапазоні від 0.1 до 0.27, то при деформуванні гранули виникають суттєві пластичні деформації; 3 – починаючи з коефіцієнту тертя 0.3 і більше, в точці контакту гранули з фрикційною плитою досягаються напруження, які перевищують межу несучої спроможності матеріалу Tecamid 66, що призводить до виникнення зон руйнування.

					ЛП71.101156.02-70РР	Адк
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список літератури:

1. Кувшинов О. В., Гондлях О. В. Види полімерної сировини та шляхи її використання. / Збірник доповідей XII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки» (10–11 грудня 2020 р. м. Київ). – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 9-12.
2. REHANA BEGUM A., GANESH N. S., VINEETH CHANDY. A STUDY ON DIFFERENT PELLET FORMATION TECHNIQUES AND ITS EVALUATION PARAMETERS-A REVIEW. / Department of Pharmaceutics, T. John College of Pharmacy, Bangalor. – Received: 14 Nov 2018, Revised and Accepted: 20 Feb 2019.
3. Gondliakh A. Iterative analysis USER_FE adaptive approximation of displacements for modeling at environment ABAQUS process of delamination composites // Simulia journal. - 2015, Moscow. p. 48-53.
4. Кувшинов О. В., Гондлях О. В., Жуковська А.А. Вплив коефіцієнту тертя на динамічні характеристики полімерних гранул при їх контактній взаємодії з фрикційною плитою сферонізатора.
5. Кувшинов О. В., Штефан Н. І. Визначення положення центра удару. / Збірник тез доповідей ХХІІІ Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» (28-29 листопада, 2018 р. м. Київ). – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. – С. 77.
6. Кувшинов О. В., Сідоров Д. Е. Температурні деформації продуктопроводу в пускових режимах. / Збірник доповідей ХІ Всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки» (4-5 червня 2020 р. м. Київ). – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 5-6.
7. Кувшинов О. В., Сівецький В. І., Модернізація черв'ячного екструдера/ Збірник доповідей XII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки» – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021.

					<i>ЛП71.101156.02-70PP</i>	Адк
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Розділ «Технологія машинобудування»
до дипломного проекту**

на тему: Сферонізатор з дослідженням динамічних характеристик гранул

Київ – 2021 року

					<i>ЛП71.101156.03-70TE</i>	Адк
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

1. Технологічна схема виготовлення деталі.....	76
1.1. Опис та призначення деталі.....	76
1.2. Вибір заготовки для виготовлення деталі.	76
1.3. Технологічний процес виготовлення деталі (МК, КЕ, ОК).....	78
2. Вибір та розрахунок пристосування.	81
2.1. Вибір пристосування, опис конструкції та принципу дії.....	81
2.2. Розрахунок сил закріплення деталі.	82
Висновки.	83
Література.	84

					<i>ЛП71.101156.03-70TE</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>	Кувшинов							
<i>Перевірив.</i>	Борщик							
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утвердив.</i>								
					<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>	
						75		

1. Технологічна схема виготовлення деталі.

1.1. Опис та призначення деталі.

Під час виконання робіт розробляється процес виготовлення частини «важіль», що означає вибір способу виготовлення заготовки, призначення послідовності операцій, підбір обладнання та інструментів для кожної операції технологічного процесу, обчислення елементів умов різання, різання сили і норми часу.

Важіль служить переміщення вантажів. Важіль закріплюється в одній точці, навколо якої він може вільно обертатися. Ця нерухома точка називається точкою опори. Докладаючи зусиль до одного кінця важеля, можна іншим його кінцем переміщувати або піднімати вантаж. Чим далі від точки опори докладається зусилля, тим вантаж більшої маси можна підняти або перемістити.

1.2. Вибір заготовки для виготовлення деталі.

В результаті аналізу конструкції важеля робимо висновок, що найбільш доцільно використовувати литу заготовку. Якість і вартість литих заготовок в основному залежать від способу їх виготовлення.

Найбільш розповсюджений спосіб лиття чорних металів – у земляній формі по дерев'яним моделям при ручній формовці, в земляній формі при машинній формовці по металевим моделям та ін (Табл. 1).

№	Спосіб отримання заготовки	Розміри та маса найбіл. Найменш.	Точність виконання розмірів	Шорсткість R_z , мкм (R_a)	Тип вироб.
1.	Лиття в землю при машинній формовці по дерев'яним і металевим моделям	10...15 т	6 – 13-й клас	80...20 (20...5)	Серійне

Табл. 1 Основна характеристика литих заготовок.

					<i>ЛП71.101156.03-70TE</i>	76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

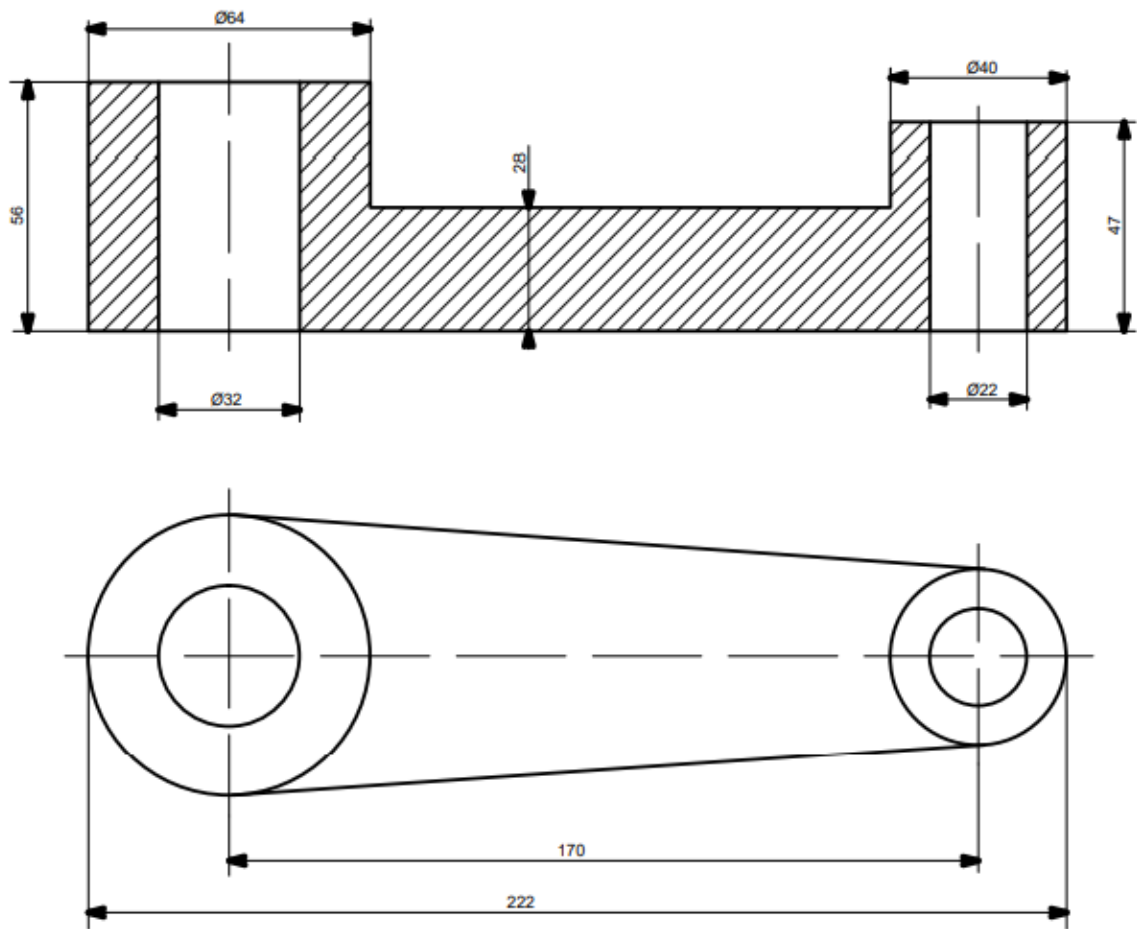


Рис.1. Заготовка деталі

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛП71.101156.03-70TE

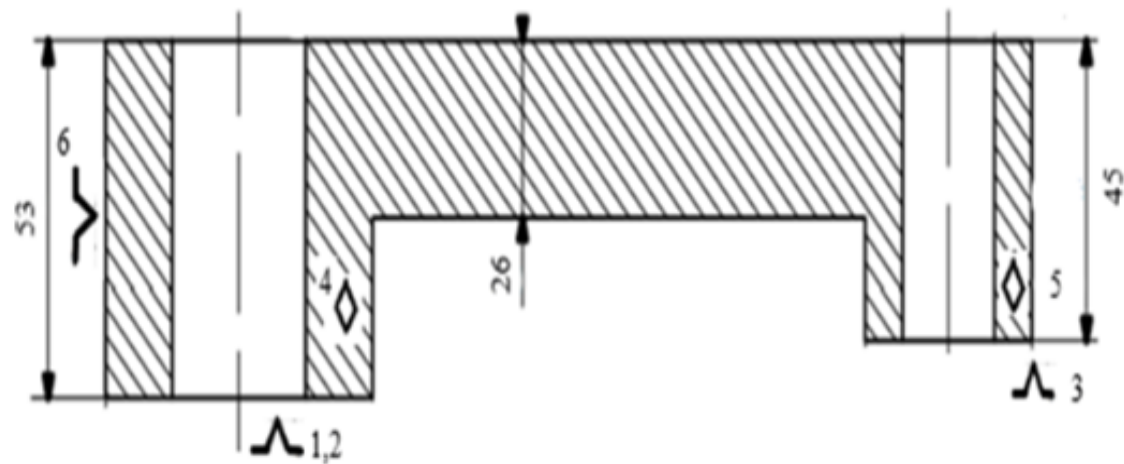
1.3. Технологічний процес виготовлення деталі (МК, КЕ, ОК).

										ГОСТ 3.1118-82				Форм	
										Зм	Ар	Недок.	Пік		
Дубл.															
Взамін.															
Підпис															
Розробив	Кувшинов О.В.						НТУУ "КПІ", ІХФ								
Перевірів	Борицький С.О.														
Н. контр.							ВАЖІЛЬ								
Сірий чавун 45 ГОСТ 1050-88															
М01															
	Код	ОВ	МД	ОМ	Н.роз	КВМ	код.загот	Профіль і розміри	КД	МЗ					
М02		Кг	1,98	1		0,8			1	12					
А	Цех	Уч	Рм	Опер	Код, найменування операції			Позначення документу							
Б	Код, найменування обладнання						См	Проф.	Р	Уп	Кр	Коод	Он	Оп	Кшт
А01			005	3608	Вертикально-фрезерна			60141.00001; 20141.00001; 10П№ХХ-ХХ							
Б02	38261.XXXX		Вертикально-фрезерний верстат 6Т10			18632			3	10	1	1	1	50	1
03															
А04			010	3608	Вертикально-фрезерна			60141.00001; 20141.00001; 10П№ХХ-ХХ							
Б05	38261.XXXX		Вертикально-фрезерний верстат 6Т10			18632			3	10	1	1	1	50	1
06															
А07			015	3708	Вертикально-свердлильна			60141.00002; 20141.00002; 10П№ХХ-ХХ							
Б08	38261.XXXX		Вертикально-свердлильний верстат СФ-16			18632			3	10	1	1	1	50	1
09															
МК	Обробка різанням														

ГОСТ 3.555-84 Форма 7

Дубл.										
Взамін.										
Підпис							Зм	Ар	Недок.	Підпис Дата

Розробив	Кувшинов О.В.			НТУУ "КПІ", ІХФ		020
Перевірів	Борщук С.О.					
Н. контр.				ВАЖІЛЬ		Н



KE

Обробка різанням

2. Вибір та розрахунок пристосування.

2.1. Вибір пристосування, опис конструкції та принципу дії.

Деталь класу “некруглі стержні”. Характерні представники данного виду класу деталей – шатуни, важелі, коромисла, планки, бруски, клини, вилки перемикання коробок швидкостей та інші. Заготовки – поковки, відливки.

Вибір моделей устаткування, визначення частоти обертання і подачі здійснюють відповідно до рекомендацій. Для середньосерійного виробництва підбирають високопродуктивне універсальне та спеціалізоване устаткування, орієнтуючись на відповідність основних розмірів робочих органів верстата габаритним розмірам оброблюваної заготовки і досягнення необхідної точності, а також на використання мінімальної кількості різних моделей верстатів.

Для досягнення високої якості і продуктивності при виготовленні хрестовини в усіх операціях згідно з рекомендаціями, наведеними для серійного виробництва, застосовуєте спеціальні пристосування з швидкодіючими затискачем заготовок (Рис.2). Обробку виконуємо стандартним інструментом.



Рис. 2 Швидкодіючий затискач.

2.2. Розрахунок сил закріплення деталі.

Розрахунок сили затиску деталі з урахуванням сил, діючих у пристрої, здійснюються наступним чином: оброблювана деталь зовнішньою циліндричною поверхнею установлена в призмі під кутом $\alpha=90$ и затиснута силою W . Провороту деталі навколо її осі протидіють сили тертя, виникаючі на поверхні контакту деталі з установочними і затискними елементами пристосування.

Без урахування сил тертя на торці деталі:

$$KM = wf_1r + wf_2r \cdot \left| \frac{1}{\sin \left| \frac{\alpha}{2} \right|} \right|$$

Звідки:

$$W = \frac{KM}{f_1r + f_2r \cdot \left| \frac{1}{\sin \left| \frac{\alpha}{2} \right|} \right|}$$

Де f_1 і f_2 - коефіцієнти тертя, $f_1 = f_2=0,1$; K – коефіцієнт запасу, $K=1,2$;

W – сила затиску; r – радіус деталі; M – момент.

$M = r \cdot P = 10 \cdot 1189 = 11890 \text{ Н} \cdot \text{м}$, де P – сила обробки, $P=10 \text{ Н}$.

$$W = \frac{1,2 \cdot 11890}{(0,1 \cdot 10 + 0,1 \cdot 10 \cdot 0,7071)} = \frac{14268}{1,7071} = 8358 \text{ Н}$$

ВИСНОВКИ

У процесі розробки технологічного процесу виготовлення важеля було виконано наступне:

- розглянуто службове призначення важеля і його конструктивні особливості;
- зроблений вибір заготовки для виготовлення деталі;
- проаналізовано технологічність важеля та його заготовки;
- проаналізовано технологічний процес виготовлення деталі
- визначено тип виробництва;
- вибрано спосіб виготовлення заготовки;
- проведено розрахунок сил закріплення.

					<i>ЛП71.101156.03-70TE</i>	
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		83

Список літератури:

1. Методичні рекомендації до вивчення дисципліни „Технологія машинобудування” / Уклад.: В. С. Гриценко, Ю. М. Малафеев, С. С. Добрянський, В. К. Фролов та ін. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 92 с.
2. Малафеев Ю.М., Гриценко В.И. Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев. Исследование температурно-силовых зависимостей при точении сплава 16Х-ВИ. Опубликовано: Материалы III международной научно-практической конференции «Эффективные инструменты современных наук – 2007». Том 8. Технические науки, г. Днепропетровск: «Наука и образование», 2007. С.56-58.
3. Методичні рекомендації до практичних занять з дисципліни „Технологія машинобудування” для студентів факультету хімічного машинобудування та поліграфічного факультету (Укл. С. С. Добрянський, В. К. Фролов, В. Л. Шестаков) – К.: КПІ, 1996. – 78 с.
4. Горбацевич А. Ф., Шкред В. А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. – Минск: Вышэйшая шк., 1983.- 256 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя в 2-х томах Т1. Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова – 4-е изд. переработанное и дополненное – М.: Машиностроение. 1986г. – 656 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя В 2-х томах Т2. Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова – 4-е изд. переработанное и дополненное – М.: Машиностроение. 1986г. – 496 с.
7. Справочник приспособления: Справочник. В 2-х томах. Под ред. Б.Н. Вардашкина, Т1 : М.: Машиностроение. 1984г. – 592 с.
8. Справочник приспособления: Справочник. В 2-х томах. Под ред. Б.Н. Вардашкина, Т2 : М.: Машиностроение. 1984г. – 656 с.
9. Справочник: Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении. Косилова А. Г., Мещеряков Р. К., Калинин М. А. – М.: Машиностроение, 1976. – 288 с.

					<i>ЛП71.101156.03-70TE</i>	84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця розглянутих патентів

№ п.п	Предмет пошуку	№ свідоцтва, МПК, країна, організація, автор	Суть заявленого технологічного рішення та ціль його створення
1.	Continuous melt spheronization apparatus and process for the production of pharmaceutical pellets.	Isaac Ghebre-Sellassie, Charles Martin, Bert Elliot// Авторське свідоцтво US7771632B2 (10.08.2010)	Гранули сферичної форми виробляються за допомогою представленого авторами патенту нового апарату сферонізації в процесі безперервної сферонізації розплаву, в якому активний хімічний агент змішується з різними допоміжними речовинами, подається в екструдер, розрізається і згодом подається до нового сферонізатора для постійного отримання однорідних сферичних гранул у формі.
2.	Spherical particles produced by a hot-melt extrusion / spheronization process.	Christopher R. Young, John J. Koleng, James W.Mcginity//Авторське свідоцтво WO2002035991A2 // (10.05.2002)	Авторами патенту представлені сферичні гранули, що містять активний агент і були успішно виготовлені за допомогою екструзії / сферонізації методом термоплавлення.
3.	Continuous Extrusion-Spheronization. / CASE STUDY PHARMACEUTICALS (LCI) – PRODUCT: Twin Radial Xtruder, Marumerizer® Model QJ-700.	LCI Corporation, 4433 Chesapeake Drive, Charlotte, NC 28216, Sales: 704-394-8341, Service: 704-458-3338 Canada.	Авторами патенту представлено пакетні системи для виробництва препаратів. Вироблені екструдати є більш стабільними завдяки безперервній та регульованій подачі за допомогою Circle Feeder.
4.	INTEGRATED EXTRUDER SPHERONIZER. // UMANG encapsulation solutions. // Extruder Spheronizer – Umang pharma Integrated Process.	UMANG PHARMATECH PVT. LTD. Survey No. 146, H. No. 1 (PT) , Vasai Phata Highway Junction, Pelhar, NH-8, Vasai-Virar, Maharashtra 401208 (India)	В інтегрованому екструдері-сферонізаторі із збірного ковша матеріал потрапляє на клітчасту пластину барабана сферонізатора, де він обертається з певною швидкістю, і завдяки відцентровій силі екструзії перетворюється на гранули через пневматичне відкривання дверей. Приблизно виробництво однієї партії займає 3-6 хвилин, тому кількість отриманих партій складає 10-12 за годину (продуктивність кг / год).

№ п.п	Предмет пошуку	№ свідоцтва, МПК, країна, організація, автор	Суть заявленого технологічного рішення та ціль його створення
5.	Система охолодження черв'яка екструдера.	Мікульонок І. О., Войцехов Є. М., Рудакова В. А. // Авторське свідоцтво: UA №66668U (2012)	В патенті пропонується встановити дві перфоровані труби у порожнині валу: одну для відведення, а іншу для підведення охолоджувальної рідини по всій довжині порожнини черв'яка, тим самим забезпечивши своєчасне усунення відпрацьованої підігрітої рідини від поверхні.
6.	Черв'ячний екструдер.	Мікульонок І. О., Івіцький І. І., Сокольський О. Л., Сівецький В. І., Куриленко В. М., Романюк В. В. // Авторське свідоцтво: UA №102098U (2015).	Авторами патенту було запропоновано таке конструктивне рішення, що розглядає можливість модернізації черв'ячного екструдера за допомогою проектування нового секційного черв'яка, яке дозволить розвантажити найбільш навантажені хвостові частини черв'яка, тим самим забезпечивши стабільними умовами переробки вторинної полімерної сировини з високою якістю за допомогою надання можливості зміни швидкості обертання обох секцій черв'яка.
7.	Черв'як екструдера.	Мікульонок І. О., Івіцький І. І., Сокольський О. Л. // Авторське свідоцтво: UA №102908U (2015).	В патенті для вдосконалення даної моделі було вирішено змінити наконечник таким чином, щоб він забезпечував ефективне згладжування пульсацій потоку розплаву в широкому діапазоні, тим самим досягаючи отримання більш якісної продукції зі стабільними формами та розмірами.
8.	Шнековий екструдер.	Невзоров В. Н., Холопов В. Н., Безязиков Д. С., Янова М. А. // Авторське свідоцтво RU №2626208C1 (2016).	Авторами патенту запропонована модернізація шнекового екструдера для поліпшення виробничої продуктивності за допомогою підшипникового вузла, який з'єднаний підшипниками зі шнеком та розташований в корпусі екструдера. Також цей вузол забезпечений завантажувальним патрубком.

[illegible]

Тези

УДК 531/534

ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ЦЕНТРА УДАРУ

студент Кувшинов О. В., к.т.н., доцент Штефан Н. И.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

В дослідженнях питань про удар одним з них є визначення положення центра удару.

*Явище, при якому за дуже малий проміжок часу кількості руху точок тіла змінюються на скінченну величину, називається **ударом**.*

Прикладів цього явища є безліч: удар м'яча об стіну, більярдної кулі об іншу кулю, раптова зупинка тіла, раптовий початок руху внаслідок руйнування утримуючих деталей тощо.

Відомо, що для того, щоб удар не передавався на опори осі обертання, мають виконуватися такі умови:

1) площа xOy , що містить ударний імпульс і перпендикулярна до осі обертання, має перетинатися з нею в точці O , для якої вісь обертання є головною віссю інерції;

2) лінія дії ударного імпульсу має бути перпендикулярною до площини, що містить центр мас тіла і вісь обертання;

3) лінія дії ударного імпульсу має бути віддалена від осі обертання на відстань l .

Точка D , в якій прикладено ударний імпульс, що задовольняє всі наведені умови, є *центром удару*. У фізичному маятнику центр удару збігається з центром коливань, тому що у цьому разі його зведена довжина дорівнює відстані l .

Якщо визначати положення центра удару у круглій мішені радіусом r , підвішеної до нерухомої горизонтальної осі обертання O , що збігається з дотичною до обода мішені, то згідно з умовою задачі це тіло є фізичним маятником. Отже, центр удару розміщується від осі підвішування на відстані зведеної довжини фізичного маятника.

За формулою $l = \frac{I_z}{m\chi_c}$ зведена довжина маятника $l_{3B} = I/(mh)$,

де h – відстань від точки підвішування до центра ваги: $h = r$. Момент інерції круга відносно поперечної центральної осі C буде $I_C = mr^2/4$. За теоремою Штейнера – Гюйгенса визначимо момент інерції круга відносно осі підвішування $I = I_C + mh^2 = \frac{mr^2}{4} + mr^2 = \frac{5}{4}mr^2$. Тоді $l_{\text{зв}} = \frac{\frac{5}{4}mr^2}{mr} = \frac{5}{4}r$.

Отже, центр удару від осі підвішування віддалений на $\frac{5}{4}r$.

Температурні деформації продуктопроводу в пускових режимах

Кувшинов О.В., Сідоров Д.Е., к.т.н., доцент
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Визначені температурні деформації продуктопроводу в пускових режимах з урахуванням несталості коефіцієнта температурного розширення.

Конструкційні елементи, які працюють в умовах зміни температурних режимів можуть мати значні температурні деформації. Вважається, що лінійні температурні деформації прямо пропорційні різниці монтажною та робочою температур для цих елементів [1]. Проте, коефіцієнти температурного розширення для сталей мають власну температурну залежність [2]. Таким чином, у пускових режимах роботи технологічного обладнання існують особливості визначення температурних деформацій.

Визначення температурних деформацій у режимах зміни температури від 373 К до 773 К виконано на прикладі фрагменту продуктопроводу довжиною 10 метрів (неіржавіюча сталь 12Х21Н5Т). Дані щодо температурної залежності коефіцієнту лінійного розширення отримано на основі [3] і узагальнено залежністю, яка наведена на рис. 1. Досліджені залежності температурних деформацій (з урахуванням несталості коефіцієнту лінійного розширення та без урахування) наведено на рис. 2.

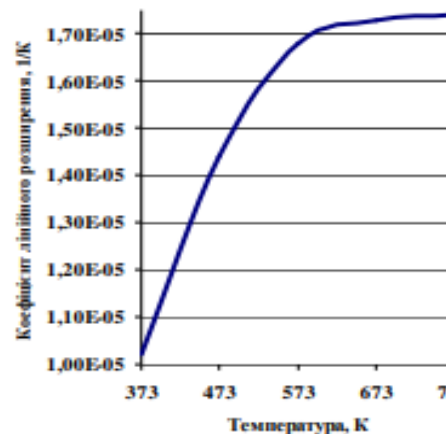


Рис. 1. Температурна залежність коефіцієнта лінійного розширення для сталі 12Х21Н5Т

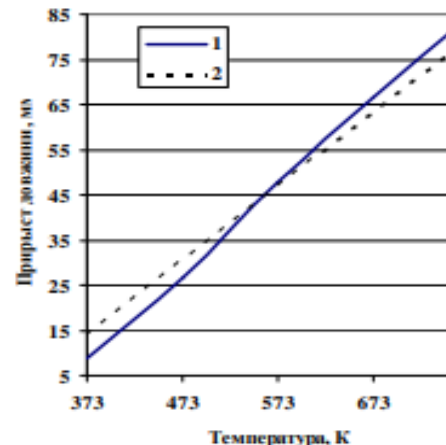


Рис. 2. Температурні деформації продуктопроводу: 1 – температура залежність коефіцієнта лінійного розширення врахована; 2 – коефіцієнта лінійного розширення $1,6 \cdot 10^{-5}$ 1/К

З рис. 1. добре видно, що значення коефіцієнта лінійного розширення змінюються на 70% у вказаних змінах температур пускових режимів. Проте візуальні відмінності у графіках розрахованих деформацій не такі великі (рис. 2). Однак, наприклад, за температури 373 К відмінності складають близько 5 мм (близько 60 %), а за високих температур розрахункова різниця деформацій збільшується до 18 мм при 85 мм абсолютного значення (близько 11%).

Таким чином, не глядячи на те, що на рис. 2 не спостерігається якісних відмінностей у поведінці досліджених залежностей, вплив температурної залежності коефіцієнта лінійного розширення вносить суттєвий вклад в кількісну картину температурних деформацій продуктопроводу у пускових режимах.

Література

- Сідоров Д.Е. Основи інженерних розрахунків на ПЕОМ. Програмування алгоритмічною мовою Фортран. 2-ге вид. Навч. посіб. / Д.Е. Сідоров, І.О. Казак. – К.: «Центр учбової літератури», 2016. – 185 с.
- Гладков С.О. О температурной зависимости коэффициента объемного расширения металлов/ Физика металлов и металловедение. №117(1), январь 2016. С. 3-10. DOI: 10.7868/S0015323016010058
- Температурный коэффициент линейного расширения стали. Доступ: <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/metally-i-splavy/temperaturnyj-koeffitsient-linejnogo-rasshireniya-stali>

DANGERS IN POLYMER PRODUCTION

Oleksii Kuvshynov

Faculty of Chemical Engineering, National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Key words: chemical factor, physical factor, plastic products, polymers, toxic substances, styrene, formaldehyde, dioxin, packaging materials

Introduction. Especially important in modern conditions is the interaction of man with the environment. The complex effect of the chemical factor on the human body in different ways of toxic substances, the combined action of complex mixtures, as well as a combination of chemical and physical factors are reflected in the health of workers and the general population. Today, a chemical factor is constantly present in the environment, in the conditions of production and human habitation.

Analysis of the state of the issue. The first evidence that plastics can be the cause of various diseases appeared about 60 years ago. The ratio of the rate of change in the environment and the adaptive capabilities of the human body are not in favor of man due to the widespread use in the household and household of various chemicals and polymeric materials.

Objectives. To study the potential dangers of the use of polymeric materials and products from them for human health using a system of control and research of products.

Methods. According to their power structures, polymers belong to printed substances that can introduce a large list of diseases of both the central nervous system and individual organs in humans. In certain cases, the disease may make changes that provide disability or even death.

Polyethylene, polystyrene, polyvinyl chloride, polyethylene terephthalate are the main types of compounds used in the production of established manufacturers of polymers.

Chemical compounds that are released during the reactions of polymers:

- styrene – is very common, as it is the main raw material in the manufacture of plastic utensils. While in a gaseous state, styrene creates a subdivision of the depicted membranes, which can provoke acute temporary or chronic inflammatory processes in the oral cavity.

- formaldehyde – a carcinogenic substance that provides a regular search in the human body for side effects in the event of deterioration or loss of vision, which causes liver dysfunction and cirrhosis.

- dioxin – a resistant poisonous substance that incredibly quickly provides its chemical formula penetrates the receptors of living organisms, provides or alters their functional activity. Dioxin leads to the ability to accept immunity and disrupts cell division, reduces reproductive function, provokes the development of cancer and leads to infertility.

Results. Accordingly, the Law of Ukraine "On Basic Principles and Requirements for Food Safety and Quality" and amendments made to it from 22.07.2014 №1602-VII of September 20, 2017, in Ukraine, the rules come into force,

						Адк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

providing for the introduction of a system of hazard analysis and control at critical points for facilities operating with food products that do not produce ingredients of animal origin (DSTU ISO 22000), and until 20.09.2019. for all market operators. This system also proposes to invite the introduction of procedures to control the level of migration of toxic elements in auxiliary materials that come into contact with food (utensils, packaging materials, etc.).

Conclusions. In order to study the potential dangers of the use of polymeric materials and products from them for human health, special laboratories conduct research on products:

- packaging materials, including food contact, disposable tableware;
- products for children's use (shoes, clothes, school supplies, stationery, etc.);
- children's toys;
- polymer and polymer-containing materials and products used in the construction and manufacture of furniture;
- household chemicals;
- personal hygiene products, etc., packaging and prevention facilities, water supply, sewerage and others. Research is conducted on almost 50 indicators to assess the safety of products manufactured and sold in the retail network.

In addition, work is organized to conduct laboratory and instrumental research on the safety of human life in the food industry, children's adolescents and health facilities, catering and trade, warehouses, residential buildings.

References:

1. La Mantia, F. (2006). Recycling of plastics. SPb. Profession, 400 p.
2. Naumenko, A.S., Goldfeld, S.S., Bubenko, V.A. (1989). Recycling of polymeric materials. Kharkiv: KhCNTI.
3. Babaev, V.N., Peas, N.P., Kovalenko, Yu.L. (2004). Polymer waste in the municipal services of the city. Kharkov: KNAGH. 375 p.
4. Reznichenko, T.I., Podgomaya, L.F. (1994). Disposal of equipment for the production and processing of polymeric materials in the premises and tasks. Kharkiv: KhGPU.
5. Rodin, M.A. (2014). Technology of manufacturing polyamide products by injection molding. Student Scientific Forum. Proceedings of the VI International Student Scientific Conference. Retrieved from <https://scienceforum.ru/2014/article/2014004490>.
6. Law, P.K., Britton, T.J. (n.d.). Plastics industry. Encyclopedia of Healthy Safety and Health. Retrieved from <http://base.safework.ru/iloenc?doc&nd=857200177&nh=0&ssect=2>

СПЕЦИФІКА НЕБЕЗПЕК НА ПОЛІМЕРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Кушніров О. В., студ. (гр. ЛП-71, ІХФ КПІ ім. Ігоря Сікорського)

Анотація. Розглянуто питання комплексного впливу різних факторів, що супроводжують технологічні процеси на виробництві та під час переробки полімерних матеріалів. Досліджено особливість хімічного впливу на організм людини токсичних речовин, а також комбінованої дії складних сумішей, як на стадії виробництва, так і з боку готової продукції для населення. Запропоновано заходи і засоби для ефективного реагування на надзвичайні ситуації у даній галузі, а також план організації безпечної роботи у різних сферах життєдіяльності людини, зокрема, у харчовій промисловості, у громадських організаціях та побуті.

Ключові слова: хімічний фактор, фізичний фактор, пластмасові вироби, полімери, отруйні речовини, стирол, формальдегід, діоксин, пакувальні матеріали.

Abstract. The issue of complex influence of various factors accompanying technological processes in the production and processing of polymeric materials is considered. The peculiarity of the chemical effect of toxic substances on the human body, as well as the combined action of complex mixtures, both at the stage of production and by the finished product for the population, has been studied. Measures and tools for effective response to emergencies in this area are proposed, as well as a plan for the organization of safe work in various spheres of human life, in particular, in the food industry, in public organizations and everyday life.

Keywords: chemical factor, physical factor, plastic products, polymers, toxic substances, styrene, formaldehyde, dioxin, packaging materials.

Вступ. На сьогоднішній день виготовлення продукції з полімерних матеріалів посідає одне з головних місць у хімічній промисловості. Для покращення властивостей полімерних матеріалів до них додаються різноманітні домішки чи наповнювачі. Це дозволяє значно поліпшити фізико-механічні характеристики полімерних матеріалів. При виробництві полімерних матеріалів, чи їх переробці, спостерігається виділення у повітря різних газоподібних речовин і пилу, що може спричинити розвиток ряду захворювань працівників. Це може бути наслідком дії на організм людини комплексного впливу різноманітних факторів, комбінованої дії складних сумішей, а також поєднанням хімічного та фізичного факторів. Тому надзвичайно важливою складовою безпеки на подібних виробництвах є чітке дотримуватися встановлених вимог щодо технологічного регламенту та техніки безпеки [1].

Аналіз стану питання. Ще близько 60-ти років тому виникли перші проблемні питання з практики використання пластмасових виробів, оскільки вже тоді було відзначено науковцями великий спектр захворювань через використання предметів побуту саме з цього матеріалу. Співвідношення змін між середовищем, в якому перебуває людина, та можливостями самого

						Адк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

людського організму до пристосування чи адаптації, призводять до негативних наслідків у зв'язку з дуже широким спектром використання хімічних засобів і полімерних матеріалів у господарстві та побуті [2].

Meta роботи: вивчення та дослідження потенційної небезпеки застосування полімерних матеріалів і виробів з них для здоров'я людини з використанням системи контролю та дослідження продукції.

Методики, матеріали і результати досліджень. За своїми властивостями полімери є досить отруйними речовинами, які можуть викликати значне відхилення від нормальної роботи центральної нервової системи, а також окремих внутрішніх органів. У певних ситуаціях при захворюванні проявляються ускладнення, які можуть спровокувати втрату працездатності (інвалідність) або іноді навіть призвести до летальних випадків.

З полімерних виробів основними сполуками є полівінілхлорид, поліетилен, поліетилентерефталат, полістирол, які використовуються на виробництві на стадії виготовлення.

Стирол у вигляді газу спричиняє подразнення слизових оболонок, що може викликати короточасні запальні процеси у роті, які будуть дуже гострими, або ж перейдуть у розряд хронічних. Також можливі прояви інших побічних ефектів при постійному втручанні в організм людини, а саме зниження гостроти зору, можливі розлади печінки, що можуть призвести навіть до цирозу. Істотному впливу підлягає функціональна активність людини, а також знижується спроможність людської імунної системи. В окремих випадках стирол сприяє розвитку онкологічних захворювань та може спровокувати безпліддя [3].

Згідно державних нормативних актів та стандартів передбачено здійснювати систематичний аналіз небезпечних факторів та їх контроль, а також введення процедури системного контролю рівня міграції токсичних елементів у допоміжних речовинах, що мають контакт з продуктами харчування, тобто різноманітного посуду та пакувальні матеріали.

Висновки. З метою вивчення та дослідження потенційної небезпеки застосування полімерних матеріалів і виробів з них на людський організм, спеціальні лабораторії проводять перевірку та дослідження властивостей продукції, а саме:

- продукції для дітей, тобто використання дитячого взуття та одягу, різноманітне шкільне приладдя, канцтовари, тощо;
- пакувальних матеріалів, які використовуються для пакування харчових продуктів, а також одноразовий посуд;
- дитячих іграшок;
- матеріалів і виробів, що містять полімери, та використовуються при виготовленні меблевих виробів та у будівництві;
- засобів особистої гігієни та товарів побутової хімії, тощо.

Біля 50 напрямів використовують для опрацювання певних дослідів, які дають можливість оцінювати безпеку споживчої продукції, яка виготовляється та використовується у торгівельній мережі.

Крім того, організовуються певні роботи для проведення лабораторних випробувань, спрямованих на розробку ефективних заходів з охорони праці працівників підприємств харчової промисловості, у дитячих та оздоровчих комплексах, об'єктах громадського харчування та торгівлі, житлових будинках, пакувальних цехах, складських приміщеннях, підприємствах водовідведення та водопостачання.

Література

1. Р. К. Law, Т. J. Britton. Промышленность пластмасс. Энциклопедия по здравоохранению и гигиене труда: энциклопедия URL: <http://base.safework.ru/iloenc?doc&nd=857200177&nH=0§=2>.
2. Вторичная переработка пластмасс / Ф. Ла Мантия (ред.) ; пер. с англ. ; под ред. Г. Е. Заикова. – СПб. : Профессия, 2006. – 400 с.
3. Родин М. А. Технология изготовления изделий из полиамида методом литья под давлением. Студенческий научный форум – 2014: материалы VI Международной студенческой научной конференции. URL: <https://scienceforum.ru/2014/article/2014004490>.

						Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Модернізація черв'ячного екструдера

Кувшинов О. В., студент; Сівецький В. І., к.т.н., професор
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

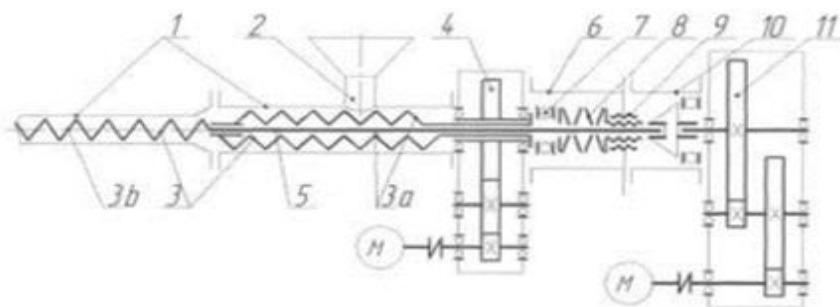
Запропоновано виконання секції завантаження черв'яка з незалежним приводом відносно зон пластикації та дозування.

Продуктивність черв'ячної машини з постійним діаметром червяка в значній мірі визначається конфігурацією зони завантаження. З метою збільшення продуктивності, як правило, змінюють в зоні завантаження глибину гвинтового каналу, що обмежено умовами міцності. Для переробки порошкоподібних полімерів та їх подрібнених відходів з малою насипною щільністю використовується черв'ячна машина з діаметром черв'яків та глибиною каналу в зоні завантаження значно більшими, ніж в зонах плавлення та дозування [1].

Недоліком черв'ячної машини такої конструкції є складність узгодження технологічних можливостей зони завантаження з іншими зонами машини.

З метою забезпечення можливостей узгодження продуктивностей різних технологічних зон ЧМ пропонується використати рішення [2], тобто виконати зону завантаження значно більшого діаметра та глибини каналу з можливістю регулювання тиску на вході в зоні плавлення та дозування.

Модернізований таким чином черв'ячний екструдер забезпечить можливості незалежної зміни швидкостей обертання різних секцій черв'яка, що дозволить суттєво підвищити продуктивність екструдера та якість перероблюваного полімеру.



Кінематична схема модернізованого черв'ячного екструдера

1 – порожнистий корпус, 2 – завантажувальна горловина, 3 – двосекційний черв'як, 3а – перша секція, 3б – друга секція, 4 –привід секції завантаження, 5 – хвостовик, 6 – вузол регулювання осьових зусиль, 7 – опірний підшипник секції завантаження черв'яка , 8 – пружний елемент, 9 – пристрій регулювання жорсткості, 10 – опірний підшипник, 11 – базовий привід.

Запропонована модернізація дозволяє забезпечити можливість перероблювати термопласти низької насипної густини, при значно вищій продуктивності та якості гомогенізації.

Література:

1. Басов Н.И., Казанков Ю.В., Любартович В.А. Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов. – М.: Химия, 1986. – 487 с.
2. Мікульонюк І. О., Івіцький І. І., Сокольський О. Л., Сівецький В. І., Куриленко В. М., Романюк В. В. Черв'ячний екструдер. // Авторське свідоцтво UA №102098U (2015).

Види полімерної сировини та шляхи її використання

Кувшинов О. В., студент; Гондях О. В., д.т.н., професор
Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Проаналізовано існуючі тенденції розвитку промисловості та виявлено велику зацікавленість до пластичних мас через їх своєрідні технічні вигідні властивості. Розглянуто види полімерної сировини (первинної і вторинної) та проведено ознайомлення з її властивостями, серед яких відзначаються низькі трудовитрати, енерговитрати та доступність вихідної сировини. Полімерна сировина використовується в багатьох сферах виробництва і в звичайному, повсякденному житті людей. Розповсюдження набуває гранульований прес-матеріал у зв'язку з розвитком техніки. Практично всі термопласти переробляються полімерну сировину у вигляді гранул, тому наведено результати серії методів подрібнення. Проведений огляд базується на фактичних даних, отриманих різними дослідниками.

Наслідком науково-технічного прогресу є виробництво пластмас, яке зростає з кожним роком і поширюється, фактично, в усіх галузях народного господарства. Велика зацікавленість до пластичних мас виникла не тільки через їх своєрідні технічні вигідні властивості, тобто низьку питому густину, наявність високо еластичного стану, високу хімічну стійкість тощо. Також виготовлення виробів з пластмас відзначаються низькою трудовитратою, енерговитратою та доступністю вихідної сировини.

При аналізі тенденцій розвитку промисловості виділяються певні перспективні напрямки підгалузі: реконструкція технічного обладнання на діючих виробництвах, активний розвиток хімічного машинобудування для створення нового обладнання із широким залученням робототехніки і засобів автоматизації; розробка та використання нових технологій для забезпечення часткового (або повної відсутності) забруднення навколишнього середовища і створення екологічно чистих технологічних процесів, впровадження автоматизованих технологічних ліній, а також систем автоматичного проектування.

Вирішення поставлених завдань великою мірою залежить від кваліфікаційного рівня спеціалістів, керівників технологічних процесів, технологів та конструкторів.

Мета статті полягає у розгляді видів полімерної сировини, ознайомленні з її властивостями і найбільш поширеним використанням у промисловості. Полімерна сировина – загальний термін, який включає в себе три види синтетичних пластиків:

Полімери – високомолекулярні речовини з різними добавками: стабілізаторами, інгібіторами, пластифікаторами, мастилами та іншими включеннями.

Пластмаси-композити на основі полімерів, які включають в себе різні наповнювачі, пігменти та інші компоненти, в свою чергу, підрозділяються на дві групи: термопластичні і термореактивні. Перші можуть бути розплавлені і сформовані багаторазово, а другі – лише один раз. Після затвердіння змінити форму термореактивної пластмаси вже неможливо. Практично всі види пластмас відносяться до першої групи, а саме: поліетилен, полівінілхлорид (ПВХ), нейлон або капрон, полікарбонат та інші.

Полімерні композиційні матеріали, які також називаються армованим пластиком – це різновиди пластмас з вмістом підсилюючих компонентів, а саме різних волокон, войлоку, тканин, стрічок, кристалів. Такі наповнювачі дозволяють отримати високоміцний пластик, що володіє акустичними, деформаційно-міцнісними електро-фізичними характеристиками, які відповідають найвищим стандартам.

Полімери застосовуються практично в усіх галузях виробництва. Завдяки властивості деяких видів сировини повертати початкові характеристики після переробки, існує окрема сфера промисловості, яка займається випуском вторинної полімерної

сировини. Таку сировину застосовують для тих же завдань, що і первинну, але вона має деякі обмеження, які відносяться до харчової та медичної промисловості [1].

До **первинної** полімерної сировини належать:

Поліпропілен – синтетичний матеріал в формі твердих гранул білого кольору. Розрізняють каучуковий, металоценовий, пінистий і гомополімер.

Полістирол – твердий синтетичний термопластик, подібний до скла, належить до діелектрика, стійко переносить радіацію, не вступає в реакцію з лугами і кислотами, крім крижаної оцтової та азотної. Прозорі циліндричні гранули застосовуються для виготовлення продукції методом екструзії видавлювання.

Поліетилен низького тиску – високоміцний матеріал, який виробляється у вигляді твердих, щільних, напівпрозорих гранул і застосовується для виготовлення пакетів, здатних витримувати високі навантаження. Завдяки особливим фізико-хімічним характеристикам з цієї сировини можливо зробити дуже тонку плівку.

Поліетилен високого тиску – також називається поліетиленом низької щільності. Зазвичай застосовується в харчовому і медичному виробництві. Випускається у вигляді білих гранул з глянцеvim блиском.

Полівінілхлорид (ПВХ) – виробляється у форматі дрібнодисперсного порошку, легко перетворюється в тверді і м'які види пластмаси. Широко застосовується в будівництві, з нього виробляють труби, плівки, лінолеум та інші будівельні матеріали.

Лінійний поліетилен високого тиску – з цього виду сировини виготовляються тонкі еластичні плівки для упаковки і ламінування. За своїми характеристиками займає середню позицію між поліетиленом з низькою і високою щільністю.

Практично безвідходне виробництво досягається завдяки тому, що багато підприємств, чий виробничий процес включає в себе використання полімерів, відправляє брак полімерної продукції на **вторинну** переробку. З метою подальшого перепродажу на ринку існує достатня кількість підприємств, які спеціалізуються на переробці полімерів у вторинну сировину.

Багатоступінчастий, трудомісткий процес включає в себе збір полімерних відходів, сортування, миття, подрібнення і переплавлення. Готова продукція майже не відрізняється від первинної сировини, однак, її вартість значно нижче, тому вторинна сировина користується високим попитом на багатьох підприємствах [2, 3].

Полімерна сировина використовується в багатьох сферах виробництва і в звичайному, повсякденному житті людей. Завдяки таким характеристикам, як міцність, еластичність і довговічність, матеріали застосовують для виготовлення деталей механізмів, будівельних матеріалів, різних видів упаковки, канцелярських товарів, меблів.

При виготовленні виробів з пластмас використовують дрібнодисперсну сировину (у вигляді гранул розміром 1,5 - 5 мм або технологічного порошку з розміром частинок 0,5 - 2 мм). Практично всі термопласти переробляються у вигляді гранул, а у вигляді порошку – прес-порошки з реактопластів. Розповсюдження набуває гранульований прес-матеріал у зв'язку з розвитком техніки [5, с. 12-13]. Розглянемо методи подрібнення, а саме:

1. **Гранулювання**, яке відбувається при:

- а) отриманні гранул при суспензійній полімеризації;
- б) перетисканні розтопу полімеру з колони синтезу через фільтр і подрібнення утворених прутків ножовою дробаркою (цей метод здійснюється при блоковій полімеризації неперервним методом);
- в) гранулюванні за допомогою екструзійної установки.

У випадку гранулювання „на гаряче”, коли гранулювання відбувається без попереднього охолодження, використовують комбіновану головку, котра виконує функції екструзії прутків, гранулювання і охолодження гранул за рахунок подавання на неї холодної води. Схема такої головки приведена на рис. 1. Вода подається під тиском через вал роторно-ножової дробарки до крильчатки. Гранулювання “на гаряче” можна здійснювати за рахунок струменю води, котрий перетинає прутки полімеру, які

знаходяться у в'язкотекучому стані. Вода в цьому випадку подається тонким струменем під високим тиском, перпендикулярно до напрямку екструзії в каналах полімерних прутиків (рис. 2).

2. Механічні методи отримання технологічних порошків:

Механічне подрібнення економічно вигідне при одержанні порошків з розміром частинок $0,5 \div 2$ мм (крупнозернистих). Розмір частинок, добутих таким методом при кімнатній температурі, обернено пропорційно залежить від крихкості полімеру [4].

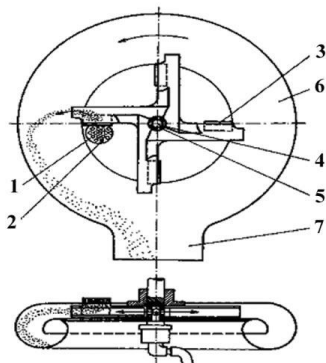


Рис. 1. Схема грануляторної головки з водяним охолодженням для грануляції екструзійним методом термопластів: 1 – опірня плита; 2 – філь'єра; 3 – роторно-ножовий пристрій; 4 – отвір для подачі води; 5 – вал роторно-ножового пристрою; 6 – круглий корпус; 7 – отвір

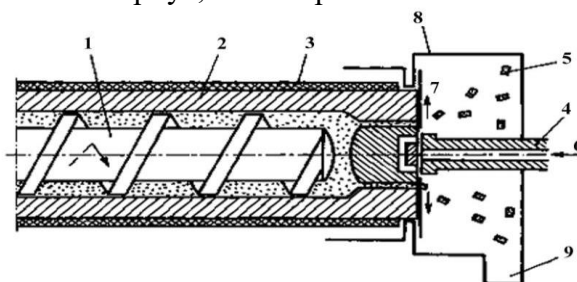


Рис. 2. Схема екструзійної грануляції „на гаряче” з використанням води для нарізання, охолодження і транспортування гранул: 1 – шнек; 2 – циліндр; 3 – нагрівачі електричні; 4 – штуцер для подачі води під тиском; 5 – гранули; 6 – напрям потоку води; 7 – напрям струмени води для нарізання гранул; 8 – корпус; 9 – відведення гранул

Подрібнення використовують й при переробці вторинної сировини (подрібнених відходів виробництв). На сьогоднішній день встановлені норми додатку вторинної сировини до основної в кількості від 5 до 30 %. Цей захід дає значну економію матеріалів. Він також спрямований на створення безвідходних технологій, що зменшує забруднення навколишнього середовища. Отже, залежно від вимог, які ставлять до сировини, вибирають метод подрібнення і підбирають необхідне обладнання.

Надалі, передбачається дослідження динамічних характеристик полімерних гранул з урахуванням процесів утворення в них пошкоджень при різних технологічних режимах їх виробництв.

Література:

1. Бортников В.Г. Основы технологии переработки пластических масс: Учебное пособие для вузов. – Л.: Химия, 1983. – 304 с.
2. Вторичное использование полимерных материалов / Под ред. Е.Г. Любешкиной. – М.: Химия, 1985. – 192 с.
3. Гуль В.Е., Акутин М.С. Основы переработки пластмасс. – М.: Химия, 1985. – 400 с.
4. Пахаренко В.А., Яковлева Р.А., Пахаренко А.В. Переработка полимерных композиционных материалов. – Киев: Воля, 2006. – 552 с.
5. Суберляк О.В., Баштанник П.І. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів. – Київ.: 2006. – 270 с.

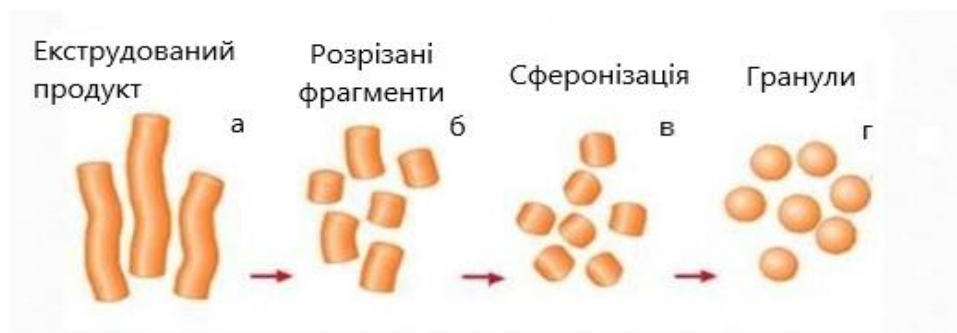


Рис. 1 Процес сферонізації: а – початкові екструдати, б – фрагменти гранул після їх руйнування, в – округленні гранули, г – кінцевий продукт (гранули у вигляді сфер) [2].

Метою виконання дослідження є визначення динамічних характеристик гранул. В наш час для вирішення такого роду задач широко використовується метод скінченних елементів [3]. В даній роботі проведено дослідження по визначенню динамічних характеристик полімерної сферичної частинки, яка знаходиться в сферонізаторі, в рамках системи Abaqus. Побудована розрахункова схема для ефективного моделювання методом скінченних елементів контактної взаємодії полімерної гранули з матеріалу Tescamid 66 з фрикційною плитою сферонізатора.

В якості розрахункової моделі вибрана схема, загальний вид якої наведено на Рис.2, яка складається з: фрикційної плити 1, полімерної частинки 2 виконаної з полімерного матеріалу Tescamid 66 та контактної сфери 3 для моделювання впливу полімерних частинок, які оточують в сферонізаторі досліджувану гранулу.

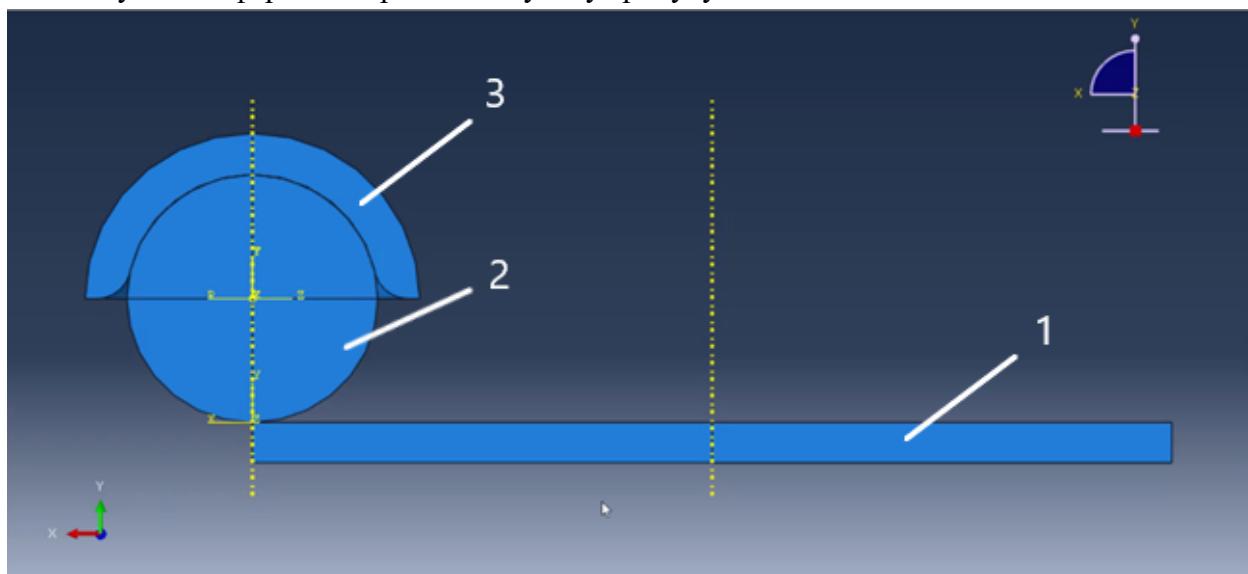


Рис.2 Розрахункова модель: 1 – фрикційна плита; 2 – полімерна частинка; 3 – контактний шар.

В системі Abaqus побудована скінченно-елементна модель (Рис.3). Для моделювання процесу руху гранули вздовж радіусу фрикційної плити побудована скінченно-елементна модель з площиною симетрії, яка представлена на Рис. 3а. Скінченно-елементна модель без площини симетрії (Рис. 3б) побудували для дослідження динамічних характеристик гранули, при її русі вздовж окружної координати фрикційної плити.

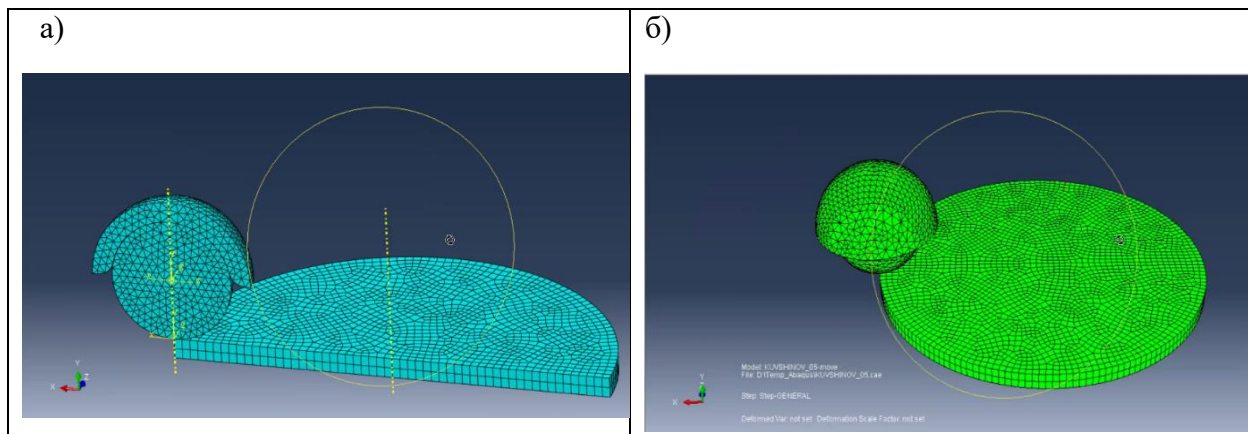


Рис.3 Скінченно-елементні моделі: а – скінченно-елементна модель з площиною симетрії, б – скінченно-елементна модель без площини симетрії.

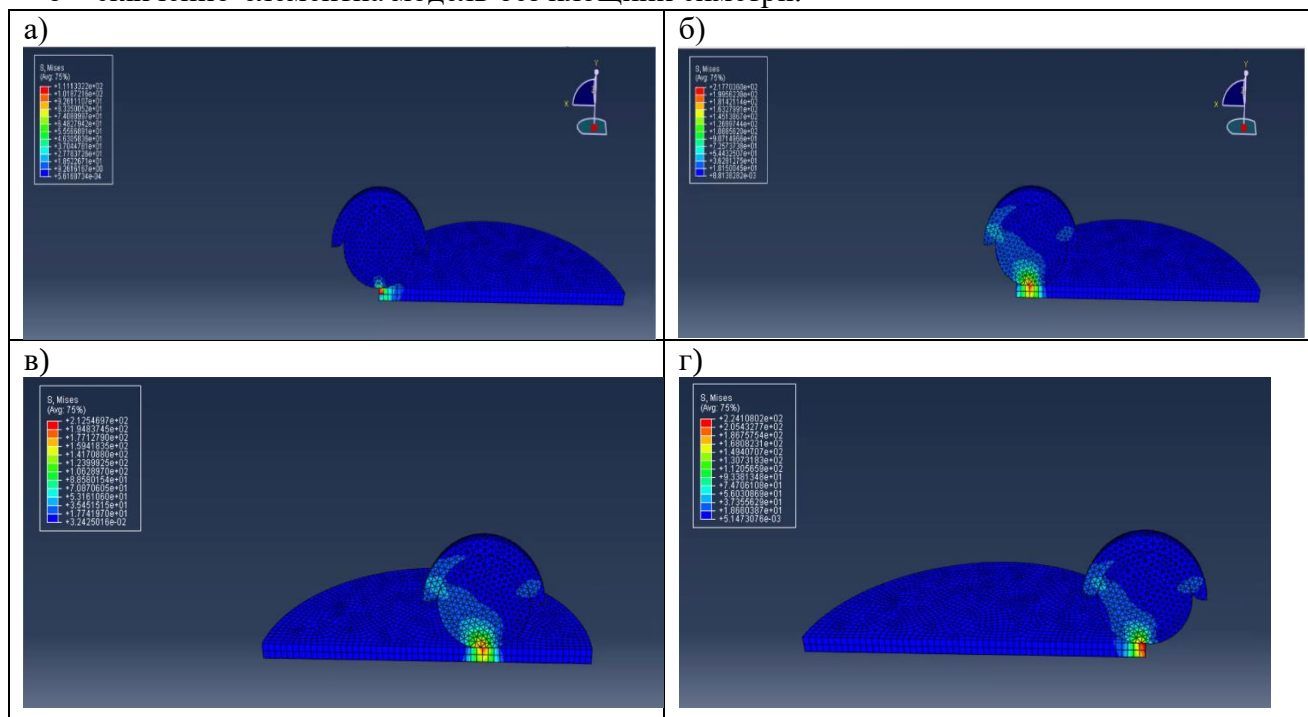
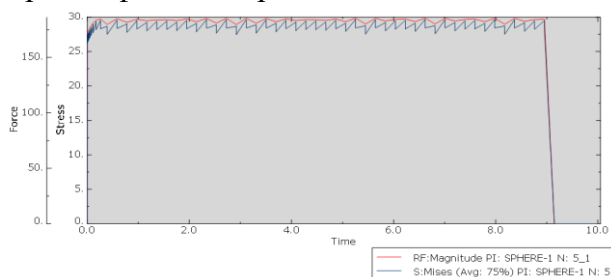


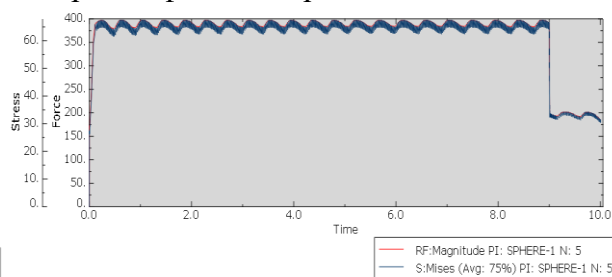
Рис. 4. Еволюція процесу контактної взаємодії плити з полімерною гранулою: а – розподіл приведених напружень за Mises на першому кроці за часом, б – розподіл приведених напружень за Mises на третьому кроці за часом, в – розподіл приведених напружень за Mises на восьмому кроці за часом, г – розподіл приведених напружень за Mises на десятому кроці за часом.

В результаті виконаних чисельних експериментів отримано графіки залежності реакції у точці контакту гранули з фрикційною плитою та приведених напружень за Mises з урахуванням коефіцієнту тертя. Результати цих досліджень приведені на Рис.5.

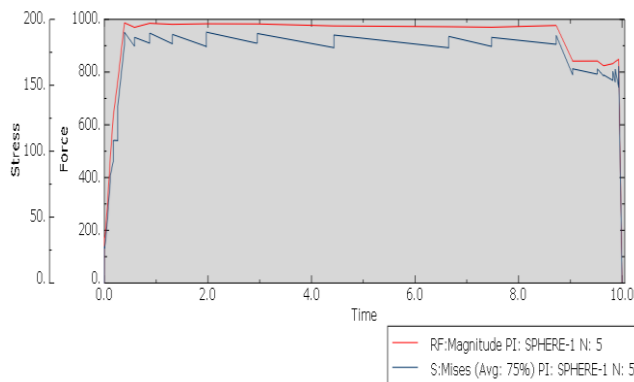
При коефіцієнті тертя = 0



При коефіцієнті тертя = 0.2



При коефіцієнті тертя = 0.6



При коефіцієнті тертя = 0.8

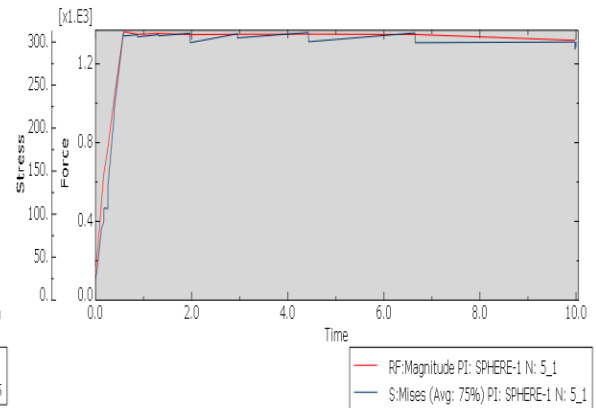


Рис.5 Діаграми залежності реакції (Force, Н) у точці контакту та приведених напружень за Mises (Stress, МПа) в залежності від коефіцієнту тертя (червоним кольором позначені реакції, а синім – напруження).

Аналіз результатів чисельного моделювання, приведений на рис. 5, свідчить про те, що залежність, приведених напружень за Mises від коефіцієнту тертя, носить суттєво нелінійний характер (червона крива на рис. 6). Інтерполяційна функція (Approximating dependence), яка побудована на базі максимальних значень, взятих з діаграм рис. 5, добре описується (до 2%) рівнянням четвертого порядку.

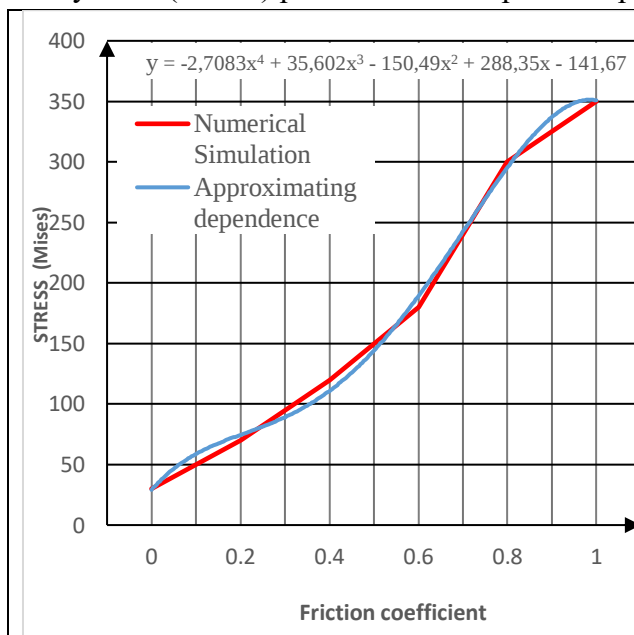


Рис.6. Інтерполяційна функція залежності напружень приведених за Mises, в точці контакту гранули з фрикційною плитою, від коефіцієнта тертя.

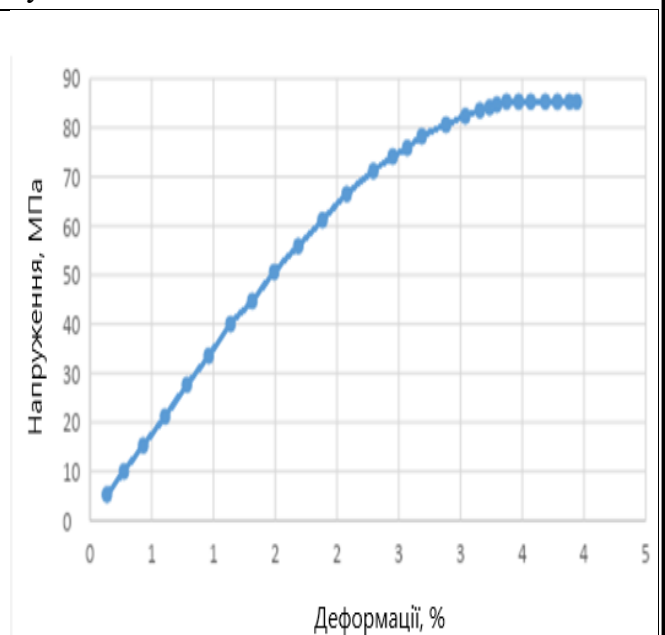


Рис.7. Діаграма пластичності Tescamid 66.

Аналіз цих результатів дозволяє зробити наступні висновки: 1 – при коефіцієнті тертя менше ніж 0.1, відбувається лінійна деформація гранул; 2 – якщо коефіцієнт тертя знаходиться в діапазоні від 0.1 до 0.27, то при деформуванні гранули виникають суттєві пластичні деформації; 3 – починаючи з коефіцієнту тертя 0.3 і більше, в точці контакту гранули з фрикційною плитою досягаються напруження, які перевищують межу несучої спроможності матеріалу Tescamid 66, що призводить до виникнення зон руйнування.

Література:

1. Кувшинов О. В., Гондлях О. В. Види полімерної сировини та шляхи її використання. / Збірник доповідей XII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки» (10–11 грудня 2020 р. м. Київ). – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 9-12.
2. REHANA BEGUM A., GANESH N. S., VINEETH CHANDY. A STUDY ON DIFFERENT PELLET FORMATION TECHNIQUES AND ITS EVALUATION PARAMETERS-A REVIEW. / Department of Pharmaceutics, T. John College of Pharmacy, Bangalor. – Received: 14 Nov 2018, Revised and Accepted: 20 Feb 2019.
3. Gondliakh A. Iterative analysis USER_FE adaptive approximation of displacements for modeling at environment ABAQUS process of delamination composites // Simulia journal. - 2015, Moscow. p. 48-53.

						Адк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
						104