

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) _____ ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра _____ мехатроніки та пакувальної техніки

«До захисту в ЕК»
Директор інституту(декан факультету)

(підпис) Блаженко С.І.
(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2021р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

(підпис) Соколенко А.І.
(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2021р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності _____ 131 Прикладна механіка
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми _____ Прикладна механіка

на тему: _____ Аналіз структури та динаміки машини для переробки ПЕТ-пляшок

Виконав: здобувач 2 курсу, групи 2 М

Тарасюк Олександр Васильович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) _____ (підпис)

Керівник _____
Бойко Олексій Олегович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) _____ (підпис)

Консультанти _____
(прізвище та ініціали) _____ (підпис)

(прізвище та ініціали) _____ (підпис)

(прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Рецензент _____
(прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень із праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2021 р.

Інститут (факультет) _____ ННІТІ ім. акад. І. С. Гулого
Кафедра _____ мехатроніки та пакувальної техніки
Освітній ступінь _____ магістр
Спеціальність _____ 131 Прикладна механіка
(код і назва)
Освітньо-професійна програма _____ Прикладна механіка

Завідувач кафедри МПТ
Соколенко А.І.
“05” 11 2020 року

(прізвище, ім'я, по батькові)

керівник роботи Бойко Олексій Олегович , доцент , к.т.н. ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Вихідні дані до роботи сировина ПЕТ-пляшка , кут заточки ножа 45°, паспорт машини переробки

5. Перелік графічного матеріалу презентація складається з 18 слайдів

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 05.11.2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Реферат	6.11.2020	
2	Вступ	7.11.2020	
3	Літературний огляд	9.11.2020	
4	Постановка задачі	12.11.2020	
5	Експериментальні дослідження	16.11.2020	
6	Проектно-конструкторські розробки	23.11.2020	
7	Охорона праці	8.01.2021	
8	Висновки	16.01.2021	
9	Список використаної літератури. Додавки	18.01.2021	
10	Розробка креслень	23.01.2021	
11	Підготовка презентації	28.01.2021	

Здобувач

_____ (підпис)

Тарасюк О.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Бойко О.О.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дана робота присвячена дослідженню обладнання для переробки ПЕТ пляшки, а також вирішенню проблеми відходів ПЕТ-пляшок з метою їх подальшого використання, як вторинної сировини. У даній роботі було проведено :

Аналіз структури і динаміки машини , аналіз характеристик ПЕТ-пляшки, як вторинної сировини.

Розглянуті конструктивні особливості обладнання для подрібнення.

Проаналізовані процеси подрібнення ПЕТ-пляшки методом різання.

Дослідження конструкція пристрою для подрібнення ПЕТ-пляшки з одночасним відділенням горловини і днища.

Розроблено математичну модель процесу механічного подрібнення ПЕТ-пляшки.

Проведені експериментальні дослідження процесу подрібнення ПЕТ-пляшки методом різання і отримані математичні моделі.

Ключові слова: подрібнення відходів, вторинна сировина, ПЕТ-пляшка, обладнання для подрібнення, механічне подрібнення , аналіз , переробка , динаміка, структура машини переробки , .

РЕФЕРАТ

Даная работа посвящена исследованию оборудования для переработки ПЭТ бутылки , а также решению проблемы переработки отходов ПЭТ-бутылок с целью их последующего использования, как вторичного сырья. В данной работе было проведено :

Анализ структуры и динамики машины, сделан анализ характеристик ПЭТ-бутылки, как вторичного сырья.

Рассмотрены конструктивные особенности оборудования для измельчения.

Исследовался процесс измельчения ПЭТ-бутылки способом резанья.

Исследована конструкция оборудования для измельчения ПЭТ-бутылки с одновременным отделением горлышка и дна.

Разработана математическая модель процесса механического измельчения ПЭТ-бутылки.

Были проведены исследования процесса измельчения ПЭТ-бутылки способом резания.

Ключевые слова: измельчение отходов, вторичное сырье, ПЭТ-бутылка, оборудование для измельчения, механическое измельчение, анализ, динамика, переработка, структура машины переработки .

SUMMARY

This work is devoted to the decision of issue of processing of wastes PET bottles with the purpose of their subsequence use as a secondary materials.

It was an investigation of PET bottle growing shallow process by method of cutting.

There was an analyzing of PET bottles' characteristics as a secondary material.

Design creatures of the equipment of growing shallow are observed.

The generalized design of device for crushing of PET bottle with the same time dividing of upper and lower part of bottle is developed. The patent is proposed for the device.

The mathematical model of process of the mechanical growing shallow of PET bottle is developed.

The experimental investigation of process of the growing shallow of PET bottle by method of cutting is provided and the mathematical models were got.

Keywords: growing shallow of wastes, secondary material, PET bottle, equipment for growing shallow, mechanical growing shallow.

Зміст

Реферат.....	
Вступ.....	
1. Літературний огляд.....	
1.1. Характеристика ПЕТ-пляшок як сировини для переробки.....	
1.1.1. Характеристика ПЕТ як матеріалу.....	
1.1.2. Технічні вимоги до ПЕТ-пляшок.....	
1.1.3. Характеристика відходів ПЕТ-пляшок.....	
1.1.4. Висновки.....	
1.2. Класифікація способів подрібнення полімерних відходів	
1.3. Конструктивні особливості роторно-ножових дробарок.....	
1.4. Конструктивні виконання ножів для роторно-ножових дробарок і їх кріплення.....	
1.5. Висновки.....	
2. Постановка задачі.....	
2.1. Опис пропозиції.....	
2.2. Математична модель.....	
3. Експериментальні дослідження.....	
3.1. Конструкція і принцип роботи експериментальної установки.....	
3.2. Обґрунтування вибору факторів.....	
3.3. Порядок проведення експерименту для визначення зусилля різання..	
3.4. Попереднє визначення кількості повторів для проведення експерименту.....	
3.5. Опрацювання результатів експерименту.....	
3.6. Висновки.....	
4. Проектно-конструкторські розробки.....	
4.1. Розрахунки параметрів ножового пристрою.....	
4.1.1. Розрахунок основних параметрів.....	
4.1.2. Розрахунок кінематичних параметрів.....	
4.1.3. Розрахунок клинопасової передачі.....	

4.1.4. Розрахунок вала.....	
4.1.5. Вибір і розрахунок підшипників кочення.....	
4.1.6. Розрахунок шпонкового з'єднання.....	
4.2. Висновки.....	
5. Охорона праці.....	
Висновки.....	
Використана література.....	
Додатки.....	

Вступ

Оптимальним вирішенням проблеми рециклізації відходів з поліетилентерифталату (ПЕТ, ПЕТФ) в Україні є їх вторинна переробка. Таке застосування використаного ПЕТ економічно вигідно, може здійснюватись на вже існуючому обладнанні, сприяє розв'язанню проблем утилізації відходів, захисту довкілля та забезпечення якісною вторинною сировиною.

З точки зору переробки ПЕТ у вигляді об'ємних виробів (наприклад, найбільш розповсюдженого пакування – пляшки), різні її частини відрізняються не тільки геометрією поверхні, а й ступенем орієнтації, що є найбільш важливим. Останній фактор впливає на структуру різних складових загальної геометрії пакування, на реологічні, механічні і теплофізичні властивості вторинного ПЕТ, що несе за собою зміну , реструктарізацію та підбір певного обладнання. Знання цих властивостей дозволить не тільки облаштуватись технологією і обладнанням для вторинної переробки, а також визначитись з номенклатурою виробів з цих композицій.

Вирішення цих проблем переходять в розряд найважливіших техніко-економічних і екологічних завдань. Існує ряд підходів їх рішення, але практично всі вони припускають процес подрібнення відходів із ПЕТ до певної фракції за допомогою механічного обладнання. Існуючі промислові способи подрібнення не завжди ефективні і характеризуються високими енерговитратами. Розробка високоефективного обладнання для подрібнення відходів стримується відсутністю глибоких теоретичних досліджень в цій області. Відсутність науково обґрунтованих методів проектування обладнання для подрібнення призвела до безлічі структурних схем, які створюються найчастіше на основі інженерної інтуїції, а не на детальному вивченні процесів, що відбуваються при цьому. Існуюче обладнання для подрібнення відходів ПЕТ і полімерних матеріалів зокрема характеризуються низьким коефіцієнтом корисної дії і часто не забезпечують високого ступеня дисперсності і необхідної якості кінцевого продукту. Для успішного подрібнення

відходів із ПЕТ необхідне всебічне вивчення залежності дисперсності, продуктивності і енерговитрат від конструктивних і технологічних параметрів обладнання.

У зв'язку з цим дослідження процесів подрібнення полімерних матеріалів і розвиток наукових основ проектування обладнання, що забезпечує необхідну дисперсність і низькі питомі енерговитрати є актуальною задачею.

Метою дослідження є аналіз структур обладнання, аналіз динаміки машин, проведення розрахунків і тестування експериментальних макетів обладнання, що в подальшому дає розвиток наукових основ проектування обладнання з раціональними конструктивними і технологічними параметрами для подрібнення відходів ПЕТ, яке дозволяє отримувати якісну вторинну сировину при мінімальних енерговитратах.

Відповідно до поставленої мети визначені наступні основні задачі дослідження:

- Провести аналіз структури машин для переробки відходів ПЕТ-пляшок як сировини, визначити недоліки наведених машин, розглянути способи подрібнення, а також конструктивні особливості обладнання для подрібнення ПЕТ;

- Запропонувати нову конструкцію подрібнюючого пристрою для відходів ПЕТ-пляшок з одночасним відділенням горловини і днища;

- Розробити математичну модель процесу подрібнення пляшок із ПЕТ методом різання;

- Провести експериментальні дослідження залежності механічних властивостей поліетилентерифталату (ПЕТ, ПЕТФ) від технологічних параметрів процесу подрібнення.

1. Літературний огляд

1.1. Характеристика ПЕТ-пляшок як сировини для переробки

1.1.1. Характеристика ПЕТ як матеріалу

ПЕТ (поліетилентерефталат) – це складний термопластичний поліефір терафталієвої кислоти та етиленгліколю. Фізичні та хімічні характеристики ПЕТ роблять його чудовим матеріалом, який використовують у різних сферах: виготовлення упаковки(пляшок, корексів і т.п.), плівок, волокон, елементів конструкцій.

В (таб.1.1.1.) приведенні технічні характеристики ПЕТ.

Таб.1.1.1.

Технічні характеристики ПЕТ

Характеристика	Одиниці виміру	Величина
Густина	г/см ³	1,27
Вбирання вологи	%	0,1
Межа міцності при розриві	МПа	50
Подовження при розриві	%	55
Межа міцності при згинанні	МПа	70
Ударна в'язкість (Charpy) без надрізу	кДж/м ²	Без руйнування
Ударна в'язкість (Charpy) з надрізом	Дж/м	10
Ударна в'язкість (Izod) з надрізом	Дж/м	115
Коефіцієнт лінійного розширення	K-1·10-5	6,8
Теплостійкість (Vicat)	°C	82
Теплопровідність	Вт/м·K	0,20
Теплоємність	Дж/г·K	1.1
Максимальна температура використання	°C	70
Температура термоформування	°C	120-160
Температура початку деструкції	°C	Більше 270
Температура спалахування	°C	Більше 400
Твердість (Rockwell)	R/M	105
Світлопропускання	%	88-90
Електрична міцність	кВ/мм	16

1.1.2. Технічні вимоги до ПЕТ-пляшок

ПЕТ-пляшки використовуються як тара, для розливу, зберігання та транспортування води питної газованої, вод мінеральних питних, газованих і не газованих, безалкогольних напоїв, товарних сиропів, рослинної олії, оцту.

Основним споживачем пляшок ПЕТФ являються підприємства по виробництву та розливу вище зазначених рідин.

ПЕТ-пляшки повинні відповідати наступним вимогам:

- ПЕТ-пляшки мають виготовлятися розмірами, як наведено в (таб.1.1.2.)

Таб.1.1.2.

Розміри ПЕТ-пляшок

Вмістимість, см ³		Розміри, мм								Маса пляшки в г не більше
номінальна	повна	загальна висота, Н	h1	h2	h3	h4	Д	Д1	d	
500	545± 15	235± 2	90± 2	110± 2	10± 0,5	25 ± 0,5	62 ± 0,5	64 ± 0,5	24± 0,5	40,6
750	795± 15	250± 1	100± 2	205± 2	15± 0,5	30 ± 0,5	72 ± 0,5	73± 0,5	24± 0,5	40,6
1000 №1	1045± 15	265± 2	10± 2	210± 2	15± 0,5	30 ± 0,5	82 ± 0,5	83± 0,5	24± 0,5	40,6
1000 №2	1045± 15	260± 2	140± 2	72 ± 2	18± 0,5	30 ± 0,5	74 ± 0,5	64± 0,5	24± 0,5	40,6
1500 №1	1540± 35	332± 2	144± 2	135± 2	15± 0,5	38 ± 0,5	82 ± 0,5	80± 0,5	24± 0,5	42,5
1500 №2	1540± 35	340± 2	156± 2	140± 2	16± 0,5	28 ± 0,5	82 ± 0,5	80± 0,5	24± 0,5	42,5
1500 №3	1540± 35	330± 2	140± 2	135± 2	15± 0,5	40 ± 0,5	89 ± 0,5	88± 0,5	24± 0,5	42,5

- Умовне позначення пляшки повинно мати: скорочену назву виробу, номінальну вмістимість, позначення даних технічних умов:

1. ПЕТФ 500 ТУ У 1400007018-001-2000.
2. ПЕТФ 750 ТУ У 1400007018-001-2000.
3. ПЕТФ 1000 ТУ У 1400007018-001-2000.
4. ПЕТФ 1500 ТУ У 1400007018-001-2000.

● Пляшки ПЕТФ в основному бувають прозорими, можливі білого або голубого кольору за домовленістю із споживачем також допускається виготовлення пляшок ПЕТФ іншого кольору.

● Пляшки ПЕТФ повинні бути стійкими по відношенню до горизонтальної площини.

● Площина торця верхньої шийки пляшки ПЕТФ має бути паралельною до площини дна. Допускається похибка від паралельності, яка не повинна перевищувати 2 мм.

● На поверхні пляшки ПЕТФ не допускаються дефекти (тріщини, поверхніві посічки).

● Відхилення від перпендикулярності вертикальної осі пляшки ПЕТФ по відношенню до площини дна не повинно перевищувати 1,5% від загальної висоти пляшки.

● Пляшки ПЕТФ повинні бути термостійкі при перепаді температур, вказаним в (таб.1.1.3.)

Таб.1.1.3.

Характеристика термостійкості ПЕТ-пляшки

Тип пляшки	Перепад температур °С не менше
ПЕТФ 0,5, 0,75, 1,0, 1,5 дм ³ .	35

● Пляшки повинні витримуватися без руйнування на протязі 60 сек з внутрішнім гідростатичним тиском, вказаним в (таб.1.1.4.)

Таб.1.1.4.

Характеристика міцності ПЕТ-пляшки

Тип пляшки	Внутрішній тиск, Мпа / кгс/см ³
ПЕТФ 0,5, 0,75, 1,0, 1,5 дм ³ .	0,98 / 10

- Товщина стінок і дна повинна бути не менше, ніж зазначена в (таб.1.1.5.)

Таб.1.1.5.

Товщини стінок ПЕТ-пляшок

Вмістимість, см ³	Мінімальна товщина, мм	
	корпуса	дна
500	0.20	0.30
750	0.20	0.30
№1 1000	0.20	0.30
№2 1000	0.20	0.30
№1 1500	0.25	0.35
№2 1500	0.25	0.35
№3 1500	0.25	0.35

1.1.3. Характеристика відходів ПЕТ-пляшок

Пет-пляшки виготовляють місткістю 0,33; 0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 5,0; 10,0л. Найбільш використовувані пляшки місткістю 1,5 і 2,0л. Найбільш поширені прозорі пляшки, хоча часто зустрічаються такі кольори: зелений, коричневий, жовтий, синій.

Усі пляшки на зовнішній поверхні містять етикетки, що виготовляються з паперу або поліпропіленової плівки. Під час переробки паперові етикетки повинні відокремлюватися, тому що потрапляючи в полімер вони стають центрами деструкції. При переробці пляшок з полімерними етикетками значно погіршуються властивості вторинного ПЕТ. Це саме стосується і переробки ПЕТ з адгезивами, за допомогою яких кріпляться етикетки. Адгезиви рослинного походження стають центрами деструкції, полімерні – погіршують якість вторинного ПЕТ.

Велика кількість ПЕТ-пляшок надходить на переробку з пробками. Пробки виготовляються з забарвленого поліпропілену або поліетилену. За температури плавлення ПЕТ полімер пробок у більшості випадків розкладається, змінюючи свій колір на коричневий. При цьому ПЕТ також деструктує. Часто зустрічаються пробки з полівінілхлориду. Пляшки також містять кільце для закріплення пробки.

ПЕТ-пляшку, у залежності від структури полімеру, умовно можна розділити на дві частини, що утворилися в процесі виготовлення – аморфну складову й орієнтовану складову. Аморфні складові – це частини пляшки, котрі не піддавались орієнтації під час видування в процесі виготовлення – це горловина і дно. Вони мають ступінь кристалічності 8-16%, прозорі і під час нагрівання вище ніж 80°C здатні кристалізуватися, змінюючи при цьому свій колір на білий. Вони плавляться нерівномірно в широкому інтервалі температур 248-254°C. Після кристалізації температурний інтервал плавлення значно звужується. Аморфна складова більш придатна для вторинної переробки, тому що після її подрібнення утворюється матеріал з малою питомою поверхнею і низьким вмістом забруднень, вона також не містить адгезивів.

Орієнтована складова складається з бічних стінок пляшки, що утворюються внаслідок видування преформи. Матеріал двовісноорієнтований і має ступінь кристалічності 35-45%. При цьому кристалічна структура носить ламелярний характер, в результаті чого полімер залишається прозорий за умови тривалої термообробки. Подрібнений матеріал має значну питому поверхню, та містить значну кількість адгезивів. У процесі вторинної переробки раціонально відокремлювати орієнтовану і аморфну складову, тому що аморфна складова за своїми властивостями наближається до вихідної сировини. У змішаних подрібнених відходах ПЕТ-пляшок міститься від 40 до 70% Аморфної складової.

У (таб.1.1.6.) наведено властивості різних типів відходів ПЕТ-пляшок.

Властивості різних типів відходів ПЕТ-пляшок

Таб.1.1.6

Відходи	ПТР, г/10хв	Розривне напруження, МПа	Подовження під час розриву, %
Подрібнені преформи	1,9-2,0	55-60	180-290
Аморфна складова	2,0-2,4	45-50	100-200
Орієнтована складова	2,8-6,0	34-45	5-23
Змішані	2,5-3,5	25-40	10-35
Змішані з пробками	2,5-4,0	23-37	35-45

У (таб.1.1.7) наведені механічні характеристики різних типів відходів ПЕТ.

Таб.1.1.7.

Механічні характеристики відходів ПЕТ

Тип відходів ПЕТ	Руйнуюча напруга під час розтягування, МПа	Модуль Юнга, Н/мм ²	Відносне подовження під час розриву, %	Ударна в'язкість, кДж/м ²
Класифіковані подрібнені відходи(аморфна складова)	60-65	2000-2100	100-130	3-3,5
Класифіковані подрібнені відходи(орієнтована складова)	42-45	1800-2000	34-45	2,4-2,5
Змішані	35-40	1800-2000	10-18	1,8-1,9
Подрібнені преформи	60-65	2150	150-180	3,0-3,1
Некласифіковані відходи, не відмиті, після сушіння на повітрі протягом 10 діб.	4-8	1800-2000	-	0,3

У (таб.1.1.8.) наведено зміну молекулярної маси та характеристичної в'язкості для первинного і вторинного ПЕТ після переробки. З таблиці видно, що відходи ПЕТ більш схильні до деструкції в процесі переробки ніж первинний ПЕТ. А також видно, що класифіковані подрібнені відходи менш схильні до деструкції ніж некласифіковані.

Таб.1.1.8.

Молекулярні характеристики вторинного ПЕТ

Полімер	$[\eta]$, дл/р	M_w , г/моль
Первинний ПЕТ, гранулят	0,76	44'000
Первинний ПЕТ після переробки на ЧП20×25 за температури 250°C	0,74	42'000
Подрібнені преформи	0,72	43'000
Відсортована аморфна складова	0,73	45'000
Відсортована аморфна складова після переробки на ЧП20×25 за температури 250°C	0,66	35'500
Змішані відходи ПЕТ різних кольорів	0,81	47'000
Змішані відходи ПЕТ різних кольорів після переробки на ЧП20×25 за температури 250°C	0,58	30'000

У (таб.1.1.9.) наведено дані щодо вимірювання ПТР за температури 260°C. Збільшення числового значення ілюструє зменшення в'язкості розплаву внаслідок деструкції.

Таб.1.1.9.

Зміна ПТР в залежності від кількості циклів переробки ПЕТ

Полімер	ПТР, г/10хв
Первинний гранулят (1 нагрівання)	2,0-2,2
Первинний гранулят (2 нагрівання)	2,1-2,2
Первинний гранулят (3 нагрівання)	2,3-2,6
Класифікована аморфна складова (1 нагрівання)	2,8-3,1
Класифікована аморфна складова (2 нагрівання)	2,6-4,0
Класифікована аморфна складова (3 нагрівання)	3,6-4,0
Не класифікована аморфна складова (1 нагрівання)	2,8-3,2
Не класифікована аморфна складова (2 нагрівання)	Полімер деструктував

В (таб.1.1.10.) наведено термічна стабільність різних складових подрібнених відходів як час до зміни кольору розплавом полімеру.

Таб.1.1.10.

Термостабільність різних відходів ПЕТ за температури 250°C

Зразок	Термостабільність, хв	
	середовище	
	повітря	Двоокис вуглецю
Подрібнені преформи	10-30	30-60
Аморфна складова	5-10	15-20
Орієнтована складова	3-5	5-6
Змішані відходи	3-5	5-6
Подрібнені неочищені відходи	1-2	0,5-1
Не висушені відходи	1-2	1

На механічні властивості вторинного ПЕТ сильно впливає присутність забруднень. Забруднення є центрами сферолітичної кристалізації під час твердіння розплаву. Як правило центрами кристалізації є мінеральні забруднення, такі як пил, пісок. Ступінь кристалічності подрібнених відходів залежить від умов виробництва пляшок (механічна або термічна кристалізація), а також від термообробки матеріалу. Відомо, що під час нагрівання понад 80°C полімер здатний до холодної кристалізації, що носить, як правило, сферолітичний характер, внаслідок чого полімер втрачає прозорість. Ступінь кристалічності впливає на процес пластикації вторинного ПЕТ, тому що вона визначає діапазон температури плавлення полімеру. Полімер з ступенем кристалічності 15-20% плавлення в діапазоні температур 2-5°C, а полімер із ступенем кристалічності 45-50% плавиться в температурному інтервалі 1-2°C.

Відходи ПЕТ у в'язкотекучому стані має містити велику кількість зародків кристалізації, і тому під час охолодження утворюється нерівномірна кристалічна структура.

1.1.4. Висновки

Вторинний ПЕТ може бути використаний для одержання цілого ряду готових виробів, але при цьому необхідно враховувати якість сировини. Загалом вироби з вторинного ПЕТ можна класифікувати на два класи:

- вироби відповідального;
- вироби невідповідального призначення.

Вироби відповідального призначення це листи, плівки, складні литтєві вироби, погонажні вироби тощо. Цей клас виробів потребує високої якості сировини.

До виробів невідповідального призначення відносяться такі застосування відходів ПЕТ:

- застосування вторинного ПЕТ для модифікації інших полімерів (ПП., ПЕ, ПА);
- використання як додатка до будівельних матеріалів;
- суміщення з іншими полімерами (ПП., ПЕ, ПА, ПК);
- застосування як додатка до асфальту;
- виготовлення спінених матеріалів;
- виготовлення невідповідальних литтєвих виробів, тощо.

При цьому специфічні властивості сировини дають змогу налагоджувати на базі одного технологічного процесу виготовлення обох типів виробів і це, на нашу думку, є економічно доцільним. Найбільш доцільно виготовляти вироби відповідального призначення з аморфної складової пляшки, а вироби невідповідального призначення – з бічних стінок пляшки (орієнтованої складової).

1.2. Класифікація способів подрібнення полімерних відходів

Переробка полімерних відходів, передбачає наявність операції подрібнення в технологічному процесі.

Дроблення (рос.- дробление; англ.- crushing, breaking) – технологічна операція механічного руйнування матеріалу зі зменшенням до певного розміру його частинок. Виконується з метою підготовки матеріалу для подальших технологічних операцій.

У технології переробки полімерів до процесів подрібнення вдаються в наступних випадках:

- подрібнення полімерних матеріалів для їх використання в спеціальних технологічних процесах (напилення, нанесення покриттів);
- подрібнення вхідних компонентів композиційних матеріалів (наповнювачі, барвники, тверді реагенти і ін.);
- подрібнення для повторного (вторинного) використання полімерних матеріалів (дроблення відходів).

У залежності від розмірів частинок вихідного матеріалу та готового продукту процеси подрібнення поділяються на п'ять класів: велике, середнє, дрібне, тонке, колоїдне (таб.1.2.1.).

Характеристика класів подрібнення

Класи подрібнення	Діаметр шматків вхідної сировини, мм	Діаметр шматків подрібненої сировини, мм
Велике (дроблення)	1000 - 200	250 – 40
Середнє (дроблення)	250 - 50	40 – 10
Дрібне (дроблення)	50 - 25	10 – 1
Тонке (розмол)	25 - 3	1 - 0.4
Колоїдне (розмол)	0,2 - 0,1	до 0,001

У технології переробки полімерів зустрічаються всі перелічені класи. Велике дроблення, як правило, пов'язано з подрібненням великогабаритних відходів виробництва виробів методом термоформування, колоїдне - з отриманням порошкоподібних полімерів, а також з підготовкою пігментів і барвників.

Процес подрібнення полімерних матеріалів суттєво залежить від їх фізичних властивостей таких, як крихкість, в'язкість, міцність та ін.

Вибираючи спосіб подрібнення, необхідно керуватися величиною руйнівного напруження при стисканні; за цим показником всі подрібнювані матеріали діляться на три класи: з низькою (до 10 МПа), середньою (від 10 до 50 МПа) і високою (понад 50 МПа) механічною міцністю. Крихкий або пластичний характер руйнування матеріалу визначає вибір способу подрібнення.

У залежності від фізико-механічних властивостей вихідних матеріалів використовують наступні способи подрібнювання (таб.1.2.2.):

Таб.1.2.2.

Залежність способу подрібнення від фізико-механічних властивостей

Способи подрібнення	Фізико-механічні властивості матеріалу
Роздавлювання	Твердий, середньої твердості, крихкий
Удар	Твердий, середньої твердості, крихкий
Стирання	Середньої твердості, крихкий
Згин	Середньої твердості, крихкий
Розколювання	Середньої твердості, крихкий
Різання	Твердий, середньої твердості, в'язкий

На (рис.1.2.1.) показані наступні способи подрібнення матеріалів:

а) раздавлювання; б) удар; в) стирання; г) згин; д) розколювання; е) різання;

ж) подрібнення вибухом.

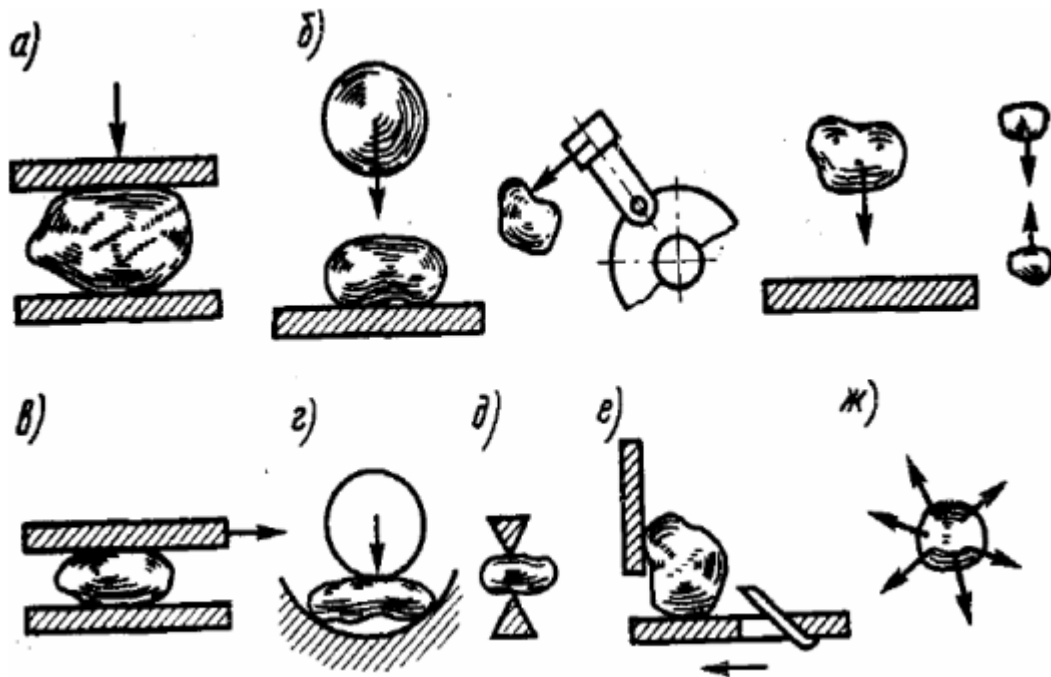


Рис.1.2.1. Способи подрібнення матеріалів

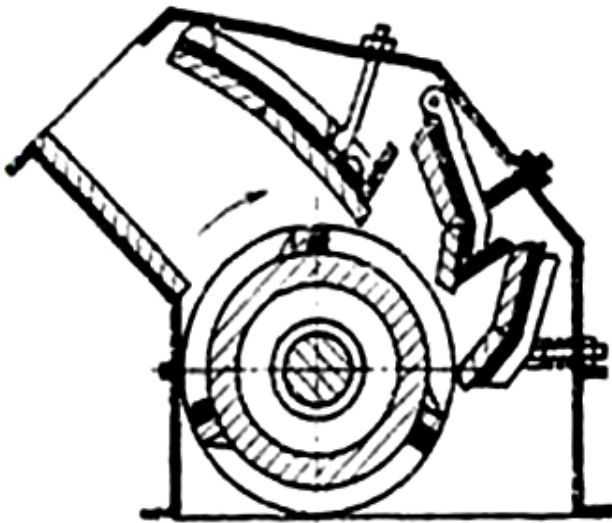
Поліетилентерифталат (ПЕТ, ПЕТФ) належить до полімерних матеріалів з високою механічною міцністю (руйнівне напруження при стисканні більше 60МПа). На практиці використовуються два способи подрібнення ПЕТ (ПЕТФ), а саме:

- Подрібнення на роторно-ножовій дробарці – за рахунок різання;
- Подрібнення на молотковій дробарці після криогенної обробки рідким азотом (температура рідкого азоту -176°C) – за рахунок удару.

В подальшому, розглянемо конструктивні особливості роторно-ножових дробарок, так як нас цікавить подрібнення ПЕТ (ПЕТФ) за рахунок різання.

1.3. Структури та конструктивні особливості роторно-ножових дробарок

Для вторинної переробки полімерів найчастіше використовуються роторно-ножові дробарки (рис.1.3.1.). Подрібнення в такому агрегаті відбувається за рахунок ударів ножів, жорстко закріплених на роторі, що обертається. В дробарках використовують ряд різноманітних способів різання, яким відповідає різноманітність конструкцій ріжучих органів і форми частинок матеріалу на виході. Для регулювання розміру частинок змінюють кількість ножів встановлених на роторі, швидкість подачі матеріалу і швидкість обертання ротора.



Роторно-ножові дробарки призначені для переробки відходів термопластів (поліетилену високої і низької щільності (ПЕВЩ, ПЕНЩ), полівінілхлориду (ПВХ), полістиролу (ПС) і сополімерів, поліпропілену (ПП), поліетилентерифталату (ПЕТ, ПЕТФ), поліамідів та ін.), а також гуми і необразивних реактопластів.

Рис.1.3.1. Схема роторно-ножової дробарки

На роторно-ножових дробарках важко перероблюються полімери з невисокими механічними характеристиками – твердістю і жорсткістю, в тому числі деякі матеріали з описаних вище (особливо тонкостінні вироби із ПЕВЩ). Плівки такими типами дробарок не перероблюються.

Принцип роботи роторно-ножової дробарки. Матеріал для подрібнення засипається через бункер в корпус дробарки. Подрібнення (різання) матеріалу відбувається при попаданні частинок між ножами ротора і корпусу (контрножами). Матеріал знаходиться в корпусі дробарки, поки не подрібниться до потрібного розміру, щоб пройти скрізь отвори решітки, що встановлена внизу корпусу.

Роторно-ножові дробарки можна умовно класифікувати за наступними ознаками:

1. За способом подачі матеріалу:

- завантаження через бункер;
- завантаження за допомогою направляючих пристроїв.

2. За кількістю роторів:

- однороторні;
- двухроторні;
- багатороторні (4х-роторні).

3. За конструктивним виконанням ротора і його ножів, залежно від призначення;

4. За розташуванням ротора у просторі.

Роторно-ножові дробарки з завантаженням через бункер

На (рис.1.3.2.) представлена роторно-ножова дробарка КДП-3М. Подрібнюваний матеріал завантажується через бункер 12 в камеру подрібнення. Подрібнення відбувається при попаданні матеріалу між ножами 4, встановленими на роторі 1 і колодками 5. Ротор обертається навколо валу 2, що встановлений на підшипниках 3. Колодки можуть відхилятися при потраплянні включень в матеріалі, що не дробляться, за рахунок амортизаторів 6, що фіксуються гайками 7. Подрібнений матеріал потрапляє в лоток 13 і вивантажується з лотка при відкриванні рухомої плити 11. Дробарка приводиться в дію електродвигуном 8 через клинопасову передачу, закриту захисним кожухом 10. Корпус дробарки опирається на опірну плиту 14 на станині 9. Роторно-ножова дробарка КДП-3М призначена для подрібнення відходів рослинного походження.

В (таб.1.3.1.) наведена технічна характеристика роторно-ножової дробарки КДП-3М.

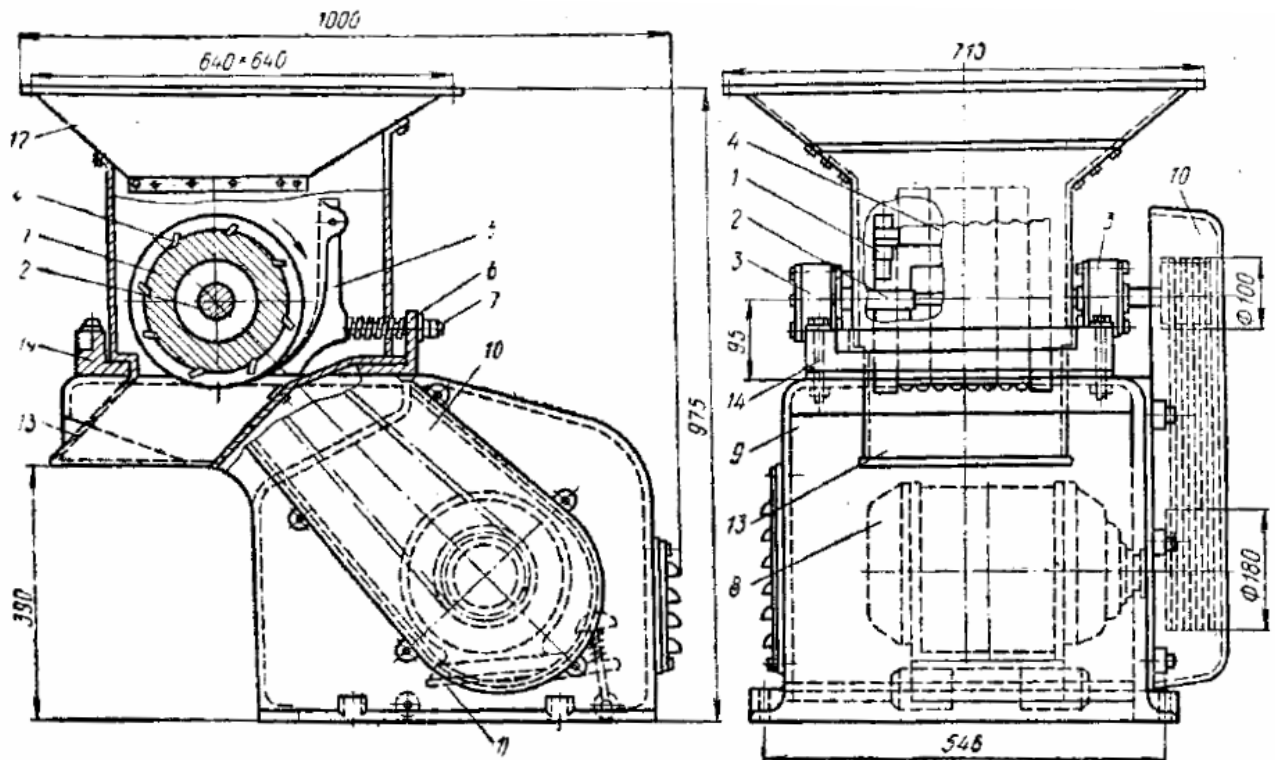


Рис.1.3.2. Роторно-ножова дробарка КДП-3М:

1 – ротор; 2 – вал; 3 – підшипники; 4 – ножі; 5 – колодки; 6 – амортизатори колодок; 7 – фіксуючі гайки; 8 – електродвигун; 9 – станина; 10 – захисний кожух привода; 11 – рухома плита; 12 – завантажувальний бункер; 13 – лоток; 14 – опірня плита механізму дробарки.

Таб.1.3.1.

Технічна характеристика роторно-ножової дробарки КДП-3М

Продуктивність, т/ГОД	8
Діаметр ротора, мм	440
Частота обертання ротора, об/хв	2550
Габаритні розміри, мм	1000×710×975
Маса, кг	400

Роторно-ножові дробарки, завантаження в яких відбувається за допомогою направляючих пристроїв

На (рис.1.3.3.) представлена роторно-ножова дробарка ДО-51. Дробарка призначена для переробки на технологічну і паливну стружку відходів лісозаготівель (гілок, верхівок, відземків), лісопиляння (обаполів, рейок) і дров'яної деревини діаметром до 20 см (при довжині 3 м). Машина включає механізм різання, механізм подачі і приводи до них. Механізм різання виконаний у вигляді обертового ножового ротора 4 пазушного типу, встановленого в кожусі 3. Під ротором розміщені сепарувальні грати 8.

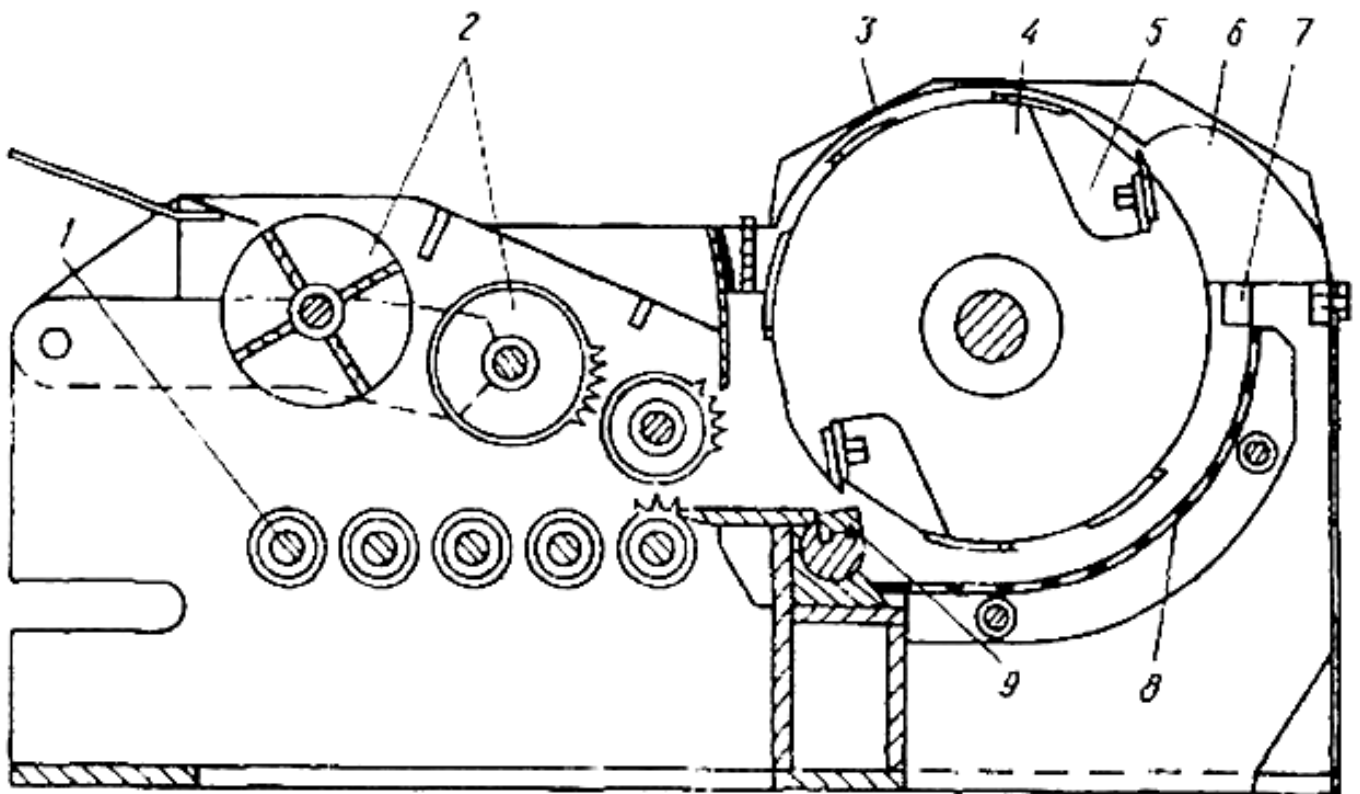


Рис.1.3.3. Роторно-ножова дробарка ДО-51:

1 – нижні привідні вальці; 2 – верхні притискні (приводні) вальці; 3 – кожух ножового (різцевого) ротора; 4 – ножовий (різцевий) ротор; 5 – підножова западина; 6 – захисний елемент кожуха; 7 – додатковий контрніж; 8 – сепарувальні грати; 9 – нижній (основний) контрніж.

У кожусі ножового ротора встановлений нижній контрніж 9, а наприкінці сепарувальних ґрат додатковий контрніж 7 (траверсу), за допомогою якого забезпечується подрібнення великих шматків деревини, що не пройшли через отвори ґрат 8. Механізм подачі складається з трьох верхніх привідних притискних вальців 2, установлених на рамі, що гойдається на осі повороту, одночасно віссю обертання першого вальця. Під притискними вальцями розташовані п'ять привідних нижніх вальців 1.

Машина функціонує в такий спосіб. Деревні відходи, що підлягають переробці, подаються до механізму подачі конвеєром і просуваються на нижні подавальні вальці. При подальшому їхньому переміщенні на шар відходів "викочуються" верхні вальці і притискають деревну сировину до нижнього привідного роликового конвеєра, забезпечуючи тим самим подачу відходів у зону різання. Стружка, що утвориться в процесі рубання, попадає в підножові западини 5 барабана і потім під дією відцентрових сил викидається на сепарувальні ґрати. Частинки, що не пройшли через сепарувальні ґрати, захоплюються різальними ножами, і повітряним потоком, що утвориться, відносяться до додаткового контрножа 7, де відбувається їхнє подрібнення. При повторному здрібнюванні стружка також збирається в подножевій западині і викидається (за додатковим контрножем) у захисний елемент 6 кожуха, звідки спрямовується вниз під машину. Винос стружки з-під машини здійснюється похилим транспортером (скребковим чи стрічковим).

Пристрій для подріблення ПЕТ пляшок з механізмом подачі пляшок у зону різання.

На (рис.1.3.4) зображення роторно-ножова дробарка яка призначена для подріблення гумових та пластикових матеріалів. Також даний пристрій може використовуватися для подріблення ПЕТ тари , а саме пляшки. Наведений пристрій включає в себе механізм для різання , пристрій для подачі матеріалу , конвеєр для відводу подрібленого матеріалу. Структура даного обладнання складається з корпусу у якому знаходяться вали на яких закріпленні ножі , між якими встановленні розпірні втулки. Ножі мають зубчасту нарізку і розташовані таким чином , що кожний верхня частина зуба кожного слідуючого ножа вздовж вала зміщена , щодо верхньої частини зуба попереднього ножа на $2 \cdot S \cdot K$, де S - крок зубчастої нарізки , K - кіл-сть ножів на одному валу. Пристій подачі складається з двох ланцюгових транспортерів , які розміщені у бункері і рухаються на зустріч один одному.

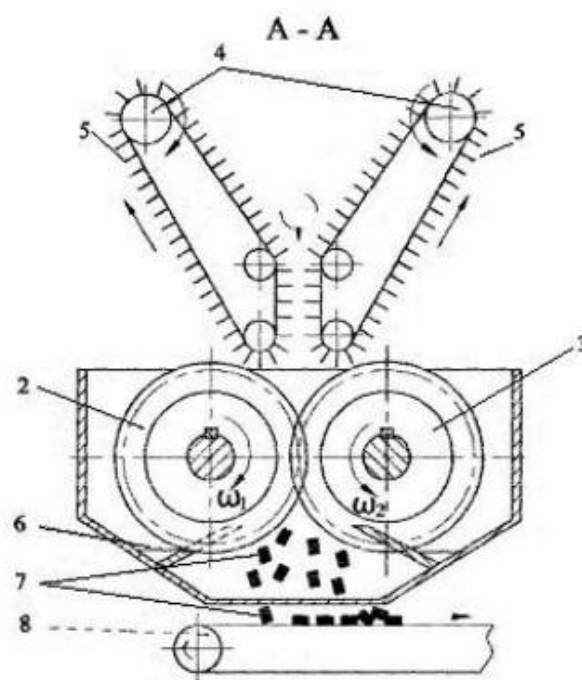


Рис.1.3.4

1 – корпус ; 2,3 – ротор з ножами; 4 – транспортери; 5 – ланцюги; 6 – шкребки;
7 – подріблений матеріал; 8 – стрічковий конвеєр.

Роторний ножовий подрібнювач ПЕТ тари

На (рис.1.3.5) показаний роторно-ножовий подрібнювач полімерних пляшок який складається з двох пар валків , корпусу у якому знаходиться ротор , на роторі закріпленні ножі , також у робочій камері закріплений контр-ніж. Також на рисунку показаний механізм подачі матеріалу в камеру , складається з пари зубчастих і пари звичайних валків .

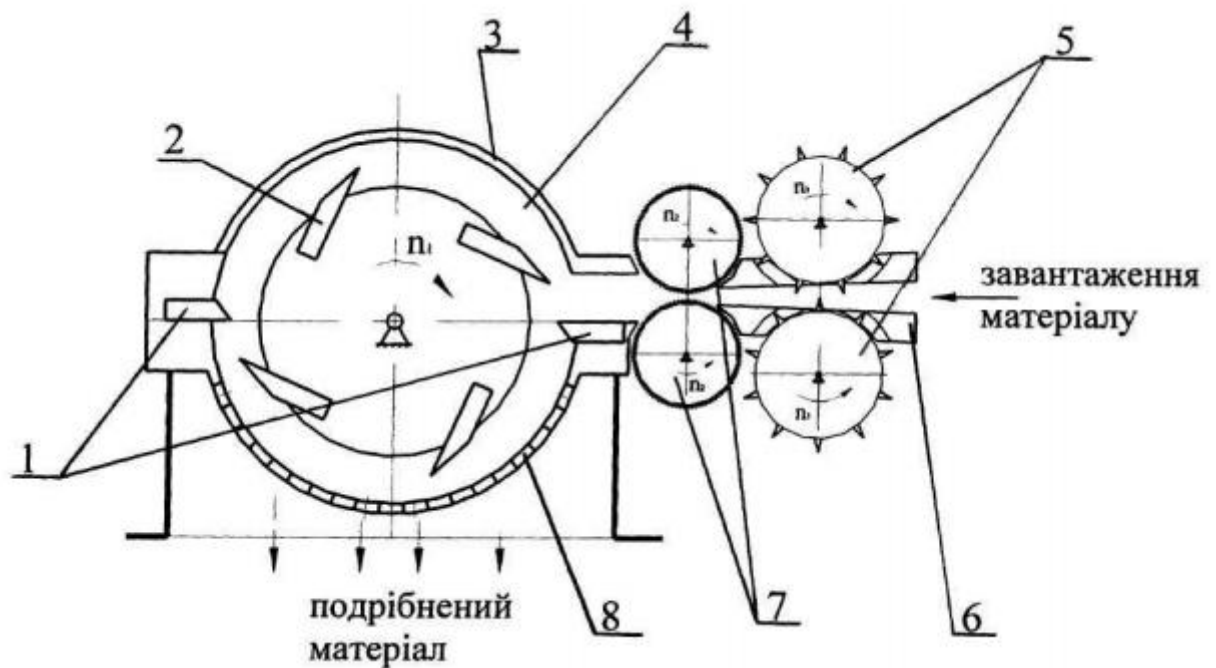


Рис.1.3.5

1 - контр-ножі; 2 – ріжучі ножі; 3 – корпус подрібнювача; 4 – ротор; 5 і 6 – дві пари зубчастих валків; 7 – валки для подачі пресованого матеріалу; 8 – колосникова решітка.

У запропонованому подрібнювачі полімерну пляшку подають у між валковий зазор , де перша пара зубчастих валків захоплює і проколює пляшку , у результаті чого на поверхні тари утворюються отвори через які у подальшому деформуванні виходить повітря. Друга пара валків транспортує пляшку і повністю її деформує за рахунок малого зазору і обертання валків на зустріч один одному повністю деформує пляшку , що в подальшому позитивно впливає на подрібнення між ножами ротора і контр ножем.

Дробарка ДШС-300 (рис.1.3.6.) призначена для подрібнення відходів, що виникають при виробництві шпона.

Завантаження подрібнюваного матеріалу відбувається через завантажувальний патрубок 4. Дана конструкція завантажувального патрубця дозволяє фіксувати подрібнюваний матеріал під час процесу різання, покращуючи його. Подрібнення відбувається при попаданні матеріалу між рухомим ножем 2 і нерухомим ножем 5 (контрножем). Подрібнений матеріал вивантажується за допомогою вивантажувального патрубця 3.

Дробарка проста за конструкцією, легка в експлуатації, дозволяє знизити трудомісткість процесу подрібнення відходів, покращити якість подрібнення, знизити енергозатрати на 30-40%. За рахунок зниження запиленості покращуються умови праці.

В (таб.1.3.6.) неведена технічна характеристика дробарки ДШС-300.

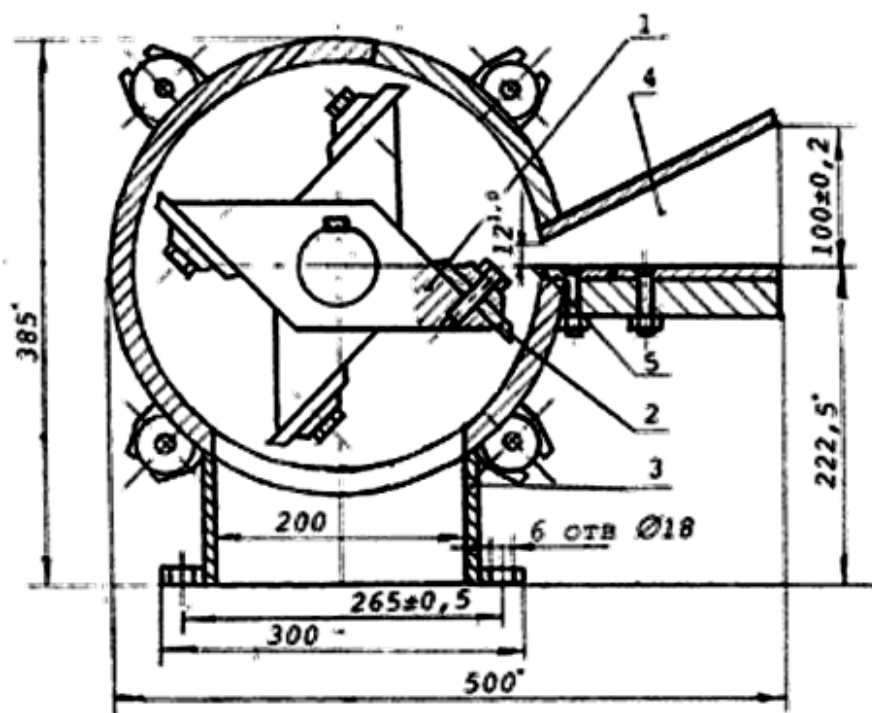


Рис.1.3.6. Дробарка для відходів шпона ДШС-300

1 – ступиця; 2 – рухомі ножі; 3 – вивантажувальний патрубок; 4 – завантажувальний патрубок; 5 – нерухомий ніж.

Табл.1.3.2.

Технічна характеристика дробарки ДШС-300

Продуктивність, м/год	1,5
Максимальне число слоїв шпона, шт	8
Максимальна ширина відходів, мм	400-600
Розмір подрібнених частинок менше 70 мм	70-90%
Діаметр ротора, м	0,285
Габаритні розміри, Д х Ш х В, м	1,1×0,48×0,5
Число обертів ротора, об/хв ×1000	1-1,5
Потужність двигуна, кВт	7,5
Споживана електроенергія, кВт	3-4
Вага дробарки, кг	250

Однороторні ножові дробарки

Однороторні ножові дробарки є найбільш розповсюдженими. Вони прості за конструкцією і легкі в експлуатації. Розглянемо типічну конструкцію однороторної дробарки на прикладі роторно-ножових дробарок СМД-75 (рис.1.3.7.) і СМД-85 (1.3.8.).

Дробарка типу СМД складається з рухомих ножів, встановлених на роторі, що обертається навколо вала і колодок встановлених в корпусі дробарки. Колодки встановлені з можливістю регулювання зазору, за рахунок пружинних механізмів, що фіксуються гайками. Колодки встановлюються з різними зазорами (зазор поступово зменшується) по відношенню до ножів ротора. За рахунок цього різання проходить в декілька етапів.

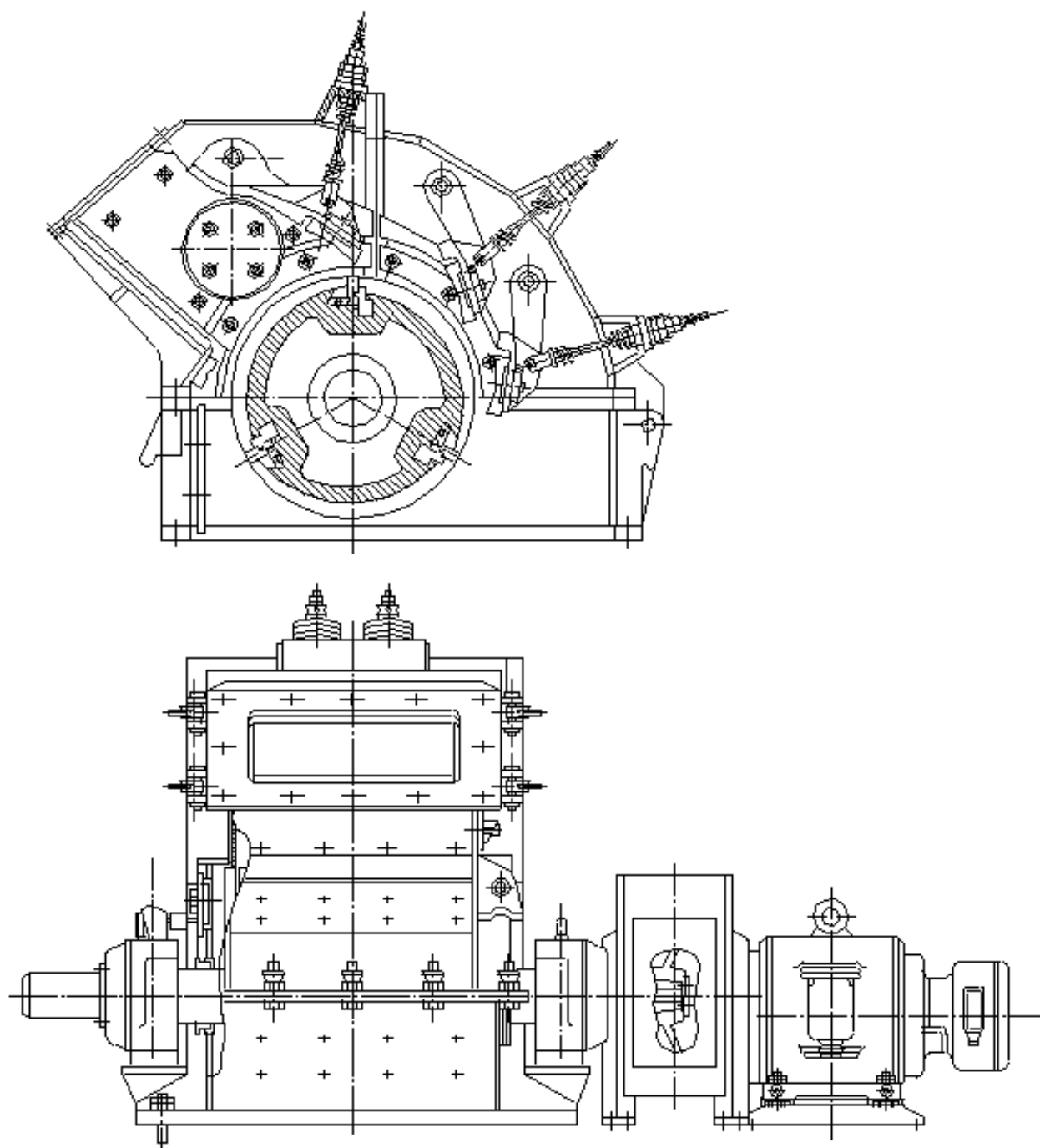


Рис.1.3.7. Однороторна ножова дробарка СМД-75

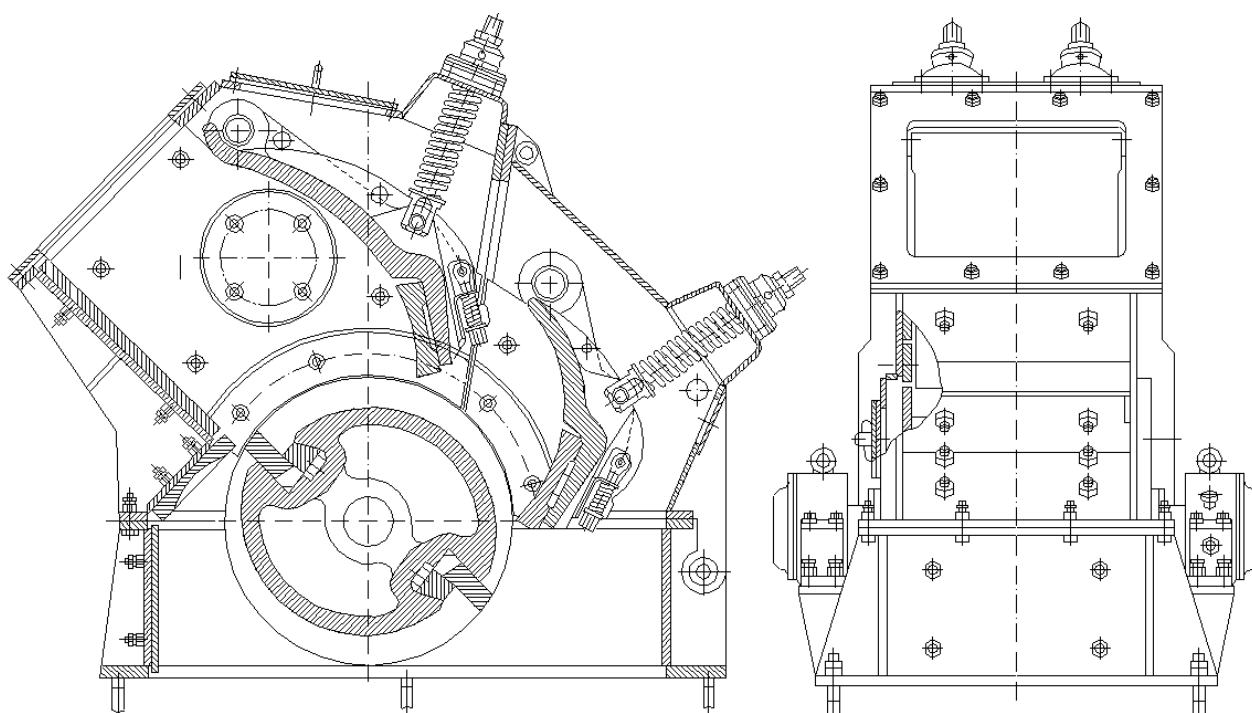


Рис.1.3.8. Однороторна ножова дробарка СМД-85

Подрібнюваний матеріал подається в камеру подрібнення через завантажувальний бункер. Після подрібнення відводиться через вивантажувальний отвір. Дробарка приводиться в дію електродвигуном через клинопасову передачу. Частота обертання ротора – 550...700об/хв. Дробарка застосовується для середнього і дрібного подрібнення полімерних відходів.

Універсальні однороторні шредери WEIMA (Німеччина) серії WLK (рис.1.3.9. а) для подрібнення полімерних відходів ідеально підходять для подрібнення будь-яких матеріалів (пластмас, плівки, волокон, мішковини, текстилю, паперу, картону, гуми і ін.), що підлягають вторинній переробці (рециклінгу).

Подрібнюваний матеріал завантажується в бункер і за допомогою гідравлічного преса подається і притискається до ротора, що обертається. Прес автоматично регулює навантаження на ротор шредера. Поверхня преса може бути оснащена зубами, для запобігання виштовхування матеріалу при контакті з ротором. Матеріал подрібнюється між ножами ротора і закріпленим в корпусі контрножем (рис.1.3.9. в).

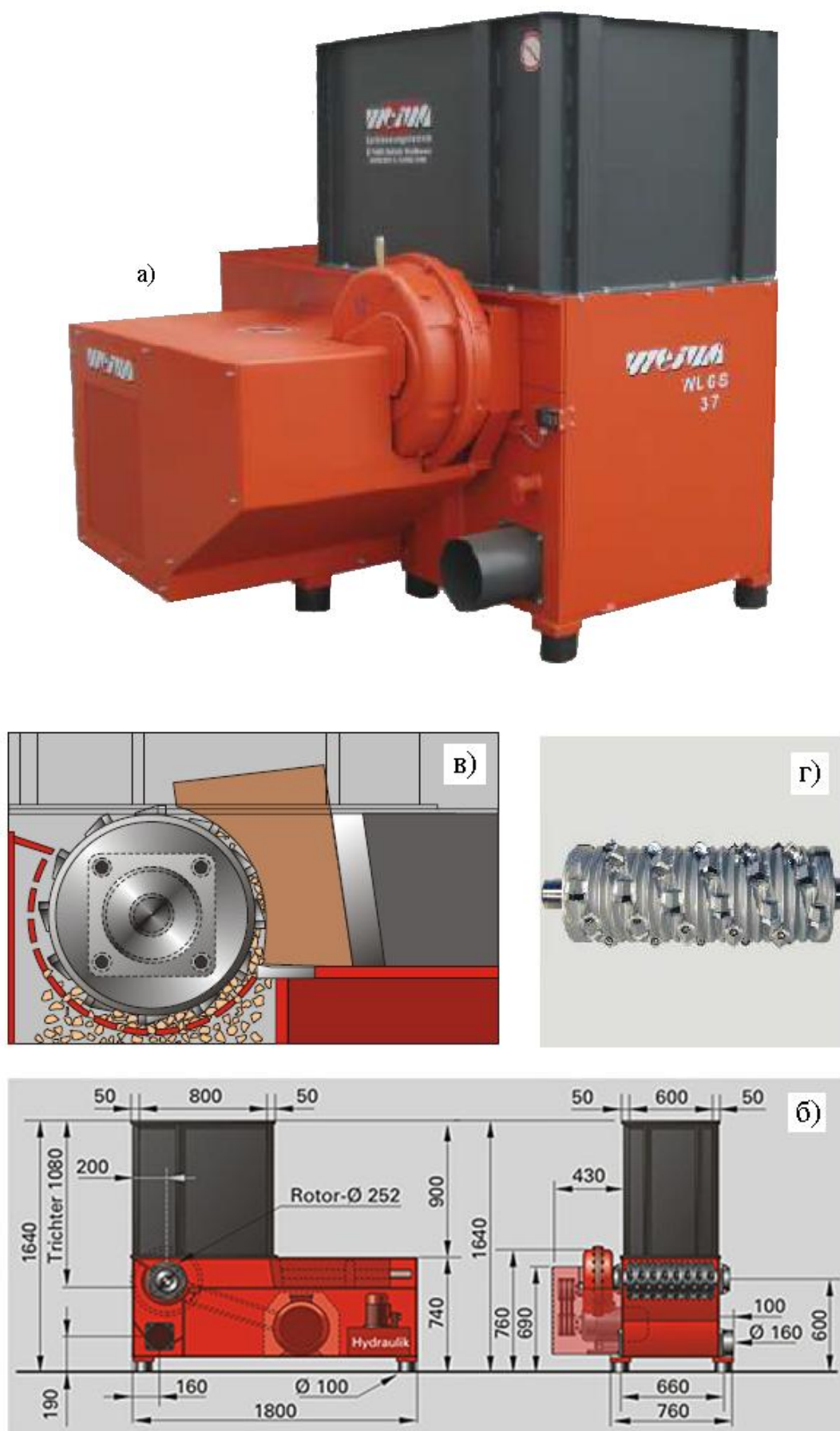


Рис.1.3.9. Однороторний шредер WEIMA WLK (Німеччина)

На (рис.1.3.10.) показана конструкція ножової дробарки (гранулятора) для подрібнення кабельного металобрухту. В корпусі 1 обертається з високою швидкістю ротор 2, що має ножі 3. В корпусі встановлені нерухомі ножі 4, що розташовані в більшості випадків паралельно осі таким чином, що одночасно при подрібненні взаємодіє тільки одна пара ножів. Робоча камера дробарки обмежена знизу ситом 5. Верхню частину корпуса утворює завантажувальний бункер 6. Подрібнений матеріал видаляється пневмотранспортом. Процес подрібнення відбувається безпосередньо між ножами ротора і нерухомими ножами корпуса (контрножами).

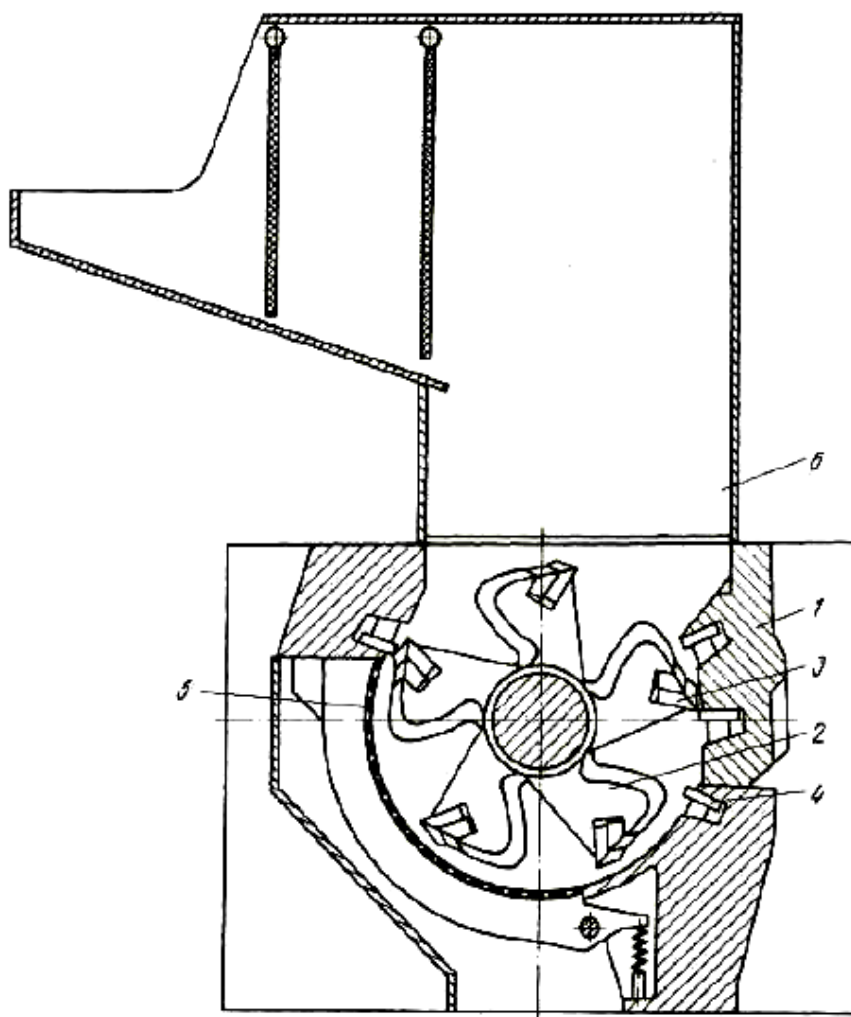


Рис.1.3.10. Ножова дробарка (модель GS500/800N, Німеччина)

1 – корпус; 2 – ротор; 3 – рухомі ножі; 4 – нерухомі ножі (контрножі); 5 – сепарувальне сито; 6 – бункер.

Однороторну ножову дробарку СМД-2А використовують для подрібнення агломерату, відходів сміттєспалювальних заводів, відходів з виробництва гуми. Дробарка складається із дискозубчастого ротора і колосникової решітки, шарнірно закріпленої в верхній частині рами. Нижній кінець колосникової решітки закріплений на пружині. Для подрібнення відходів в ряді випадків ротор дробарки встановлюють безпосередньо над колосниковою решіткою, по якій рухається подрібнюваний матеріал, при чому зуби ротора проходять в зазори між колосниками(рис.1.3.11.).

Подрібнюваний матеріал подається через завантажувальний бункер. Подрібнення відбувається при попаданні матеріалу між ножами ротора і

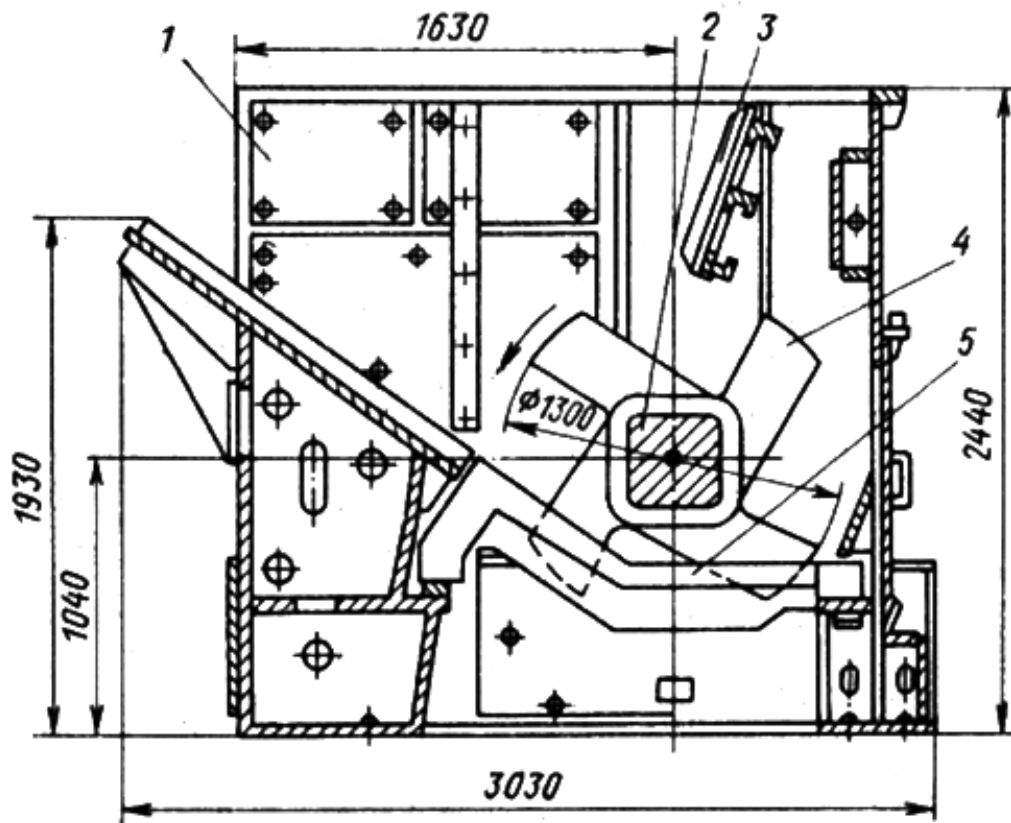


Рис.1.3.11. Однороторна ножова дробарка СМД-2А

1— корпус; 2 — вал; 3 — оглядовий люк; 4 — ротор; 5 — колосникова решітка.

колосниковою решіткою. Ротор дробарки приводиться в дію від електродвигуна через клинопасову передачу. Дробарка призначена для середнього і дрібного подрібнення.

В (таб.1.3.3.) приведена порівняльна технічна характеристика однороторних ножових дробарок.

Таб.1.3.3.

Однороторні ножові дробарки

Показники	СМД-1	СМД-2А	СМД-3Б
Розміри валка, мм			
-діаметр	1200	1300	1300
-довжина	2100	2700	4200
Частота обертання валка, об/хв	3,2	4,7	3; 4,5; 6; 9
Розмір матеріалу, що дробиться, мм	250×1000×2000	250×1300×2500	400×1500×4000
Розмір готового продукту, мм	200	До 150	До 150
Продуктивність, т/год	80	200	800-900
Потужність двигуна, кВт	30	55	40; 60; 90; 125
Вага дробарки, т	22,3	27,8	52,7

Двухроторні ножові дробарки

На (рис.1.3.12.) зображена схема двухроторної ножової дробарки. Дана дробарка призначена для подрібнення відходів з виробництва листового металу. Ножова дробарка складається з пристрою для завантаження 1, через який подаються відходи для подрібнення; з двох роторів, кожен з яких оснащений чотирма ножами. Завдяки обертанню роторів назустріч один одному, подрібнюваний матеріал спершу затягується, потім розрізається. Розмір подрібнених частинок матеріалу, при цьому, залежить від: швидкості подачі матеріалу в дробарку, від частоти обертання роторів, кількості ножів на роторі.

Широко розповсюдженою є двухроторна ножова дробарка фірми «Lindemann» (рис.1.3.13.), вона застосовуються для подрібнення відходів з виробництва листового металу. Дробарка складається з корпусу 1, в якому повільно обертаються, назустріч один одному, два ротора 2. Підлягаючий подрібненню металобрухт завантажується за допомогою грейфера в завантажувальний бункер 3 і захвачується роторами. Для безперервної подачі металобрухту до роторів, застосовується штовхач 4, завдяки цьому запобігається зависання металобрухту в камері подрібнення і підвищується продуктивність дробарки.

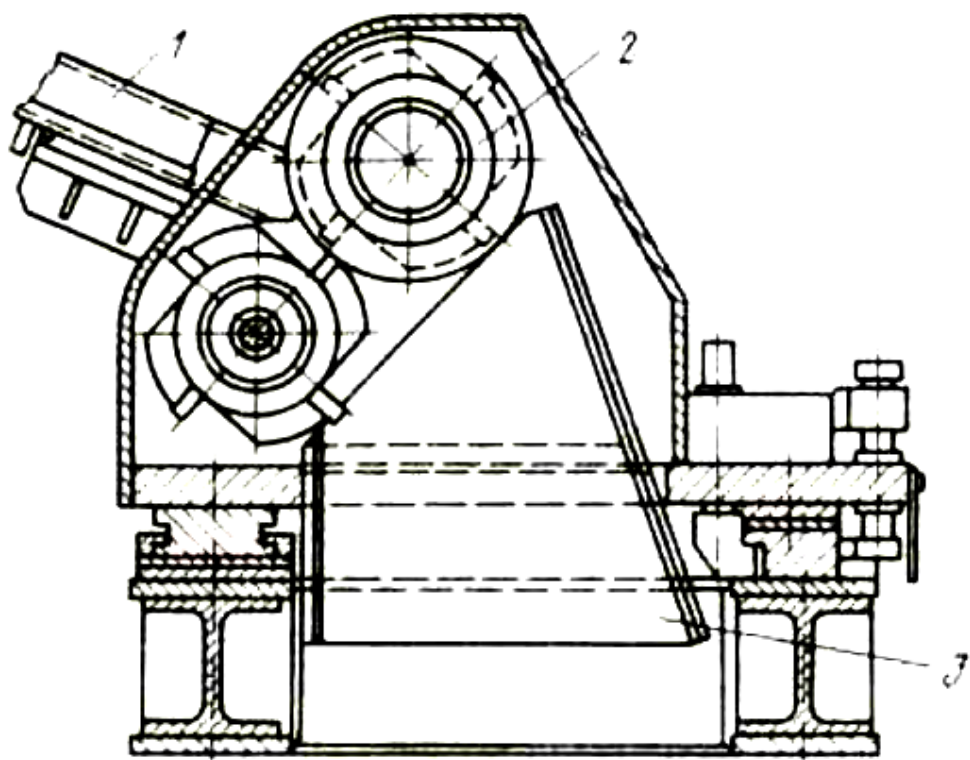


Рис.1.3.12. Двухроторна ножова дробарка

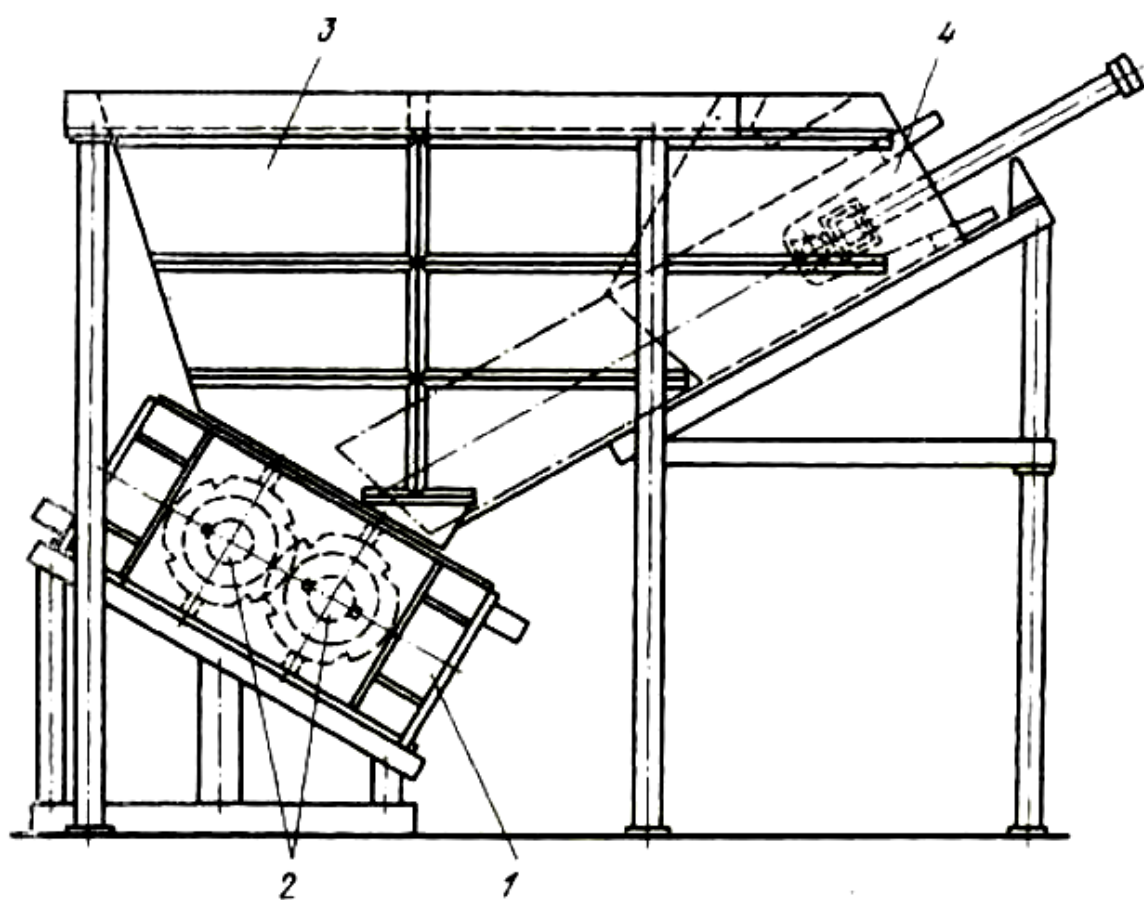


Рис.1.3.13. Двухроторна ножова дробарка «Lindemann»

На (рис.1.3.14.) показана двухроторна ножова дробарка СМД-153. Кожен валок, якої приводиться в рух від окремого електродвигуна. Застосовують дробарку для грубого та середнього подрібнення відходів з виробництва гуми, автомобільних шин та ін.

Для зручності демонтажу роторів корпус дробарки виконаний роз'ємним і складається з нижньої і верхньої частин. В бокових частинах корпусу передбачені люки для огляду і ремонту робочих органів дробарки. Кожен з роторів дробарки має індивідуальний привод від асинхронного двигуна. Крутний момент від електродвигуна до робочих органів передається за допомогою клинопасової передачі. Ротори дробарки розташовані в горизонтальній площині, обертаються назустріч один одному з різною частотою.

Подрібнюваний матеріал подається через завантажувальний бункер розташований зверху корпусу дробарки. Подрібнювання відбувається при попаданні матеріалу між роторами дробарки. Використання двох роторів дозволяє зменшити енергозатрати і збільшити ступінь подрібнення матеріалу, за рахунок розподілення навантаження між роторами дробарки. Двухроторні ножові дробарки типу СМД надійні в роботі і мають високу продуктивність при порівняно невеликих габаритах і масі (таб.1.3.4.).

Табл.1.3.4.

Двухроторні ножові дробарки

Показники	Дробарки	
	СМД-163	СМД-175А
Розміри ротора, мм: -діаметр -довжина	1100 1000	1500 1200
Номінальна частота обертання роторів, об/хв не менше: першого другого	170 200	60 60
Продуктивність, т/год	700	225
Потужність електродвигунів, кВт	30×2	150
Габаритні розміри, мм:	4300×2800×1600	5210×6200×2100
Маса дробарки, без двигунів, т	18	37

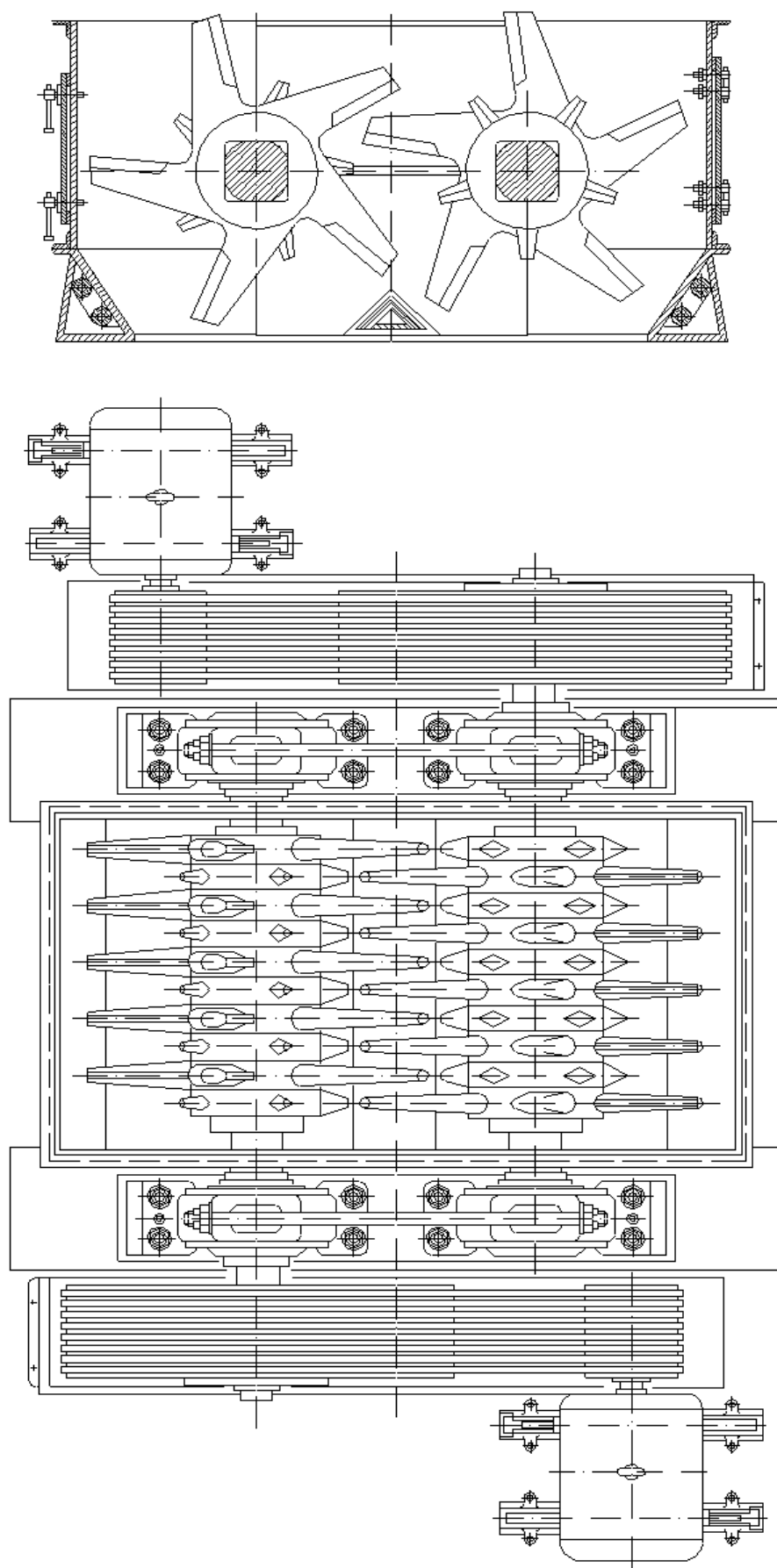


Рис.1.3.14. Двухроторна ножова дробарка СМД-153

Багатороторні (4х-роторні) ножові дробарки

На (рис.1.3.15. а) показана 4х-роторна дробарка (шредер). Шредери 4х-роторні серії WEIMA ZMK 30 - ZMK 50 (Німеччина) призначені для подрібнення крупногабаритних полімерних відходів (бочки, каністри, ящики, профіль і ін.)

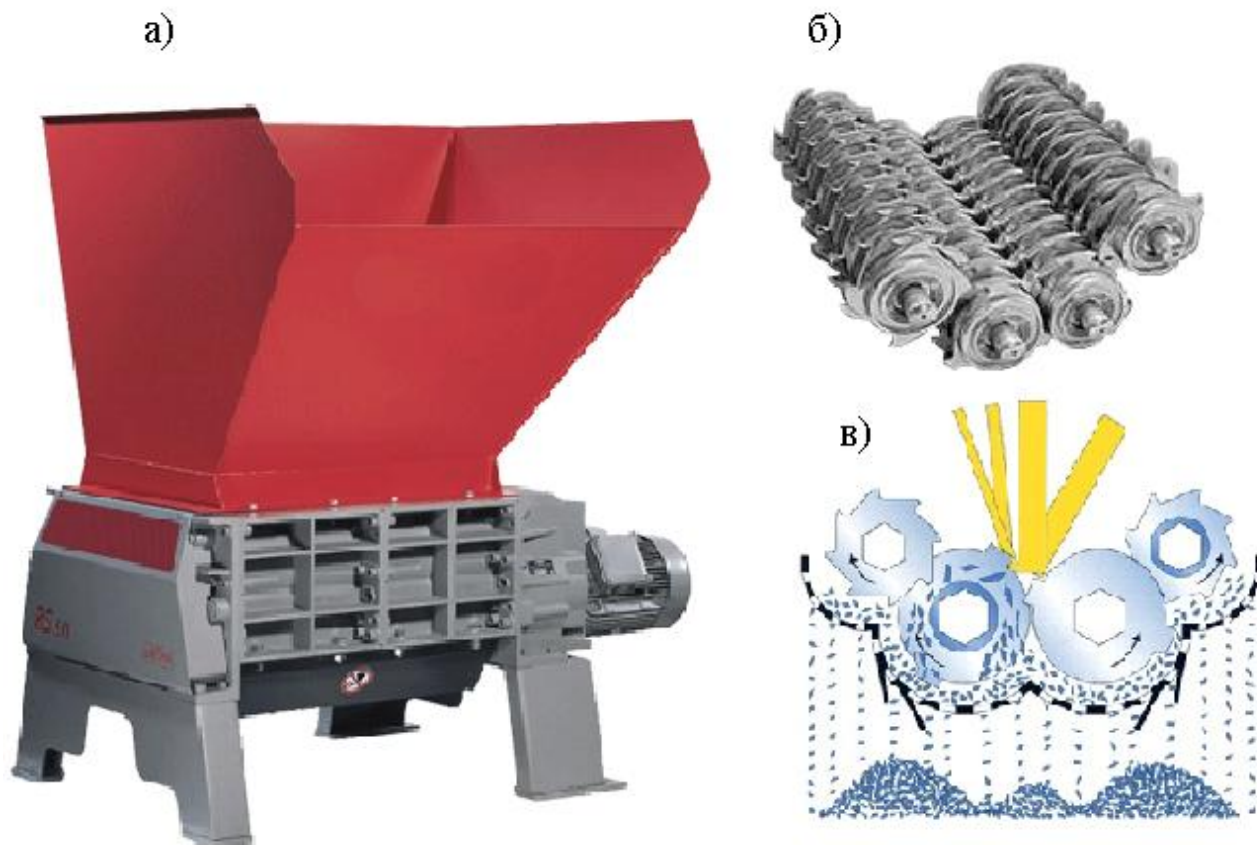


Рис.1.3.15. Шредер ZMK

Продуктивність шредера залежить від типу матеріалу, що подрібнюється, виду відходів (форми) і розмірів отворів калібруючої сітки. Зазвичай продуктивність шредерів даної моделі лежить в межах від 300 до 2000кг/год, через невелику швидкість обертання роторів (близько 25об/хв). Шредер оснащений автоматичним пристроєм захисту від перевантаження і реверсом. Відходи захвачуються роторами безпосередньо з загрузочного бункера і подрібнившись, виходять через отвори калібруючої сітки (15-80мм). Ротори шредера (рис.1.3.15. б) приводяться в дію двома двигунами потужністю від 5,5 до 18,5кВт кожен. Кожен з двигунів приводить в дію два ротора і має свій незалежний реверс. Схема подрібнення шредером показана на (рис.1.3.15. в). Технічна характеристика шредерів типу ZMK наведена в (таб.1.3.5.).

Технічна характеристика шредерів типу ZMK

Модель	ZMK 30	ZMK 30S	ZMK 40
Розміри завантажувального вікна, мм	1000×1250	1000×1400	1300×1400
Робоча камера, мм			
-ширина	462	462	760
-довжина	562	700	700
-діаметр дисків	235	280	280
Подужність двигуна, кВт	2×5,5 (7,5; 11)	2×11 (15; 18,5)	2×11 (15; 18,5)
Продуктивність, кг/год.*			
-сітка - ø20мм	300-500	500-800	600-1200
-сітка - ø40мм	500-800	600-1000	800-1500
Маса, кг	1300	2150	2500
*залежить від типу матеріалу			

Роторно-ножові дробарки з різним розташуванням ротора у просторі

Роторно-ножова дробарка з вертикально розташованим ротором для подрібнення металевої стружки фірми «Hazet Zwickau» представлена на (рис.1.3.16.).

В дробарці такого типу є дві окремі зони дроблення. Спершу стружка з завантажувальної воронки 1 зтягується в зону 2 лопаттю 3, що повільно обертається і протягується вздовж нахилених ножів 4. Стружка при цьому ріжеться і завдяки нахилу ножів, зтягується у воронку. Після попереднього подрібнення стружка під дією першої системи ножів, а також під дією сили тяжіння, потрапляє в другу зону, де вона остаточно подрібнюється в кільцевому зазорі 5 між ріжучою головкою і декількома сегментними ножами. Кількість обертів ротора ножової дробарки – 30...70об/хв.

На (рис.1.3.17.) представлена роторно-ножова дробарка фірми «Steimel» для подрібнення металевої стружки, ротор якої встановлений під кутом 30° до вертикальної осі. Подрібнення металевої стружки на даній ножовій дробарці базується на взаємодії ріжучих елементів, встановлених на роторі, що відносно повільно обертається і нерухомих ножів. Ножі підбирають так, щоб стружка попередньо різалась, а потім подрібнювалась на витки певної довжини. Кількість обертів ротора в залежності від подрібнюваної стружки вибирається від 40 до 80об/хв.

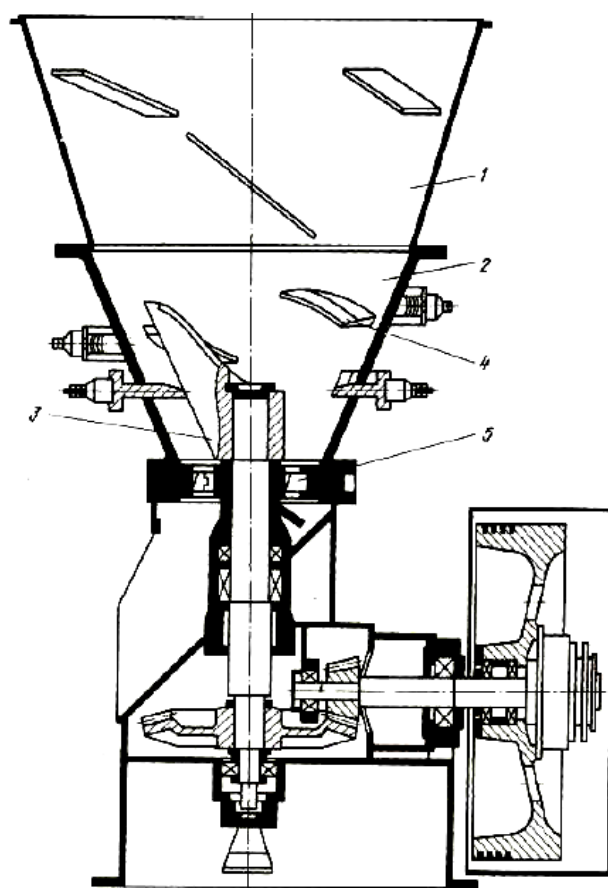


Рис.1.3.16. Роторно-ножова дробарка «Hazet Zwickau»

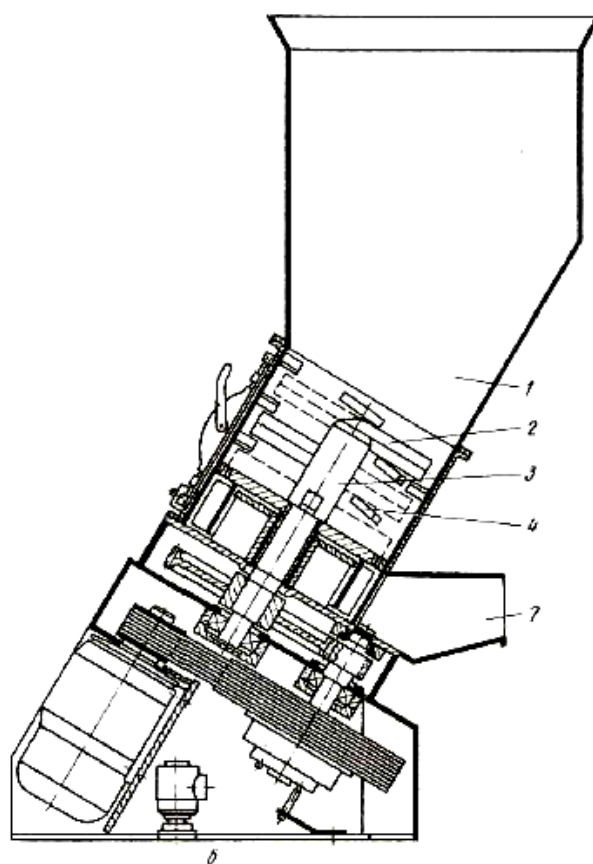


Рис.1.3.17. Роторно-ножова дробарка «Steimel»

1.4. Конструктивні виконання ножів для роторно-ножових дробарок і їх кріплення

Ножі є змінною ріжучою частиною ножових барабанів, що використовуються на дробильних установках. Існує декілька конструктивних виконань ножів для роторно-ножових дробарок розглянемо деякі з них.

Для роторів ножових дробарок часто використовуються ножі з пазами (рис.1.4.1.).

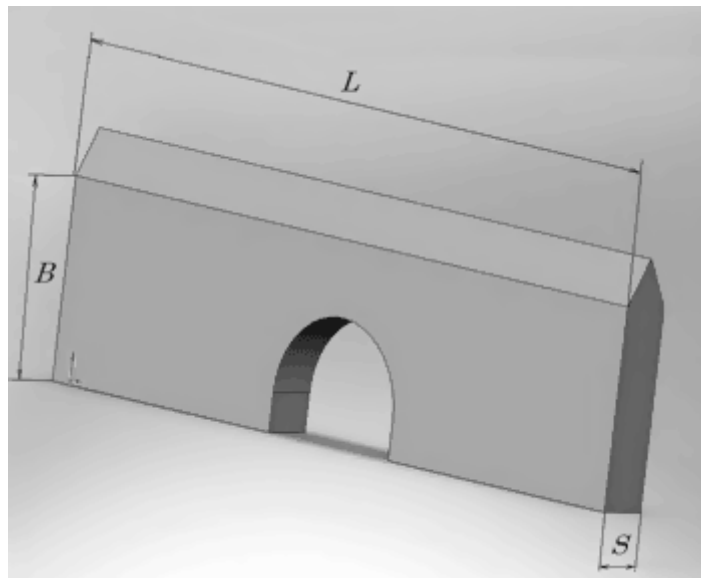


Рис.1.4.1. Ніж з пазом

Призначення: ножі із сталі DS призначені для подрібнення утильного матеріалу – утилізація пластмас.

- Твердість ножів 56-59 HRC
- Ножі піддаються термічній обробці в спеціальних печах.

Головною перевагою такої конструкції є швидка заміна ножів.

Також використовуються ножі з рифленням (рис.1.4.2.).

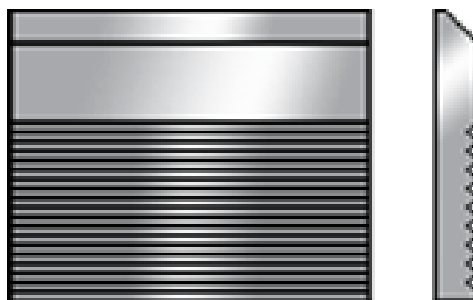


Рис.1.4.2. Ніж з рифленням

1. Рифлення на ножовій заготовці і на ножовому барабані дозволяє:
 - Спростити установку ножів по висоті;
 - Забезпечити надійне закріплення ножів в ножовому барабані.
2. Виліт ножа відносно ножового барабана необхідний для регулювання відстані між ножом і ситом, або при установці ножа після переточки.

Схема кріплення ножа з рифленням показана на (рис.1.4.3.).

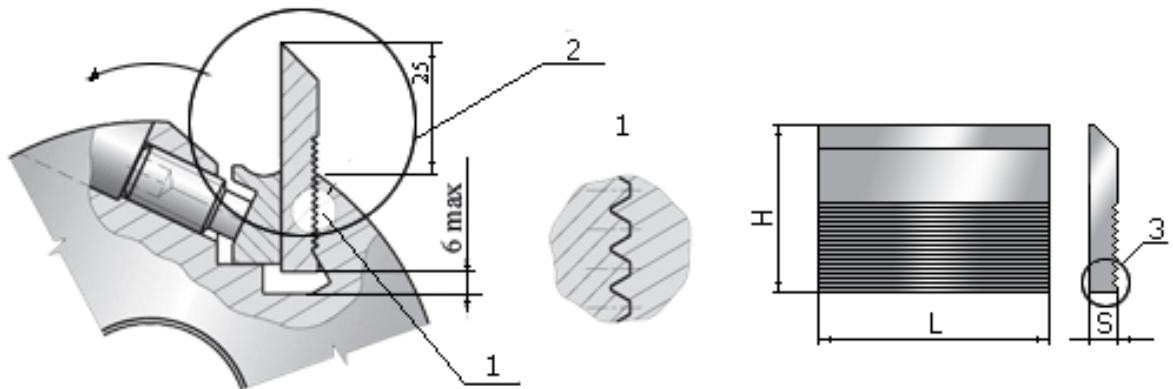


Рис.1.4.3. Схема кріплення ножа з рифленням

Нещодавно знайшли розповсюдження поворотні ножі (рис.1.4.4.). Такі ножі кріпляться на спеціальні V-ротори. Ножі кріпляться до спеціальних посадочних місць, що приварені до ротора. Схема кріплення поворотних ножів показана на (рис.1.4.5.)

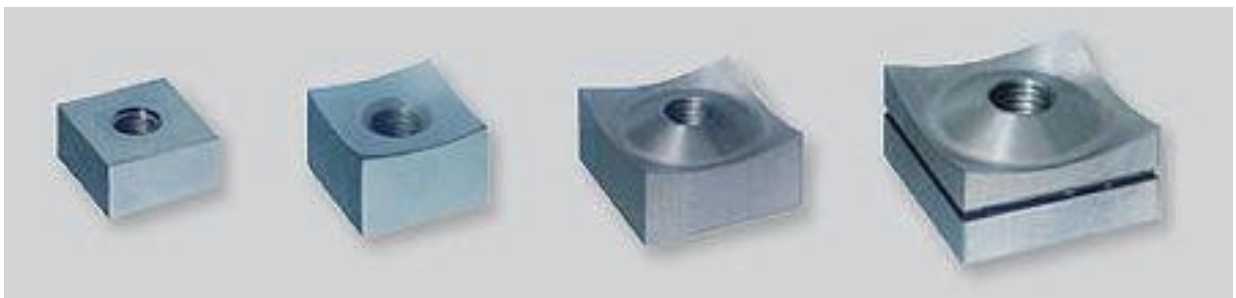


Рис.1.4.4. Поворотні ножі

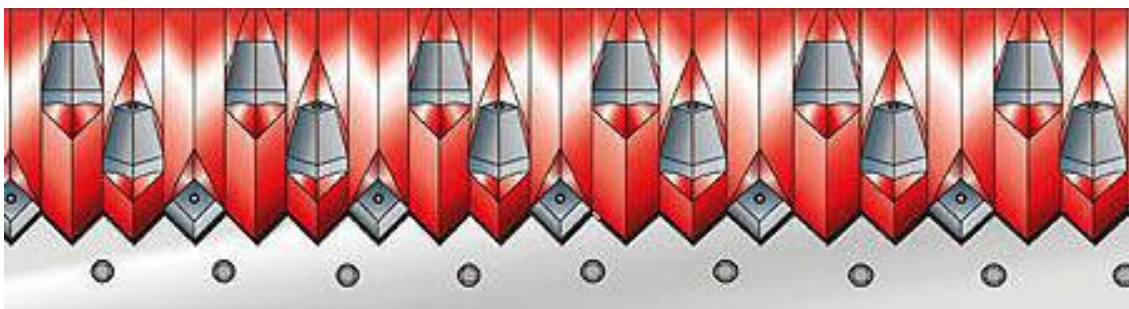


Рис.1.4.5. Схема кріплення поворотних ножів

Перевагами такої конструкції ножів є:

- простота конструкції ножа;
- просте і надійне кріплення;
- зручність при монтажі і в обслуговуванні;
- можливість повертати ніж іншою стороною (ріжучою кромкою) при

затуплюванні.

1.5. Висновки

Проаналізувавши характер відходів ПЕТ-пляшок як сировини, способи її подрібнення і конструктивні особливості обладнання, за допомогою якого вони подрібнюються, можна прийти до наступних висновків:

- Поліетилентерифталат (ПЕТ, ПЕТФ) належить до полімерних матеріалів з високою механічною міцністю (руйнівне напруження при стисканні більше 60МПа) і має пластичний характер руйнування, тому найдоцільніше його подрібнювати методом різання.

- Подрібнення ПЕТ, за правило, здійснюється на роторних подрібнювачах, потрібної продуктивності. Але будова ПЕТ-пляшки не дає змоги отримувати під час подрібнення матеріал однорідної структури, тому що важко створити подрібнювач, що ефективно може подрібнювати орієнтовані та аморфні частини ПЕТ-пляшки.

- Подрібнення ПЕТ-пляшок доцільно проводити в дві стадії: на першій стадії пляшка розрізається, у результаті чого відокремлюється дно і горловина від бічних стінок; на другій стадії проводиться окреме подрібнення частин пляшки на роторних подрібнювачах до потрібних розмірів.

2. Постановка задачі

Розвиток пакування харчових продуктів у ПЕТ тару призвів до накопичення великої кількості її відходів. Як відомо, основна маса ПЕТ тари після використання надходить на смітники разом із сміттям, а потім захоронюється чи спалюється. Однак, з часом сміття ставало все більше і більше і цей процес вже перейшов в глобальну екологічну проблему. Одним з варіантів вирішення було налагодження збору та використання цієї цінної сировини з метою переробки в гранулят або підготовки до переробки.

З точки зору переробки ПЕТ у вигляді пляшки, різні її частини відрізняються не тільки геометрією поверхні, а й ступенем орієнтації, що є найбільш важливим. Останній фактор впливає на структуру різних складових загальної геометрії пакування, на реологічні, механічні і теплофізичні властивості вторинного ПЕТ. Знання цих властивостей для різноманітних сумішей (композицій), до складу яких входить вторинний ПЕТ з різним ступенем орієнтації, дозволить не тільки облаштуватись технологією і обладнанням для вторинної переробки, а також визначитись з номенклатурою виробів з цих композицій.

Подрібнення ПЕТ, як правило, здійснюється на роторних подрібнювачах, потрібної продуктивності. Але будова ПЕТ-пляшки не дає змоги отримувати під час подрібнення матеріал однорідної структури, тому що важко створити подрібнювач, що ефективно може подрібнювати орієнтовані та аморфні частини ПЕТ-пляшки.

Встановлено, що найкращий спосіб отримати на виході частинки однакового розміру та структури, це подати використану ПЕТ пляшку без горловини та днища.

Тому, метою даної роботи було, запропонувати нову конструкцію ножової дробарки, яка забезпечує подрібнення з одночасним відокремленням горловини та днища. І для зменшення енерговитрат процесу різання розроблення нової конструкції ножів та контрножів.

Для вирішення поставленої мети необхідно:

- Провести аналіз характеристик відходів ПЕТ-пляшок як вторинної сировини. Розглянути способи подрібнення полімерних відходів. Провести літературний огляд конструкцій роторно-ножових дробарок і їх робочих органів (ножів і їх кріплень).
- Запропонувати нову конструкцію ножового пристрою для подрібнення ПЕТ-пляшки з одночасним відділенням горловини і днища. Розробити нову конструкцію робочих органів (ножів) дробарки.
- Розробити математичну модель процесу подрібнення ПЕТ-пляшки методом різання для запропонованої конструкції ножового пристрою.
- Дослідити лабораторну установку для дослідження процесу різання ПЕТ-пляшки.
- Провести дослід та опрацювати результати. Отримати математичні залежності механічних властивостей матеріалу від технологічних параметрів процесу подрібнення.
- Розробити креслення запропонованої конструкції з урахуванням результатів аналітичних досліджень по розробленню математичних моделей.

2.1. Опис пропозиції

Пристрій для подрібнення ПЕТ-пляшок з одночасним відділенням горловини і днища

Корисна модель належить до подрібнення ПЕТ-пляшок та може бути використана в переробній промисловості.

Відома валкова дробарка (UA №24376, бюл. №5, 1995р.). Дробарка включає корпус з вхідним і вихідним патрубками, пару горизонтальних валків, на валах розміщені в шахматному порядку зубчасті вінці, зуби яких зміщені один відносно іншого, між ними встановлені проміжні кільця, поверхня яких має сітчасте рифлення. Проте відома дробарка не може бути використана для подрібнення ПЕТ-пляшок.

Відома валкова дробарка спеціальна (Деклараційний патент на винахід № 47814, бюл. №71 2002р.). дробарка включає корпус з приймальним вузлом, привідний механізм та валковий різальний механізм, виконаний у вигляді двох однакових валів. Кожен вал має поздовжній паз на зовнішній поверхні і оснащений набором дисків з встановленими різальними зубами. Але така дробарка має підвищені енерговитрати на процес дроблення матеріалу, має сталі навантаження, існує можливість попадання, застрягання подрібненого матеріалу між зубцями.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення пристрою для подрібнення ПЕТ-пляшок з відокремленням горловини та днища, шляхом створення нової конструкції корпусу, приймального вузла та нової конструкції різального механізму забезпечити запобігання зминання та перекосу бутілок, постійну подачу пляшок без застосування додаткових приводів, якісне видалення подрібнених часток з одночасним сортуванням їх по різній твердості.

Поставлена задача вирішується тим, що пристрій для подрібнення ПЕТ-пляшок з відокремленням горловини та днища, включає корпус з приймальним вузлом, привідний механізм та різальний пристрій, оснащений різальними елементами, які розміщені на зовнішній поверхні по колу різального механізму. Згідно корисної моделі, приймальний вузол виконано у вигляді каналу, розташований вздовж довжини корпусу. Корпус пристрою має циліндричну форму, довжина якого більше довжини різального механізму, який має форму циліндричного барабана, встановленого з корпусом з можливістю обертання на валу барабана. На поверхні барабана встановлені ряди робочих ножів, які мають форми двох загострених поверхонь, розташованих під кутом 80-90° одна до одної та спрямовані до приймального вузла по ходу руху барабана, за ножами на поверхні барабана розміщені виштовхувальні лопатки, корпус також має контрножі по формі схожі з робочими ножами, але спрямовані назустріч їм та встановлені зі зсувом до робочих ножів, який дорівнює товщині ножа, на бічній поверхні корпусу, внизу його є отвір для виходу горловини пляшок та отвір для виходу днища пляшок, а по центру – отвір для виходу центральної частини пляшки.

На (рис.2.1.1.) – Загальний вид пристрою для подрібнення ПЕТ-пляшок з відокремленням горловини та днища.

Пристрій для подрібнення ПЕТ бутілок з відокремленням горловини та днища включає приймальний вузол 1 приєднаний до верху корпусу 2. Приймальний вузол 1 має форму каналу, розташованого вздовж довжини корпусу 2 та має ширину 15-25мм. Корпус 2 пристрою має циліндричну форму, довжина якого більше довжини різального механізму, який включає барабан 3 циліндричної форми, встановлений співвісно з корпусом 2 з можливістю обертання на валу 4. На поверхні барабана 3 встановлені ряди робочих ножів 5, спрямованих до приймального вузла 1 по ходу руху барабана. За ножами 5 на поверхні барабана 3 розміщені виштовхувальні лопатки 6. Корпус 2 також має ряди контр ножів 7, робочою поверхнею спрямовані назустріч робочим ножем барабана та в та встановлені зі зсувом до них, який дорівнює товщині ножа. По виду робочі ножі 5 та контр ножі 7 однакові та мають форму двох загострених поверхонь, розташованих під кутом одна до одної. На бічній поверхні корпусу 2, внизу його є отвір 8 для виходу горловин бутілок та отвір 9 для виходу днища бутілок, а по центру – отвір 10 – для виходу центральної частини бутілок 11.

Пристрій працює таким чином. Бутілки 11 подаються через спеціальний канал 1 і упираються в барабан 3. При обертанні барабана 3 бутілки попадають між рядами контр ножів 7 корпусу 1 і робочих ножів 5. Довжина барабана 3 менша за довжину корпусу 2 та зміщена в сторону орієнтації бутілок до днища. За допомогою ножів здійснюється різання бутілок. Виштовхувальні лопатки 6 допомагають спрямувати подрібнені частинки до виходу, причому горловина попадає в отвір 8, днище бутілок попадає в отвір 9, а в отвір 10 виходять подрібнені частинки центральної частинки бутілки 11.

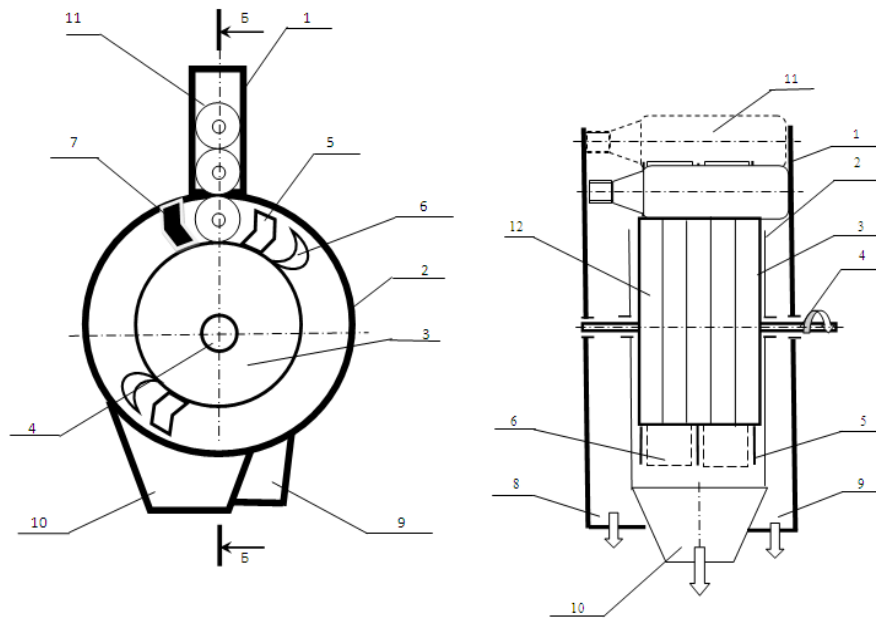


Рис.2.1.1. Схема ножового пристрою

Використання запропонованого пристрою дозволить вирішити дуже важливу задачу – розділити подрібнені частки ПЕТ бутлонок по твердості, що важливо при їх подальшій переробці.

2.2. Математична модель

Розробка математичної моделі процесу подрібнення пляшок із ПЕТ методом різання

Математична модель розробляється на базі принципу дії ножового пристрою для подрібнення ПЕТ-пляшок методом різання, конструкція якого була запропонована.

В математичному моделюванні використовуємо конструкцію ножа, таку ж як і в запропонованому пристрої. При використанні ножів такої конструкції, сили різання і сили нормальних реакцій опору будуть направлені на зустріч один одному.

На (рис.2.2.1.) показано схему сил дослідної установки на початку процесу.

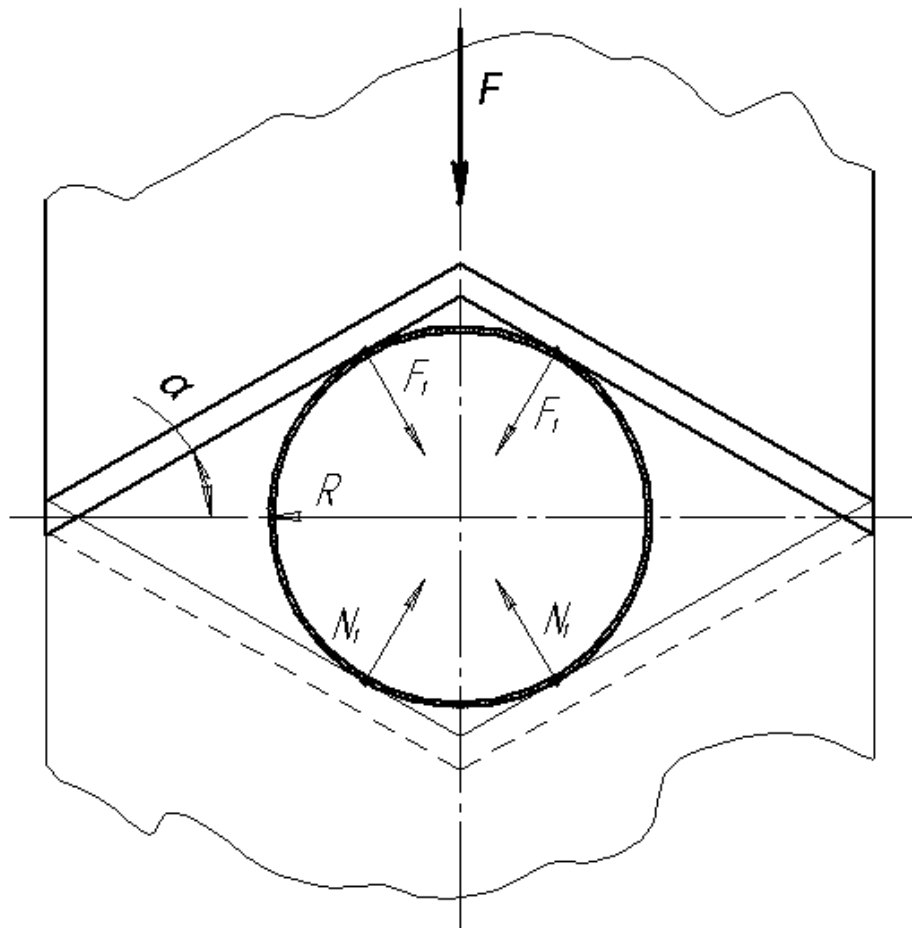


Рис.2.2.1. Схема сил дослідної установки

В даному випадку процес різання буде проходити в декілька етапів.

Перший етап:

На першому етапі відбувається деформація пляшки. Підводиться ніж і під дією сил F_1 пляшка деформується (рис.2.2.2.).

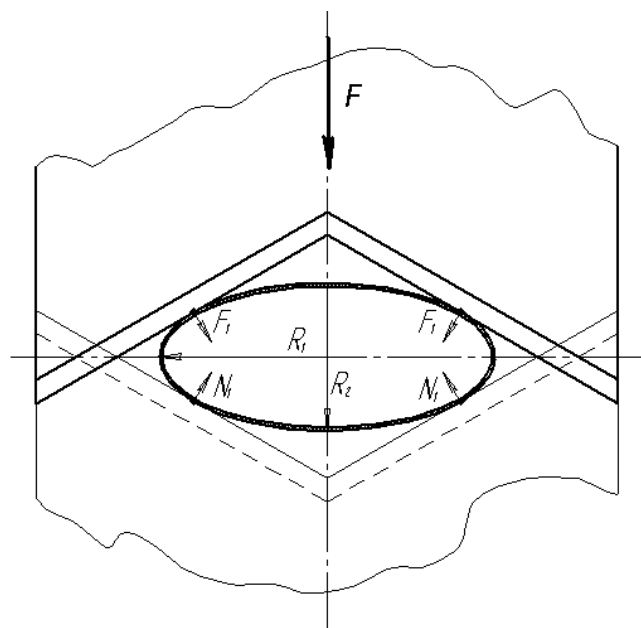


Рис.2.2.2. Схема сил на першому етапі

Зі сторони контрножа діють сили нормальної реакції опору. При цьому пляшка приймає еліпсоподібну форму.

При цьому контакт ножа і пляшки відбувається не в точці, а по якійсь певній поверхні e (рис.2.2.3.).

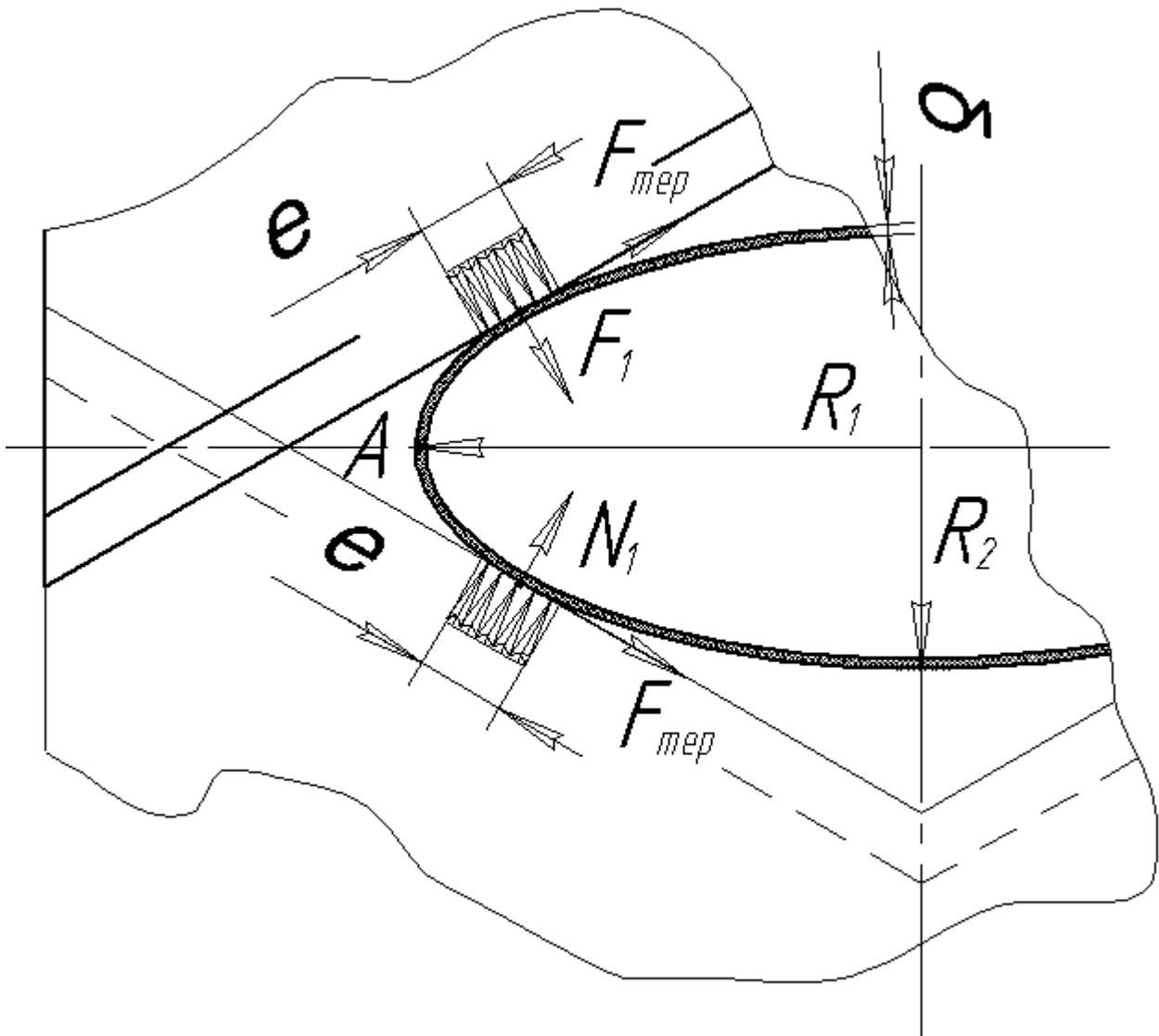


Рис.2.2.3. Схема сил, що діють на пляшку при деформації

Процес деформації буде відбуватись поки, напруження а т.А не досягне якогось свого критичного значення.

Для визначення цього напруження запишемо рівняння:

$$\tau_{зг}^A = \varepsilon \cdot E \leq [\sigma_{зг}] \quad (2.2.1.)$$

де ε – видовження; E – модуль пружності матеріалу.

Видовження при цьому буде дорівнювати:

$$\epsilon = \delta / R \quad (2.2.2.)$$

де δ – товщина стінки; R – радіус еліпса.

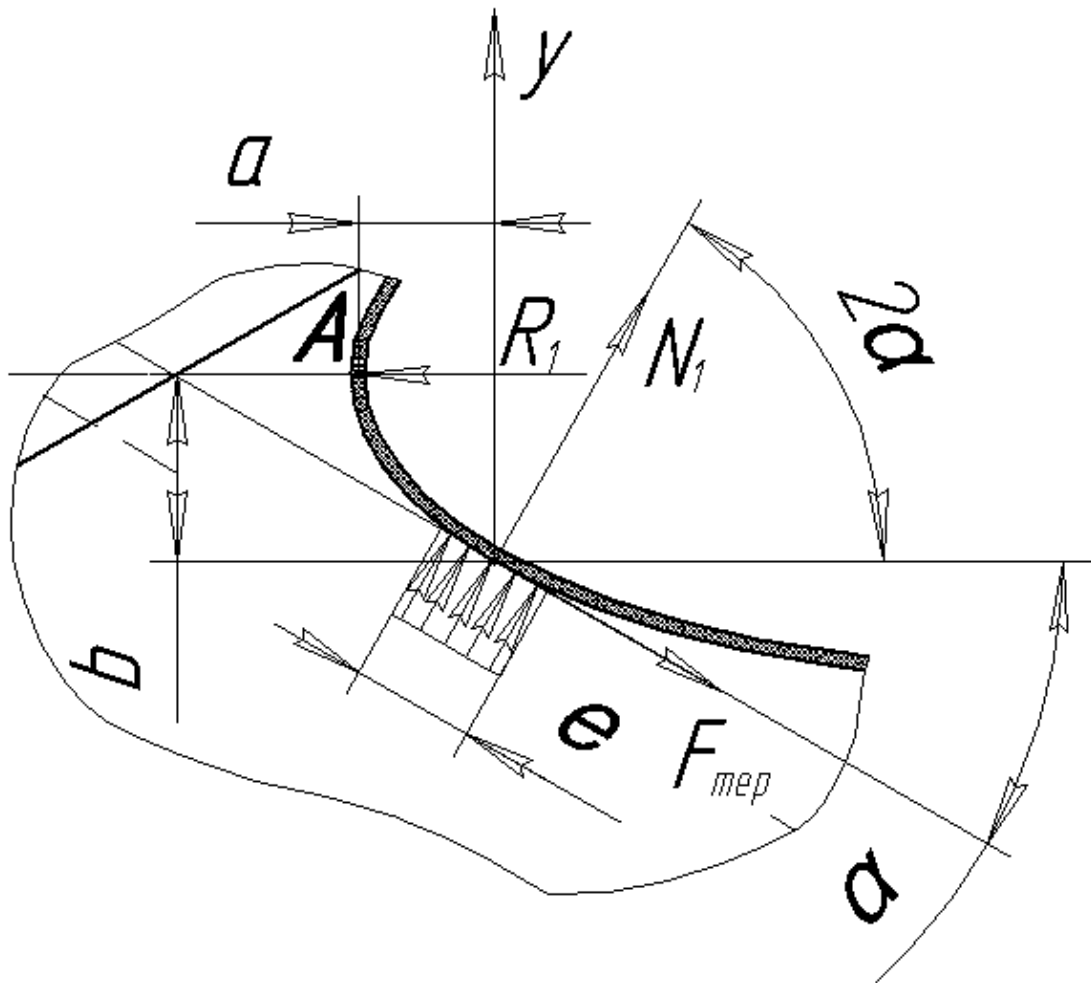


Рис.2.2.4. Схема сил

Запишемо момент згинання відносно т.А:

$$M_{зг}^A = N \cdot b \cdot \cos 2\alpha + N \cdot a \cdot \sin 2\alpha + F_{тр} \cdot b \cdot \cos \alpha - F_{тр} \cdot a \cdot \sin \alpha \quad (2.2.3.)$$

Сила тертя ножа по пляшці при цьому буде дорівнювати:

$$F_{тр} = N \cdot f \quad (2.2.4.)$$

де f – коефіцієнт тертя ножа і матеріала.

Тоді рівняння (2.2.3.) прийме вигляд:

$$\begin{aligned} M_{зг}^A &= N \cdot b \cdot \cos 2\alpha + N \cdot a \cdot \sin 2\alpha + N \cdot f \cdot b \cdot \cos \alpha - N \cdot f \cdot a \cdot \sin \alpha = \\ &= N(2b \cdot \cos^2 \alpha - b + 2a \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + f \cdot b \cdot \cos \alpha - f \cdot a \sin \alpha) = \\ &= N(b \cdot \cos \alpha (2 \cos \alpha + f) + a \cdot \sin \alpha (2 \cos \alpha - f) - b) \end{aligned} \quad (2.2.5.)$$

Тоді:

$$\tau_{3Г} = M_{3Г} / W_{3Г} \quad (2.2.6.)$$

де $W_{3Г}$ – опір поперечного перерізу: в т.А приймемо, що поперечний переріз згину умовно буде відбуватись по прямокутнику:

$$W_{3Г} = \delta \cdot e / 6 \quad (2.2.7.)$$

де δ – товщина стінки; e – довжина контакту леза.

Підставимо в рівняння (6) формулу (5) і (7) та знайдемо N .

$$N = (\tau_{3Г} \cdot \delta \cdot e) / 6(b \cdot \cos\alpha(2\cos\alpha + f) + a \cdot \sin\alpha(2\cos\alpha - f) - b) \quad (2.2.8.)$$

Другий етап:

На другому етапі відбуватиметься процес різання.

Запишемо за принципом Д'Аламбера:

$$F + G + F_i = 0 \quad (2.2.9.)$$

де F – сила різання; G – сила адгезії; F_i – сила інерції.

Так як в нашому випадку різання відбуватиметься під кутом (рис.2.2.5.), запишемо:

$$(F_1 + G_1 + F_{i1}) \sin\alpha = 0 \quad (2.2.10.)$$

де:

$G_1 = C + k_1(dy/dt)$ – коефіцієнт адгезії.

$$F_{i1} = m\ddot{Y} = m(d^2y/dt^2) \quad (2.2.11.)$$

де m – приведена маса ножа та всіх рухомих частин приводу.

Підставивши (2.2.11.) в (2.2.10.) запишемо:

$$(F_1 + (C + k_1(dy/dt)) + m(d^2y/dt^2)) \sin\alpha = 0 \quad (2.2.12.)$$

Розв'яжемо диференціальне рівняння (2.2.12):

$$(F_1 + (C + k_1(dy/dt)) + m(d^2y/dt^2)) \sin\alpha = 0$$

При цьому: $\sin\alpha \neq 0$

Тоді:

$$F_1 + (C + k_1(dy/dt)) + m(d^2y/dt^2) = 0$$

$$m(d^2y/dt^2) + k_1(dy/dt) + C + F_1 = 0 \quad (2.2.13.)$$

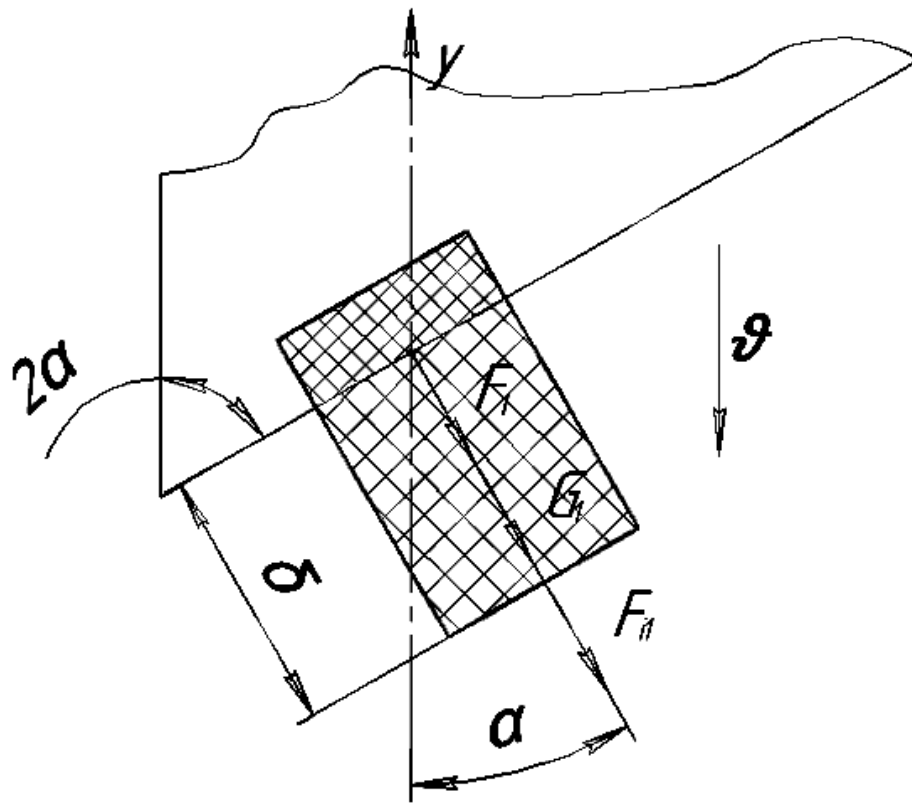


Рис.2.2.5. Схема сил, які діють на лезо ножа

$dy/dt=V_0$ – швидкість руху леза в момент початку занурення в матеріал, враховуючи початкові умови $t=0$, $y=0$, (де t – час на початок занурення ножа в матеріал, y – глибина занурення леза ножа в матеріал).

Розв’язавши рівняння (2.2.13.), отримаємо:

$$F = \frac{k_1 \frac{dy(t)}{dt} - e^{-\frac{k_1 \cdot t}{m}} \cdot (C + V_0 k_1) + C}{e^{-\frac{k_1}{m}} - 1} \quad (2.2.14.)$$

де $dy(t)/dt=(V_{\text{вх}}+V_{\text{вих}})/2$ – швидкість руху леза.

$V_{\text{вх}}$ – швидкість на початку занулення леза в матеріал;

$V_{\text{вих}}$ – швидкість при виході леза ножа з матеріалу.

3. Експериментальні дослідження

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІЕТИЛЕНТЕРИФТАЛАТУ (ПЕТ, ПЕТФ) ВІД ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ

Метою експериментальних досліджень є встановлення закономірностей впливу технологічних параметрів процесу руйнування поліетилентерифталату (ПЕТ, ПЕТФ) на величину руйнівного напруження і критичної деформації до руйнування.

В якості об'єкта експериментальних досліджень було вибрано ПЕТ-пляшки місткістю 0,5л. Такий вибір обумовлений найбільшою поширеністю ПЕТ-упаковок і відповідно їх відходів.

З метою визначення чисельних значень характеристик міцності ПЕТ, проведено випробування матеріалу в умовах зрізу при різних значеннях магістрального тиску, товщин стінок пляшки і кута заточки ножа.

Випробуванню підтягались ПЕТ-пляшки місткістю 0,5л, таких фірм, як «Росинка», «Моршинська», «Миргородська».

Дослідження проводились за допомогою виготовленої експериментальної установки для дослідження параметрів процесу різання.

3.1 Конструкція і принцип роботи експериментальної установки

Для перевірки адекватності отриманих результатів за математичною моделлю була розроблена схема лабораторної уставки (рис.3.1.1).

Подачу повітря до експериментальної установки забезпечують за допомогою компресора, яке по системі трубопроводів доходить до робочих елементів. Контроль тиску для рухомого ножа відбувається за допомогою регулятора тиску 1. Система керування рухомого ножа складається із бістабільного розподільника 5/3, який забезпечує подачу повітря для відводу та підводу леза до ПЕТ-пляшки. Зусилля (тиск) вимірюється датчиком тиску аналоговим 3 і сигнал передається на АЦП. Переміщення штоку пневмоциліндра вимірюється датчиком переміщення аналоговим 6 і сигнал передається на АЦП. На АЦП сигнали перетворюються з аналогових в цифрові і передаються на ЕОМ.

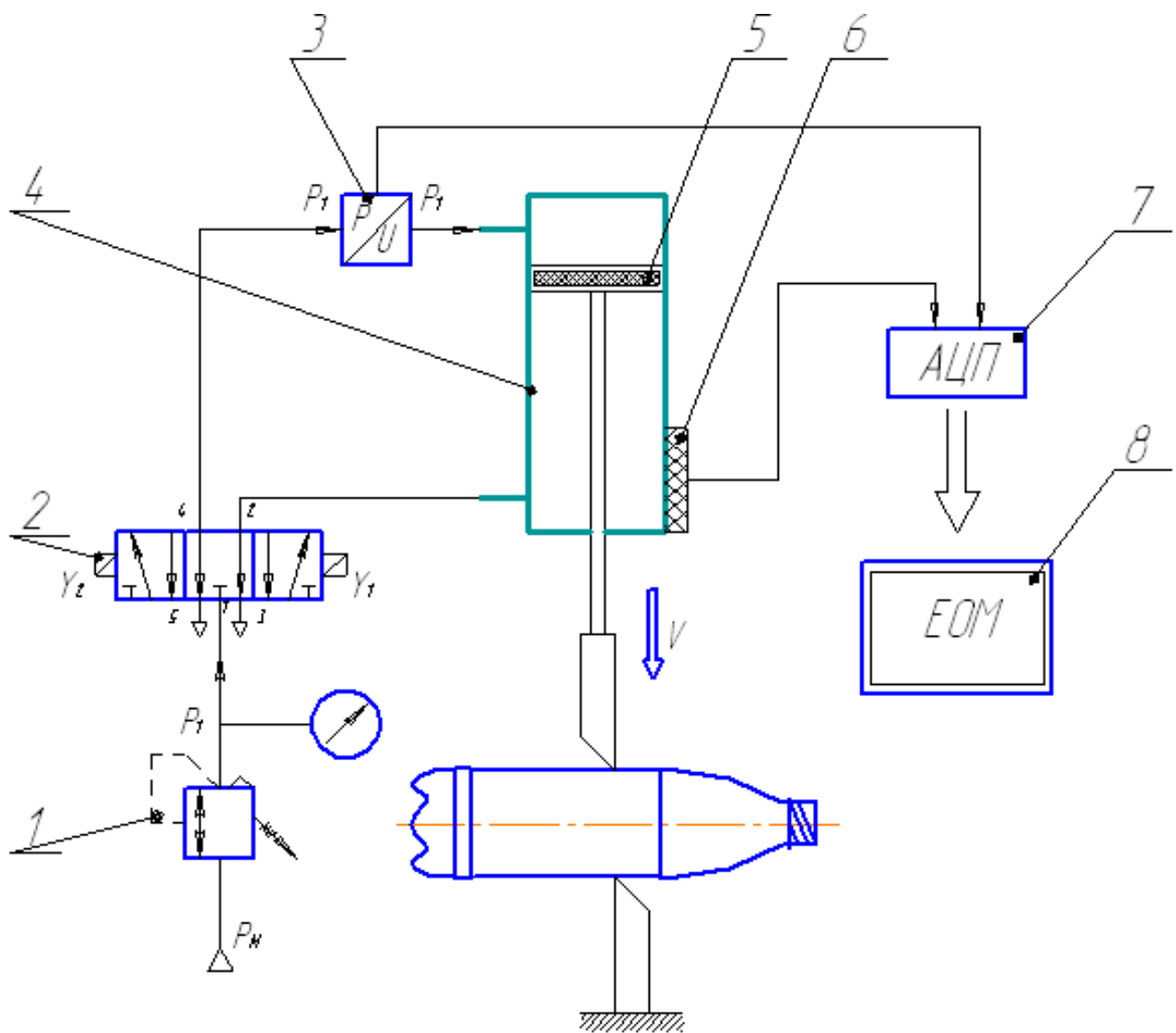
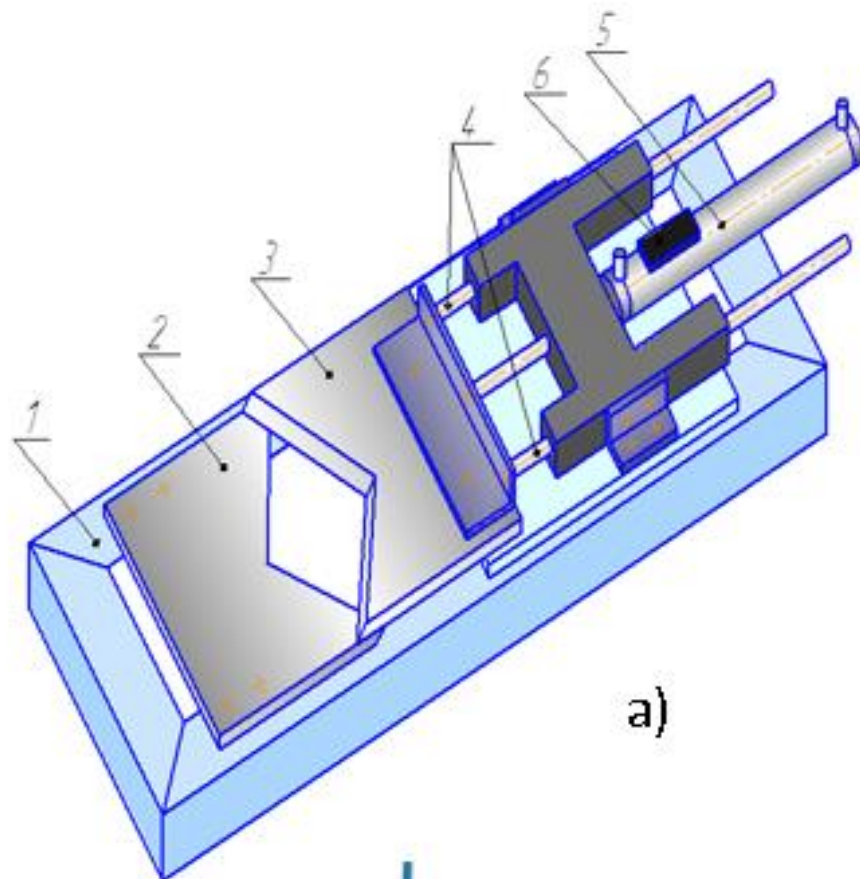


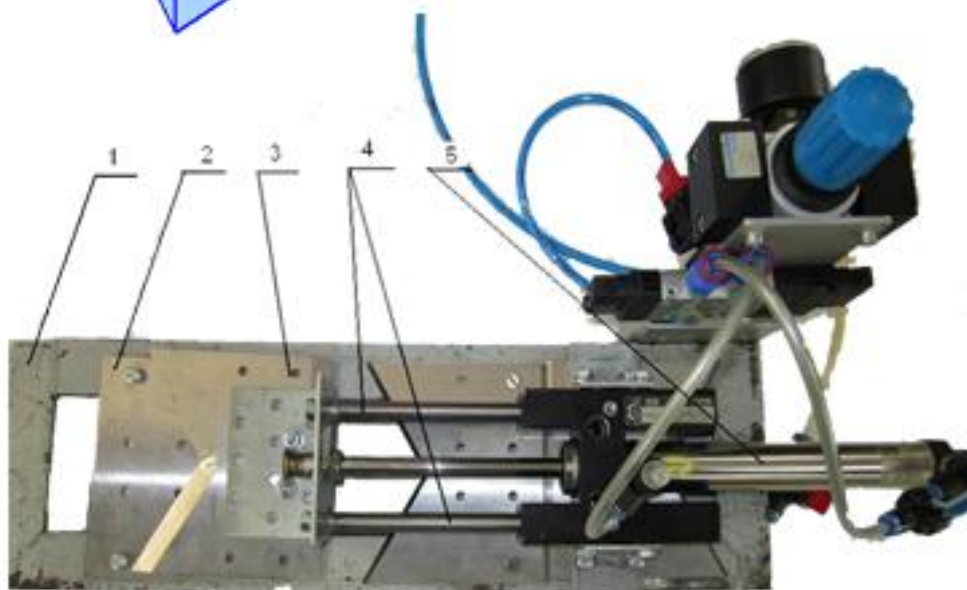
Рис.3.1.1 Схема дослідної установки для визначення параметрів різання ПЕТ-пляшок:

1 – регулятор тиску; 2 – розподільник 5/3 бістабільний; 3 – датчик тиску аналоговий; 4 – пневмоциліндр двохсторонньої дії з магнітним кільцем 5 на поршні; 6 – датчик переміщення аналоговий; 7 – перетворювач аналогових сигналів в цифрові; 8 – електронно-обчислювальна машина.

За схемою була спроектована і виготовлена експериментальна установка (рис.3.1.2).



а)



б)

Рис.3.1.2 а) Проектний ескіз експериментальної установки для дослідження параметрів процесу різання ПЕТ;

б) виготовлений зразок експериментальної установки;

1 – рама; 2 – нерухомий ніж; 3- рухомий ніж; 4 – напрямні; 5 – пневмоциліндр; 6 – датчик переміщення.

Експериментальна установка складається з наступних вузлів і елементів:

- Вузол кріплення рухомого ножа до пневмоциліндра через направляючі. За рахунок направляючих ніж рухається чітко паралельно до площини різання і процес різання проходить рівномірно по всій довжині пляшки.
- Датчик переміщення аналоговий. Переміщення штока пневмоциліндра контролюється датчиком переміщення аналоговим. Аналоговим сигналом від 0 до 10 Вольт.
- Датчик тиску аналоговий. Датчик тиску вимірює тиск на вході в порожнину пневмоциліндра (дорівнює тиску в порожнині пневмоциліндра). Аналоговим сигналом від 0 до 10 Вольт.
- Регулятор тиску. Служить для регулювання магістрального тиску.
- Аналоговоцифровий перетворювач. Служить для перетворення аналогових сигналів в цифрові.

Для дослідження процесу різання було взято 3 пари ножів з кутами 15° , 30° , 45° (рис. 8). Дана конструкція ножів забезпечує фіксацію пляшки під час різання і покращує процес різання.

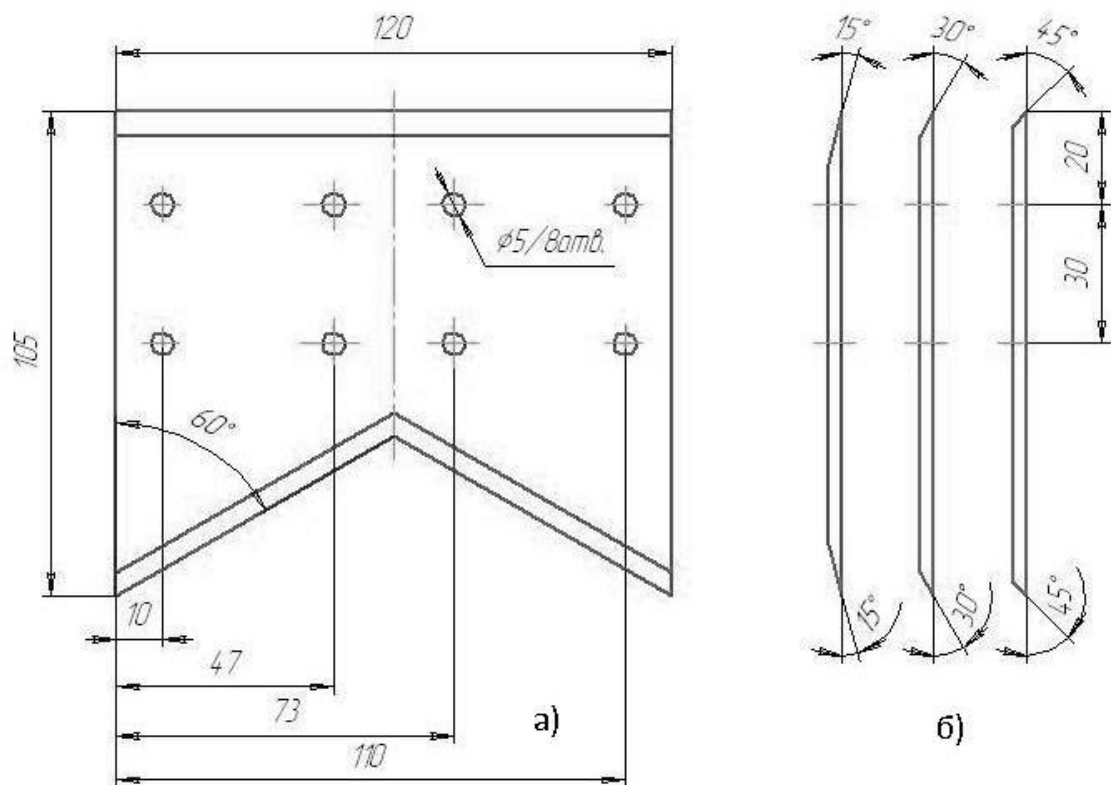


Рис.3.1.8 а) Конструкція ножа для експериментальної установки; б) кут заточки ножів.

3.2. Обґрунтування вибору факторів

Зробивши огляд літературних джерел присвячених питанню подрібнення полімерних матеріалів, для проведення багатофакторного експерименту були вибрані за фактори наступні величини:

● магістральний тиск в межах – 4...6бар;

● товщина стінки ПЕТ-пляшки в межах:

Горловина – 0,30...0,45мм;

Середина – 0,22...0,30мм;

Днище – 0,25...0,40мм.

● кут заточки ножа в межах – 15°...45°.

Зі збільшення магістрального тиску, збільшується зусилля. Межі варіювання параметру були вибрані за рекомендованими тисками відповідно до стандартів ISO для пневматичних елементів – 4...6 бар.

Магістральний тиск суттєво впливає на зусилля, з яким ніж ріже пляшку і визначається:

$$F=P \cdot S, \quad (3.2.1)$$

де F – зусилля з яким ніж може діяти на пляшку; P – тиск (магістральний); S – площа поперечного перерізу штоку пневмоциліндра ($S=\pi d^2/4$).

Враховуючи, що в експериментальній установці використовувався пневмоциліндр з діаметром штока $\varnothing 25$ мм, то значення зусиль різання при вибраних магістральних тисках дорівнює:

$$F=4 \cdot 10^5 \cdot 3,14 \cdot 0,025^2/4=196,25 \text{ (Н)} \quad (3.2.2)$$

$$F=6 \cdot 10^5 \cdot 3,14 \cdot 0,025^2/4=294,37 \text{ (Н)} \quad (3.2.3)$$

Залежно від кута заточки ножа змінюється величина опору руху леза ножа в матеріалі. Зі зменшенням кута заточки зменшується величина опору руху, тому за один з факторів був вибраний кут заточки ножа.

Товщина стінки ПЕТ-пляшки по довжині є неоднаковою і може різнитися залежно від фірми виготовлювача (безпосередньо від форми пляшки і від преформи

з якої вона була виготовлена). Для визначення меж варіювання параметру проводились вимірювання товщин стінок ПЕТ-пляшок різних фірм.

Виміри товщин стінок ПЕТ-пляшок

Для зразка були вибрані пляшки вмістимістю 0,5л та 1,5л. Виміри товщин проводились на відстанях, як показано на (рис.3.2.1), результати занесені до (таб.3.2.1).

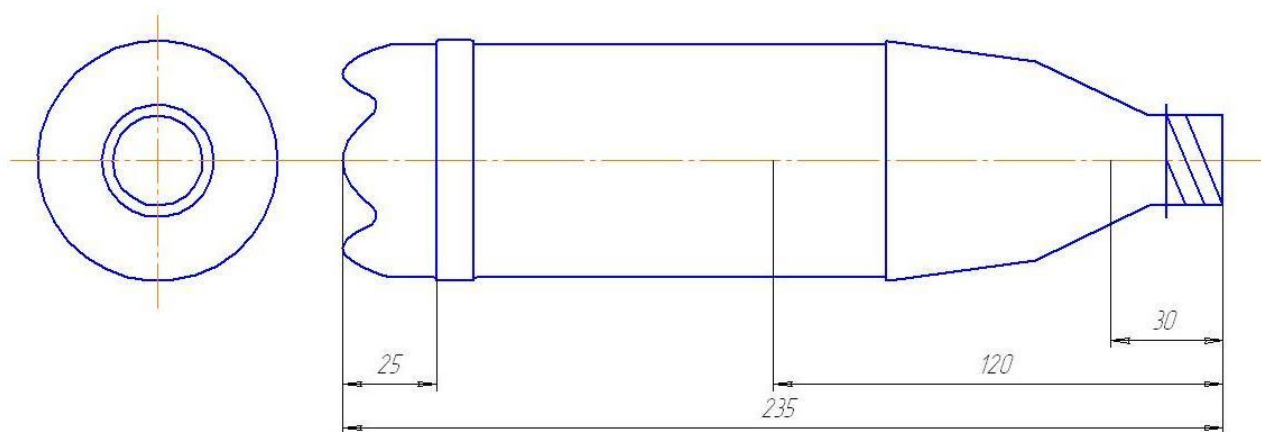


Рис.3.2.1 ПЕТ-пляшка, вмістимістю 0,5л.

*для пляшки 1,5л виміри товщин на переходах «горловина-середина», «середина-днище» проводились на тих самих відстанях, що і для пляшки 0,5л, вимір «середина» проводився по середині пляшки.

Виміри товщин стінок пляшки проводились на таких відстанях, як зазначено вище, тому що попередній вимір товщин по довжині показав, що саме на таких відстанях відбуваються переходи з горловини на середину і відповідно з середини на днище.

Таб.3.2.1

Товщини стінок ПЕТ-пляшок

Назва	Частина пляшки	0,5л /мм	1,5л /мм
Росинка	горловина	0,30-0,32 (0,45)	0,29-0,32 (0,45)
	середина	0,25	0,26
	днище	0,29-0,31 (0,46)	0,29-0,32 (0,46)
Миргородська	горловина	0,26-0,30 (0,42)	0,27-0,31 (0,45)
	середина	0,29-0,30	0,25-0,28
	днище	0,29-0,31 (0,40)	0,29-0,32 (0,41)
Моршинська	горловина	0,25-0,26 (0,35)	0,25-0,25 (0,39)
	середина	0,22-0,23	0,25-0,27
	днище	0,25-0,26 (0,34)	0,29-0,30 (0,38)

Отримані результати можна порівняти зі стандартом (таб.3.2.2).

Таб.3.2.2

ТУ У 1400007018-001-2000 Товщини стінок ПЕТ-пляшок

Вмістимість, см ³	Мінімальна товщина, мм	
	корпуса	дна
500	0.20	0.30
1500	0.25	0.35

3.3 Порядок проведення експерименту для визначення зусилля різання

Попередньо до проведення експерименту була складена матриця експерименту (таб.3.3.1).

Таб.3.3.1

Матриця проведення експерименту

№	Z ₀	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₁ Z ₂	Z ₁ Z ₃	Z ₂ Z ₃	Z ₁ Z ₂ Z ₃	№. ранд.
1	+	-	-	-	+	+	+	-	1
2	+	-	+	+	-	-	+	-	8
3	+	-	-	+	+	-	-	+	7
4	+	-	+	-	-	+	-	+	2
5	+	+	-	-	-	-	+	+	3
6	+	+	+	+	+	+	+	+	6
7	+	+	-	+	+	+	-	-	5
8	+	+	+	-	-	-	-	-	4

Експерименти з визначення зусилля різання ПЕТ-пляшки проводились окремо для горловини, середини і днища пляшки і включали наступну, аналогічну для кожного з варіантів, послідовність:

- 1) Попередньо на установку монтувались ножі з вибраним кутом заточки.
- 2) Спершу вмикався компресор і виставлявся відповідний магістральний тиск, за допомогою регулятора тиску (4-6 бар).
- 3) На кожній з пляшок відзначалось місце різання на однаковій довжині.
- 4) Пляшку поміщали між ножами, так щоб ніж попадав на попередньо зроблену відмітку по довжині.
- 5) Натискаючи на кнопку спрацьовував розподільник і тиск подавався в порожнину пневмоциліндра, шток пневмоциліндра висувався, переміщуючи ніж і пляшка різалась.

- 6) Зусилля які виникали під час різання знімалися датчиком тиску з аналоговим сигналом і передавались на АЦП, а звідти на ЕОМ.
- 7) Переміщення штоку пневмоциліндра знімалися датчиком переміщення з аналоговим сигналом і передавались на АЦП, а звідти на ЕОМ.
- 8) Результати експерименту представлені у вигляді графіків отриманих в реальному часі.
- 9) З графіків визначався тиск при якому починався процес різання і заносився в таблицю (таб.3.2.2). Отримані значення тиску переводились в зусилля домножаючи на площу поперечного перерізу штока пневмоциліндра.

На (рис.3.3.1) показана установка в роботі.

Отримані дані тисків переводились в зусилля, домножаючи на площу поперечного перерізу пневмоциліндра.



Рис.3.3.2 Зусилля різання горловини ПЕТ-пляшки



Рис.3.3.3 Зусилля різання середини ПЕТ-пляшки

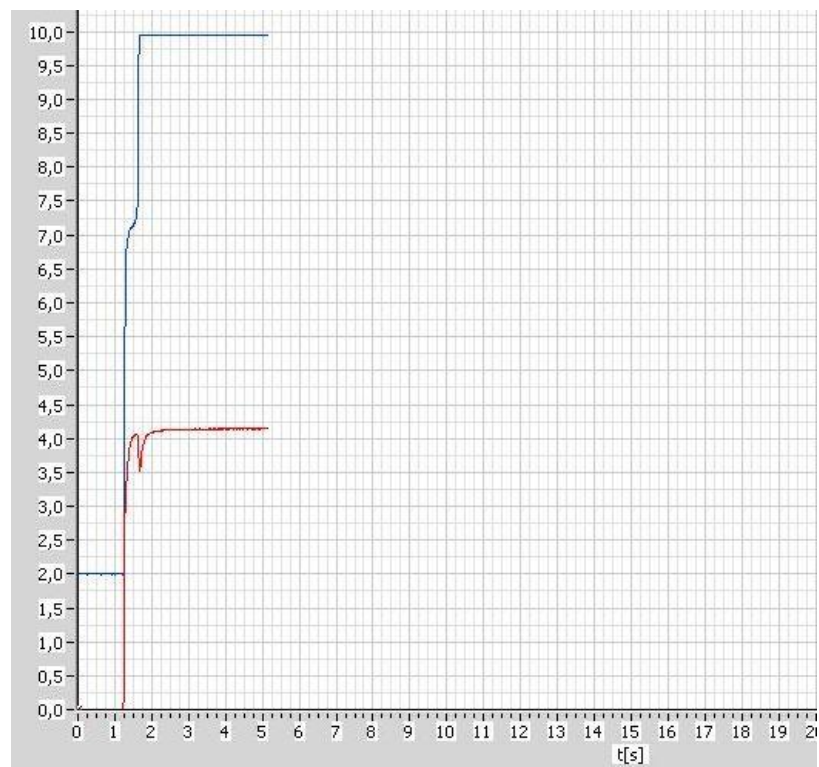


Рис.3.3.4 Зусилля різання днища ПЕТ-пляшки

Таб.3.2.2

Результати експерименту

Горловина ПЕТ-пляшки								
№	Y ₁ . бар	Y ₂ . бар	Y ₃ . бар	Y _{сер.} бар	F ₁ . Н	F ₂ . Н	F ₃ . Н	F _{сер.} Н
1	3.66	3.69	3.85	3.73	179.69	180.92	188.65	183.08
2	3.45	3.55	3.60	3.53	169.27	174.17	176.63	173.35
3	3.75	3.95	3.95	3.88	183.98	193.80	193.80	190.52
4	3.85	3.98	3.91	3.91	188.89	195.02	191.96	191.96
5	5.40	5.13	5.47	5.33	264.94	251.45	268.13	261.50
6	5.40	5.25	5.30	5.32	264.69	257.58	260.03	260.77
7	5.90	5.93	5.60	5.81	289.47	290.70	274.75	284.97
8	5.53	5.28	4.96	5.25	271.07	258.80	243.35	257.74
Середина ПЕТ-пляшки								
№	Y ₁ . бар	Y ₂ . бар	Y ₃ . бар	Y _{сер.} бар	F ₁ . Н	F ₂ . Н	F ₃ . Н	F _{сер.} Н
1	2.60	2.85	3.53	2.99	127.56	139.83	172.95	146.78
2	3.65	3.70	3.78	3.71	179.08	181.53	185.21	181.94
3	3.49	3.48	3.45	3.47	171.11	170.49	169.27	170.29
4	3.65	3.44	3.65	3.58	179.08	168.78	179.08	175.64
5	5.18	5.25	5.28	5.23	253.90	257.33	258.80	256.68
6	5.00	4.60	5.20	4.93	245.31	225.69	255.13	242.04
7	5.30	5.14	5.18	5.21	259.79	252.18	254.14	255.37
8	5.33	5.28	5.35	5.32	261.26	258.80	262.48	260.85
Днище ПЕТ-пляшки								
№	Y ₁ . бар	Y ₂ . бар	Y ₃ . бар	Y _{сер.} бар	F ₁ . Н	F ₂ . Н	F ₃ . Н	F _{сер.} Н
1	3.65	3.50	3.58	3.58	179.08	171.72	175.64	175.48
2	3.75	3.78	3.90	3.81	183.98	185.46	191.34	186.93
3	3.52	3.73	3.60	3.61	172.45	182.76	176.63	177.28
4	3.45	3.59	3.53	3.52	169.27	175.89	172.95	172.70
5	5.18	5.25	5.23	5.22	253.90	257.58	256.35	255.94
6	5.28	5.43	5.35	5.35	258.80	266.16	262.24	262.40
7	5.30	5.40	5.13	5.28	260.03	264.94	251.45	258.80
8	5.35	5.35	5.44	5.38	262.36	262.48	266.78	263.87

3.4 Попереднє визначення кількості повторів для проведення експерименту

Для визначення кількості повторів (дублів) майбутнього експерименту попередньо проводяться експерименти для оцінки дисперсії розсіювання результатів.

Методика проведення експерименту

1) Приймавши кількість вимірів в експерименті знайдемо середньоарифметичну величину виміру:

$$a_c = (a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n) / n \quad (3.4.1)$$

де a_c – середньоарифметична величина виміру;

$a_1, a_2, \dots$ і т.д. – значення одиничних вимірів;

n – кількість вимірів.

Відомо, що, чим більше n , тим більша точність, ближче до істинного значення.

2) Відхилення запишуться:

$$P_1=a_1-a_c; P_2=a_2-a_c \text{ і т. д. } P_n=a_n-a_c \quad (3.4.2)$$

3) Середньоарифметична величина відхилень

$$P_c=(|P_1| + |P_2| + |P_3| + \dots + |P_n|)/n \quad (3.4.3)$$

4) Відносна похибка при даному n :

$$\delta=(P_c/a_c)*100\% \quad (3.4.4)$$

Якщо результати не влаштовують – необхідно збільшити величину n .

5) Знаходимо математичне очікування:

$$m_a=\sum a_i P_i \quad (3.4.5)$$

де P_i – імовірність i -тої події.

Математичне очікування – це середнє, найбільш імовірне значення випадкової величини, яке у відсутності систематичних похибок відповідає істинному результату експерименту.

6) Знаходимо дисперсію:

Дисперсія – міра розсіювання випадкової величини навкруг її математичного очікування.

$$D=(1/n)\sum (a_i-a_c)^2 \quad (3.4.6)$$

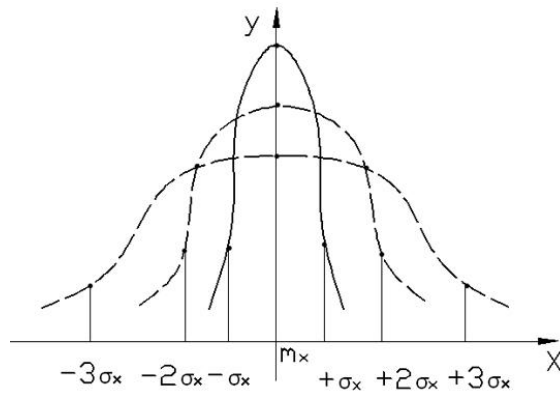
де a_c - середньоарифметичне значення i -тої величини.

7) Середньоквадратичне відхилення:

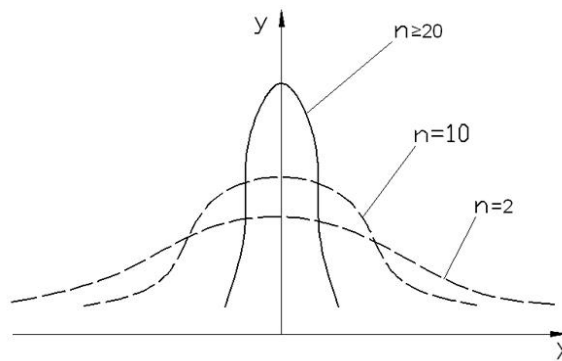
$$\sigma_a=D^{(1/2)} \quad (3.4.7)$$

Використовується для оцінки розсіювання значень випадкової величини. Чим менше значення σ_a , тим меншим буде розсіювання (тобто менше більшість вимірювань будуть відрізнятись одне від одного).

Із збільшенням σ_a розсіювання зростає, а максимум кривої зменшується.



В 1908р. англійським математиком В.С. Госсетом , відомим в науці під псевдонімом Ст'юдент, було запропоновано метод визначення меж довірнього інтервалу при малих значеннях n .



З графіка видно, що при зменшенні кількості вимірів n пік кривих опускається і межі розсіювання розширюються.

8) Залежно від довірньої імовірності P та кількості вимірів n з таблиці вибирається коефіцієнт Ст'юдента $\alpha_{ст}$:

Значення P задаються в межах 0,800...0,999.

9) На основі цих даних визначається довірний інтервал Ст'юдента:

$$\mu_{ст} = \sigma_0 * \alpha_{ст}, \text{ де } \sigma_0 = \sigma_a / n^{(1/2)} - \text{«середня помилка»} \quad (3.4.8)$$

Прийнятними значеннями випадкової величини для малої вибірки є:

$$a_i = \tilde{a} \pm \mu_{ст} \quad (3.4.9)$$

Визначення мінімальної кількості вимірів при проведенні експерименту

Горловина ПЕТ-пляшки:

$$3\sigma = \Delta a_i$$

$$\Delta a_i = \tilde{a} * \epsilon$$

$\tilde{a}=183$ – середнє значення зусилля, (Н).

$$\varepsilon \approx \Delta a_i \cdot \tilde{a} = 0,02 \cdot 183 = 3,66$$

де ε - довірча оцінка точності;

$$\sigma = 3,66/3 = 1,22$$

де σ – середньоквадратичне відхилення;

$$n_{\min} \geq [t(P)/\varepsilon]^2 \cdot \sigma^2$$

$$t(P) = 4,11$$

де $t(P)$ – коефіцієнт Ст'юдента, що вибирається по таблиці, залежно від P ($P=0,98$ – надійність)

$$n_{\min} \geq [4,11/3,66]^2 \cdot 1,22^2 = 1,8767 \approx 2$$

Кількість вимірів в експерименті приймаємо $n=3$.

Середина ПЕТ-пляшки:

$$3\sigma = \Delta a_i$$

$$\Delta a_i = \tilde{a} \cdot \varepsilon$$

$\tilde{a}=170$ – середнє значення зусилля, (Н).

$$\varepsilon \approx \Delta a_i \cdot \tilde{a} = 0,02 \cdot 170 = 3,4$$

де ε - довірча оцінка точності;

$$\sigma = 3,4/3 = 1,13$$

де σ – середньоквадратичне відхилення;

$$n_{\min} \geq [t(P)/\varepsilon]^2 \cdot \sigma^2$$

$$t(P) = 4,11$$

де $t(P)$ – коефіцієнт Ст'юдента, що вибирається по таблиці, залежно від P ($P=0,98$ – надійність)

$$n_{\min} \geq [4,11/3,4]^2 \cdot 1,13^2 = 1,8659 \approx 2$$

Кількість вимірів в експерименті приймаємо $n=3$.

Днище ПЕТ-пляшки:

$$3\sigma = \Delta a_i$$

$$\Delta a_i = \tilde{a} \cdot \varepsilon$$

$\tilde{a}=173$ – середнє значення зусилля, (Н).

$$\varepsilon \approx \Delta a_i \cdot \tilde{a} = 0,02 \cdot 173 = 3,46$$

де ε - довірча оцінка точності;

$$\sigma = 3,46/3 = 1,15$$

де σ – середньоквадратичне відхилення;

$$n_{\min} \geq [t(P)/\varepsilon]^2 \cdot \sigma^2$$

$$t(P)=4,11$$

де $t(P)$ – коефіцієнт Ст'юдента, що вибирається по таблиці, залежно від P

($P=0,98$ – надійність)

$$n_{\min} \geq [4,11/3,46]^2 \cdot 1,15^2 = 1,8661 \approx 2$$

Кількість вимірів в експерименті приймаємо $n=3$.

Оброблення результатів експерименту

Горловина ПЕТ-пляшки:

1) Приймавши кількість вимірів в експерименті знайдемо середньоарифметичну величину виміру:

$$a_c = (a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n)/n = (a_1 + a_2 + a_3)/n = (179,69 + 180,92 + 188,65)/3 = 183,08$$

де a_c – середньоарифметична величина виміру;

$a_1, a_2, \dots$ і т.д. – значення одиничних вимірів;

n – кількість вимірів.

2) Відхилення запишуться: $P_n = a_n - a_c$

$$P_1 = 179,69 - 183,08 = -3,39$$

$$P_2 = 180,92 - 183,08 = -2,16$$

$$P_3 = 188,65 - 183,08 = 5,57$$

3) Середньоарифметична величина відхилень:

$$P_c = (|P_1| + |P_2| + |P_3| + \dots + |P_n|)/n = (3,39 + 2,16 + 5,57)/3 = 3,71$$

4) Відносна похибка при даному n :

$$\delta = (P_c/a_c) \cdot 100\% = (3,71/183,08) \cdot 100\% = 2,026\%$$

5) Знаходимо математичне очікування:

$$m_a = \sum a_i P_i = (179,69 \cdot 0,98) + (180,92 \cdot 0,98) + (188,65 \cdot 0,98) = 176,096 + 177,3 + 184,88 = 538,28$$

де P_i – імовірність i -тої події.

Математичне очікування – це середнє, найбільш імовірне значення випадкової величини, яке у відсутності систематичних похибок відповідає

істинному результату експерименту.

6) Знаходимо дисперсію:

Дисперсія – міра розсіювання випадкової величини навкруг її математичного очікування.

$$D = (1/n) \sum (a_i - a_c)^2 = (1/3) * ((179,69 - 183,08)^2 + (180,92 - 183,08)^2 + (188,65 - 183,08)^2) = (1/3) * (11,49 + 4,66 + 31,02) = 15,72$$

де a_c - середньоарифметичне значення i -тої величини.

7) Середньоквадратичне відхилення :

$$\sigma_a = D^{(1/2)} = 3,96$$

Використовується для оцінки розсіювання значень випадкової величини.

8) Залежно від довірчої імовірності P та кількості вимірів n з таблиці вибирається коефіцієнт Ст'юдента $\alpha_{ст}$:

Значення P задаються в межах 0,800...0,999.

Приймаємо $P=0,98$, тоді $\alpha_{ст}=4,11$.

9) На основі цих даних визначається довірчий інтервал Ст'юдента:

$$\mu_{ст} = \sigma_0 * \alpha_{ст}, \text{ де } \sigma_0 = \sigma_a / n^{(1/2)} - \text{«середня помилка»}$$

$$\sigma_0 = \sigma_a / n^{(1/2)} = 3,96 / 3^{(1/2)} = 1,15$$

$$\mu_{ст} = 1,15 * 4,11 = 4,73$$

10) Прийнятними значеннями випадкової величини для малої вибірки є:

$$a_i = \bar{a} \pm \mu_{ст} = 183 \pm 4,73$$

Середина ПЕТ-пляшки:

1) Приймавши кількість вимірів в експерименті знайдемо середньоарифметичну величину виміру:

$$a_c = (a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n) / n = (a_1 + a_2 + a_3) / n = (171,11 + 170,49 + 169,27) / 3 = 170,29$$

де a_c – середньоарифметична величина виміру;

$a_1, a_2, \dots$ і т.д. – значення одиничних вимірів;

n – кількість вимірів.

2) Відхилення запишуться: $P_n = a_n - a_c$

$$P_1 = 171,11 - 170,29 = 0,82$$

$$P_2 = 170,49 - 170,29 = 0,2$$

$$P_3=169,27-170,29=1,02$$

3) Середньоарифметична величина відхилень:

$$P_c=(|P_1|+|P_2|+|P_3|+\dots+|P_n|)/n=(0,82+0,2+1,02)/3=0,34$$

4) Відносна похибка при даному n:

$$\delta=(P_c/a_c)*100\%=(0,34/170,29)*100\%=0,2\%$$

5) Знаходимо математичне очікування:

$$m_a=\sum a_i P_i=(171,11*0,98)+(170,49*0,98)+(169,27*0,98)=\\=167,69+167,1+165,89=500,68$$

де P_i – імовірність i -тої події.

Математичне очікування – це середнє, найбільш імовірне значення випадкової величини, яке у відсутності систематичних похибок відповідає істинному результату експерименту.

6) Знаходимо дисперсію:

Дисперсія – міра розсіювання випадкової величини навкруг її математичного очікування.

$$D=(1/n)\sum(a_i-a_c)^2=(1/3)*((171,11-170,29)^2+(170,49-170,29)^2+(169,27-170,29)^2)=\\=(1/3)*(0,67+0,04+1,04)=0,58$$

де a_c - середньоарифметичне значення i -тої величини.

7) Середньоквадратичне відхилення :

$$\sigma_a=D^{(1/2)}=0,76$$

Використовується для оцінки розсіювання значень випадкової величини.

8) Залежно від довірчої імовірності P та кількості вимірів n з таблиці вибирається коефіцієнт Ст'юдента $\alpha_{ст}$:

Значення P задаються в межах 0,800...0,999.

Приймаємо $P=0,98$, тоді $\alpha_{ст}=4,11$.

9) На основі цих даних визначається довірчий інтервал Ст'юдента:

$$\mu_{ст}=\sigma_0*\alpha_{ст}, \text{ де } \sigma_0=\sigma_a/n^{(1/2)} - \text{«середня помилка»}$$

$$\sigma_0=\sigma_a/n^{(1/2)}=0,76/3^{(1/2)}=0,5$$

$$\mu_{ст}=0,5*4,11=2,05$$

10) Прийнятними значеннями випадкової величини для малої вибірки є:

$$a_i = \bar{a} \pm \mu_{\text{ст}} = 170 \pm 2,05$$

Днище ПЕТ-пляшки:

1) Приймаючи кількість вимірів в експерименті знайдемо середньоарифметичну величину виміру:

$$a_c = (a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n) / n = (a_1 + a_2 + a_3) / n = (169,27 + 175,89 + 172,95) / 3 = 172,70$$

де a_c – середньоарифметична величина виміру;

$a_1, a_2, \dots$ і т.д. – значення одиничних вимірів;

n – кількість вимірів.

2) Відхилення запишуться: $P_n = a_n - a_c$

$$P_1 = 169,27 - 172,70 = -3,43$$

$$P_2 = 175,89 - 172,70 = 3,19$$

$$P_3 = 172,95 - 172,70 = 0,25$$

3) Середньоарифметична величина відхилень:

$$P_c = (|P_1| + |P_2| + |P_3| + \dots + |P_n|) / n = (3,43 + 3,19 + 0,25) / 3 = 2,29$$

4) Відносна похибка при даному n :

$$\delta = (P_c / a_c) * 100\% = (2,29 / 172,07) * 100\% = 1,33\%$$

5) Знаходимо математичне очікування:

$$m_a = \sum a_i P_i = (169,27 * 0,98) + (175,89 * 0,98) + (172,95 * 0,98) = 165,88 + 172,37 + 169,49 = 507,74$$

де P_i – імовірність i -тої події.

Математичне очікування – це середнє, найбільш імовірне значення випадкової величини, яке у відсутності систематичних похибок відповідає істинному результату експерименту.

6) Знаходимо дисперсію:

Дисперсія – міра розсіювання випадкової величини навкруг її математичного очікування.

$$D = (1/n) \sum (a_i - a_c)^2 = (1/3) * ((169,27 - 172,70)^2 + (175,89 - 172,70)^2 + (172,95 - 172,70)^2) = (1/3) * (11,76 + 10,18 + 0,0625) = 7,33$$

де a_c - середньоарифметичне значення i -тої величини.

7) Середньоквадратичне відхилення :

$$\sigma_a = D^{(1/2)} = 2,71$$

Використовується для оцінки розсіювання значень випадкової величини.

8) Залежно від довірчої імовірності P та кількості вимірів n з таблиці вибирається коефіцієнт Ст'юдента $\alpha_{ст}$:

Значення P задаються в межах 0,800...0,999.

Приймаємо $P=0,98$, тоді $\alpha_{ст}=4,11$.

9) На основі цих даних визначається довірчий інтервал Ст'юдента:

$$\mu_{ст} = \sigma_0 * \alpha_{ст}, \text{ де } \sigma_0 = \sigma_a / n^{(1/2)} - \text{«середня помилка»}$$

$$\sigma_0 = \sigma_a / n^{(1/2)} = 2,71 / 3^{(1/2)} = 0,95$$

$$\mu_{ст} = 0,95 * 4,11 = 3,9$$

10) Прийнятними значеннями випадкової величини для малої вибірки є:

$$a_i = \bar{a} \pm \mu_{ст} = 173 \pm 3,9$$

Результати розрахунків експерименту заносимо до таб.3.4.1

Таб.3.4.1

Результати розрахунків експерименту

Частина ПЕТ-пл.	a_c , Н	P_c	δ , %	m_a	D	σ_a	σ_0	$\mu_{ст}$	$a_i = \bar{a} \pm \mu_{ст}$
Горловина	183,08	3,71	2,026	538,28	15,72	3,96	1,15	4,73	$183 \pm 4,73$
Середина	170,29	0,34	0,2	500,68	0,58	0,76	0,5	2,05	$170 \pm 2,05$
Днище	172,70	2,29	1,33	507,74	7,33	2,71	0,95	3,9	$173 \pm 3,9$

a_c – середньоарифметична величина виміру;

P_c – середньоарифметична величина відхилень;

δ - відносна похибка, %;

m_a – математичне очікування;

D – дисперсія;

σ_a – середньоквадратичне відхилення;

σ_0 – «середня помилка»;

$\mu_{ст}$ - довірчий інтервал Ст'юдента;

$a_i = \bar{a} \pm \mu_{ст}$ - прийнятні значення випадкової величини для малої вибірки.

При проведенні постановочних експериментів було встановлено, що дисперсія розсіювання результатів вимірювання задовольняє критерію Ст'юдента за умови відтворення експерименту при кількості паралельних дослідів не менше 2, тому було прийнято проводити випробування у 3х-кратному повторі.

3.5. Опрацювання результатів експерименту

Для опису процесу подрібнення пляшок із ПЕТ методом різання і визначення взаємодії входних технологічних параметрів (факторів), складаємо емпіричну математичну модель. Емпірична математична модель будується методом ідентифікації, при якому основні залежності отримуються шляхом безпосередніх вимірів. Тому при аналізі моделі використовуємо апарат теорії імовірності і математичної статистики.

Очікуваний вид математичної моделі має вигляд полінома першої степені:

$$y=b_0+b_1x_1+b_2x_2+b_3x_3+b_4x_1x_2+b_5x_1x_3+b_6x_2x_3+b_7x_1x_2x_3 \quad (3.5.1)$$

b – очікуваний коефіцієнт математичної моделі.

Визначення кількості експериментів повного 3х-факторного експерименту:

$$N=2^m=2^3=8$$

$m=8$ – плануємо проведення 3х дублюючих експериментів.

Нормалізуємо вихідне рівняння (1) за допомогою відношення:

$$z_i=(x_i-x_{oi})/\Delta x_i \quad (3.5.2)$$

z_i – нормалізоване значення i -фактора, приймає значення ± 1 ;

i – символ натуральної змінної;

x_{oi} – числове значення i -змінної на її 0-рівні;

Δx_i - крок варіювання i -змінної.

Отримуємо рівняння у кодованій формі:

$$\hat{y}=\beta_0+\beta_1z_1+\beta_2z_2+\beta_3z_3+\beta_4z_1z_2+\beta_5z_1z_3+\beta_6z_2z_3+\beta_7z_1z_2z_3 \quad (3.5.3)$$

Таб.3.5.2 План проведення експерименту

Горловина ПЕТ-пляшки																	
№	Z ₀	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₁ Z ₂	Z ₁ Z ₃	Z ₂ Z ₃	Z ₁ Z ₂ Z ₃	№. ранд.	Y ₁ , бар	Y ₂ , бар	Y ₃ , бар	Y _{ср.} , бар	F ₁ , Н	F ₂ , Н	F ₃ , Н	F _{ср.} , Н
1	+	-	-	-	+	+	+	-	1	3.66	3.69	3.85	3.73	179.69	180.92	188.65	183.08
2	+	-	+	+	-	-	+	-	8	3.45	3.55	3.60	3.53	169.27	174.17	176.63	173.35
3	+	-	-	+	+	-	-	+	7	3.75	3.95	3.95	3.88	183.98	193.80	193.80	190.52
4	+	-	+	-	-	+	-	+	2	3.85	3.98	3.91	3.91	188.89	195.02	191.96	191.96
5	+	+	-	-	-	-	+	+	3	5.40	5.13	5.47	5.33	264.94	251.45	268.13	261.50
6	+	+	+	+	+	+	+	+	6	5.40	5.25	5.30	5.32	264.69	257.58	260.03	260.77
7	+	+	-	+	+	+	-	-	5	5.90	5.93	5.60	5.81	289.47	290.70	274.75	284.97
8	+	+	+	-	-	-	-	-	4	5.53	5.28	4.96	5.25	271.07	258.80	243.35	257.74
Середина ПЕТ-пляшки																	
№	Z ₀	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₁ Z ₂	Z ₁ Z ₃	Z ₂ Z ₃	Z ₁ Z ₂ Z ₃	№. ранд.	Y ₁ , бар	Y ₂ , бар	Y ₃ , бар	Y _{ср.} , бар	F ₁ , Н	F ₂ , Н	F ₃ , Н	F _{ср.} , Н
1	+	-	-	-	+	+	+	-	1	2.60	2.85	3.53	2.99	127.56	139.83	172.95	146.78
2	+	-	+	+	-	-	+	-	8	3.65	3.70	3.78	3.71	179.08	181.53	185.21	181.94
3	+	-	-	+	+	-	-	+	7	3.49	3.48	3.45	3.47	171.11	170.49	169.27	170.29
4	+	-	+	-	-	+	-	+	2	3.65	3.44	3.65	3.58	179.08	168.78	179.08	175.64
5	+	+	-	-	-	-	+	+	3	5.18	5.25	5.28	5.23	253.90	257.33	258.80	256.68
6	+	+	+	+	+	+	+	+	6	5.00	4.60	5.20	4.93	245.31	225.69	255.13	242.04
7	+	+	-	+	+	+	-	-	5	5.30	5.14	5.18	5.21	259.79	252.18	254.14	255.37
8	+	+	+	-	-	-	-	-	4	5.33	5.28	5.35	5.32	261.26	258.80	262.48	260.85
Днище ПЕТ-пляшки																	
№	Z ₀	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₁ Z ₂	Z ₁ Z ₃	Z ₂ Z ₃	Z ₁ Z ₂ Z ₃	№. ранд.	Y ₁ , бар	Y ₂ , бар	Y ₃ , бар	Y _{ср.} , бар	F ₁ , Н	F ₂ , Н	F ₃ , Н	F _{ср.} , Н
1	+	-	-	-	+	+	+	-	1	3.65	3.50	3.58	3.58	179.08	171.72	175.64	175.48
2	+	-	+	+	-	-	+	-	8	3.75	3.78	3.90	3.81	183.98	185.46	191.34	186.93
3	+	-	-	+	+	-	-	+	7	3.52	3.73	3.60	3.61	172.45	182.76	176.63	177.28
4	+	-	+	-	-	+	-	+	2	3.45	3.59	3.53	3.52	169.27	175.89	172.95	172.70
5	+	+	-	-	-	-	+	+	3	5.18	5.25	5.23	5.22	253.90	257.58	256.35	255.94
6	+	+	+	+	+	+	+	+	6	5.28	5.43	5.35	5.35	258.80	266.16	262.24	262.40
7	+	+	-	+	+	+	-	-	5	5.30	5.40	5.13	5.28	260.03	264.94	251.45	258.80
8	+	+	+	-	-	-	-	-	4	5.35	5.35	5.44	5.38	262.36	262.48	266.78	263.87

Фактори і їх рівні варіювання

Фактори			
Горловина			
Рівні варіювання	X ₁ (Р. бар)	X ₂ (δ.мм)	X ₃ (α.°)
+(верхній рівень)	6	0.45 (Росинка)	45
0(нуль-рівень)	5	0.375	30
-(нижній рівень)	4	0.30 (Моршинська)	15
Крок варіювання	1	0.075	15
Середина			
Рівні варіювання	X ₁ (Р. бар)	X ₂ (δ.мм)	X ₃ (α.°)
+(верхній рівень)	6	0.30 (Миргородська)	45
0(нуль-рівень)	5	0.26	30
-(нижній рівень)	4	0.22 (Моршинська)	15
Крок варіювання	1	0.04	15
Днище			
Рівні варіювання	X ₁ (Р. бар)	X ₂ (δ.мм)	X ₃ (α.°)
+(верхній рівень)	6	0.45 (Росинка)	45
0(нуль-рівень)	5	0.35	30
-(нижній рівень)	4	0.25 (Моршинська)	15
Крок варіювання	1	0.10	15

В подальшому будемо вести розрахунки окремо для різних частин ПЕТ пляшки.

Горловина ПЕТ-пляшки:

Вибіркові оцінки дисперсій змінних:

$$S_{ej}^2 = (m-1)^{-1} \cdot \sum (y_{ej} - y_{j \text{ сеп}})^2$$

$$S_{1j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((179.69-183.08)^2 + (180.92-183.08)^2 + (188.65-183.08)^2) = 23.56$$

$$S_{2j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((169.27-173.35)^2 + (174.17-173.35)^2 + (176.63-173.35)^2) = 14.04$$

$$S_{3j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((183.98-190.52)^2 + (193.80-190.52)^2 + (193.80-190.52)^2) = 32.10$$

$$S_{4j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((188.89-191.96)^2 + (195.02-191.96)^2 + (191.96-191.96)^2) = 9.40$$

$$S_{5j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((264.94-261.50)^2 + (251.45-261.50)^2 + (268.13-261.50)^2) = 78.41$$

$$S_{6j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((264.69-260.77)^2 + (257.58-260.77)^2 + (260.03-260.77)^2) = 13.06$$

$$S_{7j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((289.47-284.97)^2 + (290.70-284.97)^2 + (274.75-284.97)^2) = 78.73$$

$$S_{8j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((271.07-257.74)^2 + (258.80-257.74)^2 + (243.35-257.74)^2) = 192.95$$

$$S_{ej \text{ max}}^2 = S_{3j}^2 = 192.95$$

$$\sum S_{ej}^2 = 23.56 + 14.04 + 32.10 + 9.40 + 78.41 + 13.06 + 78.73 + 192.95 = 442.26$$

Розраховуємо критерій Кохрена:

$$G_p = S_{ej \max}^2 / \sum S_{ej}^2 = 192.95 / 442.26 = 0.44$$

$$G_{кр} = f(\alpha; f_1; f_2) = 0.81$$

$$\alpha = 0.05$$

$$f_1 = m - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$f_2 = N = 8$$

$(G_p = 0.44) < (G_{кр} = 0.81)$ – гіпотеза вірна

Визначаємо загальну дисперсію:

$$S_0^2 = \sum S_{ej}^2 / N = 442.26 / 8 = 55.28$$

Визначаємо оцінки коефіцієнтів:

$$b_i = \sum (z_{ji} \cdot y_{j \text{ сеп}}) / N$$

$$b_0 = (183.08 + 173.35 + 190.52 + 191.96 + 261.50 + 260.77 + 284.97 + 257.74) / 8 = 225.49$$

$$b_1 = (-183.08 - 173.35 - 190.52 - 191.96 + 261.50 + 260.77 + 284.97 + 257.74) / 8 = 40.76$$

$$b_2 = (-183.08 + 173.35 - 190.52 + 191.96 - 261.50 + 260.77 - 284.97 + 257.74) / 8 = -4.53$$

$$b_3 = (-183.08 + 173.35 + 190.52 - 191.96 - 261.50 + 260.77 + 284.97 - 257.74) / 8 = 1.92$$

$$b_4 = (183.08 - 173.35 + 190.52 - 191.96 - 261.50 + 260.77 + 284.97 - 257.74) / 8 = 4.35$$

$$b_5 = (183.08 - 173.35 - 190.52 + 191.96 - 261.50 + 260.77 + 284.97 - 257.74) / 8 = 4.71$$

$$b_6 = (183.08 + 173.35 - 190.52 - 191.96 + 261.50 + 260.77 - 284.97 - 257.74) / 8 = -5.81$$

$$b_7 = (-183.08 - 173.35 + 190.52 + 191.96 + 261.50 + 260.77 - 284.97 - 257.74) / 8 = 0.70$$

Перевіряємо 0-гіпотезу, щодо значимості розрахункових коефіцієнтів.

Визначаємо дисперсію:

$$S_{\beta j}^2 = S_0^2 / N = 55.28 / 8 = 6.91$$

Визначаємо середньоквадратичне відхилення:

$$S_{\beta} = 0.63$$

Визначаємо розрахункові коефіцієнти Ст'юдента:

$$t_p = |b_i| / S_{\beta}$$

$$t_{p0} = |225.49| / 0.63 = 357.92$$

$$t_{p1} = |40.76| / 0.63 = 64.69$$

$$t_{p2} = |-4.53| / 0.63 = 7.20$$

$$t_{p3} = |1.92| / 0.63 = 3.04$$

$$t_{p4} = |4.35| / 0.63 = 6.90$$

$$t_{p5} = |4.71| / 0.63 = 7.47$$

$$t_{p6} = \left| -5.81 \right| / 0.63 = 9.22$$

$$t_{p7} = \left| 0.70 \right| / 0.63 = 1.11$$

Критичний критерій Ст'юдента:

$$\alpha = 0.05$$

$$f_1 = N(m-1)$$

$$t_{кр} = 2.12$$

Якщо $t_p > t_{кр}$ – коефіцієнти значимі.

Перепишемо нормоване рівняння:

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 z_1 + \beta_2 z_2 + \beta_3 z_3 + \beta_4 z_1 z_2 + \beta_5 z_1 z_3 + \beta_6 z_2 z_3 + \beta_7 z_1 z_2 z_3$$

$$\hat{y} = 225.49 + 40.76 z_1 - 4.53 z_2 + 1.92 z_3 + 4.35 z_1 z_2 + 4.71 z_1 z_3 - 5.81 z_2 z_3 + 0.70 z_1 z_2 z_3$$

$$\hat{y}_1 = (+1)225.49 + (-1)40.76 - (-1)4.53 + (-1)1.92 + (+1)4.35 + (+1)4.71 - (+1)5.81 + (-1)0.70 = 179.67$$

$$\hat{y}_2 = (+1)225.49 + (-1)40.76 - (+1)4.53 + (+1)1.92 + (-1)4.35 + (-1)4.71 - (+1)5.81 + (-1)0.70 = 170.23$$

$$\hat{y}_3 = (+1)225.49 + (-1)40.76 - (-1)4.53 + (+1)1.92 + (+1)4.35 + (-1)4.71 - (-1)5.81 + (+1)0.70 = 188.09$$

$$\hat{y}_4 = (+1)225.49 + (-1)40.76 - (+1)4.53 + (-1)1.92 + (-1)4.35 + (+1)4.71 - (-1)5.81 + (+1)0.70 = 190.54$$

$$\hat{y}_5 = (+1)225.49 + (+1)40.76 - (-1)4.53 + (-1)1.92 + (-1)4.35 + (-1)4.71 - (+1)5.81 + (+1)0.70 = 260.44$$

$$\hat{y}_6 = (+1)225.49 + (+1)40.76 - (+1)4.53 + (+1)1.92 + (+1)4.35 + (+1)4.71 - (+1)5.81 + (+1)0.70 = 259.41$$

$$\hat{y}_7 = (+1)225.49 + (+1)40.76 - (-1)4.53 + (+1)1.92 + (+1)4.35 + (+1)4.71 - (-1)5.81 + (-1)0.70 = 280.03$$

$$\hat{y}_8 = (+1)225.49 + (+1)40.76 - (+1)4.53 + (-1)1.92 + (-1)4.35 + (-1)4.71 - (-1)5.81 + (-1)0.70 = 256.49$$

Перевірка адекватності рівняння регресії за критерієм Фішера:

$$F = S_{ад}^2 / S_0^2$$

$$S_{ад}^2 = \sum (\hat{y}_j - y_{j\text{сер}})^2 / (N-d)$$

$$N = 8$$

$$d = 3$$

Номер досліду	$y_{сер}$	$\hat{y}$	$ y_{сер} - \hat{y} $	$(y_{сер} - \hat{y})^2$
1	183.08	179.67	3.41	11.66
2	173.35	170.23	3.12	9.76
3	190.52	188.09	2.44	5.93
4	191.96	190.54	1.42	2.01
5	261.50	260.44	1.06	1.13
6	260.77	259.41	1.36	1.84
7	284.97	280.03	4.94	24.42
8	257.74	256.49	1.25	1.57
Всього				58.32

$$S_{ад}^2 = 58.32 / (8-3) = 11.66$$

$$F = 11.66 / 55.28 = 0.21$$

$$F_{кр}=2.85$$

$F < F_{кр}$ – гіпотеза підтверджується.

Замінюємо в отриманому рівнянні регресії кодовані змінні на натуральні:

$$z_i = (x_i - x_{oi}) / \Delta x_i$$

$$z_1 = (P - 5) / 1$$

$$z_2 = (\delta - 0.375) / 0.075$$

$$z_3 = (\alpha - 30) / 15$$

$$\hat{y} = 225.49 + 40.76z_1 - 4.53z_2 + 1.92z_3 + 4.35z_1z_2 + 4.71z_1z_3 - 5.81z_2z_3 + 0.70z_1z_2z_3$$

Отримана адекватна лінійна модель має вид полінома першого ступеня. Коефіцієнти полінома є частковими похідними функцій відгуку за відповідними змінними. Їх геометричний зміст – тангенси кутів нахилу гіперповерхні до відповідної осі. Більший за абсолютною величиною коефіцієнт відповідає більшому куту нахилу, і відповідно більш суттєвій зміні параметра оптимізації при зміні даного фактора. Тому, чим більший коефіцієнт регресії, тим сильніше впливає фактор. Про характер впливу факторів свідчать знаки коефіцієнтів. Знак плюс свідчить про те, що із збільшенням значення фактора зростає величина параметра оптимізації, при від'ємному знаці – зменшується. Тому, якщо розшукується максимум функції відгуку, то збільшення факторів з додатними коефіцієнтами позитивно впливає на параметр оптимізації. І навпаки, якщо розшукується мінімум функції відгуку, потрібно збільшувати значення факторів з від'ємними коефіцієнтами.

Для подальшого використання отриманої емпіричної математичної моделі потрібно отримати рівняння регресії для натуральних змінних.

$$F = 225.49 + 40.76(P - 5) - 4.53(\delta - 0.375) / 0.075 + 1.92(\alpha - 30) / 15 + 4.35(P - 5)(\delta - 0.375) / 0.075 + 4.71(P - 5)(\alpha - 30) / 15 - 5.81(\delta - 0.375)(\alpha - 30) / 15 \cdot 0.075 + 0.70(P - 5)(\delta - 0.375)(\alpha - 30) / 15 \cdot 0.075$$

$$F = 168,4 + 8,8P - 102,6\delta - 1,6\alpha + 39,4P\delta + 0,08P\alpha - 8,3\delta\alpha + 0,6P\delta\alpha$$

Для перевірки розрахунків використовуємо програму MS-DOS.

КОДИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ

Введите нижний уровень 1 фактора $X_n=?$ 4
 Введите верхний уровень 1 фактора $X_v=?$ 6
 Введите нижний уровень 2 фактора $X_n=?$ 0.3
 Введите верхний уровень 2 фактора $X_n=?$ 0.45
 Введите нижний уровень 3 фактора $X_n=?$ 15
 Введите верхний уровень 3 фактора $X_n=?$ 45

Получены следующие данные

основные уровни:

- первого фактора $X_{o1}= 5$
- второго фактора $X_{o2}= .375$
- третьего фактора $X_{o3}= 30$

интервалы варьирования:

- первого фактора $h_1= 1$
- второго фактора $h_2= 7.4999999E-02$
- третьего фактора $h_3= 15$

Для продолжения нажмите 'Enter'?

ВВОД ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Номер опыта	Факторы				Полученные значения
	x_0	x_1	x_2	x_3	
1	+1	-1	-1	-1	$y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1n}$
2	+1	+1	-1	-1	$y_{21}, y_{22}, \dots, y_{2n}$
3	+1	-1	+1	-1	$y_{31}, y_{32}, \dots, y_{3n}$
4	+1	+1	+1	-1	$y_{41}, y_{42}, \dots, y_{4n}$
4	+1	-1	-1	+1	$y_{51}, y_{52}, \dots, y_{5n}$
4	+1	+1	-1	+1	$y_{61}, y_{62}, \dots, y_{6n}$
4	+1	-1	+1	+1	$y_{71}, y_{72}, \dots, y_{7n}$
4	+1	+1	+1	+1	$y_{81}, y_{82}, \dots, y_{8n}$

Введите количество параллельных опытов $n=?$ 3

Введите значение:

$y_{11} \quad y_{12} \quad ?$

Получены следующие средние значения по строкам:

$y_{1cp}= 183.09$ $y_{2cp}= 261.5067$ $y_{3cp}= 191.9567$ $y_{4cp}= 257.74$
 $y_{5cp}= 190.5267$ $y_{6cp}= 284.9734$ $y_{7cp}= 173.3567$ $y_{8cp}= 260.7667$

Получены следующие значения дисперсий по строкам:

$(S_1)^2= -44693.33$ $(S_2)^2= 78.38966$ $(S_3)^2= 9.39562$
 $(S_4)^2= 192.943$ $(S_5)^2= 32.13849$ $(S_6)^2= 78.74646$
 $(S_7)^2= 14.03511$ $(S_8)^2= 13.01952$

Гипотеза об однородности дисперсий подтверждается

Дисперсия воспроизводимости $(S_y)^2= -5534.333$

Получено уравнение регрессии:

$y = 225.4896 + (40.75709)x_1 + (-4.534588)x_2 + (1.916256)x_3 + (-2.458752)x_1x_2 + (4.707088)x_1x_3 + (-5.809578)x_2x_3 + (0)x_1x_2x_3$

Оценка дисперсии адекватности $(S_{ад})^2= 11.74606$

Критерий адекватности $F_{ад}= -2.122398E-03$

Ваша модель адекватна

Для продолжения нажмите 'Enter'?

Середина ПЕТ-пляшки:

Вибіркові оцінки дисперсій змінних:

$$S_{ej}^2 = (m-1)^{-1} \cdot \sum (y_{ej} - y_{j \text{ сеп}})^2$$

$$S_{1j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((127.56-146.78)^2 + (139.83-146.78)^2 + (172.95-146.78)^2) = 551.13$$

$$S_{2j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((179.08-181.94)^2 + (181.53-181.94)^2 + (185.21-181.94)^2) = 9.53$$

$$S_{3j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((171.11-170.29)^2 + (170.49-170.29)^2 + (169.27-170.29)^2) = 0.88$$

$$S_{4j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((179.08-175.64)^2 + (168.78-175.64)^2 + (179.08-175.64)^2) = 35.38$$

$$S_{5j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((253.90-256.68)^2 + (257.33-256.68)^2 + (258.80-256.68)^2) = 6.34$$

$$S_{6j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((245.31-242.04)^2 + (225.69-242.04)^2 + (255.13-242.04)^2) = 224.67$$

$$S_{7j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((259.79-255.37)^2 + (252.18-255.37)^2 + (254.14-255.37)^2) = 15.59$$

$$S_{8j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((261.26-260.85)^2 + (258.80-260.85)^2 + (262.48-260.85)^2) = 3.51$$

$$S_{ej \text{ max}}^2 = S_{3j}^2 = 551.13$$

$$\sum S_{ej}^2 = 551.13 + 9.53 + 0.88 + 35.38 + 6.34 + 224.67 + 15.59 + 3.51 = 847.02$$

Розраховуємо критерій Кохрена:

$$G_p = S_{ej \text{ max}}^2 / \sum S_{ej}^2 = 551.13 / 847.02 = 0.65$$

$$G_{кр} = f(\alpha; f_1; f_2) = 0.81$$

$$\alpha = 0.05$$

$$f_1 = m-1 = 3-1 = 2$$

$$f_2 = N = 8$$

$(G_p = 0.65) < (G_{кр} = 0.81)$ – гіпотеза вірна

Визначаємо загальну дисперсію:

$$S_0^2 = \sum S_{ej}^2 / N = 847.02 / 8 = 105.88$$

Визначаємо оцінки коефіцієнтів:

$$b_i = \sum (z_{ji} \cdot y_{j \text{ сеп}}) / N$$

$$b_0 = (146.78 + 181.94 + 170.29 + 175.64 + 256.68 + 242.04 + 255.37 + 260.85) / 8 = 211.20$$

$$b_1 = (-146.78 - 181.94 - 170.29 - 175.64 + 256.68 + 242.04 + 255.37 + 260.85) / 8 = 42.54$$

$$b_2 = (-146.78 + 181.94 - 170.29 + 175.64 - 256.68 + 242.04 - 255.37 + 260.85) / 8 = 3.92$$

$$b_3 = (-146.78 + 181.94 + 170.29 - 175.64 - 256.68 + 242.04 + 255.37 - 260.85) / 8 = 1.21$$

$$b_4 = (146.78 - 181.94 + 170.29 - 175.64 - 256.68 + 242.04 + 255.37 - 260.85) / 8 = -7.58$$

$$b_5 = (146.78 - 181.94 - 170.29 + 175.64 - 256.68 + 242.04 + 255.37 - 260.85) / 8 = -6.24$$

$$b_6=(146.78+181.94-170.29-175.64+256.68+242.04-255.37-260.85)/8=-4.34$$

$$b_7=(-146.78-181.94+170.29+175.64+256.68+242.04-255.37-260.85)/8=-0.04$$

Перевіряємо 0-гіпотезу щодо значимості розрахункових коефіцієнтів.

Визначаємо дисперсію:

$$S_{\beta j}^2=S_0^2/N=105.88/8=13.23$$

Визначаємо середньоквадратичне відхилення:

$$S_{\beta}=0.64$$

Визначаємо розрахункові коефіцієнти Ст'юдента:

$$t_p=|b_i|/S_{\beta}$$

$$t_{p0}=|211.20|/0.64=330.00$$

$$t_{p1}=|42.54|/0.64=66.46$$

$$t_{p2}=|3.92|/0.64=6.12$$

$$t_{p3}=|1.21|/0.64=2.89$$

$$t_{p4}=|-7.58|/0.64=11.84$$

$$t_{p5}=|-6.24|/0.64=9.75$$

$$t_{p6}=|-4.34|/0.64=6.78$$

$$t_{p7}=|-0.04|/0.64=2.16$$

Критичний критерій Ст'юдента:

$$\alpha=0.05$$

$$f_1=N(m-1)$$

$$t_{кр}=2.12$$

Якщо $t_p > t_{кр}$ – коефіцієнти значимі.

Перепишемо нормоване рівняння:

$$\hat{y}=\beta_0+\beta_1z_1+\beta_2z_2+\beta_3z_3+\beta_4z_1z_2+\beta_5z_1z_3+\beta_6z_2z_3+\beta_7z_1z_2z_3$$

$$\hat{y}=211.20+42.54z_1+3.92z_2+1.21z_3-7.58z_1z_2-6.24z_1z_3-4.34z_2z_3-0.04z_1z_2z_3$$

$$\hat{y}_1=(+1)211.20+(-1)42.54+(-1)3.92+(-1)1.21-(+1)7.58-(+1)6.24-(+1)4.34-(-1)0.04=179.67$$

$$\hat{y}_2=(+1)211.20+(-1)42.54+(+1)3.92+(+1)1.21-(-1)7.58-(-1)6.24-(+1)4.34-(-1)0.04=170.23$$

$$\hat{y}_3=(+1)211.20+(-1)42.54+(-1)3.92+(+1)1.21-(+1)7.58-(-1)6.24-(-1)4.34-(+1)0.04=188.09$$

$$\hat{y}_4=(+1)211.20+(-1)42.54+(+1)3.92+(-1)1.21-(-1)7.58-(+1)6.24-(-1)4.34-(+1)0.04=190.54$$

$$\hat{y}_5=(+1)211.20+(+1)42.54+(-1)3.92+(-1)1.21-(-1)7.58-(-1)6.24-(+1)4.34-(+1)0.04=260.44$$

$$\hat{y}_6=(+1)211.20+(+1)42.54+(+1)3.92+(+1)1.21-(+1)7.58-(+1)6.24-(+1)4.34-(+1)0.04=259.41$$

$$\hat{y}_7=(+1)211.20+(+1)42.54+(-1)3.92+(+1)1.21-(+1)7.58-(+1)6.24-(-1)4.34-(-1)0.04=280.03$$

$$\hat{y}_8=(+1)211.20+(+1)42.54+(+1)3.92+(-1)1.21-(-1)7.58-(-1)6.24-(-1)4.34+(-1)0.04=256.49$$

Перевірка адекватності рівняння регресії за критерієм Фішера:

$$F = S_{\text{ад}}^2 / S_0^2$$

$$S_{\text{ад}}^2 = \sum (\hat{y}_j - y_{j \text{ сеп}})^2 / (N - d)$$

$$N = 8$$

$$d = 3$$

Номер досліджу	$y_{\text{сеп}}$	$\hat{y}$	$ y_{\text{сеп}} - \hat{y} $	$(y_{\text{сеп}} - \hat{y})^2$
1	146.78	150.07	-3.29	10.83
2	181.94	180.12	1.82	3.31
3	170.29	169.76	0.53	0.28
4	175.64	174.05	1.59	2.54
5	256.68	250.45	6.23	38.80
6	242.04	241.23	0.81	0.66
7	255.37	254.07	1.30	1.69
8	260.85	259.83	1.02	1.04
Всього				59.15

$$S_{\text{ад}}^2 = 59.15 / (8 - 3) = 11.83$$

$$F = 11.83 / 105.88 = 0.11$$

$$F_{\text{кр}} = 2.85$$

$F < F_{\text{кр}}$ – гіпотеза підтверджується.

Замінюємо в отриманому рівнянні регресії кодовані змінні на натуральні:

$$z_i = (x_i - x_{oi}) / \Delta x_i$$

$$z_1 = (P - 5) / 1$$

$$z_2 = (\delta - 0.26) / 0.04$$

$$z_3 = (\alpha - 30) / 15$$

$$\hat{y} = 211.20 + 42.54z_1 + 3.92z_2 + 1.21z_3 - 7.58z_1z_2 - 6.24z_1z_3 - 4.34z_2z_3 - 0.04z_1z_2z_3$$

Для подальшого використання отриманої емпіричної математичної моделі потрібно отримати рівняння регресії для натуральних змінних.

$$F = 211.20 + 42.54(P - 5) + 3.92(\delta - 0.26) / 0.04 + 1.21(\alpha - 30) / 15 - 7.58(P - 5)(\delta - 0.26) / 0.04 - 6.24(P - 5)(\alpha - 30) / 15 - 4.34(\delta - 0.26)(\alpha - 30) / 15 \cdot 0.04 - 0.04(P - 5)(\delta - 0.26)(\alpha - 30) / 15 \cdot 0.04$$

$$F = -391,9 + 103,7P + 1252,3\delta + 3,9\alpha - 187,5P\delta - 416P\alpha - 6,9\delta\alpha + 0,1P\delta\alpha$$

Для перевірки розрахунків використовуємо програму MS-DOS.

Середина ПЕТ-пляшки:

КОДИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ

Введите нижний уровень 1 фактора $X_n=?$ 4
 Введите верхний уровень 1 фактора $X_v=?$ 6
 Введите нижний уровень 2 фактора $X_n=?$ 0.22
 Введите верхний уровень 2 фактора $X_n=?$ 0.3
 Введите нижний уровень 3 фактора $X_n=?$ 15
 Введите верхний уровень 3 фактора $X_n=?$ 45

Получены следующие данные

основные уровни:

- первого фактора $X_{o1}= 5$
- второго фактора $X_{o2}= .26$
- третьего фактора $X_{o3}= 30$

интервалы варьирования:

- первого фактора $h_1= 1$
- второго фактора $h_2= 4.0000001E-02$
- третьего фактора $h_3= 15$

Для продолжения нажмите 'Enter'?

ВВОД ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Номер опыта	Факторы				Полученные значения
	x0	x1	x2	x3	
1	+1	-1	-1	-1	y11, y12, ..., y1n
2	+1	+1	-1	-1	y21, y22, ..., y2n
3	+1	-1	+1	-1	y31, y32, ..., y3n
4	+1	+1	+1	-1	y41, y42, ..., y4n
4	+1	-1	-1	+1	y51, y52, ..., y5n
4	+1	+1	-1	+1	y61, y62, ..., y6n
4	+1	-1	+1	+1	y71, y72, ..., y7n
4	+1	+1	+1	+1	y81, y82, ..., y8n

Введите количество параллельных опытов $n=?$ 3

Введите значение:

y_{11} 1 ? _

Получены следующие средние значения по строкам:

$y_{1cp}= 146.78$ $y_{2cp}= 223.3433$ $y_{3cp}= 175.6467$ $y_{4cp}= 260.8467$
 $y_{5cp}= 170.29$ $y_{6cp}= 255.37$ $y_{7cp}= 181.94$ $y_{8cp}= 208.71$

Получены следующие значения дисперсий по строкам:

$\langle S_1 \rangle^2 = -28664.57$ $\langle S_2 \rangle^2 = 3127.32$ $\langle S_3 \rangle^2 = 35.36449$
 $\langle S_4 \rangle^2 = 3.498919$ $\langle S_5 \rangle^2 = .8835299$ $\langle S_6 \rangle^2 = 15.61558$
 $\langle S_7 \rangle^2 = 9.518892$ $\langle S_8 \rangle^2 = 2249.34$

Гипотеза об однородности дисперсий подтверждается

Дисперсия воспроизводимости $\langle S_y \rangle^2 = -2902.879$

Получено уравнение регрессии:

$y = 202.8658 + \langle 34.20167 \rangle x_1 + \langle 3.920006 \rangle x_2 + \langle 0 \rangle x_3 + \langle -6.209164 \rangle x_1 x_2 + \langle -6.239166 \rangle x_1 x_3 + \langle -12.6725 \rangle x_2 x_3 + \langle -8.368336 \rangle x_1 x_2 x_3$

Оценка дисперсии адекватности $\langle S_{ад} \rangle^2 = 35.23545$

Критерий адекватности $F_{ад} = -1.213811E-02$

Ваша модель адекватна

Для продолжения нажмите 'Enter'?

Днище ПЕТ-пляшки:

Вибіркові оцінки дисперсій змінних:

$$S_{ej}^2 = (m-1)^{-1} \cdot \sum (y_{ej} - y_{j \text{ сеп}})^2$$

$$S_{1j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((179.08-175.48)^2 + (171.72-175.48)^2 + (175.64-175.48)^2) = 13.56$$

$$S_{2j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((183.98-186.93)^2 + (185.46-186.93)^2 + (191.34-186.93)^2) = 15.16$$

$$S_{3j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((172.45-177.28)^2 + (182.76-177.28)^2 + (176.63-177.28)^2) = 26.86$$

$$S_{4j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((169.27-172.70)^2 + (175.89-172.70)^2 + (172.95-172.70)^2) = 11.01$$

$$S_{5j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((253.90-255.94)^2 + (257.58-255.94)^2 + (256.35-255.94)^2) = 3.51$$

$$S_{6j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((258.80-262.40)^2 + (266.16-262.40)^2 + (262.24-262.40)^2) = 13.56$$

$$S_{7j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((260.03-258.80)^2 + (264.94-258.80)^2 + (251.45-258.80)^2) = 46.64$$

$$S_{8j}^2 = (3-1)^{-1} \cdot ((262.36-263.87)^2 + (262.48-263.87)^2 + (266.78-263.87)^2) = 6.32$$

$$S_{ej \text{ max}}^2 = S_{3j}^2 = 46.64$$

$$\sum S_{ej}^2 = 13.56 + 15.16 + 26.86 + 11.01 + 3.51 + 13.56 + 46.64 + 6.32 = 136.63$$

Розраховуємо критерій Кохрена:

$$G_p = S_{ej \text{ max}}^2 / \sum S_{ej}^2 = 46.64 / 136.63 = 0.34$$

$$G_{кр} = f(\alpha; f_1; f_2) = 0.81$$

$$\alpha = 0.05$$

$$f_1 = m - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$f_2 = N = 8$$

$(G_p = 0.34) < (G_{кр} = 0.81)$ – гіпотеза вірна

Визначаємо загальну дисперсію:

$$S_0^2 = \sum S_{ej}^2 / N = 136.63 / 8 = 17.08$$

Визначаємо оцінки коефіцієнтів:

$$b_i = \sum (z_{ji} \cdot y_{j \text{ сеп}}) / N$$

$$b_0 = (175.48 + 186.93 + 177.28 + 172.70 + 255.94 + 262.40 + 258.80 + 263.87) / 8 = 219.18$$

$$b_1 = (-175.48 - 186.93 - 177.28 - 172.70 + 255.94 + 262.40 + 258.80 + 263.87) / 8 = 41.08$$

$$b_2 = (-175.48 + 186.93 - 177.28 + 172.70 - 255.94 + 262.40 - 258.80 + 263.87) / 8 = 2.30$$

$$b_3 = (-175.48 + 186.93 + 177.28 - 172.70 - 255.94 + 262.40 + 258.80 - 263.87) / 8 = 2.18$$

$$b_4 = (175.48 - 186.93 + 177.28 - 172.70 - 255.94 + 262.40 + 258.80 - 263.87) / 8 = -0.68$$

$$b_5=(175.48-186.93-177.28+172.70-255.94+262.40+258.80-263.87)/8=-1.83$$

$$b_6=(175.48+186.93-177.28-172.70+255.94+262.40-258.80-263.87)/8=1.01$$

$$b_7=(-175.48-186.93+177.28+172.70+255.94+262.40-258.80-263.87)/8=-2.10$$

Перевіряємо 0-гіпотезу щодо значимості розрахункових коефіцієнтів.

Визначаємо дисперсію:

$$S_{\beta_j}^2=S_0^2/N=17.08/8=2.13$$

Визначаємо середньоквадратичне відхилення:

$$S_{\beta}=0.46$$

Визначаємо розрахункові коефіцієнти Ст'юдента:

$$t_p=|b_i|/S_{\beta}$$

$$t_{p0}=|219.18|/0.46=476.47$$

$$t_{p1}=|41.08|/0.46=89.30$$

$$t_{p2}=|2.30|/0.46=5.00$$

$$t_{p3}=|2.18|/0.46=4.73$$

$$t_{p4}=|-0.68|/0.46=2.49$$

$$t_{p5}=|-1.83|/0.46=3.98$$

$$t_{p6}=|1.01|/0.46=2.20$$

$$t_{p7}=|-2.10|/0.46=4.56$$

Критичний критерій Ст'юдента:

$$\alpha=0.05$$

$$f_1=N(m-1)$$

$$t_{кр}=2.12$$

Якщо $t_p > t_{кр}$ – коефіцієнти значимі.

Перепишемо нормоване рівняння:

$$\hat{y}=\beta_0+\beta_1z_1+\beta_2z_2+\beta_3z_3+\beta_4z_1z_2+\beta_5z_1z_3+\beta_6z_2z_3+\beta_7z_1z_2z_3$$

$$\hat{y}=219.18+41.08z_1+2.30z_2+2.18z_3-0.68z_1z_2-1.83z_1z_3+1.01z_2z_3-2.10z_1z_2z_3$$

$$\hat{y}_1=(+1)219.18+(-1)41.08+(-1)2.30+(-1)2.18+(+1)0.68-(+1)1.83+(+1)1.01-(-1)2.10=179.67$$

$$\hat{y}_2=(+1)219.18+(-1)41.08+(+1)2.30+(+1)2.18+(-1)0.68-(-1)1.83+(+1)1.01-(-1)2.10=170.23$$

$$\hat{y}_3=(+1)219.18+(-1)41.08+(-1)2.30+(+1)2.18+(-1)0.68-(-1)1.83+(-1)1.01-(+1)2.10=188.09$$

$$\hat{y}_4=(+1)219.18+(-1)41.08+(+1)2.30+(-1)2.18+(-1)0.68-(+1)1.83+(-1)1.01-(+1)2.10=190.54$$

$$\hat{y}_5=(+1)219.18+(+1)41.08+(-1)2.30+(-1)2.18+(-1)0.68-(-1)1.83+(+1)1.01-(+1)2.10=260.44$$

$$\hat{y}_6=(+1)219.18+(+1)41.08+(+1)2.30+(+1)2.18+(+1)0.68-(+1)1.83+(+1)1.01-(+1)2.10=259.41$$

$$\hat{y}_7=(+1)219.18+(+1)41.08+(-1)2.30+(+1)2.18+(-1)0.68-(+1)1.83+(-1)1.01-(-1)2.10=280.03$$

$$\hat{y}_8 = (+1)219.18 + (+1)41.08 + (+1)2.30 + (-1)2.18 - (-1)0.68 - (-1)1.83 + (-1)1.01 - (-1)2.10 = 256.49$$

Перевірка адекватності рівняння регресії за критерієм Фішера:

$$F = S_{ад}^2 / S_0^2$$

$$S_{ад}^2 = \sum (\hat{y}_j - y_{j\text{сер}})^2 / (N - d)$$

$$N = 8$$

$$d = 3$$

Номер досліджу	у _{сер}	ŷ	у _{сер} - ŷ	(у _{сер} - ŷ) ²
1	175.48	176.69	1.21	1.46
2	186.93	185.34	1.59	2.52
3	177.28	178.04	0.76	0.58
4	172.70	174.56	1.86	3.46
5	255.94	255.04	0.90	0.81
6	262.40	261.45	0.95	0.91
7	258.80	256.54	2.26	5.13
8	263.87	260.56	3.31	10.99
Всього				25.86

$$S_{ад}^2 = 25.86 / (8 - 3) = 5.17$$

$$F = 5.17 / 17.08 = 0.30$$

$$F_{кр} = 2.85$$

$F < F_{кр}$ – гіпотеза підтверджується.

Замінюємо в отриманому рівнянні регресії кодовані змінні на натуральні:

$$z_i = (x_i - x_{oi}) / \Delta x_i$$

$$z_1 = (P - 5) / 1$$

$$z_2 = (\delta - 0.35) / 0.10$$

$$z_3 = (\alpha - 30) / 15$$

$$\hat{y} = 219.18 + 41.08z_1 + 2.30z_2 + 2.18z_3 - 0.68z_1z_2 - 1.83z_1z_3 + 1.01z_2z_3 - 2.10z_1z_2z_3$$

Для подальшого використання отриманої емпіричної математичної моделі потрібно отримати рівняння регресії для натуральних змінних.

$$F = 219.18 + 41.08(P - 5) + 2.30(\delta - 0.35) / 0.10 + 2.18(\alpha - 30) / 15 - 0.68(P - 5)(\delta - 0.35) / 0.10 - 1.83(P - 5)(\alpha - 30) / 15 + 1.01(\delta - 0.35)(\alpha - 30) / 15 \cdot 0.10 - 2.10(P - 5)(\delta - 0.35)(\alpha - 30) / 15 \cdot 0.10$$

$$F = 55.05 + 32.4P - 173.1\delta - 2\alpha + 35.2P\delta + 0.4P\alpha + 7.7\alpha - 1.4P\delta\alpha$$

Для перевірки розрахунків використовуємо програму MS-DOS.

Днище ПЕТ-пляшки:

КОДИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ

Введите нижний уровень 1 фактора $X_n=?$ 4
 Введите верхний уровень 1 фактора $X_v=?$ 6
 Введите нижний уровень 2 фактора $X_n=?$ 0.25
 Введите верхний уровень 2 фактора $X_n=?$ 0.45
 Введите нижний уровень 3 фактора $X_n=?$ 15
 Введите верхний уровень 3 фактора $X_n=?$ 45

Получены следующие данные

основные уровни:

- первого фактора $X_{o1} = 5$
- второго фактора $X_{o2} = .35$
- третьего фактора $X_{o3} = 30$

интервалы варьирования:

- первого фактора $h_1 = 1$
- второго фактора $h_2 = 9.999999E-02$
- третьего фактора $h_3 = 15$

Для продолжения нажмите 'Enter'? _

ВВОД ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Номер опыта	Факторы				Полученные значения
	x0	x1	x2	x3	
1	+1	-1	-1	-1	y11, y12, ..., y1n
2	+1	+1	-1	-1	y21, y22, ..., y2n
3	+1	-1	+1	-1	y31, y32, ..., y3n
4	+1	+1	+1	-1	y41, y42, ..., y4n
4	+1	-1	-1	+1	y51, y52, ..., y5n
4	+1	+1	-1	+1	y61, y62, ..., y6n
4	+1	-1	+1	+1	y71, y72, ..., y7n
4	+1	+1	+1	+1	y81, y82, ..., y8n

Введите количество параллельных опытов $n=?$ 3

Введите значение:

y_{11} ? _

Получены следующие средние значения по строкам:

$y_{1cp} = 175.49$ $y_{2cp} = 255.9433$ $y_{3cp} = 172.7033$ $y_{4cp} = 263.8733$
 $y_{5cp} = 177.28$ $y_{6cp} = 258.8067$ $y_{7cp} = 186.9267$ $y_{8cp} = 262.4$

Получены следующие значения дисперсий по строкам:

$\langle S_1 \rangle^2 = -41060.81$ $\langle S_2 \rangle^2 = 3.522524$ $\langle S_3 \rangle^2 = 11.00721$
 $\langle S_4 \rangle^2 = 6.352149$ $\langle S_5 \rangle^2 = 26.89866$ $\langle S_6 \rangle^2 = 46.61358$
 $\langle S_7 \rangle^2 = 15.14704$ $\langle S_8 \rangle^2 = 13.56793$

Гипотеза об однородности дисперсий подтверждается

Дисперсия воспроизводимости $\langle S_y \rangle^2 = -5117.212$

Получено уравнение регрессии:

$y = 219.1779 + \langle 41.07791 \rangle x_1 + \langle 2.297918 \rangle x_2 + \langle 2.175421 \rangle x_3 + \langle 0 \rangle x_1 x_2 + \langle -1.827913 \rangle x_1 x_3 + \langle 1.012087 \rangle x_2 x_3 + \langle -2.096258 \rangle x_1 x_2 x_3$

Оценка дисперсии адекватности $\langle S_{ад} \rangle^2 = 8.15494$

Критерий адекватности $F_{ад} = -1.593629E-03$

Ваша модель адекватна

Для продолжения нажмите 'Enter'? _

3.6. Висновки

В результаті проведення експерименту ми отримали наступні емпіричні математичні моделі, що описують процес подрібнення ПЕТ-пляшок методом різання.

● для горловини ПЕТ-пляшки:

$$\hat{y} = 225.49 + 40.76z_1 - 4.53z_2 + 1.92z_3 + 4.35z_1z_2 + 4.71z_1z_3 - 5.81z_2z_3 + 0.70z_1z_2z_3$$

$$F = 168,4 + 8,8P - 102,6\delta - 1,6\alpha + 39,4P\delta + 0,08P\alpha - 8,3\delta\alpha + 0,6P\delta\alpha$$

● для середини ПЕТ-пляшки:

$$\hat{y} = 211.20 + 42.54z_1 + 3.92z_2 + 1.21z_3 - 7.58z_1z_2 - 6.24z_1z_3 - 4.34z_2z_3 - 0.04z_1z_2z_3$$

$$F = -391,9 + 103,7P + 1252,3\delta + 3,9\alpha - 187,5P\delta - 416P\alpha - 6,9\delta\alpha + 0,1P\delta\alpha$$

● для днища ПЕТ-пляшки:

$$\hat{y} = 219.18 + 41.08z_1 + 2.30z_2 + 2.18z_3 - 0.68z_1z_2 - 1.83z_1z_3 + 1.01z_2z_3 - 2.10z_1z_2z_3$$

$$F = 55,05 + 32,4P - 173,1\delta - 2\alpha + 35,2P\delta + 0,4P\alpha + 7,7\alpha - 1,4P\delta\alpha$$

● Серед параметрів (факторів), що найбільш впливають на процес подрібнення є: магістральний тиск, товщина стінки ПЕТ-пляшки і кут заточки ножа.

● Різниця між коефіцієнтами в рівняннях регресії для різних частин пляшки, при незначній відмінності вхідних параметрів (а саме, товщина стінки), обумовлена неоднорідністю структури матеріалу по довжині ПЕТ-пляшки. Так, горловина і днище пляшки є аморфною складовою, а середина – орієнтованою, а це суттєво впливає на характер руйнування (різання) матеріалу.

4. Проектно-конструкторські розробки

РОЗРОБКА НОЖОВОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ПЕТ-ПЛЯШОК З ОДНОЧАСНИМ ВІДДІЛЕННЯМ ГОРЛОВИНИ І ДНИЩА

З точки зору переробки ПЕТ у вигляді об'ємних виробів (наприклад, найбільш розповсюдженого пакування – пляшки), різні її частини відрізняються не тільки геометрією поверхні, а й ступенем орієнтації, що є найбільш важливим. Останній фактор впливає на структуру різних складових загальної геометрії пакування, на реологічні, механічні і теплофізичні властивості вторинного ПЕТ. Знання цих властивостей для різноманітних сумішей (композицій), до складу яких входить вторинний ПЕТ з різним ступенем орієнтації, дозволить не тільки облаштуватись технологією і обладнанням для вторинної переробки, а також визначитись з номенклатурою виробів з цих композицій. Технологічна схема переробки ПЕТ обов'язково включає в себе операції подрібнення. Подрібнення як правило здійснюється на роторних подрібнювачах потрібної продуктивності. Будова ПЕТ-пляшки не дає змоги отримувати під час подрібнення матеріал однорідної структури, тому що важко створити подрібнювач, що ефективно може подрібнювати орієнтовані та аморфні частини ПЕТ-пляшки.

Тому було вирішено розробити конструкцію пристрою для подрібнення ПЕТ-пляшок з одночасним відділенням горловини і днища.

4.1. Розрахунки параметрів ножового пристрою

4.1.1. Розрахунок основних параметрів

Вхідні дані:

Продуктивність – 1200 (шт/год);

Подрібнюваний матеріал – ПЕТ-пляшки.

Основними параметрами ножового пристрою є (рис.4.1.1.):

- діаметр ротора D ;
- довжина ротора L ;
- частота обертання валка n ;
- споживана потужність N .

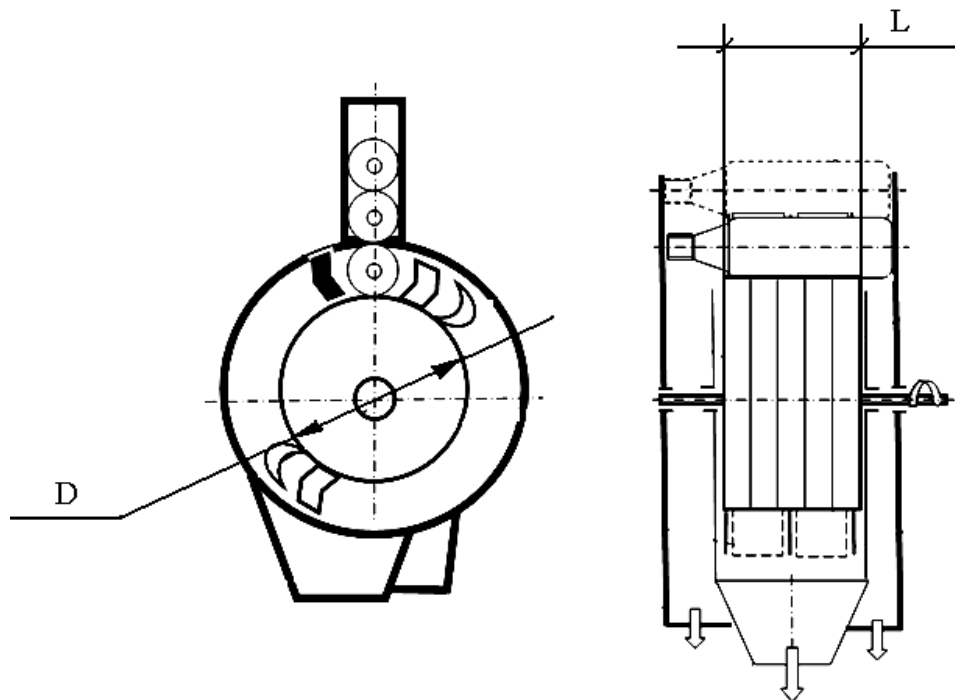


Рис.4.1.1. Основні параметри ножового пристрою

Геометричні параметри ротора ножового пристрою приймаються конструктивно, залежно від розмірів ПЕТ-пляшки.

$L=270$ (мм) – довжина ротора ножового пристрою;

$D=490$ (мм) – діаметр ротора з ножами.

Так, як подрібнення пляшки відбувається за один оберт:

$n=1200(\text{об/год})=20(\text{об/хв})$ – частота обертання вала ротора ножового пристрою.

Звідси: $\omega = \pi n/30 = 3,14 \cdot 20/30 = 2,09 (\text{с}^{-1})$ (4.1.1.1.)

Потужність на валу ротора ножового пристрою визначається за формулою:

$N = FR\omega/1000, (\text{кВт})$ (4.1.1.2.)

де F – сила різання матеріалу, визначається за формулою:

$F = K_H \cdot \tau_{зр} \cdot 2A_{зр} = 1,5 \cdot 0,1 \cdot 60 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 0,000216 = 3888 (\text{Н})$ (4.1.1.3.)

$K_H = 1,2 \dots 1,5$ – коефіцієнт, що враховує нерівномірності стінки ПЕТ-пляшки (ребра жорсткості і оздоблювальні нерівності);

$\tau_{зр} = 0,1 \sigma_T$ – напруження зрізу; (4.1.1.4.)

$\sigma_T(\text{ПЕТ}) = 40 \dots 60 (\text{МПа})$ – межа текучості матеріалу;

$A_{зр} = \delta \cdot b \cdot m = 0,0003 \cdot 0,08 \cdot 9 = 0,000216 (\text{м}^2)$ (4.1.1.5.)

δ – середня товщина стінки ПЕТ-пляшки, (м);

b – довжина різання;

m – кількість пар ножів.

$R = 245 (\text{мм})$ – радіус проходження ножів ротора.

$N = 3888 \cdot 0,245 \cdot 2,09/1000 = 1,99 (\text{кВт})$

4.1.2. Розрахунок кінематичних параметрів

Привод ножового пристрою представляє собою електродвигун із частотним керуванням і клинопасову передачу (рис.4.1.2.).

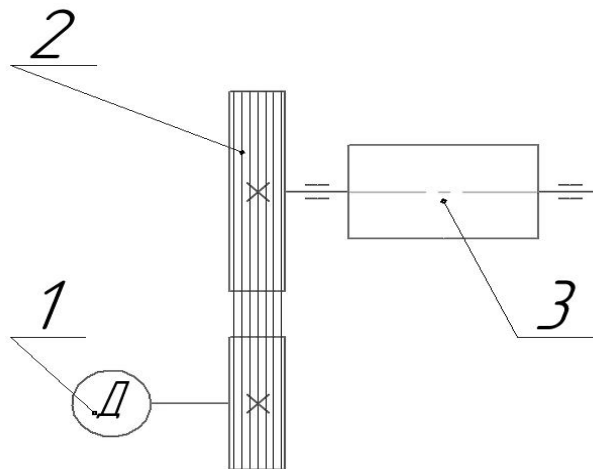


Рис.4.1.2. Кінематична схема приводу:

1 – двигун із частотним керуванням; 2 – клинопасова передача; 3 – ротор.

Розрахункова потужність електродвигуна:

$$N_{\text{дв}} = N / (\eta_{\text{п п}} \times \eta_{\text{кл п}}) = 1,99 / (0,99 \times 0,94) = 2,14 \text{ (кВт)} \quad (4.1.2.1.)$$

$N_{\text{в}} = 1,99 \text{ (кВт)}$ – потужність на роторі;

$\eta_{\text{п п}} = 0,99$ – ККД пари підшипників;

$\eta_{\text{кл п}} = 0,92 \dots 0,94$ – ККД клинопасової передачі.

Згідно каталогу вибираємо асинхронний двигун з можливістю регулювання частоти. (рис.4.1.3.).

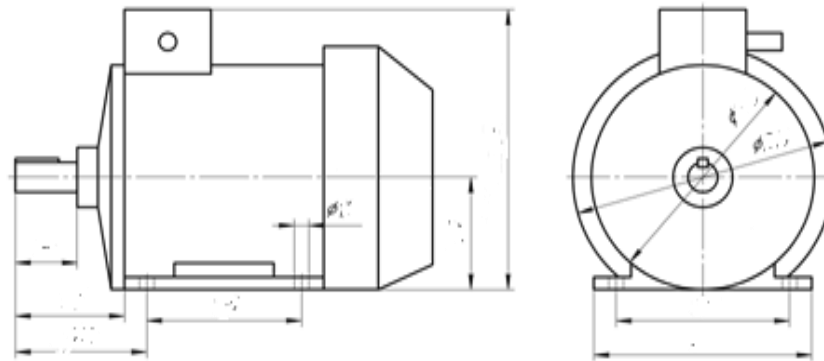


Рис.4.1.3. Серводвигун EAMF EGSA:

$N_{\text{дв}} = 2,2 \text{ (кВт)}$;

$n = 10 \dots 1000 \text{ (об/хв)}$

Передаточне число клинопасової передачі:

$$u_{\text{кл п}} = n_{\text{дв}} / n_{\text{р}} = 35 / 20 = 1,75 \quad (4.1.2.2.)$$

$n_{\text{р}} = 20 \text{ (об/хв)}$ – частота обертання ротора.

Крутний момент:

$$\text{на роторі} - T_{\text{кр в}} = 9550 \times (N_{\text{р}} / n_{\text{р}}) = 9550 (1,99 / 20) = 950 \text{ (Нм)} \quad (4.1.2.3.)$$

$$\text{на двигуні} - T_{\text{кр дв}} = 9550 \times (N_{\text{дв}} / n_{\text{дв}}) = 9550 (2,2 / 35) = 600 \text{ (Нм)} \quad (4.1.2.4.)$$

Частота обертання:

$$\text{на роторі} - \omega_{\text{р}} = (\pi \times n_{\text{р}}) / 30 = (3,14 \times 20) / 30 = 2,09 \text{ (с}^{-1}\text{)} \quad (4.1.2.5.)$$

$$\text{на двигуні} - \omega_{\text{дв}} = (\pi \times n_{\text{дв}}) / 30 = (3,14 \times 35) / 30 = 3,66 \text{ (с}^{-1}\text{)} \quad (4.1.2.6.)$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 4.1.1.

Результати розрахунків

№	N, кВт	n, об/хв	T _{кр} , Нм	ω , с ⁻¹
1(двигун)	2,2	35	600	3,66
2(ротор)	1,99	20	950	2,09

4.1.3. Розрахунок клинопасової передачі

Розраховуємо клинопасову передачу привода ножового пристрою (рис.4.1.4.).

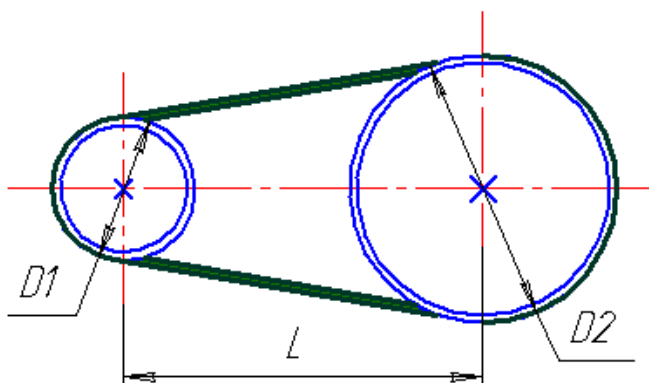


Рис.4.1.4. Схема клинопасової передачі

Вхідні дані:

$N = 2,2$ (кВт);

$u = 1,75$;

$n = 35$ (об/хв.);

$T = 600$ (Нм).

При даному моменті вибираємо переріз паса (рис.4.1.5.). Тип паса — нормальний (В).

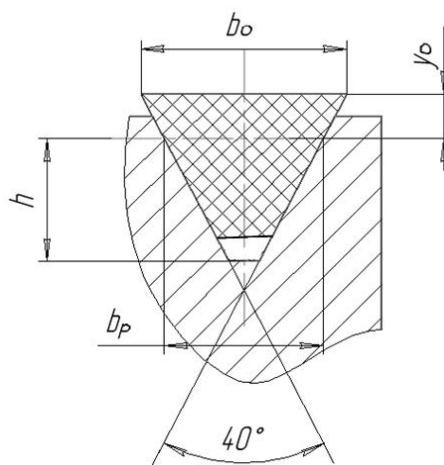


Рис.4.1.5. Переріз паса

Пас – нормальний (B)

$$b_p=19,0 \text{ (мм);}$$

$$h=13,5 \text{ (мм);}$$

$$b_0=22 \text{ (мм);}$$

$$y_0=4,8 \text{ (мм);}$$

$$F_1=2,3 \text{ (см}^3\text{)}$$

Згідно з рекомендаціями приймаємо діаметр меншого шківів:

$$d_{п1}=200 \text{ (мм)}$$

Діаметр більшого шківів розраховується за формулою:

$$d_{п2}=d_{п1} \times u(1-\varepsilon)=200 \times 1,75(1-0,02)=343 \text{ (мм)} \quad (4.1.3.1.)$$

$$\varepsilon=0,02$$

Приймаємо стандартний діаметр: $d_{п2}=350 \text{ (мм)}$.

Фактичне передаточне число:

$$u_p=d_{п2}/d_{п1}(1-\varepsilon)=350/200(1-0,02)=1,77 \quad (4.1.3.2.)$$

Швидкість паса визначається за формулою:

$$v=(\pi \times d_{п1} \times n)/(60 \times 1000)=(3,14 \times 200 \times 35)/(60 \times 1000)=0,3666 \text{ (м/с)} \quad (4.1.3.3.)$$

Приймаємо $v=0,4 \text{ (м/с)}$.

Міжосьова відстань згідно рекомендацій приймається:

$$a=0,95d_{п2}=0,95 \times 350=330 \text{ (мм)} \quad (4.1.3.4.)$$

Розрахункова довжина паса визначається за формулою:

$$\begin{aligned} L &= 2a + \pi/2(d_{п2} + d_{п1}) + (d_{п2} - d_{п1})^2/4a = \\ &= 2 \times 330 + 3,14/2(350 + 200) + (350 - 200)^2/4 \times 330 = 1540 \text{ (мм)} \end{aligned} \quad (4.1.3.5.)$$

Приймаємо $L=1550 \text{ (мм)}$.

За стандартною довжиною паса уточнюємо міжосьову відстань, за формулою:

$$\begin{aligned} a &= (2L - \pi(d_{п2} + d_{п1}) + ((2L - \pi(d_{п2} + d_{п1}))^2 - 8(d_{п2} - d_{п1})^2)^{1/2})/8 = \\ &= (2 \times 1550 - 3,14(350 + 200) + ((2 \times 1550 - 3,14(350 + 200))^2 - 8(350 - 200)^2)^{1/2})/8 = \\ &= 397,35 \text{ (мм)} \end{aligned} \quad (4.1.3.6.)$$

Мінімальна міжосьова відстань для зручності монтажу і зняття паса, визначається за формулою:

$$a_{\min}=a-0,01L=330-0,01\times1550=314,6 \text{ (мм)} \quad (4.1.3.7.)$$

Максимальна міжосьова відстань для створення натягу, визначається за формулою:

$$a_{\max}=a+0,025L=330+0,025\times1550=368,5 \text{ (мм)} \quad (4.1.3.8.)$$

Кут обхвату на меншому шківі визначається за формулою:

$$\alpha_1^\circ=180^\circ-60^\circ\times(d_{n2}-d_{n1})/a=(180^\circ-60^\circ)\times(350-200)/330=152,7^\circ>[\alpha_1]=110^\circ \quad (4.1.3.9.)$$

$C_L=0,96$ – коефіцієнт довжини;

$N_0=1,5$ (кВт) – вихідна потужність;

$C_\alpha=0,86$ – коефіцієнт кута обхвату;

$\Delta T_u=5,8$ (Нм) – поправка до крутного моменту на передаточне число;

$$\Delta N_u=0,0001\Delta T_u\times n=0,0001\times5,8\times35=0,0203 \text{ (кВт)}$$

– поправка до потужності; (4.1.3.10.)

$C_p=0,73$ – коефіцієнт режиму роботи при вказаному навантаженні;

Допустима потужність на один пас визначається за формулою:

$$[N]=(N_0\times C_\alpha\times C_L + \Delta N_u)C_p=(1,5\times0,86\times0,96+0,0203)0,73=0,92 \quad (4.1.3.11.)$$

Розрахункова кількість пасів за формулою:

$$z=N/[N]=2,2/0,92=2,39 \quad (4.1.3.12.)$$

$C_z=0,9$ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність навантаження

Дійсне число пасів в передачі визначається за формулою:

$$z'=z/C_z=2,39/0,9=2,65 \quad (4.1.3.13.)$$

Приймаємо $z'=3$.

Зусилля початкового натягу одного клинового паса визначається за формулою:

$$S_{0,1}=780N/vC_\alpha z'+qv^2=780\times2,2/0,4\times0,86\times0,73\times3+0,3\times2,2^2=2280 \text{ (Н)} \quad (4.1.3.14.)$$

де $q = 0,3$ (кг/м) – маса 1 м паса;

Зусилля, яке діє на вали передачі:

$$Q\approx2 S_{0,1}\times z'\times\sin(\alpha_1^\circ/2)=2\times2280\times\sin(153/2)=4435 \text{ (Н)} \quad (4.1.3.15.)$$

Зовнішні діаметри шківів визначаються за формулою:

$$d_{e1}=d_{n1}+2b=200+2\times 5,7=211,4 \text{ (мм)} \quad (4.1.3.16.)$$

$$d_{e2}=d_{n2}+2b=350+2\times 5,7=361,4 \text{ (мм)} \quad (4.1.3.17.)$$

Ширина обода шківів визначається за формулою:

$$M=(z'-1)e+2f=(4-1)25+2\times 17=109 \text{ (мм)} \quad (4.1.3.18.)$$

Розміри обода шківів:

$$l_p=19 \text{ (мм)}; h=14,3 \text{ (мм)}; b=5,7 \text{ (мм)}; e=25\pm 0,5 \text{ (мм)};$$

$$f=17^{+3,-1} \text{ (мм)}; r=1,0 \text{ (мм)}; h_{l\min}=10 \text{ (мм)}$$

4.1.4. Розрахунок вала

Вихідні дані:

Вага ротора:

$$G=V\times\rho=(\pi\times D_{cp}^2/4)\times L\times\rho=(3.14\times 0.12^2/4)\times 0.27\times 7800=23 \text{ (кг)}\approx 230 \text{ (Н)} \quad (4.1.4.1.)$$

де $D_{cp}=120 \text{ (мм)}=0.12 \text{ (м)}$ – середній діаметр основної частини ротора;

ρ - щільність сталі.

$T_{кр}=950 \text{ (Нм)}$ – момент на валу;

$F=4435 \text{ (Н)}$ – зусилля, що передається на вал від клинопасової передачі;

$\alpha=22^\circ$ – кут клинопасової передачі.

ОХ:

$$\Sigma M_a=0$$

$$G0.27-Rbx0.54-F\sin 22^\circ\times 0.15=0 \quad (4.1.4.2.)$$

$$Rbx=(G0.27-F\sin 22^\circ\times 0.15)/0.54=(230\times 0.27-4435\sin 22^\circ\times 0.15)/0.54=-346,5 \text{ (Н)}$$

$$\Sigma M_b=0$$

$$-G0.27+Rax0.54-F\sin 22^\circ\times 0.69=0 \quad (4.1.4.3.)$$

$$Rax=(G0.27+F\sin 22^\circ\times 0.69)/0.54=(230\times 0.27+ 4435\sin 22^\circ\times 0.69)/0.54=2237,8 \text{ (Н)}$$

Перевірка:

$$F\sin 22^\circ-Rax+G+Rbx=4435\sin 22^\circ-2237,8+2300+346,5=0 \quad (4.1.4.4.)$$

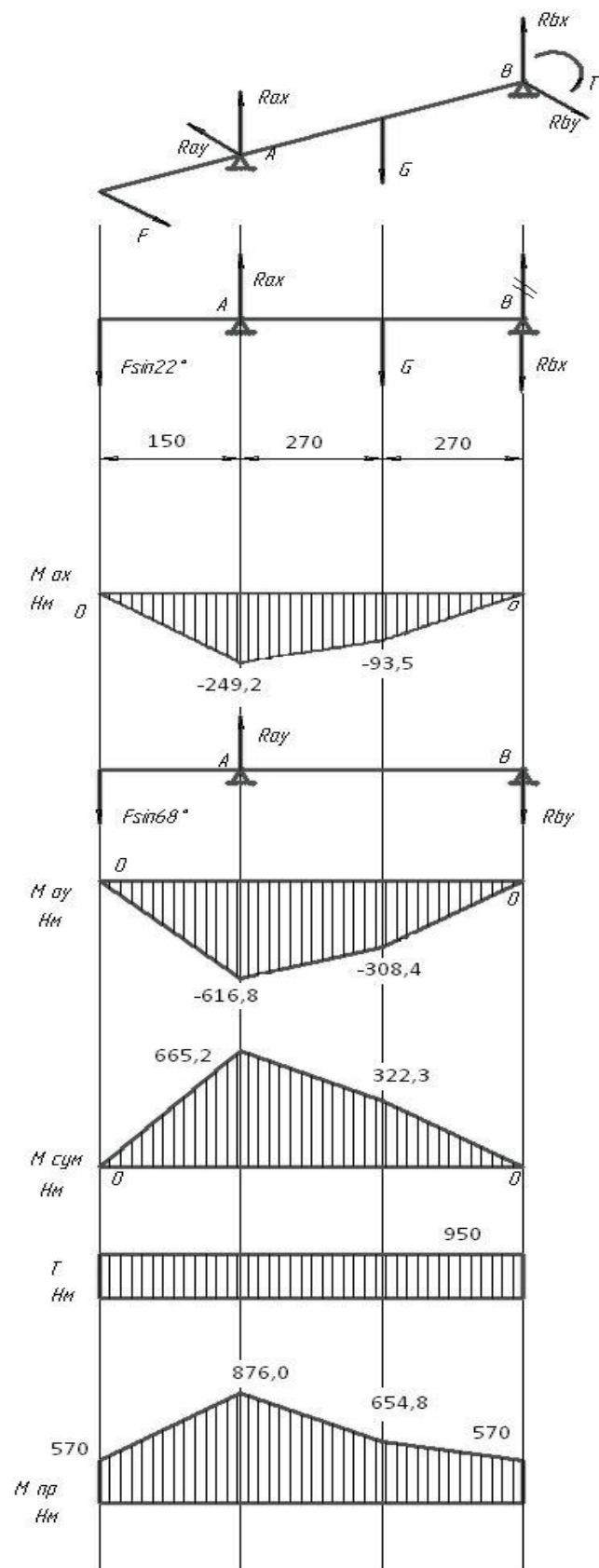


Рис.4.1.6. Епюри моментів

OY:

$$\Sigma M_A = 0$$

$$R_{by} \cdot 0.54 - F \sin 68^\circ \times 0.15 = 0 \quad (4.1.4.5.)$$

$$R_{by} = (F \sin 68^\circ \times 0.15) / 0.54 = (4435 \sin 68^\circ \times 0.15) / 0.54 = 1142,2 \text{ (H)}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_{ay} \cdot 0.54 - F \sin 68^\circ \times 0.69 = 0 \quad (4.1.4.6.)$$

$$R_{ay} = (F \sin 68^\circ \times 0.69) / 0.54 = (4435 \sin 68^\circ \times 0.69) / 0.54 = 5253,29 \text{ (H)}$$

Перевірка:

$$F \sin 68^\circ - R_{ay} + R_{by} = 4435 \sin 68^\circ - 5254,3 + 1142,2 = 0 \quad (4.1.4.7.)$$

Розраховуємо моменти, що діють в перерізах, будуємо епюри (рис.4).

OX:

$$(0 \leq x \leq 0,27)$$

$$M(0) = 0 \text{ (Hм)}$$

$$M(0.27) = -R_b x \cdot 0.27 = -346,5 \cdot 0.27 = -93,55 \text{ (Hм)}$$

$$(0.27 \leq x \leq 0.54)$$

$$M(0.27) = -93,55 \text{ (Hм)}$$

$$M(0.54) = -R_b x \cdot 0.54 - G \cdot 0.27 = -346,5 \cdot 0.54 - 230 \cdot 0.27 = -249,21 \text{ (Hм)}$$

$$(0.54 \leq x \leq 0.69)$$

$$M(0.54) = -249,21 \text{ (Hм)}$$

$$M(0.69) = 0 \text{ (Hм)}$$

OY:

$$(0 \leq x \leq 0,27)$$

$$M(0) = 0 \text{ (Hм)}$$

$$M(0.27) = -R_{by} \cdot 0.27 = -1142,2 \cdot 0.27 = -308,4 \text{ (Hм)}$$

$$(0.27 \leq x \leq 0,54)$$

$$M(0.27) = -308,4 \text{ (Hм)}$$

$$M(0.54) = -R_{by} \cdot 0.54 = -1142,2 \cdot 0.54 = -616,8 \text{ (Hм)}$$

$$(0.54 \leq x \leq 0.69)$$

$$M(0.54) = -616,8 \text{ (Нм)}$$

$$M(0.69) = 0$$

Сумарна епюра згинальних моментів:

$$M_{\text{сум}} = (M_{\text{зг.х}}^2 + M_{\text{зг.у}}^2)^{1/2} \quad (4.1.4.8.)$$

$$M_{\text{сум}}^1 = ((-249,2)^2 + (-616,8)^2)^{1/2} = 665,2 \text{ (Нм)}$$

$$M_{\text{сум}}^2 = ((-93,5)^2 + (-308,4)^2)^{1/2} = 322,3 \text{ (Нм)}$$

Розрахунок приведенного моменту:

$$M_{\text{пр}} = (M_{\text{сум}}^2 + (\alpha T)^2)^{1/2} \quad (4.1.4.9.)$$

де $\alpha = 6$ – коефіцієнт, що враховує різницю в характерних точках напружень згину і кручення:

$$M_{\text{пр}}^1 = ((665,2)^2 + (0,6 \cdot 950)^2)^{1/2} = 876,0 \text{ (Нм)}$$

$$M_{\text{пр}}^2 = ((322,3)^2 + (0,6 \cdot 950)^2)^{1/2} = 654,8 \text{ (Нм)}$$

$$M_{\text{пр}}^3 = ((0)^2 + (0,6 \cdot 950)^2)^{1/2} = 570 \text{ (Нм)}$$

Визначаємо діаметри вала в характерних точках:

$$d = (M_{\text{пр}} / (0,1[\sigma_{-1}]))^{1/3} \quad (4.1.4.10.)$$

де $[\sigma_{-1}]$ – допустиме напруження

$$d_1 = (876000 / (0,1 \cdot 65))^{1/3} = 51,27 \text{ (мм)}$$

Приймаємо $d = 55$ мм (під підшипником)

$$d_2 = (654800 / (0,1 \cdot 65))^{1/3} = 46,53 \text{ (мм)}$$

Приймаємо $d = 50$ мм (під шківом)

$$d_3 = (570000 / (0,1 \cdot 65))^{1/3} = 44,42 \text{ (мм)}$$

Приймаємо $d = 62$ мм (під ступицями на роторі).

4.1.5. Вибір і розрахунок підшипників кочення

Опори валів встановлені в різних корпусах ,що призводить до перекосу і зміщення осей насадочних отворів корпусів. Використовуємо роликпідшипники двохрядні згідно ДСТУ 5721-75 (рис.4.3.7). По діаметру вала $\varnothing 55\text{мм}$ вибираємо підшипник середньої серії 1311 із слідуючими даними:

$F_d=55\text{ (мм)}$; $D=120\text{ (мм)}$; $B=29\text{ (мм)}$; $C=40600\text{ (Н)}$; $C_0=22900\text{ (Н)}$.

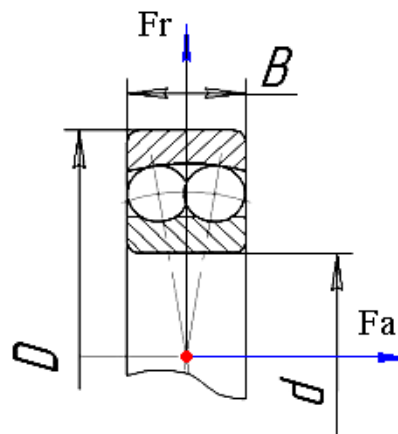


Рис.4.1.7 Схема навантаження підшипника

Виконаємо спрощений розрахунок довговічності підшипника. На підшипник діє радіальне навантаження $F_r=4435\text{(Н)}$ від клинопасової передачі. Та осьове $F_a=950\text{(Н)}$ від крутного моменту. Вал ротора обертається з частотою $n=20\text{об/хв}$. Необхідна довговічність підшипника $L_h=10000\text{ (год)}$. При умові, що $V=K_6=K_T=1,0$.

Вибираємо коефіцієнти X і Y:

$$\text{з співвідношення: } F_a / C_0 = 950 / 22900 = 0,041, e = 0,42 \quad (4.1.5.1.)$$

$$F_a / V F_r = 950 / 1 * 4435 = 0,21; X = 1; Y = 0 \quad (4.1.5.2.)$$

Визначаємо еквівалентне навантаження. Для радіального сферичного двохрядного підшипника еквівалентне навантаження визначається за формулою:

$$P = (X V F_r + Y F_a) K_6 K_T = (1 * 1 * 4435 + 0 * 950) * 1 * 1 = 4435\text{ (Н)} \quad (4.1.5.3.)$$

$C/P = 2,29$ відповідно: $C = P * 2,29 = 4435 * 2,29 = 10156\text{ (Н)}$ – дане значення менше каталожного, тому залишаємо вибраний підшипник.

4.1.6. Розрахунок шпонкового з'єднання

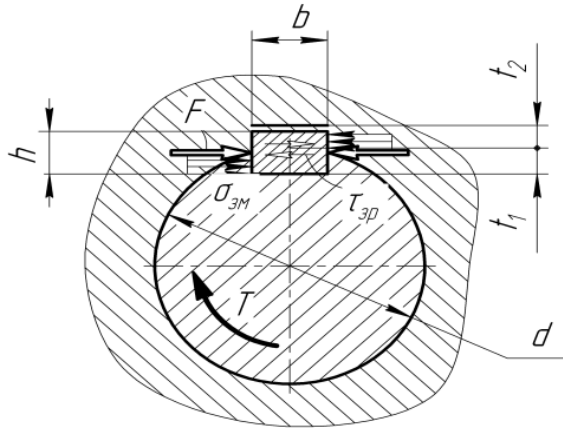


Рис.4.1.8 Навантаження шпонкового з'єднання

Розрахунок приведемо для визначення необхідної довжини шпонки при $T_{кр}=950$ (Нм), та діаметрі вала $d=50$ мм.

Розраховуємо шпонку з матеріалу Ст5, для якого $\sigma_B=570$ МПа; $\sigma_{зм}=256$ МПа; $\tau_{зр}=143$ МПа.

Розрахуємо необхідну довжину шпонки за умови згину:

$$l = 4T_{кр} / h d [\sigma_{зм}] = 4 \cdot 950 / 10 \cdot 50 \cdot 256 = 0,029 \text{ (м)} = 29 \text{ (мм)} \quad (4.1.6.1.)$$

Розраховуємо довжину шпонки з умови зрізу:

$$l = 2T_{кр} / h d [\tau_{зр}] = 2 \cdot 950 / 16 \cdot 50 \cdot 143 = 0,016 \text{ (м)} = 16 \text{ (мм)} \quad (4.1.6.2.)$$

Вибираємо довжину шпонки з стандартного ряду. Шпонка матиме параметри: 10*16*45

4.2. Висновки

Переробка використаної ПЕТ пляшки передбачає, що в технологічному процесі присутня операція подрібнення.

В сучасних лініях переробки використаної ПЕТ пляшки, подрібнення здійснюється за допомогою дробарок. Основними робочими органами дробарок є молотки або ножі. Подрібнення відбувається шляхом удару робочого органу об пляшку з одночасним їх різанням.

Зазначений метод технологічного процесу таким способом має дуже великі енерговитрати, а вихідні частинки після подрібнення мають різні розміри та щільність, що потребує в подальшому їх сортування.

Мета роботи була запропонувати альтернативний спосіб подрібнення використаних ПЕТ пляшок з можливістю одночасного відокремлення горловини та днища пляшки.

Встановлено, що найкращий спосіб отримати на виході частинки однакового розміру та структури, це подати використану ПЕТ пляшку без горловини та днища. Було запропоновано нову конструкцію ножової дробарки, яка забезпечує подрібнення з одночасним відокремленням горловини та днища. Для зменшення енерговитрат процесу різання було розроблено нову конструкцію ножів та контрножів.

5. Охорона праці

1. Вступ. Закон України про охорону праці

Правове регулювання у сфері охорони праці відбувається законом України «Про охорону праці», цей закон формулює основні головні положення що до реалізації до працівників конституційного права про охорону їх здоров'я і життя в цілому в процесі робочої діяльності, на належні, безпечні умови праці. Це виконується за участю відповідних органів державної влади відносини між працівником і роботодавцем з питань безпеки, гігієни праці на робочу місці та виробничого середовища , все це встановлюють єдині правила організації охорони праці в Україні.

2. Стан виробничого травматизму в виробничому цеху підприємства ТОВ «Інтерагропак»

Виробничий травматизм в цеху пов'язаний з недотриманням правил техніки безпеки при роботі з дробильним обладнанням, та не використанні засобів індивідуального захисту.

3. Організація служби охорони праці на підприємстві

Безпечне виконання виробничої діяльності здійснюється спеціально створеною службою охорони праці, кількісний склад якої визначається ст.15 Закону «Про охорону праці» та типовим положенням (№73 від 3.08.1993р.). Спеціально створений відділ охорони праці підчиняється безпосередньо керівнику виробництва , маючи відповідні обв'язки та права.

До обв'язків служби охорони праці на підприємстві входить:

- Організація управління охороною праці відповідно до прийнятої на підприємстві схеми, оформлення наказом відповідальних осіб на окремих виробничих дільницях;
- Створення схем та планів роботи з охорони праці та суворий контроль за їх дотриманням;
- Проведення паспортизації умов праці і санітарно-технічного стану виробничих підрозділів;

- Підготовка та проведення навчання працівників, розслідування причин та наслідків травматизму під час роботи, аналіз і їх облік, а також розробка заходів з метою їх недопущення.

Спеціаліст служби з охорони праці на виробництві у разі можливого знайдення порушень має право:

- Повідомляти керівників структурних підрозділів про обов'язкові для виконання приписи, щодо виявлення видимих недоліків, а також потребувати від них необхідні пояснення з питань охорони праці;
- Надавати керівнику цеху матеріали про відсторонення від праці осіб, які не виконують або порушують нормативно-правові акти з охорони праці, які не пройшли медичний огляд, а також працівники які не мають допуску до відповідної роботи;
- Призупиняти роботу обладнання, механізми або інших засобів, що створюють загрозу здоров'ю чи життю працівників.

Також до обов'язків відділу охорони праці входить розробка і виконання заходів, що забезпечують безпечну працю, удосконалення засобів захисту працівників, а також контроль за виконанням правил і нормативно-правових актів.

4. Фінансування охорони праці на підприємстві

Фінансування заходів з охорони праці регламентується ст.21 Закону України «Про охорону праці».

Для приватного підприємства ТОВ «Інтерагропак» м. Київ підтримка заходів з охорони праці має становити не менше ніж 0,5% від фонду оплати праці.

Крім цього, до державних, регіональних і галузевих фондів надходять кошти, отриманні від застосування до підприємств штрафів за не виконання нормативних актів та правил про охорону праці, за не дотримання розпоряджень керівних осіб органів Держнагляд охорон праці з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, за нещасні випадки на виробництві та випадки професійних захворювань, що появились за час роботи на виробництві, а також штрафів, покладених на керівні особи органів державного нагляду за охороною

праці з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища. Розділення коштів, що отримані від застосування санкцій, виконується так: 50% від загальної суми штрафу передається до фонду охорони праці, по 25% до регіонального і галузевого фондів.

Основні напрями куди надходять кошти:

- На знаходження факторів та причин, які призводять або в майбутньому можуть привести до погіршення умов праці працівників.
- Вибір пріоритетних напрямків, що дозволяють в короткі терміни, з найменшими витратами забезпечити максимально можливе поліпшення умов безпеки.
- Розробка і реалізація відповідних організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних, лікувально-профілактичних, соціально-економічних заходів.

5. Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів, що виникають при експлуатації ножового пристрою

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів, що виникають при експлуатації ножового пристрою, говорить про те, що обладнання для подрібнення, як і будь-яке інше обладнання, незалежно від того, в якій країні експлуатується, повинно відповідати вимогам міжнародних норм і стандартів, в першу чергу стандартів, що регламентують безпеку проведення робіт.

На рис.1 показана схема ножового пристрою.

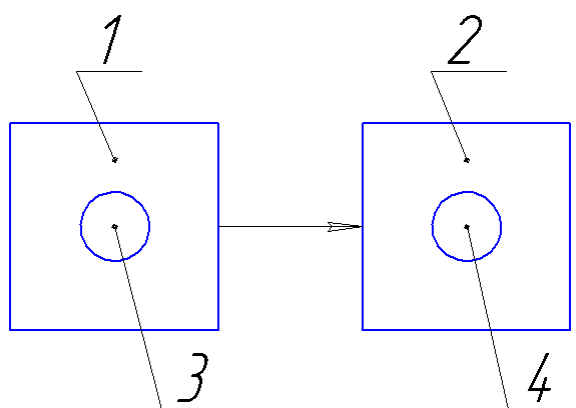


Рис.1 Схема ножового пристрою:

- 1 – підвідний конвеєр;
- 2 – ножовий пристрій;
- 3, 4 – шкідливі фактори (рухомий елемент, шум, вібрація, запиленість).

Шкідливі фактори, що виникають при роботі ножового пристрою:

- Шум;
- Вібрація;
- Запиленість;
- Наявність рухомого елемента (шків клинопасової передачі).

5.1. Мікроклімат виробничого приміщення

Головними чинниками, які створюють мікроклімат приміщення є: вологість повітря, температура, швидкість руху. Нормовані параметри мікроклімату в приміщенні встановлюються з урахуванням наявних там тепло-надлишків залежно від пори року і робіт за енегровитратами.

Ножовий пристрій обслуговує один спеціаліст – оператор.

Табл.11.1 Норми мікроклімату виробничих приміщень

Професія	Сезон року	Категорія робіт	Температура, °C		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
			Допустима	Фактична	Допустима	Фактична	Допустима	Фактична
Оператор	Холодний і перехідний періоди року	середньої тяжкості	20-24	21-24	75	65	0,2	0.1-0.12
	Теплий період року	середньої тяжкості	21-28	26-30	60	55	0.1-0.3	0.15-0.2

Умови внутрішнього середовища виробничих місць, які можуть впливати на тепловий обмін робочих шляхом кондукції, конвекції, теплового випромінювання та випаровування вологи, що наведені у постанові "Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень(ДСН 3.3.6.042-99)" від 01.12.99N 42.

Одним з найефективнішим засобом нормалізації повітря у приміщенні є вентиляція.

Вимоги до вентиляції:

- Кількість повітря , що надходить за одиницю часу має відповідати кількості витяжного повітря.
- Розташування припливних та витяжних завіс. У приміщенні, де концентрація шкідливих речовин у повітрі більша туди подається свіже повітря.
- Вентиляція не повинна вливати на перегрівання або охолодження робочого обладнання.
- Вентиляція має бути пожежовибухобезпечною.

Ножовий пристрій має місцеву витяжну вентиляцію, приміщення загальнообмінну припливно-витяжну вентиляцію.

5.2.Запиленість виробничого приміщення

При експлуатації ножового пристрою для попереднього подрібнення ПЕТ відходів рівень запиленості буде дуже низьким. Так, як поліетилентерифталат не є крихким матеріалом і під час його подрібнення практично не утворюється пил. ГОСТ 12.1.005-76 ССБТ “Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования. ” та ГОСТ 12.1.016-79 ССБТ “Воздух рабочей зоны. Требования и методика измерения концентрации вредных веществ”.

5.3.Шумове забруднення виробничого приміщення

Подрібнення матеріалів ножовими пристроями приводить до утворенням значного шумового забруднення, яке виникає при подрібненні часток матеріалу і вібрацій вузлів та деталей. Нормовані параметри шума на робочих місцях визначені ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ.Шум.Общие требования безопасности» з доповненнями в 1989р. і Санітарними нормами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки ».

Існує два методи зменшення шумового впливу на персонал :

- зменшення шуму, що з'являється при роботі з обладнанням;
- боротьба з проникністю шуму.

У першому методі, на етапі розробки конструкції обладнання: вибирають оптимальну товщину стінок, підсилюють ізолюючі елементи, використовують еластичні з'єднання окремих деталей з корпусом, ножові пристрої встановлюють на пружних елементах. Під час експлуатації машини: проводиться своєчасне змащування поверхонь, які труться, проводять планову заміну підшипників і усунення поломок.

У другому методі застосовують звукоізолюючі огорожуючі конструкції, розміщують обладнання в окремих приміщеннях, пульти керування і робочі зони не встановлюють в безпосередній близькості з машиною.

А також необхідно використовувати засоби індивідуального захисту.

5.4.Вібрація

При роботі обладнання для подрібнення, як і при роботі будь-якого іншого обладнання виникають вібрації. Основним джерелом вібрації можуть виступають, двигуни, окремі вузли так і машина в цілому.

Гігієнічне нормування вібрації регламентує параметри виробничої вібрації і правила роботи з обладнанням, що є джерелом вібрації, ГОСТ 12.1.012-2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования».

При роботі ножового обладнання на фундамент передаються велике горизонтальне динамічне навантаження, що є небезпечним для будівельних конструкцій. Тому фундамент ножових пристроїв виготовляють з монолітного залізо-бетону.

Вібробезпечні умови праці забезпечуються:

- застосуванням вібробезпечних машин;
- застосуванням засобів віброзахисту, що знижують дію на працюючі машини на шляху розповсюдження вібрації (віброгасіння, віброізоляція, вібродемпферування);

- проектними рішеннями технологічних процесів та промислових приміщень, які забезпечують гігієнічні норми вібрації на робочих місцях;
- організаційно-технічними заходами;
- використанням засобів індивідуального захисту (спеціальні костюми, рукавиці, наколінники, спеціальне взуття пояси, нагрудники)

5.5. Освітлення виробничого приміщення

Фактором, що визначає сприятливі умови праці, є розумне освітлення робочої зони і робочих місць. Потрібно правильно розрахувати і підібрати освітлення виробничих приміщень, очі працівника протягом тривалого часу зберігають здатність добре розрізняти предмети і знаряддя праці. Дане освітлення сприяє зниженню виробничого травматизму і професійного захворювання очей.

Природне освітлення виробничих приміщень можна здійснити світлом неба або прямим сонячним промінням через світлові отвори (вікна) в зовнішніх стінах або через світильники (аераційні, зенітні), що встановлені на покрівлях виробничих будівель. Існують наступні види природного освітлення в залежності від вимог технологічного процесу можуть:

- бокове одностороннє або двостороннє - коли вікна знаходяться в одній або в двох зовнішніх стінах;
- верхнє, коли світильники знаходяться у верхньому перекритті будівлі;
- комбіноване, коли одночасно передбачене бокове і верхнє освітлення.

Відповідно до вимог ДБН В.2.5.-10-2006 "Природне і штучне освітлення. Норми проектування", в приміщеннях, де є постійним перебуванням людей, необхідно передбачати природне освітлення.

Табл.11.3 Норми штучного та природного освітлення виробничих приміщень

(витяг з ДБН В.2.5.-10-2006"Природне і штучне освітлення. Норми проектування")

Оператор машини токарної	Професія	Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розпізнання, мм	Розряд зорової роботи	Штучне освітлення		Природне освітлення		Суміщене освітлення			
					Освітленність, лк		КПО, %					
					При ком. освітленні	При загал. освітленні	При верх. чи ком. освітленні	При бок. освітленні	При верх. чи ком. освітленні	При бок. освітленні		
			1 - 5	V	300-200	200-100	3	1	1,8	0,6		

В якості джерел штучного освітлення найчастіше використовують лампи розжарювання та газорозрядні лампи. Газорозрядні лампи внаслідок електричного розряду в середовищі інертних газів і парів металу та явища люмінесценції випромінюють світло оптичного діапазону спектру. Лампи розжарювання належать до теплових джерел світла. Під дією електричного струму нитка розжарювання (вольфрамовий дріт) нагрівається до високої температури і випромінює потік променевої енергії.

5.6.Випромінювання.

Згідно з ГОСТ 12.4.113-82 рівень іонізуючих випромінювань на робочих місцях в цеху по потужності поглиненої дози не повинен перевищувати 0,0005 Гр/рік.

6.Техніка безпеки при обслуговуванні обладнання

Безпечна робота реалізується шляхом дотримання вимог нормативних документів про охорону праці. Підприємство, що експлуатує даний пристрій, назначає відповідальних за безпечне виконання робіт.

Перед початком роботи необхідно перевірити:

- відсутність сторонніх предметів на елементах роторно-ножового пристрою;
- наявність захисного кожуха на елементах пристрою, що обертаються і надійного його закріплення;
- електропроводку на наявність пошкоджень;
- відсутність посторонніх предметів на робочих органах пристрою;
- відсутність механічних пошкоджень на валах і робочих органах;
- наявність заземлення.

В конструкції ножового пристрою повинен бути передбачений запобіжний пристрій вимикання електродвигуна в випадку заклинювання елементів, що обертаються. Кнопка вимикання повинна бути позначена червоним кольором.

Забороняється:

- запускати ножовий пристрій при наявності посторонніх предметів на робочих органах;
- завантажувати в пристрій матеріал з міцністю вище допустимої;
- до досягнення максимального числа обертів пристроєм, завантажувати матеріал;
- під час роботи ножового пристрою, проводити ремонтні роботи;
- запускати пристрій під час проведення ремонтних робіт і обслуговування;
- проводити ремонт ножового пристрою персоналом, що не має певної категорії допуску;
- запускати пристрій при виявленні дефектів до їх усунення.

7.Електробезпека

Згідно з ПУЕ приміщення відноситься до класу П-Іа — це приміщення, де горючі речовини знаходяться у твердому або волокнистому стані без виділення пилу й волокон (ПЕТ). Усі приміщення цеху мають відповідати вимогам електробезпеки при роботі з електрообладнанням по ГОСТ 12.1.019-79.

1) Все електроустаткування з напругою більше 36 В, а також обладнання і механізми, які можуть опинитися під напругою, повинні бути якісно та надійно заземлені.

2) Для відключення електромереж на входах повинні бути аварійні вимикачі або інші доступні пристрої. Відключення всього ланцюга мережі, за винятком чергового освітлення проводиться одним або парою загальних рубильників.

3) З метою запобігання травм , забороняється:

- Використовувати несправні електричні прилади і установки;
- Перевантажувати електромережу;
- Переносити і залишати без нагляду включені електроприлади;
- Працювати біля відкритих частин електроустановок, доторкатися до них;
- Захаращувати підходи до електричних пристроїв.

4) Про всі виявлені дефекти в ізоляції проводів слід негайно повідомити електрика.

5) У разі різкої нестачі електроенергії, електроприлади повинні бути негайно відключені.

6) Недозволяється використання у межах розташування одного робочого місця електроприладів класу «0» і заземленого електроустаткування.

7) Категорично забороняється торкатися до корпусу пошкодженого приладу або струмоведучих частин з порушеною ізоляцією і одночасно до заземленого устаткування (інший прилад з справним заземленням, водопровідні труби, опалювальні батареї), або торкатися ушкодженого приладу, стоячи на вологій підлозі.

8) При травмуванні електричним струмом необхідно якомога бистріше звільнити потерпілого від ураження електричного струму, вимкнувши електроприлад, до якого торкається потерпілий. Відключення проводиться за допомогою виключателя або рубильника.

9) Якщо неможливо швидко вимкнути електроприлад, то тоді необхідно звільнити потерпілого від струмопровідних частин дерев'яним, гумовим або іншим предметом що не проводить струм.

10) Випадках ураження електричним струмом завжди необхідно викликати лікаря.

8. Пожежна безпека.

За вибухо-пожежною небезпекою приміщення відноситься до категорії В-пожежо небезпечне. Усі приміщення цеху повинні відповідати вимогам пожежної безпеки по ГОСТ 12.1.004-91 і мати засоби пожежогасіння за ГОСТ 12.4.009-83.

1) Приміщення має бути оснащеним пожежними кранами (не менше одного на поверх) з протипожежними рукавами. У кожному робочому приміщенні має бути розміщені вогнегасники, пісок і інструменти.

2) У кожному цеху на видному місці має бути зображений план евакуації працівників у разі виникнення пожежі.

3) Розпорядженням по цеху з числа співробітників призначається група (3 - 5 чоловік), яка займається всіма протипожежними заходами, заделегіть пройшовши інструктаж та навчання місцевої пожежної команди.

4) Всі працівники виробничого цеху мають бути ознайомленні з правилами поведінки з вогнебезпечними та вибухонебезпечними речовинами, газовими приладами, і також повинні вміти користуватись протипожежним, вогнегасником та іншими засобами пожежогасіння, які розміщені в цеху.

5) У приміщеннях цеху і в безпосередній близькості від них (в коридорах, під сходами) забороняється розміщувати та зберігати горючі матеріали встановлювати габаритні предмети, загороджувати доступ до засобів пожежогасіння.

6) Без дозволу начальника цеху та особи, відповідальної за протипожежні заходи, забороняється установка нагрівальних приладів, пуск їх в експлуатацію, заміна електропроводки.

7) Нагрівальні прилади мають бути розміщені на термоізолюючих підставках.

8) Забороняється використання пошкоджених або несправних нагрівальних приладів.

9) Після закінчення роботи необхідно вимкнути всі комунікації (електроенергію, воду, газ у всіх робочих приміщеннях).

10) Працівники цеху, які помітили задимлення, пожежу або інші ознаки пожежі зобов'язані:

- Першочергово викликати пожежну бригаду по телефону;

- Вжити заходів з запобігання поширення вогню та ліквідації пожежі;

- Повідомити керівника цеху, який в свою чергу повинен донести до відома всіх працівників, вжити заходів до евакуації та ліквідації пожежі.

Запаси води при гасінні пожежі на протязі 3-ьох годин розраховуються за формулою, м³:

$$Q=3 \cdot 3600(n_1+n_2)/1000 \approx 11(5+15)=220 \text{ (м}^3\text{)},$$

де 3600 і 1000 - переводні коефіцієнти відповідно годин - в секунди і літрів - в м³; n₁ - потреба води на внутрішнє (5 л/с) і n₂ - зовнішнє пожежегасіння (15 л/с). При об'єднанні пожежного водопроводу із промислово-питним водопроводом розрахункова потреба води на пожежу сумується з максимальною кількістю води, що витрачається на виробничі потреби.

9.Висновки

З сучасними темпами розвитку науки та суспільства виникає потреба в підвищенні рівня безпечної роботи та зниженні всіх можливих ризиків що наражають працівників та навколишнє середовище на небезпеку.

Розглянувши і проаналізувавши стан питання можна прийти до висновку, що незадовільний рівень охорони праці пов'язаний наступними причинами:

- незадовільною підготовкою робітників і роботодавців з питань охорони праці;
- відсутністю належного контролю за станом безпеки на робочих місцях та виконанням встановлених норм;
- недостатнім забезпеченням працюючих засобами індивідуального захисту;
- повільним впровадженням засобів та приладів колективної безпеки на підприємствах;
- спрацьованістю засобів виробництва.

Висновки:

Розвиток пакування харчових продуктів у ПЕТ-тару призвів до накопичення великої кількості відходів, тому актуальним є питання вторинної їх переробки. Так як структура ПЕТ-пляшки є неоднорідною, для отримання якісної вторинної сировини, краще переробляти її частини окремо. Існуюче на даний час обладнання не справляється з цією задачею. Для вирішення даної задачі було розглянуто та дослідженого конструкцію пристрою для грубого подрібнення ПЕТ-пляшки з одночасним відділенням горловини і днища. Для встановлення залежностей між фізико-механічними властивостями ПЕТ і технологічними параметрами процесу різання, проводились дослідження процесу подрібнення ПЕТ-пляшки методом різання. На основі виконаної роботи можна зробити висновки:

- Був проведений аналіз характеристик відходів ПЕТ-пляшок як вторинної сировини. Розглянуті способи подрібнення полімерних відходів. Проведений літературний огляд конструкцій роторно-ножових дробарок і їх робочих органів (ножів і їх кріплень).

- На основі зробленого огляду була досліджена конструкція ножового пристрою для подрібнення ПЕТ-пляшки з одночасним відділенням горловини і днища. Розроблена конструкція робочих органів (ножів) дробарки.

- Розроблена математична модель процесу подрібнення ПЕТ-пляшки методом різання для запропонованої конструкції ножового пристрою.

- Досліджена експериментальна установка для дослідження процесу подрібнення;

- Проведені досліді та опрацьовані результати. Отримані математичні залежності механічних властивостей матеріалу від технологічних параметрів процесу подрібнення.

- Розроблене креслення запропонованої конструкції з урахуванням результатів аналітичних досліджень по розробленню математичних моделей.

Використана література

1. Якимчук, М. В. Обладнання для переробки використаної упаковки [Текст] : конспект лекцій для студ. спец. 6.090200 "Машини і технології переробки використаної упаковки" ден. форми навч. / М. В. Якимчук, А. П. Беспалько ; Нац. ун-т харч. технол. — К. : НУХТ, 2009. — 78 с
2. Процеси та апарати ресурсозберігаючих технологій переробки упаковки [Електронний ресурс] [Текст] : конспект лекцій для студ. напряму підготов. 6.050502 "Інженерна механіка" проф. спрям. "Машини і ресурсозберігаючі технології переробки упаковки" ден. форми навч. / уклад. В. С. Костюк. — К. : НУХТ, 2014. — 84 с
3. Костюк, В. С. Фізико-хімічні властивості пакувальних матеріалів [Текст] : курс лекцій для студ. спец. 6.090200 "Машини і технології переробки використаної упаковки", "Машини і технологія пакування" ден. форми навч. / В. С. Костюк ; Нац. ун-т харч. технол. — К. : НУХТ, 2009. — 182 с.
4. Пакувальні матеріали та їх фізико-хімічні властивості [Текст] : підручник / А. І. Соколенко, В. С. Костюк, К. В. Васильківський та ін. ; Нац. ун-т харч. технол. — К. : Кондор, 2015. — 396 с.
5. Енерго-і ресурсоощадні технології [Текст] : конспект лекцій для студ. напряму підготовки 0917 "Харчова технологія та інженерія" для ден. та заоч. форм навч. / О. О. Серьогін, О. О. Осьмак, О. О. Твердохліб, Д. В. Риндюк ; Нац. ун-т харч. технол. — К. : НУХТ, 2011. — 71 с.
6. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности — М.: Химия, 1968. — 84 с.
7. Кауш Г.Н. Разрушение полимеров — М.: Мир, 1981. - 440с.
8. Зуев Ю.С. Разрушение эластомеров в условиях, характерных для эксплуатации — М.: Химия, 1980.
9. Огибалов П.М. Механика полимеров — М.: Изд. МГУ, 1975. - 528с.
10. Лукомская А.И. Основы прогнозирования механического поведения резин и каучуков — М.: Химия, 1975. - 360с.

- 11.Бартенев Г.М. Прочность и механизм разрушения полимеров— М.: Химия, 1984. - 290с.
- 12.Образцов И.Ф. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов : учеб. Пособие для студентов авиац. спец. вузов / И.Ф. Образцов, Л.М. Савельев, Х.С. Хазанов – М.: Высш. Шк., 1985.
- 13.Бартенев Г.М. Физика и механика полимеров – М.: Высшая школа, 1983.
- 14.Аскадский А.А. Деформация полимеров – М. : Химия, 1973. – 448 с.
- 15.Виноградов Г.А., Малкин А.Я. Реология полимеров. - М.: Химия, 1974.
- 16.Домбровский Н.Г., Гальперин М.И. Строительные машины, – М., 1985.
- 17.Сергеев В.П. Строительные машины и оборудование: Учеб.для специальности «Строительные машины и оборудование», – М., 1987.
- 18.Фиделев А.С., Чубук А.Ф. Строительные машины, - К., 1979. –336с.
- 19.Горобовец М.Н. Строительные машины. – М., 1991. – 493с.
- 20.Косарев А.И., Муйзимнек Ю.А. Дробилки конструкция, расчеты та особенности эксплуатации. М. – 1990. –320с.
- 21.Гальперин М.И., Домбровский М.Г. Строительные машины, - М., 1980. – 344с.
- 22.Волков М.П. Строительные машины, - М., 1988. –319с.
- 23.Технология пищевого машиностроения / Г.А. Прейс, А. И.Безыкорнов. – К.: Вища шк. Головное издательство, 1987. – 287с.
24. Фиделев А.С., Чубук А.Ф. Строительные машины, - К., 1979. –336с.
- 25.Косарев А.И., Муйзимнек Ю.А. Дробилки конструкция, расчеты та особенности эксплуатации. М. – 1990. –320с.
- 26.Бауман, В.А. Роторные дробилки / В.А., Бауман. – М. : Машиностроение, 1973. – 352 с.
- 27.Пронин, Б.А., Ревков, Т.А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи / Б.А., Пронин, Т.А., Ревков. – М. : Машиностроение, 1984. – 183 с.
- 28.Киркач Н.Ф., Баласанян Р.А. Расчет и проектирование деталей машин. – Х.:Основа, 1991. – 276.
- 29.Місяць В.П. Аналітичне визначення складових видів деформації полімерів при подрібненні // Вісник КНУТД. - 2007. - № 4. - С. 27-31.

Додатки