

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

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

### Розробка пристрою для переробки волокнистих та текстильних відходів

Назва теми

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма Електропобутова техніка


Шифр БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 5 курсу  
група ЕТз-19-1

  
Підпис

В.С. Дегтяренко  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

О.М. Синюк  
Ініціали, прізвище

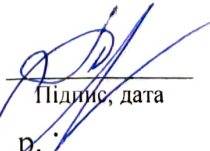
Нормоконтролер

  
Підпис, дата

О.С. Поліщук  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри МАЕЕС

  
Підпис, дата

О.С. Поліщук  
Ініціали, прізвище

11 06 2024 р.

Хмельницький 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр і назва

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

д.т.н., проф. Поліщук О.С.

17 . [Підпис] . 2024р.

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дегтяренко Володимира Сергійовича

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка пристрою для переробки волокнистих та текстильних відходів

керівник роботи Синюк Олег Миколайович, д.т.н., професор

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

Затверджено наказом ректора університету від \_\_\_\_\_ 202\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи на кафедру \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи технічні характеристики пристроїв для переробки відходів легкої промисловості

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

Вступ. 1. Загальна характеристика пристрою. 2. Дослідження процесу деформування і руйнування матеріалів та окремих волокон. 3. Математичне моделювання процесу руйнування волокнистих матеріалів під дією голкофрезового робочого органу. 4. Розрахунки основних елементів конструкторії. Перелік джерел посилання.

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

1. Огляд пристроїв для переробки відходів (ДО, А1). 2. Пристрій для подрібнення волокнистих матеріалів (СК1, А1). 3. Рама (СК2, А1).

4 Деталювання кришки (А3), осі (А3), головного валу (А3), шківу (А3).

5. Аналітичне дослідження подрібнюючих можливостей голкофрезового обладнання.

### 6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
<u>1. Огляд пристроїв для переробки відходів. Загальна характеристика пристрою</u>	до 20.05.24р.	
<u>2. Дослідження процесу деформування і руйнування матеріалів та окремих волокон</u>	до 24.05.24р.	
<u>3. Математичне моделювання процесу руйнування волокнистих матеріалів під дією голкофрезового робочого органу</u>	до 05.06.24р.	
<u>4. Розрахунки основних елементів конструкції.</u>	до 10.06.24р.	
<u>5. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу</u>	до 17.06.24р.	

Студент

  
Підпис

В.С. Дегтяренко

Ініціали, прізвище

Керівник роботи

  
Підпис

О.М. Синюк

Ініціали, прізвище

# АНОТАЦІЯ

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

1. Прізвище, ім'я та по батькові Десяренко Володимир Сергійович

2. Тема бакалаврської роботи Розробка системи керування стендом для дослідження механічних характеристик швейних машин

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

4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 5 арк. (A1), сторінок записки 45.

5. Важливе значення при переробці відходів волокнистих і текстильних матеріалів у виробі надається збереженню у майбутньому виробі потрібних фізико-механічних властивостей. Прогресивнішою технологією переробки відходів шкіри є механічна технологія, яка простіша, економніша і продуктивніша за інші існуючі технології, в тому числі "хімічну". При механічних технологіях велику цінність мають довгі волокна. Використання довгих волокон дозволяє також поліпшити фізико-механічні властивості виробів – пружність, еластичність, опір стиранню. Існуючі сьогодні механічні технології і обладнання, основані на механічному розмелі відходів, внаслідок якого відбувається руйнування матеріалу за рахунок масового дроблення пучків волокон, практично вичерпали себе. Для одержання з відходів шкіри довгих волокон, з яких виробляються штучні матеріали високої якості, шкіру слід не розмелювати, а розволокнювати. Саме пошуку сучасних способів розволокнення структури шкіряних відходів та розробці пристроїв для переробки волокнистих та текстильних відходів. В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам. В першому розділі проведено аналіз пристроїв для переробки відходів та наведена загальна характеристика цих пристроїв. В другому розділі проведено дослідження процесу деформування і руйнування матеріалів та окремих волокон. В третьому розділі виконане математичне моделювання процесу руйнування волокнистих матеріалів під дією голкофрезного робочого органу. У четвертому розділі проведені розрахунки основних елементів конструкції пристрою.

Підпис студента   
" 17 " 06 2024 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол №1 від " 28 " 06 2024 р.



Оцінка проекту ЕК добре 10  
Рекомендації ЕК \_\_\_\_\_

Особливі відмітки \_\_\_\_\_  
Технічний секретар 

" 28 " 06 2024 р.

## ЗМІСТ

	с.
ВСТУП .....	6
1 АНАЛІЗ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ТА ЇХ ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА.....	7
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДЕФОРМУВАННЯ І РУЙНУВАННЯ ВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ОКРЕМИХ ВОЛОКОН.....	11
2.1 Процес деформування волокнистих матеріалів.....	11
2.2 Аналітичне дослідження процесу руйнування волокнистого матеріалу під дією голкофрезового робочого органа .....	14
2.2.1 Аналітичне дослідження руху елемента шару волокна під дією голкофрези .....	16
2.2.2 Дослідження швидкості і прискорення елемента шару волокна при взаємодії з голкофрезою.....	20
2.2.3 Аналітичне дослідження зміни пружного стану волокна при подрібненні матеріалу в голкофрезових подрібнювачах.....	23
3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РУЙНУВАННЯ ВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ДІЄЮ ГОЛКОФРЕЗОВОГО РОБОЧОГО ОРГАНА.....	26
3.1 Опис математичної моделі процесу руйнування волокнистих шкіряних та текстильних матеріалів в голкофрезових подрібнювачах.....	26
3.2 Аналітичне дослідження подрібнюючих можливостей голкофрезового обладнання .....	29
3.3 Визначення потужності, що витрачається на подрібнення волокнистого матеріалу.....	33
4 РОЗРАХУНКИ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ.....	36
4.1 Розрахунок вала.....	36
4.2 Розрахунок шпонкового з'єднання .....	37
4.3 Розрахунок потужності двигуна.....	38
ВИСНОВКИ.....	40
ЛІТЕРАТУРА .....	41
ДОДАТОК.....	42

БРМА 24.00.00.000 ПЗ									
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка пристрою для переробки волокнистих та текстильних відходів	Літ.	Арк.	Аркушів	
		Дегтяренко В С				5	5	45	
		Синяк О М					ХНУ, зр.ЕТЗ-19-1		
		Реценз							
		и Контр							
		Затверд							

## ВСТУП

Сучасний стан розвитку легкої промисловості потребує впровадження нових технологій інтенсифікації виробничих процесів для швидкого поліпшення якості продукції, її кількості та асортименту.

Розвиток виробництва веде до збільшення кількості відходів, які через малу площу поверхні не використовуються за прямим призначенням, і перед підприємствами постає проблема утилізації та переробки відходів виробництва. Причому проблема відходів має не тільки економічне, але і екологічне значення, так як недосконалі технології утилізації практично усіх видів відходів ведуть до забруднення навколишнього середовища. Основними відходами підприємств легкої промисловості є текстиль, натуральні та штучні шкіри, хутро та комбінації з цих матеріалів. Ці відходи дуже погано піддаються природним процесам розпаду, а деякі з них зовсім не піддаються, і при їх спаленні забруднюється навколишнє середовище.

В наш час в усіх галузях виробництва набувають все більшого використання вироби з комбінованих та дубльованих матеріалів. Деталі із цих матеріалів виготовляються шляхом розкрою листових заготовок, після чого залишається велика кількість відходів, які в подальшому не використовуються, тому що існуючі технології та обладнання не дозволяють переробляти комбіновані і дубльовані відходи.

Відомі технології дозволяють подрібнювати відходи за допомогою різноманітних механічних пристроїв, і подальше використання подрібнених відходів залежить від ступеня їх дисперсності.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 АНАЛІЗ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ТА ЇХ ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

Пристрій, що проектується, відноситься до текстильної промисловості, зокрема до пристроїв для переробки матеріалу переважно текстильного з хімічних волокон та шкіряного, і дозволяє підвищити ефективність розщеплення матеріалу. Текстильний матеріал, що представляє собою обрізки тканин і трикотажу, у подрібненому вигляді подаються в зону робочої камери. Шкіряний матеріал являє собою частини шкіри хромового, танідного і хромтанідного дублення. Тут під впливом голкофрези обрізки тканини і шкіри частково подрібнюються і розщеплюються на окремі нитки і волокна і відкидаються до периферії робочої камери, де розщеплюються, додатково вдаряючись об робочі кромки рифлів.

В зв'язку з тим, що дана робота присвячена утилізації відходів текстильних та полімерних матеріалів, то для спрощення подальшого аналізу пристроїв необхідно визначити з загальної кількості органів, що руйнують, ті, які дозволяють найбільш ефективно перероблювати текстильні та полімерні матеріали. Проаналізувавши можливості обладнання, було визначено, що пристрої для утилізації без тіл, які руйнують, а також з вільними тілами які руйнують, не дозволяють ефективно переробляти відходи легкої промисловості тому, що використані в них фізичні ефекти не дозволяють враховувати фізико-механічні властивості волокнистих матеріалів, і це приводить до великих питомих витрат енергії. Тобто, для утилізації цих матеріалів ефективніше застосовувати подрібнювачі з закріпленими тілами, які подрібнюють.

Одним з найбільш вживаних методів подрібнення є різання. При механічному подрібненні відходів більша частина енергії витрачається на пружне деформування. Таким чином, з точки зору економії енергії, утилізацію відходів слід проводити в умовах, при яких матеріал менше деформується. Так при руйнуванні відходів легкої промисловості різанням

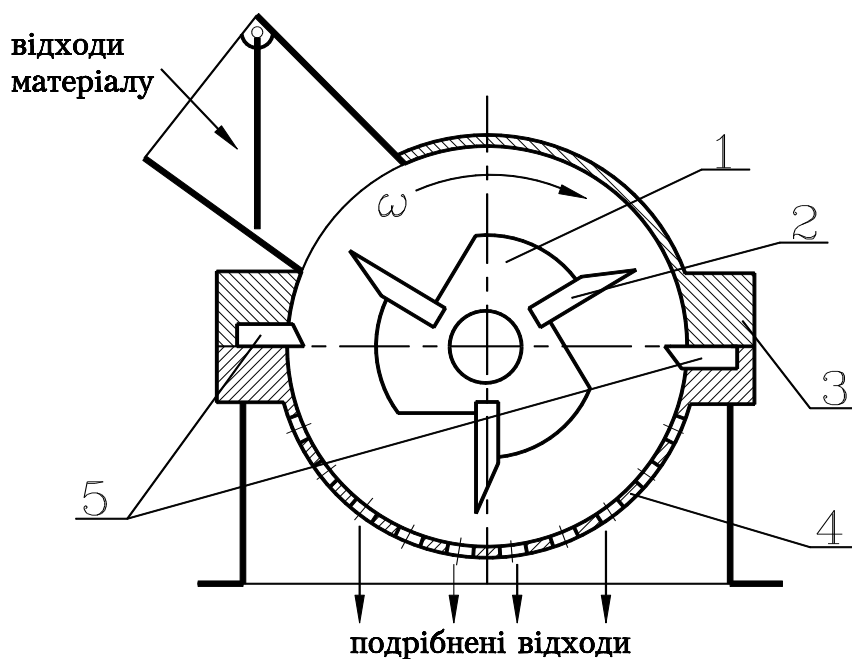
					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частина матеріалу, що знаходиться в складно напруженому стані, порівняно невелика та зосереджена поблизу ріжучої кромки ножа, внаслідок чого робота руйнування при різанні значно менша.

Переваги різання забезпечили розширення області застосування пристроїв ріжучої дії. В залежності від умов навантаження розділяють різання з контрножем (зосереджене) та без контрножа (незосереджене).

Незосереджене різання застосовують для розділу на частини великогабаритних матеріалів. Пристрій може бути виконаний у вигляді обертового багатолезового ножа, або ніж закріплений стаціонарно, а обертається матеріал, що перероблюється [1].

Зосереджене різання матеріалів застосовується в роторних ножових пристроях (рис. 1.1) [2], в яких ножі розташовані в роторі та статорі.



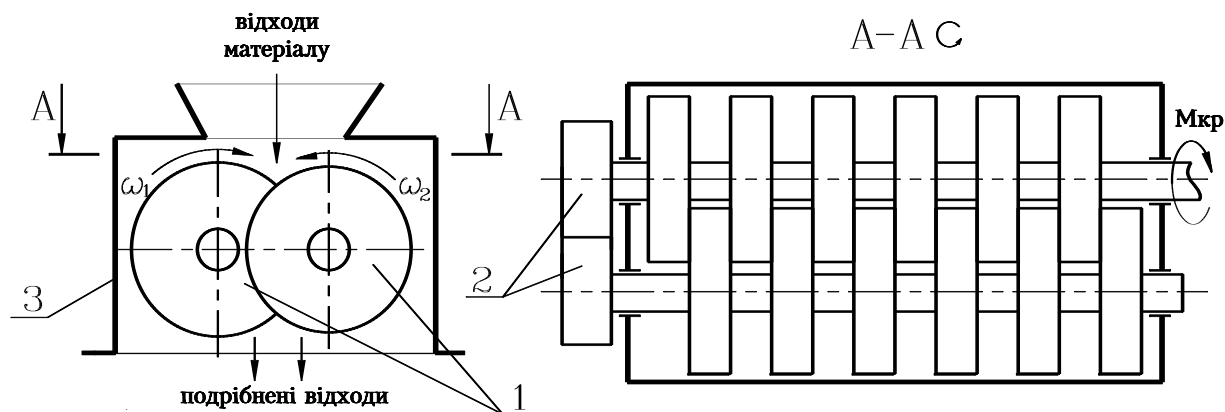
1 – ротор; 2 – ніж ротора; 3 – корпус; 4 – решітка; 5 – ножі статора

Рисунок 1.1 – Роторний ножовий пристрій для утилізації відходів

Для попередньої переробки текстильних матеріалів ефективними виявились машини з високошвидкісним різанням. Ці машини розрізняються різноманітною конструкцією ротора, розташуванням ножових елементів, способом завантаження матеріалу [3]. В наш час створена велика кількість

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

конструкцій комбінованих пристроїв, які використовують для попередньої переробки високошвидкісні ножові елементи. Пристрої цього типу добре зарекомендували себе при утилізації відходів легкої промисловості.



1 – диски; 2 – зубчата передача; 3 – корпус

Рисунок 1.2 – Дисконий подрібнювач для утилізації відходів

Для попереднього подрібнення широке застосування отримали валкові машини з наборами дисків, які мають ріжучі кромки різноманітних конструкцій (рис. 1.2) [3]. Ступінь подрібнення в цих машинах може бути підвищена при двостадійному подрібненні.

Основна мета розробки нашого пристрою – підвищення ефективності подрібнення матеріалу. Установка складається (рис. 1.3) із електродвигуна 1, валу 16, клинопасової передачі 2 і валу 5. Вал 5 закріплений в підшипниках 9, розміщених в барабані 7. В барабані зверху є загрузочний отвір 3, який закривається заслонкою 4, для подачі сировини в робочу камеру барабану 7. На валу 5 розміщені втулка 8, на якій розташована голкофреза 13 (рис. 1.3). Втулка закріплена з двох сторін шайбами 11 та 14 і гайками 15. Також, на дні установки знаходиться сито 12, через який отримуємо подрібнений перероблений матеріал. Рифлі виконані у вигляді трикутників (на рис. не показано), установлених на внутрішній поверхні паралельно її осі в робочій камері барабану 7. Барабан закріплений в рамі 10.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

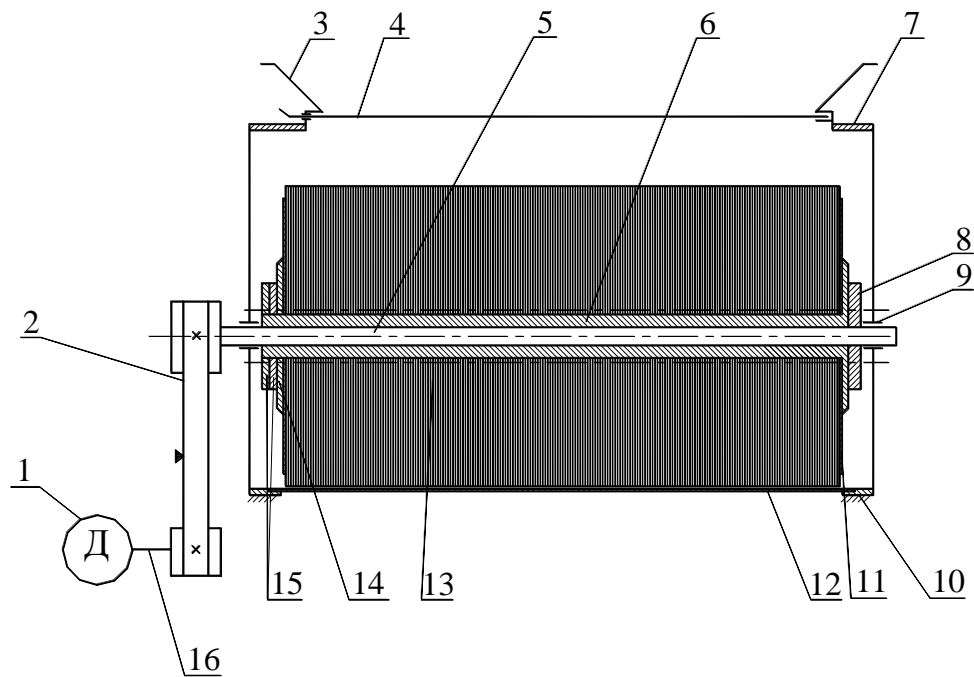


Рисунок 1.3 – Кінематична схема пристрою для подрібнення текстильних відходів

Пристрій працює таким чином.

Вторинні текстильні та шкіряні матеріали, що представляють собою обрізки тканин, трикотажу і шкіри низу та верху взуття у подрібненому вигляді (шматочків розмірами 40 - 60 мм), подаються в загрузочний отвір 3, який закривається заслонкою 4.

Через цей отвір, текстильні та шкіряні матеріали потрапляють у робочу камеру барабана 7. Тут, під впливом голкофрези 13 частково подрібнюються і розщеплюються на окремі нитки та волокна і відкидаються до периферії робочої камери, де розщеплюються, додатково вдаряючись об робочі кромку рифлей. Подрібнений матеріал випадає через сито 12.

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДЕФОРМУВАННЯ І РУЙНУВАННЯ ВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ОКРЕМИХ ВОЛОКОН

### 2.1 Процес деформування волокнистих матеріалів

При деформуванні волокнистих матеріалів та окремих волокон залежність напружень від величини відносної деформації нелінійна і описується нелінійними залежностями [4]:

$$\begin{cases} \sigma_x = f_1(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z); \\ \sigma_y = f_2(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z); \\ \sigma_z = f_3(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z), \end{cases} \quad (2.1)$$

де  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  – напруження;

$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$  – відносна деформація.

В нелінійно-пружних тілах зв'язок між напруженням і деформацією може бути визначено лише в диференціальній формі у вигляді рівнянь, що не інтегруються.

Розв'язок задачі про зв'язки між напруженнями і деформаціями для нелінійно-пружних тіл при простому навантаженні складний і навряд чи можливий в тому вигляді, в якому вимагається для прикладних задач.

Значне спрощення задачі досягається на основі ряду науково обґрунтованих гіпотез. Основні гіпотези, на базі яких можна встановити зв'язок між напруженнями і деформаціями для нелінійно-пружних тіл наступні:

– шаровий тензор деформації прямо пропорційний шаровому тензору напруження;

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- в кожній точці тіла девіатор напружень прямо пропорційний девіатору деформацій;
- інтенсивність напружень  $\epsilon$  визначена, і не залежить від виду напруженого стану, описується функцією інтенсивності деформацій:

$$\sigma_i = f(\epsilon_i). \quad (2.2)$$

Ця функція залежить тільки від властивостей матеріалу, тому що будь-який вид об'ємного напруженого стану як в зоні нелінійно-пружних деформацій, так і в зоні не пружних деформацій можливо привести до простіших видів навантаження, побудувавши криву  $\sigma_i = f(\epsilon_i)$  за результатами досліджень матеріалу на одновісний розтяг-стискання.

Вирази для інтенсивності деформацій та напружень відповідають аналогічним виразам для лінійно-пружних тіл, і в загальному вигляді складно-напруженого стану мають вигляд:

$$\begin{aligned} \epsilon_i &= \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\epsilon_x - \epsilon_y)^2 + (\epsilon_y - \epsilon_z)^2 + (\epsilon_z - \epsilon_x)^2 + \frac{3}{2} \cdot (\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2)}; \\ \sigma_i &= \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}, \end{aligned} \quad (2.3)$$

Як зазначалось раніше для проектування голкофрезного подрібнюючого обладнання необхідно дослідити процеси, що відбуваються в зоні подрібнення з врахуванням фізичних властивостей матеріалів.

Для аналітичного дослідження цих процесів необхідно розглянути історію деформування матеріалів і визначити властивості матеріалу. Так в каналі транспортування матеріал підлягає дії стискаючих деформацій, які виникають за рахунок звуження каналу, і для встановлення залежностей, які описують деформаційні властивості матеріалу, були проведені експериментальні дослідження на одновісний стиск дубльованих

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

волокнистих матеріалів, склад яких приведений в табл. 2.1. Отримані діаграми навантажень показані на рис. 2.2.

Апроксимація експериментальних кривих дозволила встановити, що шукані залежності найбільш точно описуються дробнораціональними функціями першого порядку:

$$\sigma_i = \frac{a_1 \varepsilon_i}{1 - a_2 \varepsilon_i}, \quad (2.4)$$

де  $a_1, a_2$  – константи, які залежать від властивостей матеріалу.

Таблиця 2.1 – Матеріали для дослідів

Назва матеріалу	Товщина, мм	Склад
Дубльований матеріал для верху взуття. Артикул 4В 14Дл	1,5	вовна – 28 %; лавсан – 45 %; волокно віскозне – 19 %; латекс – 3 %; прошивна нитка капрону – 5 %
Дубльований матеріал для верху взуття. Артикул 5С 5Дл	2,5	вовна – 14 %; лавсан – 60 %; волокно віскозне – 23 %; латекс – 3 %

Залишкова дисперсія між експериментальними і теоретичними даними, використовуючи метод найменших квадратів, не перевищувала 9 %.

Крім того необхідно розглядати окремо властивості елементарних складових, з яких утворюється волокнистий матеріал, тобто волокна, так як в зоні подрібнення відбувається взаємодія голок з окремими волокнами.

В подальшому розглянемо окремо властивості елементарних складових, з яких утворюється волокнистий матеріал, тобто волокна.

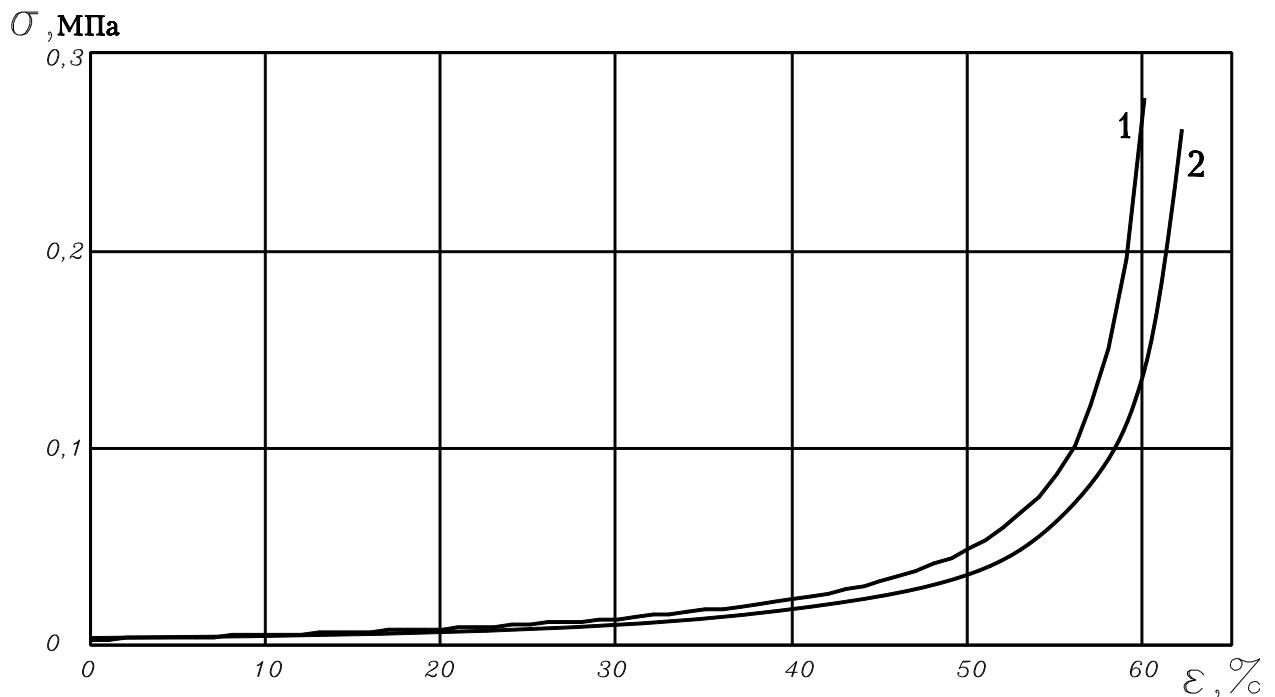


Рисунок 2.1 – Усереднена діаграма стиску волокнистого матеріалу 1 і 2 (табл.2.1)

В роботах [10, 12] приведені розривні характеристики волокон (розривне навантаження, розривне напруження, відносна деформація, робота розриву). Подібні характеристики доцільно використовувати для оцінки навантажень, які діють на окремі волокна в технологічних процесах. Їх також можна представити у вигляді залежностей  $\sigma_i = f(\varepsilon_i)$ .

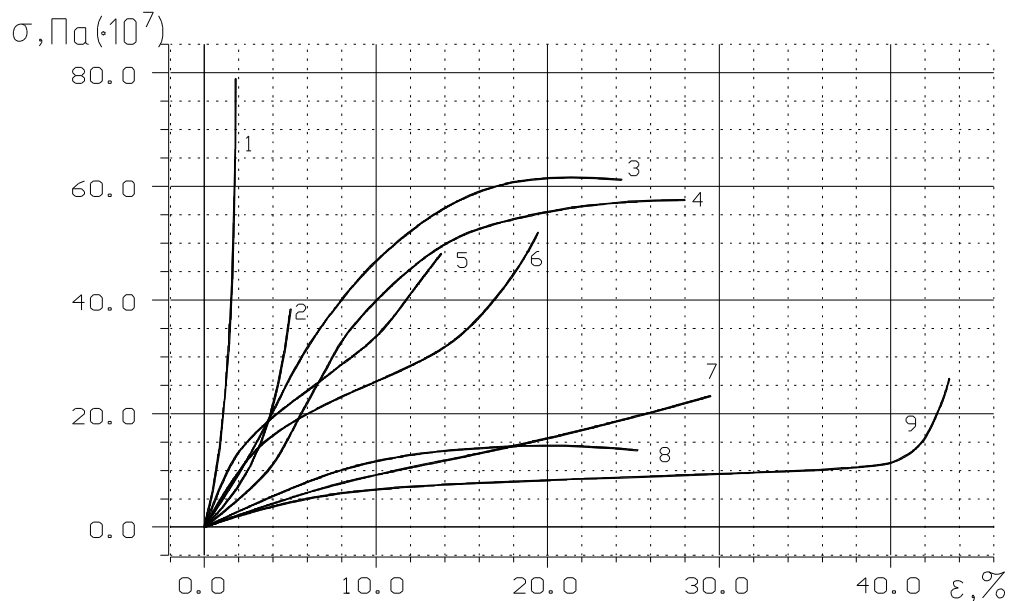
## 2.2 Аналітичне дослідження процесу руйнування волокнистого матеріалу під дією голкофрезного робочого органа

Розглянемо процес руху волокнистого матеріалу в зоні подрібнення, тобто в зазорі між вихідним отвором каналу транспортування і поверхнею голкофрези. Матеріал переміщується в зону подрібнення за рахунок напірного тиску, утвореного механізмом транспортування, і взаємодіє з робочою поверхнею голкофрезного барабана. Таким чином, окремі голки,

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

взаємодіють з волокнистим матеріалом, і тому для спрощення подальшого розгляду процесу подрібнення приймаємо наступні припущення:

1) окремі голки при взаємодії з волокнистим матеріалом руйнують волокна (руйнування відбувається за рахунок розтягу волокна), у яких обидва кінці защемлені або звільняють один кінець від зв'язків з іншими волокнами. Руйнування матеріалу за рахунок подачі, напірної сили та ущільнення матеріалу в каналі (рис. 2.3) не відбувається тому, що інтенсивність напруженого стану, що виникає, значно менша, ніж потрібна для руйнування різноманітних волокон при стисканні від 5 до 300 МПа [13]. Внаслідок цього в зоні контакту матеріалу з голкофрезою залишається велика кількість волокон, які закріплені з одного кінця. Ці волокна взаємодіють з голкофрезою (їх взаємодію можна розглядати як процес тріпання згідно зі схемою на рис. 2.4), і за рахунок сил, які перевищують граничні значення міцності матеріалу, вони руйнуються;



1 – льняне; 2 – бавовняне; 3 – лавсанове; 4 – капронове; 5 – віскозне зміцнене; 6 – нітронове; 7 – віскозне просте; 8 – ацетатне; 9 – тонка вовна

Рисунок 2.3 – Характеристики розтягу волокон

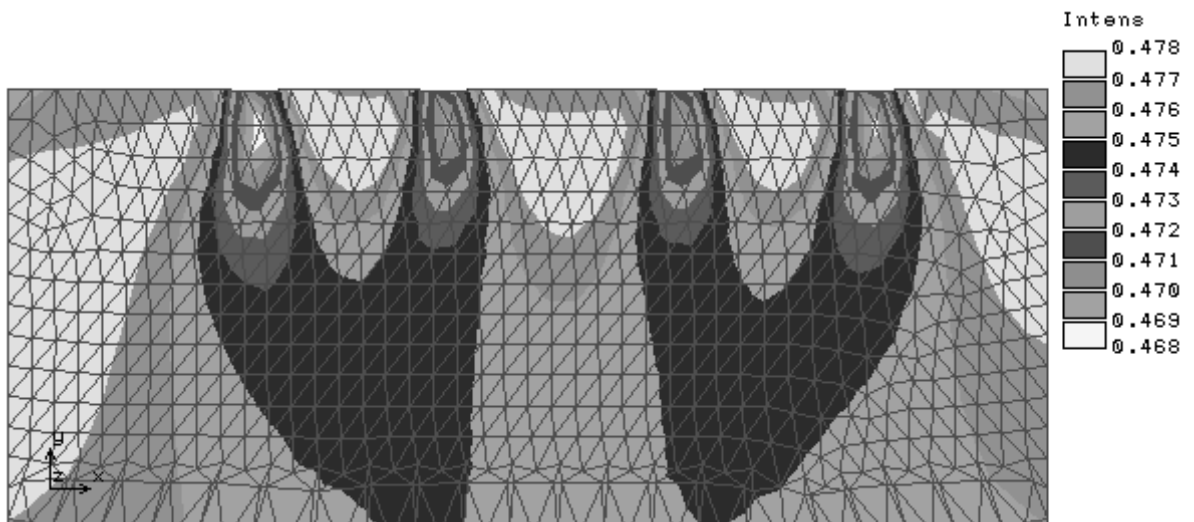


Рисунок 2.4 – Інтенсивність напруженого стану у текстильному та шкіряному матеріалі, що виникає за рахунок подачі, напірної сили та його ущільнення в каналі (наведені значення у МПа)

- 2) деформування голки не враховується, в наслідок щільного притискання їх одна до одної в голкофрезі;
- 3) напружений стан матеріалу розглядаємо, не враховуючи деформування у часі;
- 4) процес подрібнення волокнистих матеріалів, в сталому режимі, рахуємо ізотермічним.

### 2.2.1 Аналітичне дослідження руху елемента шару волокна під дією голкофрези

Взаємодію голки і волокна можна розділити на два етапи. На першому етапі голка торкається волокна кромкою і деформує його. При цьому в зоні контакту відбувається притискання волокна до голки за рахунок сил інерції. Також під дією цих сил та сил пружності самого волокна вільний кінець питається випрямитися, що веде до утворення додаткової зони контакту (рис. 2.5). Контактуючи таким чином голка викликає натяг волокна і його

руйнування, якщо сили натягу перевищують граничні значення. При недостатньому натягу волокна голка сковзає по волокну не руйнуючи його.

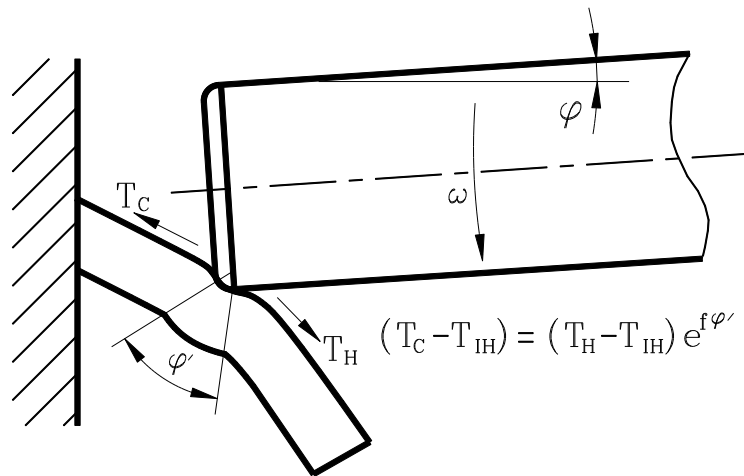


Рисунок 2.5 – Взаємодія голки та волокна

Розглядаючи процес взаємодії голки з волокном силу натягу волокна необхідна визначати як суму натягу на кромці та натягу в зоні контакту за кромкою

Взаємодію волокна та голки в зоні кромки можна визначити за допомогою видозміненого рівняння Ейлера, як описано в праці [14] (рис. 2.6).

$$(T_c - T_{in}) = (T_{in} - T_{in}) e^{f\varphi'}, \quad (2.5)$$

де  $T_{in}$  – сила інерції;

$f$  – коефіцієнт тертя;

$\varphi'$  – кут контакту, що для випадку взаємодії голки з волокном визначається з геометричних співвідношень і виражається через кут оберту голки

$$\varphi' = \arcsin \left( \frac{R \sin(\varphi)}{\sqrt{L^2 - 2LR \cos(\varphi) + R^2}} \right). \quad (2.6)$$

Величина кута контакту  $\varphi'$  у випадку взаємодії голки та волокна змінюється в межах від 0 до 90°.

Для повного описання процесу натягу волокна необхідно також враховувати натяг, що виникає при взаємодії голки і волокна по поверхні голки.

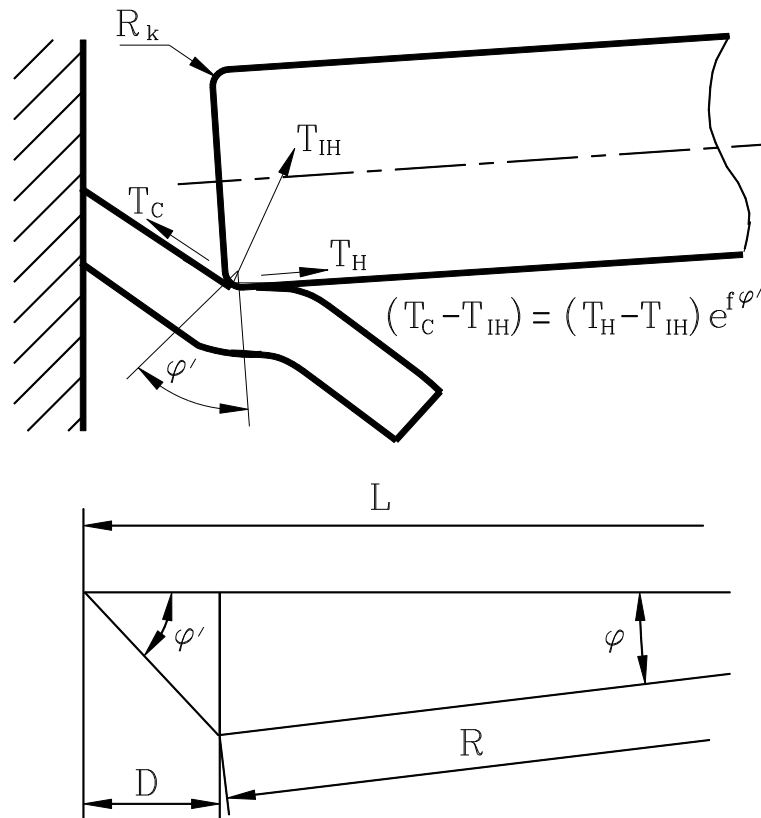


Рисунок 2.6 – Взаємодія голки та волокна

Для цього розглянемо процес руху волокна в зоні подрібнення в залежності від переміщення голки голкофрези у часі (рис. 2.7). Згідно з прийнятими припущеннями, розглядаємо рух елемента волокна, який знаходиться на голці за кромкою і при переміщенні голки, рухається по її поверхні.

Рух голки описується залежністю кута повороту від часу, яка має вигляд:

$$\varphi = bnt, \quad (2.7)$$

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $n$  – частота обертів голкофрези, об/хв;

$t$  – час, с.

Враховуючи те, що при переміщенні голки координати місця знаходження контакту шару за кромкою постійно змінюються і залежать від кута повороту голки, їх можна визначити з геометричних співвідношень відносно центра координат (рис. 2.7):

$$\begin{aligned} X &= L - R \cos \varphi + \left( L_e - \sqrt{L^2 - 2LR \cos \varphi + R^2} \right) \cos \varphi; \\ Y &= R \sin \varphi - \left( L_e - \sqrt{L^2 - 2LR \cos \varphi + R^2} \right) \sin \varphi, \end{aligned} \quad (2.8)$$

де  $L$  – відстань від осі обертання голкофрези до вихідного отвору каналу транспортування;

$R$  – радіус голкофрези;

$L_e = L_1 + R$  – відстань від вихідного отвору каналу транспортування до зони контакту шару волокна;

$L_1 = \sqrt{L^2 - 2LR \cos \varphi + R^2}$  – відстань від вихідного отвору каналу транспортування до поверхні голкофрези.

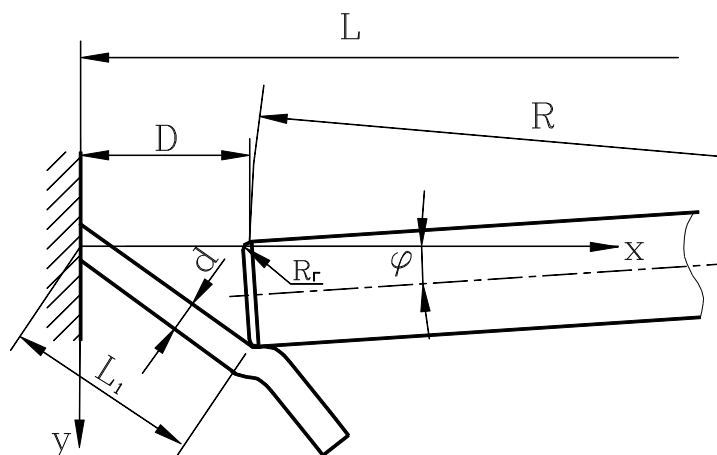


Рисунок 2.7 – Розрахункова схема взаємодії голки з волокном

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

З врахуванням залежності (2.7) вираз (2.8) дозволить визначити координати зони контакту за кромкою в залежності від часу і матиме вигляд:

$$\begin{aligned} X &= L - R \cos(6tn) + \left( L_e - \sqrt{L^2 - 2LR \cos(6tn) + R^2} \right) \cos(6tn); \\ Y &= R \sin(6tn) - \left( L_e - \sqrt{L^2 - 2LR \cos(6tn) + R^2} \right) \sin(6tn). \end{aligned} \quad (2.9)$$

### 2.2.2 Дослідження швидкості і прискорення елемента шару волокна при взаємодії з голкофрезою

При відомому русі шару зони контакту волокна, заданому координатним шляхом  $X = f(t)$ ,  $Y = f(t)$ , швидкість визначається по її проекціях на осі координат. Проекції швидкості на осі координат дорівнюють першим похідним по часу від відповідних координат елемента шару волокна:

$$\begin{aligned} V_x = X' &= 6nR \sin(6tn) - 6nL_e \sin(6tn) - \\ &- \frac{6nRL \cos(6tn) \sin(6tn)}{\sqrt{L^2 - 2RL \cos(6tn) + R^2}} + \\ &+ 6n \sin(6tn) \sqrt{L^2 - 2RL \cos(6tn) + R^2}; \\ V_y = Y' &= 6nR \cos(6tn) - 6nL_e \cos(6tn) - \\ &- \frac{6nRL \sin^2(6tn)}{\sqrt{L^2 - 2RL \cos(6tn) + R^2}} + \\ &+ 6n \cos(6tn) \sqrt{L^2 - 2RL \cos(6tn) + R^2} \end{aligned} \quad (2.10)$$

Модуль швидкості визначається за формулою:

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}. \quad (2.11)$$

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При переміщенні зони контакту необхідно знати також напрямок швидкості (рис. 2.8), який визначається по спрямовуючих косинусах кута між векторами  $\vec{V}$  і  $\vec{V}_x$

$$\begin{aligned} \cos(\vec{V}, \vec{V}_x) &= \frac{V_x}{V}; \\ \cos(\vec{V}, \vec{V}_y) &= \frac{V_y}{V}. \end{aligned} \quad (2.12)$$

Кути між вектором швидкості і його проєкціями на координатні осі визначаються таким чином:

$$\begin{aligned} \alpha_x &= (\vec{V}, \vec{V}_x) = \arccos \frac{V_x}{V}; \\ \alpha_y &= (\vec{V}, \vec{V}_y) = \arccos \frac{V_y}{V}. \end{aligned} \quad (2.13)$$

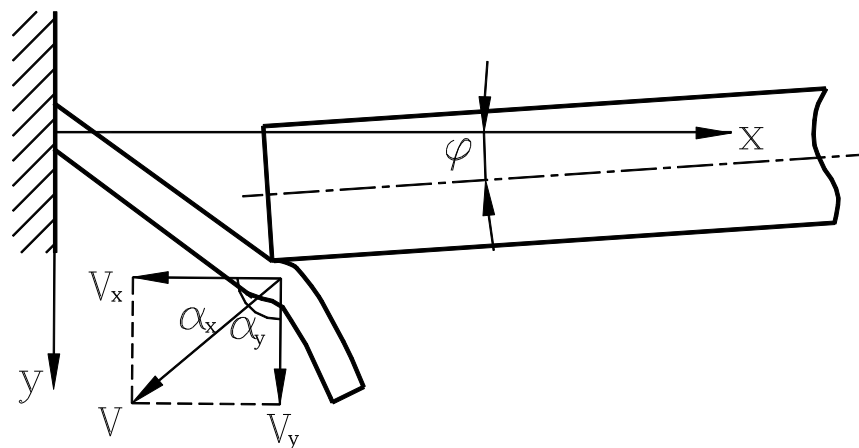


Рисунок 2.8 – Проєкції швидкості на координатну вісь

Так як рух в зоні контакту визначили як функцію координат точки від часу, то проєкції прискорення на нерухомі осі координат  $OX$ ,  $OY$  дорівнюють другим похідним відповідних координат точок у часі:

$$\begin{aligned}
A_x = X'' &= 36n^2 R \cos(6tn) - 36n^2 L_e \cos(6tn) + \\
&+ 36n^2 \cos(6tn) \sqrt{L^2 - 2RL \cos(6tn) + R^2} + \\
&+ \frac{72n^2 RL \sin^2(6tn)}{\sqrt{L^2 - 2RL \cos(6tn) + R^2}} + \\
&+ \frac{36n^2 R^2 L^2 \sin^2(6tn) \cos(6tn)}{(L^2 - 2RL \cos(6tn) + R^2)^{\frac{3}{2}}} + \\
&+ \frac{36n^2 RL \cos^2(6tn)}{\sqrt{L^2 - 2RL \cos(6tn) + R^2}}; \\
A_y = Y'' &= -36n^2 R \sin(6tn) + 36n^2 L_e \sin(6tn) - \\
&- \frac{36n^2 R^2 L^2 \sin^3(6tn)}{(L^2 - 2RL \cos(6tn) + R^2)^{\frac{3}{2}}} + \\
&+ \frac{108n^2 RL \sin(6tn) \cos(6tn)}{\sqrt{L^2 - 2RL \cos(6tn) + R^2}} - \\
&- 36n^2 \sin(6tn) \sqrt{L^2 - 2RL \cos(6tn) + R^2}.
\end{aligned} \tag{2.14}$$

Значення модуля прискорення в зоні контакту за кромкою визначається за формулою:

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}. \tag{2.15}$$

Для визначення напрямку дії прискорення використовуємо формули (2.13), які у випадку прискорення, будуть мати вигляд (рис. 2.9):

$$\begin{aligned}
\alpha_x &= (\bar{A}, \bar{A}_x) = \arccos \frac{A_x}{A}; \\
\alpha_y &= (\bar{A}, \bar{A}_y) = \arccos \frac{A_y}{A}.
\end{aligned} \tag{2.16}$$

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

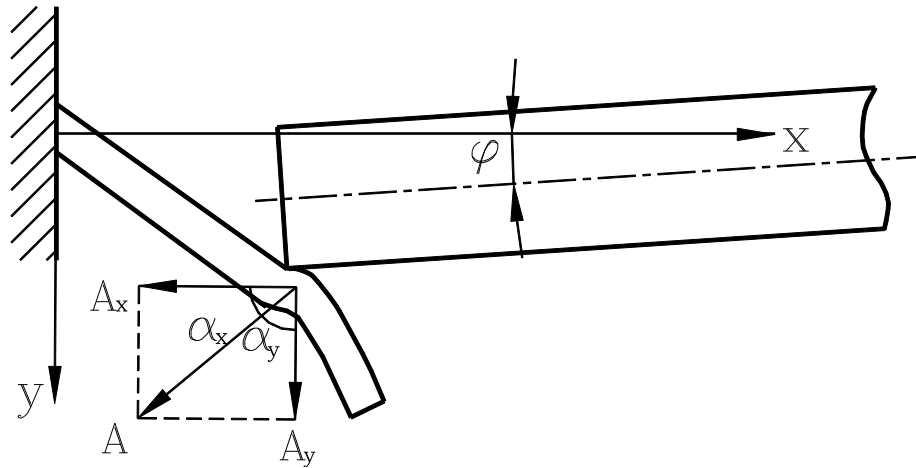


Рисунок 2.9 – Проекції прискорення на координатні осі

### 2.2.3 Аналітичне дослідження зміни пружного стану волокна при подрібненні матеріалу в голкофрезових подрібнювачах

Волокнистий матеріал при подрібненні піддається інтенсивній дії голкофрези, внаслідок чого і відбувається його руйнування. Процес руйнування необхідно розглядати як взаємодію голки з волокнами, при якому руйнування волокон відбувається при досягненні граничної величини їх напруженого стану.

Для визначення напруженого стану волокна при взаємодії з голкою необхідно розглядати її взаємодію, базуючись на прийнятих раніше припущеннях. Виходячи з того, що дія голки на волокно приводить до зміни швидкості його кількості руху, що, в свою чергу, викликає протидіючу силу інерції  $F_{\mu}$  (рис. 2.10), яка визначається наступною залежністю:

$$\vec{F}_{\mu} = \frac{d(m\vec{V})}{dt}, \quad (2.17)$$

де  $m\vec{V}$  – кількість руху матеріальної точки масою  $m$ .

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Для визначення натягу волокна розглянемо зону контакту за кромкою (рис. 2.10) з умовою, що всю масу волокна за кромкою зводимо у точку і вважаємо, що вона зосереджена за кромкою.

Сили тертя і інерції що, діють в зоні контакту за кромкою визивають натяг волокна

$$T_H = F_{\mu'} \cos \alpha + F_{TP}, \quad (2.18)$$

де  $F_{TP}$  – сила тертя волокна по поверхні голки.

Сила тертя  $F_{TP}$  виникає внаслідок того, що голка ковзає по шкіряному або текстильному волокну і зона контакту рухається не тільки в напрямку руху голки, але і вздовж осі голки і визначається згідно із законом Кулона-Аммотона як добуток коефіцієнта тертя  $f$  на нормальну складову сили інерції  $F_{\mu'}^n$ :

$$F_{TP} = f F_{\mu'}^n = f F_{\mu'} \sin \alpha, \quad (2.19)$$

де  $\alpha = \arccos \frac{A_x}{A} - \beta t n$  – кут між напрямком дії сили  $F_{\mu'}$  і віссю голки.

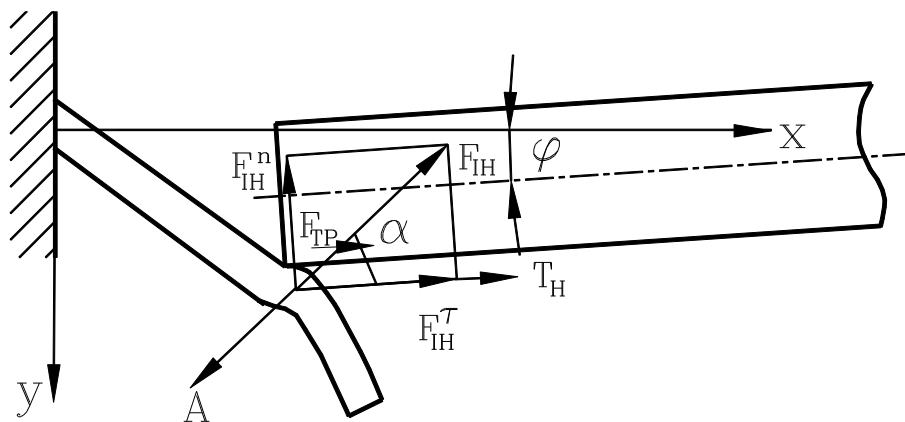


Рисунок 2.10 – Схема сил, що діють в зоні контакту за кромкою

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Підставляючи в рівняння (2.18) залежності (2.17), (2.19) і враховуючи, що маса волокна за кромкою визначається таким чином:

$$m = \rho \frac{\pi d^2}{4} (L_k - L_1 - R_c), \quad (2.20)$$

де  $\rho$  – щільність матеріалу;

$d$  – діаметр волокна.

Отримаємо рівняння, що дозволяє визначати натяг волокна в зоні контакту за кромкою:

$$T_H = \frac{\pi d^2}{4} \rho (L_k - L_1 - R_c) A (\cos \alpha + f \sin \alpha). \quad (2.21)$$

Загальний натяг голки визначається з видозміненого рівняння Ейлера для гнучкої нитки (2.16) та виразу (2.21):

$$F_k = \frac{\left( \frac{\pi d^2}{4} \rho (L_k - L_1 - R_c) A (\cos \alpha + f \sin \alpha) - T_i \right) e^{f\phi'}}{T_i}, \quad (2.22)$$

де  $T_i = \left( \frac{\pi n}{30} R \right)^2 \rho \frac{\pi R_k \phi'}{180} d$  – сила інерції [14].

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РУЙНУВАННЯ ВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ДІЄЮ ГОЛКОФРЕЗОВОГО РОБОЧОГО ОРГАНА

#### 3.1 Опис математичної моделі процесу руйнування волокнистих шкіряних та текстильних матеріалів в голкофрезових подрібнювачах

Рівняння і залежності, що були приведені вище, дозволяють аналітично описати процеси, які відбуваються в зоні подрібнення при руйнуванні волокон та визначити характеристику процесу подрібнення в залежності від конструктивних параметрів, технологічних режимів і фізичних властивостей матеріалу.

Процес подрібнення волокнистого матеріалу можна моделювати, описавши його системою рівнянь і залежностей (2.14)-(2.16), (2.22) при наступних початкових умовах та граничних значеннях:

$$0 \leq t \leq \frac{\arcsin\left(\frac{L-R}{L_{\%o}} \frac{L_{\%o}}{R}\right)}{6n};$$
$$L_1 \leq L_e \leq L_{\%o}; \quad 0 < R_k < \frac{d}{2}; \quad (3.1)$$
$$0 \leq \varphi \leq 90;$$
$$L - R = D \leq L_1 \leq L_{\%o}$$

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{aligned}
A_x = X'' &= 36n^2 R \cos(6tn) - 36n^2 L_e \cos(6tn) + \\
&+ 36n^2 \cos(6tn) \sqrt{L^2 - 2RL \cos(6tn) + R^2} + \\
&+ \frac{72n^2 RL \sin^2(6tn)}{\sqrt{L^2 - 2RL \cos(6tn) + R^2}} + \\
&+ \frac{36n^2 R^2 L^2 \sin^2(6tn) \cos(6tn)}{(L^2 - 2RL \cos(6tn) + R^2)^{\frac{3}{2}}} + \\
&+ \frac{36n^2 RL \cos^2(6tn)}{\sqrt{L^2 - 2RL \cos(6tn) + R^2}}; \\
A_y = Y'' &= -36n^2 R \sin(6tn) + 36n^2 L_e \sin(6tn) - \\
&- \frac{36n^2 R^2 L^2 \sin^3(6tn)}{(L^2 - 2RL \cos(6tn) + R^2)^{\frac{3}{2}}} + \\
&+ \frac{108n^2 RL \sin(6tn) \cos(6tn)}{\sqrt{L^2 - 2RL \cos(6tn) + R^2}} - \\
&- 36n^2 \sin(6tn) \sqrt{L^2 - 2RL \cos(6tn) + R^2}; \\
F_k &= \frac{\left( \frac{\pi d^2}{4} \rho (L_k - L_1 - R_i) A (\cos \alpha + f \sin \alpha) - T_i \right) e^{f\varphi'}}{T_i}; \\
T_i &= \left( \frac{\pi n}{30} R \right)^2 \rho \frac{\pi R_k \varphi'}{180} d; \\
\varphi &= \arcsin \left( \frac{R \sin(\varphi)}{\sqrt{L^2 - 2LR \cos(\varphi) + R^2}} \right); \\
A &= \sqrt{A_x^2 + A_y^2}; \alpha = \arccos \frac{A_x}{A}; \\
L_1 &= \sqrt{L^2 - 2LR \cos(6tn) + R^2}.
\end{aligned} \tag{3.2}$$

Система рівнянь розв'язується при відомих величинах, які визначають конструктивні і технологічні параметри зони подрібнення і фізичні властивості матеріалу.

Для моделювання процесу подрібнення розроблена програма для ЕОМ [15], дозволяє чисельно розв'язувати систему рівнянь (3.2) і визначати довжину

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

волокна після переробки в залежності від конструктивно-кінематичних параметрів голкофрезного подрібнювача і властивостей матеріалу.

При роботі з програмою задаються наступні вхідні параметри математичної моделі:

$R$  – радіус голкофрезного робочого барабана;

$R_c$  – радіус округлення краю голки;

$L$  – відстань від осі голкофрезного барабану до вихідного отвору каналу транспортування подрібнювача;

$n$  – частота обертання голкофрезного барабана;

$f$  – коефіцієнт тертя;

$\rho$  – щільність волокна;

$d$  – діаметр волокна;

$F_{\xi_{cr}}$  – допустиме значення натягу волокна;

$E$  – відносне відхилення довжини волокна при зміні кроку.

В процесі розрахунків здійснюється контроль точності і автоматична зміна кроку на основі порівняння результатів розрахунків в одній точці, отриманих з кроками  $dL$  і  $dL/2$ .

Контроль точності здійснюється по відносному допустимому відхиленню і описується умовою:

$$E > \frac{|L_{\%o}(dL) - L_{\%o}(dL/2)|}{L_{\%o}(dL/2)}. \quad (3.3)$$

При невиконанні умови (3.3) здійснюється зміна початкового кроку. Так повторюється до тих пір, поки умова (3.3) не виконується.

Таким чином, ми отримуємо оптимальну величину кроку, яка виходячи із вимог до точності дозволяє вести обчислення.

У програмі моделюється взаємодія волокна і голки з умовою, що руйнування волокна відбувається при досягненні допустимого значення його

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

натягу. Для досягнення цієї умови величина волокна дискретно зростає з кроком, і для кожної довжини волокна розраховується натяг в залежності від конструктивно-технологічних параметрів зони подрібнення. Отримане значення натягу порівнюється з допустимим натягом волокна  $F_{\xi''}$ , і при досягненні цього значення обчислення закінчується, а отримані значення довжини волокна, вихідних параметрів виводяться на дисплей ЕОМ.

Перевагою даної моделі є можливість зміни в доволі широких межах вхідних параметрів, які визначають геометричні та технологічні параметри зони подрібнення і голкофрезового барабана, властивості матеріалу і отримання розрахункових характеристик процесу подрібнення в залежності від них.

### **3.2 Аналітичне дослідження подрібнюючих можливостей голкофрезового обладнання**

З метою дослідження основних залежностей процесу подрібнення волокнистих шкіряних та текстильних матеріалів в голкофрезовому подрібнювачі проведені розрахунки залежностей вихідних параметрів математичної моделі від вхідних параметрів при їх варіюванні з деякими кроком.

Розрахунки проводилися за допомогою програм [15] для визначення залежностей довжини волокна від:

- швидкості обертання голкофрезового барабана;
- діаметра голкофрезового барабана.

На рис. 3.1 графічно зображена залежність довжини волокна, яка отримується при подрібненні, від швидкості обертання голкофрези для різних типів волокон і діаметрів голкофрезового барабана (табл. 3.1).

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

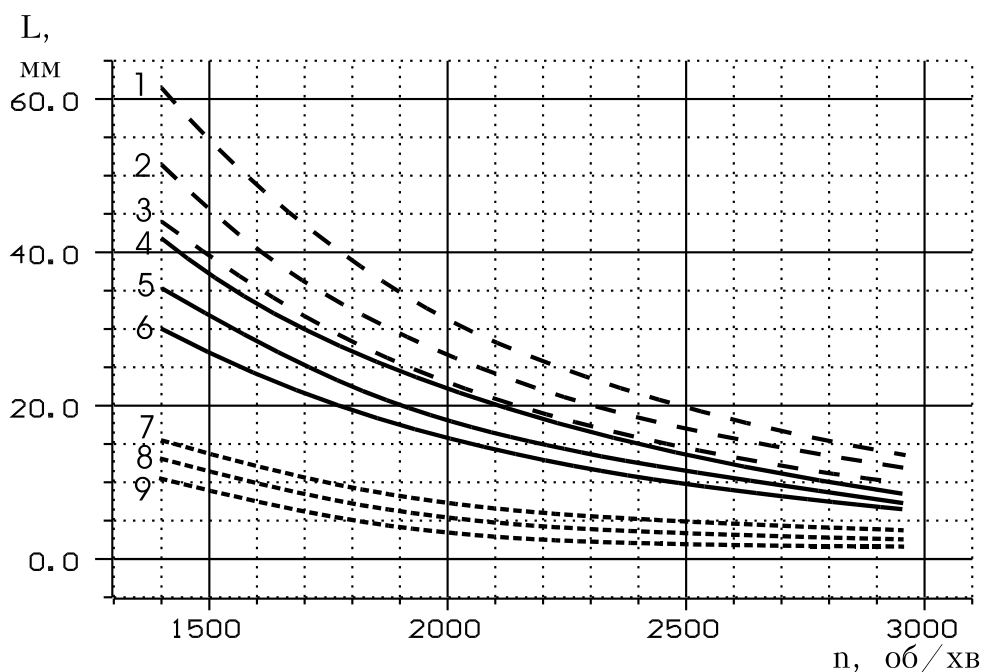


Рисунок 3.1 – Графік залежності довжини волокна від частоти обертання голкофрези

Таблиця 3.1 – Значення радіуса голкофрезового барабана

Номер кривої на графіку	Назва волокна	Радіус голкофрези, мм
1	лавсан	55
2	лавсан	60
3	лавсан	65
4	вовна	55
5	вовна	60
6	вовна	65
7	віскоза	55
8	віскоза	60
9	віскоза	65
10	шкіра хромового дублення	65
11	шкіра танідного дублення	70

Досліджуючи залежність довжини волокна від діаметра голкофрезного барабана, були отримані залежності (рис. 3.2) для волокон при різних частотах обертання голкофрезного барабана (табл. 3.2).

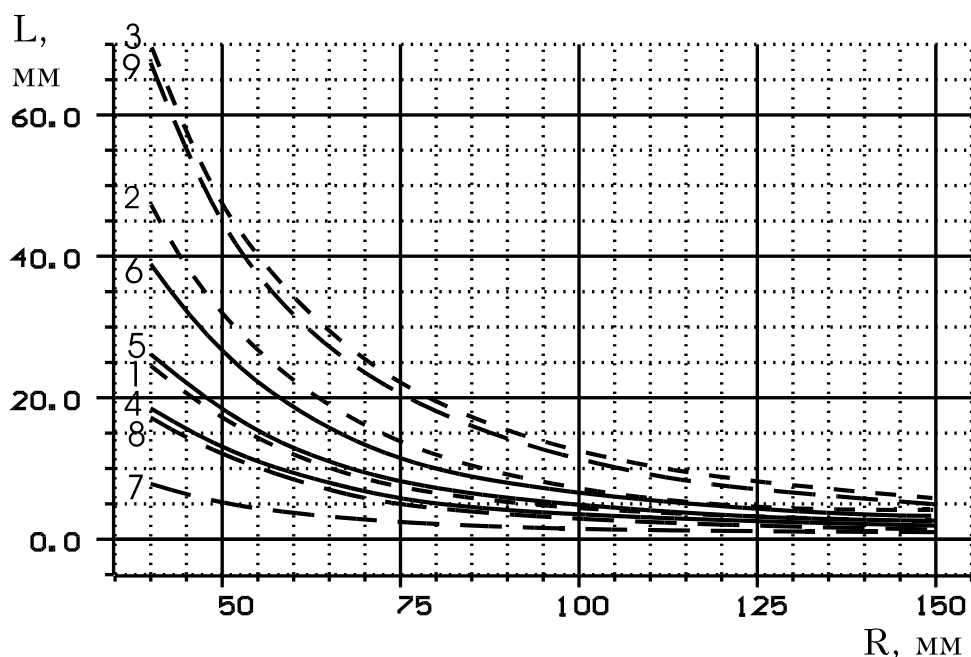


Рисунок 3.2 – Графік залежності довжини волокна від діаметра голкофрези

Таблиця 3.2 – Значення величин обертів голкофрези

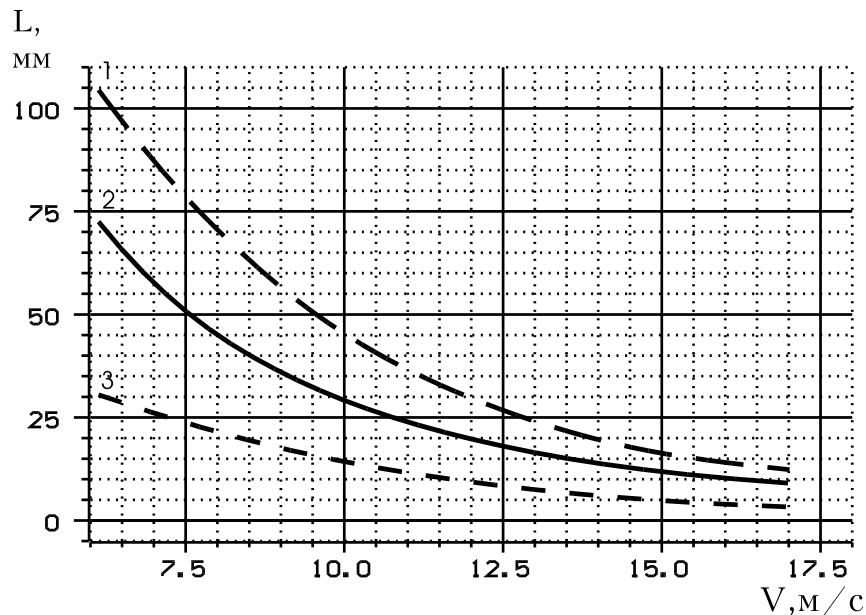
Номер кривої на графіку	Назва матеріалу	Величина обертів голкофрези, об/хв
1	лавсан	3000
2	лавсан	2000
3	лавсан	1000
4	вовна	3000
5	вовна	2000
6	вовна	1000
7	віскоза	3000
8	віскоза	2000
9	віскоза	1000

10	шкіра хромового дублення	2950
11	шкіра танідного дублення	3250

З графіків залежностей  $L_{\%...} = f(R)$  (рис. 3.2), як і в випадку для залежності  $L_{\%...} = f(n)$  (рис. 3.1), бачимо, що довжина волокна при збільшенні радіуса голкофрези зменшується і наближається до деякого граничного значення.

Дослідження залежностей  $L_{\%...} = f(R)$  і  $L_{\%...} = f(n)$  показало, що величина волокна залежить від окружної швидкості робочої поверхні голкофрезного барабана (рис. 3.3).

Розрахункові дослідження математичної моделі руйнування волокнистого шкіряного або текстильного матеріалу показали, що для отримання максимальної довжини волокна значення радіуса голкофрези  $R$ , частоти обертання  $n$  або окружної швидкості  $V_{\text{н}}$  поверхні голкофрези повинні бути мінімальні, а радіус округлення кромки голок  $R_k$  повинен наближуватися до радіуса голки.



1 – лавсан, 2 – вовна, 3 – віскоза

Рисунок 3.3 – Графік залежності довжини волокна від окружної швидкості діаметра голкофрези

Аналіз моделі процесу подрібнення дозволив встановити, що максимальний натяг волокна відбувається після контакту, коли голка обертається на кут 0,6..0,8 градусів (рис. 3.4).

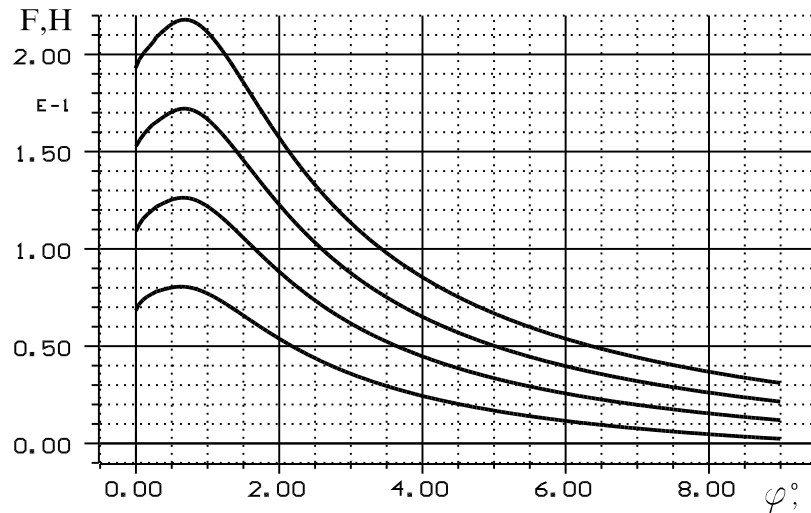


Рисунок 3.4 – Залежність натягу волокна від кута оберту голкофрези

Дослідження математичної моделі показали, що руйнування волокон відбувається практично миттєво, якщо при взаємодії голки з волокном виникає натяг який перевищує допустиме значення (рис. 3.4).

### 3.3 Визначення потужності, що витрачається на подрібнення волокнистого матеріалу

При подрібненні волокнистих відходів витрачається деяка кількість енергії в одиницю часу, яка необхідна для забезпечення сталого процесу руйнування. Ця енергія, віднесена до часу, характеризується як потужність і залежить від властивостей матеріалу та швидкості його подачі в зону подрібнення.

Так як волокнистий матеріал, що використовується для переробки на голкофрезовому обладнанні, може складатися з різних за властивостями волокон, то їх необхідно враховувати (табл. 3.4) [16].

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основним показником, який найбільш повно і точно дозволяє оцінювати витрати енергії при руйнуванні, є робота розриву, віднесена до одиниці ваги волокна.

Використовуючи роботу розриву, віднесену до одиниці ваги волокна  $A_i^m$  можна визначити потужність  $P_i$ , яка витрачається на подрібнення деякої ваги волокон  $m_i$  за час  $t$ :

$$P_i = \frac{m_i A_i^m}{t}, \quad (3.4)$$

Таблиця 3.4 – Розривні характеристики волокон

Волокно	Лінійна щільність, Текс.	Розривне навантаження, сН	Розривне подовження, %	Робота розриву, Дж*10 <sup>-7</sup>	Робота розриву, Дж/г
Вовна					
-тонка	0,3-1	6-12	30-40	180-480	6-4,8
-товста	1,2-3	20-35	25-35	500-700	4,1-2,4
Віскоза	0,3	3	15	250	15,01
Лавсан	0,3	18	35	3800	210,06
Нітровидне	0,3	9	18	800	41,9

Технологічні характеристики шкіряних відходів наведені в додатку Б.

Так як в залежності (3.5) відношення ваги  $m_i$  до часу  $t$  є ваговою продуктивністю, то вираз можна записати таким чином:

$$P_i = Q_i A_i^m, \quad (3.5)$$

де  $Q_i$  – вагова швидкість подачі волокон у зону подрібнення.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як було зазначено вище, для отримання загальної потужності, яка витрачається на подрібнення волокнистих матеріалів, необхідно враховувати властивості всіх волокон, що містить матеріал і тоді загальна потужність буде визначатися як сума потужностей:

$$P = \sum P_i = \sum Q_i A_i^m, \quad (3.6)$$

Отримана залежність дозволяє визначати загальну потужність процесу подрібнення і може бути використана для проектування приводу голкофрези.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4 РОЗРАХУНКИ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ

### 4.1 Розрахунок вала

Для розрахунку вала потрібно скласти схему навантаження вала вказавши сили прикладення і їх величину.

Сила дії на матеріал від одного молотка складає 40 Н, звідси визначаємо крутний момент,  $M_{кр}$ , Н·мм, (рис. 4.1).

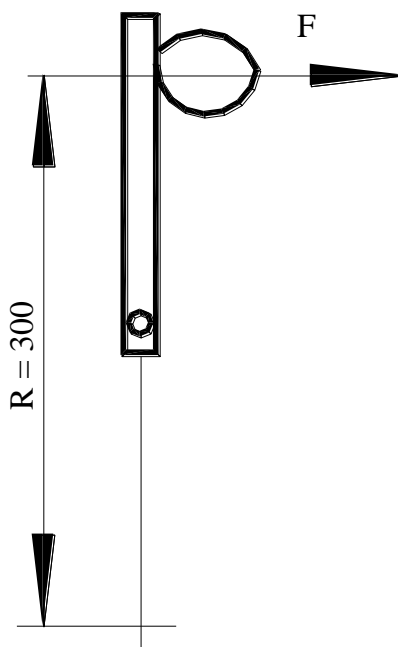


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема вала

$$M_{кр\ 1м} = F \cdot R = 40 \cdot 300 = 12000, \quad (4.1)$$

де  $F = 40$  Н – сила дії на матеріал від одного молотка;

$R = 300$  мм – радіус барабана.

Крутний момент від дії всіх молотків,  $M_{кр}$ , Н·мм, обчислюється по формулі:

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{кр} = n \cdot M_{кр1м} = (25 \cdot 2) \cdot 12000 = 600000, \quad (4.2)$$

де  $n$  – кількість молотків.

Також на вал діє сила від ремінної передачі. Це сила натягу пасу, яка складає  $F_n = 30$  Н. Задаємо коефіцієнт запасу міцності  $k_{міц} = 1,2$ . Допустиме напруження матеріалу вала  $[\sigma]_{міц} = 300$  МПа.

Вводячи ці значення в програму для розрахунків валів отримуємо:

Мінімальний діаметр валу:  $d_{вмін} = 32,572$  мм. Отже, приймаємо  $d_{вмін} = 40$  мм.

## 4.2 Розрахунок шпонкового з'єднання

Шпонкове з'єднання розраховуємо на зминання. Умова міцності при зминанні визначається з такого рівняння:

$$\sigma_{\zeta i} = \frac{F}{L \cdot b} \leq [\sigma]_{\zeta i}, \quad (4.3)$$

де  $F$  – сила зминання, Н;

$L = 30$  мм – довжина шпонки;

$b = 6$  мм – ширина шпонки;

$[\sigma]_{зм} = 260$  Н/мм<sup>2</sup> – допустиме напруження на зминання, сталь 45 (ГОСТ 8787-68).

$$F = \frac{M_{\epsilon\delta}}{R}, \quad (4.4)$$

де  $M_{кр} = 600000$  Н·мм – крутний момент від дії всіх ножів;

$R = 20$  мм – радіус вала.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F = \frac{600000}{20} = 30000.$$

Підставляючи у рівняння (4.3) розраховані та прийняті вище значення, отримаємо:

$$\sigma_{3M} = \frac{30000}{30 \cdot 6} = 166 \text{ Н/мм}^2.$$

Отже, як видно з розрахунків:

$$\sigma_{3M} = 166 \text{ Н/мм}^2 \leq [\sigma]_{3M} = 260 \text{ Н/мм}^2.$$

Напруження на зминання менше допустимого напруження, тому руйнування не буде відбуватися.

Визначаємо коефіцієнт запасу міцності шпонкового з'єднання:

$$k = \frac{[\sigma]_{3M}}{\sigma_{3M}} = \frac{260}{166} = 1,57. \quad (4.5)$$

### 4.3 Розрахунок потужності двигуна

Потужність двигуна залежить потужності робочої машини, а його частота обертання – від частоти обертання приводного вала робочої машини.

Визначаємо потужність робочої машини:

$$P_{дв} = F \cdot V, \quad (4.6)$$

де  $V$  – швидкість двигуна, мм/хв.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot n, \quad (4.7)$$

де  $R = 60$  мм – радіус барабана;

$n = 2700$  об/хв [12] – частота обертання барабана.

$$V = 2 \cdot 3,14 \cdot 60 \cdot 2700 = 1017360,$$

$$V = 16,96 \text{ м/с}.$$

Тягове зусилля,  $F$ , кН, визначається з такого рівняння:

$$F = n \cdot R = \frac{14 \cdot 60}{1000} = 0,84. \quad (4.8)$$

Приймаємо  $F = 0,2$  кН. Тоді потужність робочої машини,  $P_{\text{дв}}$ , кВт, буде дорівнювати:

$$P_{\text{дв}} = 16,96 \cdot 0,2 = 3,39 \text{ кВт}. \quad (4.9)$$

Отже, приймаємо  $P_{\text{дв}} = 3,0$  кВт і вибираємо тип двигуна 4AM90L2Y3 [12].

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

В даному розділі були наведені проектні розрахунки конструкції пристрою для переробки шкіряних та текстильних відходів. Було проведено патентний пошук існуючих конструкцій пристроїв для переробки відходів.

В технологічній частині розроблено конструкцію пристрою для подрібнення текстильних та шкіряних відходів, яка приводить до підвищення продуктивності праці.

В конструкторській частині проведено математичне моделювання процесу руйнування волокнистих матеріалів під дією голкофрезного робочого органа та визначення потужності, що витрачається на подрібнення волокнистого матеріалу та продуктивності голкофрезного подрібнювача. А також проведено розрахунок валу, шпонкового з'єднання та потужності двигуна.

Конструкторська документація на пристрій для переробки відходів текстильних і шкіряних матеріалів наведена в додатку.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЛІТЕРАТУРА

1. Соловьев Е. М. Переработка резиновых отходов // Каучук и резина. – 1972. – № 6. – С. 14–16.
2. Ферри Дж. Вязкоупругие свойства полимеров / Дж. Ферри. – М. : Мир, 1963. – 536 с.
3. Ениколов Н. С. Композиционные полимерные материалы и их применение в народном хозяйстве // Тез. докл. I Всесоюзн. конф. – Ташкент : Таш. политехн. ин-т, 1980, – с.22.
4. Труевцев Н.И. Механическая технология волокнистых материалов / Н.И. Труевцев, Н.Н. Труевцев. – М. : Легкая индустрия, 1969. – 608 с.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



