

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут імені акад. І. С. Гулого  
Кафедра машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв

**«До захисту в ЕК»**  
Директор інституту(декан факультету)  
\_\_\_\_\_ Сергій БЛАЖЕНКО  
(підпис) (ім'я та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**«До захисту допущено»**  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Олександр ГАВВА  
(підпис) (ім'я та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Інжиніринг фармацевтичних та біотехнологічних виробництв»

на тему: «Удосконалення процесу різання багат шарових харчових продуктів і розроблення лабораторної різальної машини»

---

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ОХ-2-4М

Дорошенко Олександр Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник Губеня Олексій Олександрович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_

(ім'я та прізвище)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(ім'я та прізвище)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) незарядженої допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ – 2024 р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут імені акад. І. С. Гулого  
Кафедра машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв  
Освітній ступінь «Магістр»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

**Освітньо-професійна програма: Інжиніринг фармацевтичних та біотехнологічних виробництв**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри МАХФВ**

**Олександр ГАВВА**

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

## З А В Д А Н Н Я

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

**Дорошенко Олександра Сергійовича**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Удосконалення процесу різання багатошарових харчових продуктів і розроблення лабораторної різальної машини»

керівник роботи

**Губеня Олексій Олександрович,**

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від 20.11.2023 р. № 940-КС

2. Строк подання здобувачем роботи 01.02.2024

3. Вихідні дані до роботи: Харчові продукти – хліб, м'ясо заморожене і свіже, овочі, рослинна сировина, багатошарові пакувальні матеріали.

Діапазон швидкостей різального інструменту - 1м/с. Тип різального інструменту стрічково-зубчастий ніж.

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

Анотація (українською та англійською мовами); Вступ; Матеріали і методи досліджень; Результати досліджень, їх математично-статистичне оброблення, пояснення та обговорення; Маркетингове (техніко-економічне), соціальне обґрунтування проекту; Застосування результатів (модернізація обладнання, реконструкція лінії); Безпека життєдіяльності; Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу:

Слайди презентації: Актуальність теми; Сучасний стан наукової та практичної проблеми; Мета, завдання, об'єкт і предмети досліджень; Матеріали і методи досліджень; Результати досліджень та їх математично-статистичне оброблення, Висновки.

Креслення: Модернізація обладнання, реконструкція лінії (3-4 листи).

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 01.11.2024

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Розділи пояснювальної записки:		
	Вступ	10.11.2023	
	Матеріали і методи досліджень	30.11.2023	
	Результати досліджень, їх математично-статистичне оброблення, пояснення та обговорення	10.12.2023	
	Маркетингове (техніко-економічне), соціальне обґрунтування проекту	12.12.2023	
	Застосування результатів (модернізація обладнання, реконструкція лінії)	11.01.2024	
	Модернізація обладнання, реконструкція лінії	20.01.2024	
	Розрахункова частина	20.01.2024	
	Безпека життєдіяльності	25.01.2024	
	Висновки	27.01.2024	
	Презентація та креслення	1.02.2024	

**Здобувач**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Олександр ДРОШЕНКО**  
(прізвище та ініціали)

**Олексій ГУБЕНЯ**  
(прізвище та ініціали)

## Зміст

Анотація .....	3
Вступ.....	5
Розділ 1. Аналіз сучасного стану процесів різання та вирубування .....	6
1.1. Багатошарові продукти.....	6
1.2. Процеси різання та вирубування в наукових працях .....	7
1.3. Наукові основи процесів різання та вирубування .....	8
1.3.1. Геометричні параметри процесу різання.....	8
1.3.1.1. Кут заточки леза .....	8
1.3.1.2. Гострота леза .....	8
1.3.2. Геометричні параметри різальної пари .....	9
1.3.2.1 Силова взаємодія леза з матеріалом в момент початку різання... 10	
1.3.2.2 Значення кута заточки і гостроти леза для процесу різання .....	13
1.4. Різновиди процесу різання .....	14
1.4.1. Кінематична трансформація кута заточки та кромки леза .....	15
1.4.2. Вплив швидкості різання на енерговитрати та якість процесу .....	18
1.4.3. Опис технологічних процесів відрізування та вирубування .....	19
1.5. Особливості різання багатошарових харчових продуктів та пакувальних матеріалів .....	27
1.6. Висновки і задачі досліджень .....	33
Розділ 2. Методи досліджень та експериментальні установки .....	35
2.1. Об'єкт і предмет досліджень .....	35
2.2. Методика та установка для визначення зусилля різання та вирубування з постійною швидкістю.....	35
2.2.1. Опис експериментальної установки.....	35
2.2.2. Експериментальний стенд на базі широкоуніверсального інструментального фрезерного верстату 676П. Призначення і сфера застосування. ....	36
2.2.3. Порядок проведення досліджень.....	47
2.2.4. Заходи з безпеки життєдіяльності під час роботи з експериментальним стендом. ....	47

Розділ 3. Результати експериментальних досліджень та їх пояснення .....	50
3.1. Визначення зусилля різання різних за структурою харчових продуктів та модельних матеріалів .....	50
3.2. Математично-статистична обробка отриманих результатів .....	73
3.3. Пояснення отриманих результатів .....	75
3.4. Порівняння результатів досліджень різних дослідників .....	77
3.5. Рекомендації щодо вибору способів різання .....	81
Розділ 4. Практичне застосування результатів дослідження. Проект лабораторного стенду для дослідження процесу різання стрічковим ножом	84
4.1. Постановка задачі. ....	84
4.2. Огляд конструкцій різальних пристроїв зі стрічковим ножом.....	84
4.3. Опис конструкції і принципу дії.....	91
4.4. Розрахункова частина .....	92
4.4.1. Технологічний розрахунок.....	92
4.4.2. Енергетичний розрахунок. ....	93
4.4.3. Розрахунок міцності. ....	95
4.4.3.1. Розрахунок пильного полотна. ....	95
4.4.4. Розрахунок подаючого механізму (передача гвинт - гайка). ....	97
4.4.5. Розрахунок міцності провідного валу.....	99
4.4.6. Правила монтажу, експлуатації і вимоги безпеки.....	100
4.4.7. Монтаж установки і проведення експериментальних досліджень. ....	102
Висновки .....	
Список використаної літератури .....	
Додатки.....	

## Анотація

Проведені експериментальні та теоретичні дослідження з метою визначення впливу структури продукту на процес різання, а саме, як впливає розміщення шарів в багатошаровому продукті та порядок їх розрізання на енерговитрати процесу різання.

Задачі досліджень визначено на основі аналізу сучасних наукових статей з процесу різання. Зусилля різання однорідних та багатошарових харчових продуктів та модельних тіл визначено на розробленій експериментальній установці, яка дозволяє нарізати продукт з постійною швидкістю та визначати змін зусилля під час різання.

Встановлено, що зусилля різання як однорідних, так і багатошарових продуктів зростають на початку різання. Це пояснюється деформуванням продукту під кромкою леза. Потім зусилля дещо знижується і залишається постійним.

Для багатошарових продуктів у випадку розрізання тонкого міцного шару останнім зусилля різання стрімко зростає в момент наближення леза до тонкого міцного шару. Проте зусилля різання цього шару настільки мале, що не фіксується приладом. Це пояснюється тим, що тонкий міцний шар не дозволяє продукту деформуватись під час руху леза, і створюється значене питоме навантаження на поверхню леза, і відповідно, зростає зусилля тертя.

Встановлено закон, за яким відбувається зростання зусилля різання, що дозволяє реалізувати на практиці розроблені раніше математичні моделі процесу різання багатошарових продуктів.

Рекомендовано тонкий міцний шар розрізати на початку різання, це суттєво зменшує енерговитрати.

Розроблено проект лабораторного різального стану зі стрічковою пилою, який доцільно використати в навчальному процесі.

**Ключові слова:** різання, сила, багатошаровий, ніж, оболочка

## Abstract

Experimental and theoretical research to determine the impact of product structure on the cutting process were conducted, namely the effect of placing layers in multilayer product and procedure of cutting on energy consumption at the cutting process.

The task of research were determined due to the analysis of current research articles about the cutting process. Cutting force of homogeneous and multilayer food and body model were defined on the developed experimental equipment that allows to cut the product at a constant speed and to determine the change of force during cutting.

It was established that the cutting force of homogeneous and multilayer products rises at the beginning of cutting. This is due to deformation of the product under the edge of the blade. Then the force reduced and remained the constant. For multilayer products in such of cutting thin durable layer latest the cutting force grows rapidly approaching the time of the blade to thin durable layer. But cutting force of this layer so small that is not fixed the devices. This is because a thin solid layer prevents product deformed during the movement of the blades and creates values specific load on the surface of the blade, and therefore the friction force increases.

It is established law on which there is an increase cutting force that allows to put into practice earlier developed mathematical models of cutting multilayer products.

Recommended thin solid layer to cut at the beginning of cutting, it significantly reduces the energy consumption.

The project of the laboratory stand with cutting knife that it is expedient to use in the classroom laboratory works.

**Keywords:** cutting, force, multilayer, knife, sheath

## Вступ

До процесу різання в харчовій промисловості залишається багато питань, не дивлячись на значну кількість проведених досліджень. Це стосується зниження енерговитрат різання, підвищення зносостійкості різального інструменту, підвищення продуктивності процесу та його якості.

Питання процесу різання цікавлять багатьох дослідників в світі. Це підтверджує значна кількість наукових праць в наукових журналах, включаючи і українські, монографій, підручників та навчальних посібників.

Щорічно в світі патентуються понад 5000 патентів на різальні пристрої, що вказує на все нові й нові шляхи удосконалення процесу.

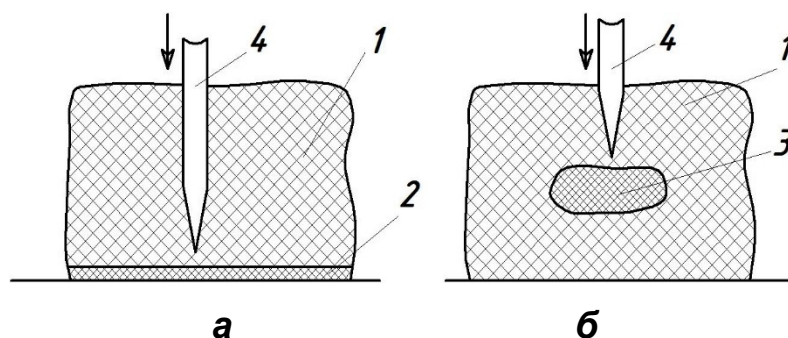
Цікаве і малодосліджене питання – різання неоднорідних за структурою продуктів, які складаються з багатьох шарів або містять вкраплення. Це і харчові продукти, і пакувальні матеріали, а композиційні матеріали оборонної промисловості та багато інших. Їх поєднує те, що вони чинять різний опір деформуванню, різанню та іншим способам руйнування в залежності від порядку розміщення шарів.

Враховуючи актуальність даного питання на сьогоднішній день, було вирішено дослідити деякі питання більш детально. Дослідження потребують як аналізу вже наявних наукових праць з процесу різання, так і проведення власних досліджень з метою удосконалення наявних теорій різання та різального обладнання

## РОЗДІЛ 1. Аналіз сучасного стану процесів різання та вирубання

### 1.1. Багатошарові продукти

В харчовій промисловості більшість харчових продуктів, а також деякі пакувальні матеріали, є багатошаровими, або мають вкраплення, які відрізняються структурно-механічними властивостями від основного об'єму продукту. Особливість різання таких продуктів - збільшення зусилля опору руху леза при його наближенні до вкраплення або певного шару. Розроблено методику досліджень різання, проведено моделювання руху леза в багатошарових продуктах, виконано експериментальні дослідження. В результаті отримано ряд математичних моделей різання у вигляді диференціальних рівнянь другого порядку, які дозволяють визначити зусилля різання та швидкість леза в продукті. В харчовій промисловості механічна обробка різанням застосовується для продуктів, які можуть бути однорідні по всьому об'єму ( цукровий буряк, шпик, м'ясо без кісток, кондитерські маси та ін.), так і для неоднорідних продуктів, які мають вкраплення або оболонку, властивості яких відрізняються від основної маси продукту (рис. 1). Наприклад, це м'ясопродукти, які мають прошарки із жилистих тканин, шкіри та кісток; овочі, які мають міцну зовнішню оболонку; хлібні вироби, які складаються з м'якуша і міцної скоринки; пакувальні матеріали. Шари цих продуктів зв'язані між собою, і мають різну міцність.



**Рис. 1. Різання продуктів з неоднорідною структурою:**  
**а - продукт з оболонкою; б - продукт з вкрапленням;**  
**1 - продукт, 2 - оболонка; 3 - вкраплення; 4 - лезо.**

Аналітичні дослідження існуючих моделей різання показали що наявність краплень або оболонки в продукті не враховувалась при моделюванні та оптимізації процесу різання: виборі режимних параметрів процесу, розробці різального обладнання.

## 1.2. Процеси різання в наукових працях

Аналіз наукових основ різання та вирубування показав, що питання щодо різання та вирубування багатошарових пакувальних матеріалів досліджене недостатньо і потребує поглибленого дослідження.

Таблиця 1.1

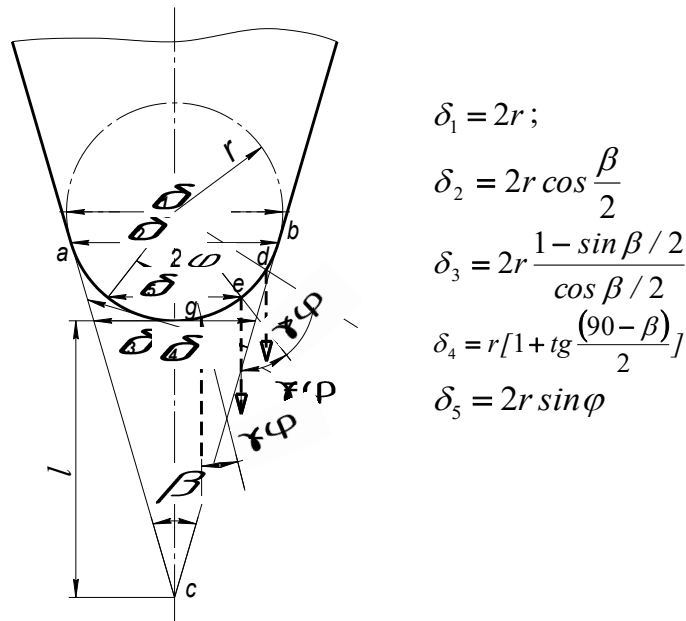
№	Дослідник	Країна	Напрямок роботи	Роки
1	Rubenstein С.	Велика Британія	Застосування критерію рівноваги сил для ортогонального різання [7]	1972
2	Lortz, W.	Велика Британія	Моделювання різального механізму для подібнення [8]	1979
3	Zahn, S., Schneider, Y., Zücker, G., Rohm, H.	Німеччина	Вплив активізації та параметрів речовини на ефективність ультразвукового різання хлібопекарських виробів [9]	2005
4	Brown, T., James, S.J., Purnell, G.L.	Велика Британія	Зусилля різання в харчових продуктах: експериментальні вимірювання [10]	2005
5	Zhou D., Claffee M.R., Lee K.-M., McMurray G.V.	Грузія	Різання шляхом натискання і нарізки застосовано для автоматизованої різки біоматеріалів [11]	2006
6	Гуць В., Губеня О.	Україна	Визначення зусилля різання продуктів з різними структурно-механічними властивостями [12]	2011
7	Arnold, G., Zahn, S., Legler, A., Rohm, H.	Німеччина	Ультразвукове різання харчових продуктів за допомогою нахилених рухомих лез [13]	2011

### 1.3. Наукові основи процесів різання та вирубвання

#### 1.3.1. Геометричні параметри процесу різання

**1.3.1.1. Кут заточки лека.** Кут заточки  $\beta$  (рис. 1.1.) – кут, створений фасками лека біля його різальної кромки, який вимірюється в перпендикулярній до кромки площині. Якщо фаски являють собою нерівні поверхні і складаються із граней, то кут заточки визначається по граням, які сходяться безпосередньо на кромці лека.

**1.3.1.2. Гострота лека.** Всі вимірювання кромки лека базуються на припущенні, що її профіль має форму, в яку можливо вписати коло. Більшість дослідників оцінюють гостроту лека по діаметру  $\delta_1$  кола (рис. 1.1), вписаного



$$\delta_1 = 2r;$$

$$\delta_2 = 2r \cos \frac{\beta}{2}$$

$$\delta_3 = 2r \frac{1 - \sin \beta / 2}{\cos \beta / 2}$$

$$\delta_4 = r / [1 + \operatorname{tg} \frac{(90 - \beta)}{2}]$$

$$\delta_5 = 2r \sin \varphi$$

Рис. 1.1. Визначення гостроти лека.

в профіль кромки лека. Є рекомендації за показник гостроти приймати хорду  $\delta_2$ , яка стягує дугу в точках дотику  $a$  і  $b$  фасок лека з вписаним колом, або відрізок  $\delta_3$  дотичної до вписаного кола (перпендикулярній бісектрисі), яку відсікають продовження фасок.

Гостроту несиметрично зношеного лека пропонується вимірювати відрізком  $\delta_4$  дотичної до вписаного кола, перпендикулярно до лінії продовження найбільш зношеної фаски.

Параметри  $\delta_2$ ,  $\delta_3$ ,  $\delta_4$  залежать, крім радіуса  $r$ , ще й від кута заточки  $\beta$ . Згідно визначень, при однакових радіусах  $r$  більш гострим є лезо, яке має більший кут заточки, що суперечить логіці, тому що не дозволяє визначати гостроту леза як самостійний параметр, який впливає на руйнуюче напруження  $\sigma_p$ . Параметр  $\delta_5$  характеризує частину кромки леза, яка врізається в матеріал без ковзання. Дану дугу кромки стягує подвійний кут тертя  $2\phi$ . В межах цієї дуги кут  $\gamma$  між нормаллю до поверхні кромки і напрямом руху ножа (показано стрілкою) менше кута тертя, тому ковзання тут відсутнє, і наявне за межами точки  $e$ , де  $\gamma > \phi$ . На основі цього, кромка леза не має зношуватись в межах дуги  $2\phi$ . Реально там відбувається найбільший знос. Робляться припущення, що руйнування продукту відбуваються через зім'яття його лезом до тиску, який рівний межі тимчасового опору. Проте експериментально доведено, що напруження стикування, які визивають руйнування продукту при різанні, набагато нижчі за напруження на кромці леза, і руйнування матеріалу відбувається не лише за рахунок зім'яття, а через пружньо-в'язке обтікання їм кромки леза.

Більшість дослідників вважає оцінку гостроти леза параметром  $\delta_1$  найбільш прийнятною як самостійним геометричним параметр, незалежний від кута  $\beta$  і коефіцієнта тертя  $f$  по лезу матеріалу. Практичне визначення  $\delta_1$  є найбільш доступним в виробничих та експериментальних умовах.

**1.3.2. Геометричні параметри різальної пари.** До геометричних параметрів різальної пари (леза і протива різального інструменту) відносять розмірні та кутові показники їх форми та величини як геометричних тіл, а також їх взаємне положення в статиці та кінематиці (рис. 1.2).

Розрізняють геометричні параметри в площині різання, і в площині, перпендикулярній їй. Параметри різальної пари в перпендикулярній до площини різання площині площинних та циліндричних різальних апаратів мають багато спільного. Кут  $\gamma$  виставлення ножа (рис. 1.2 а і б), кут заточки  $\beta$ , задній кут  $\phi$ , кут різання  $\nu = \phi + \beta = 90 - \gamma$ , гострота леза  $\delta$ , товщина ножа  $b$ , кут

$\beta_1$  заточки протирізальної пластини, зазор  $\Delta$  між різальною та протирізальною пластиною обґрунтовуються для двох типів апаратів аналогічно. А параметри в площині різання площинних та циліндричних різальних апаратів відрізняються. В площинному апараті (рис. 1.2 в), кут нахилу леза  $\alpha$  (також його називають кутом ковзання  $\tau$ ) пов'язаний з кутом защемлення  $\chi$  певною залежністю, а в барабанному апараті вони рівні. Раціональні межі висоти шару  $h$ , його ширини  $B$ , висоти положення осі обертання ножа  $a$  над протирізальною пластиною визначаються для кожного параметра по різному.

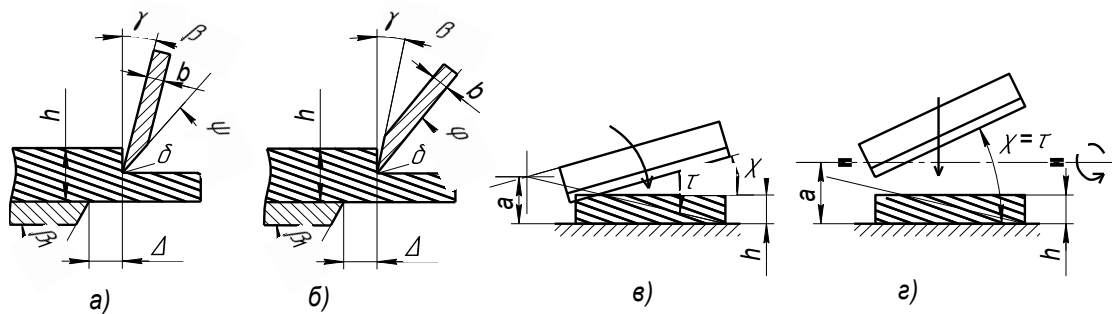


Рис. 1.2. Геометричні параметри ріжучої пари:

$a$  і  $b$  – в площині, перпендикулярній до площини різання;  $в$  і  $г$  – в площині різання.

### 1.3.2.1. Силова взаємодія леза з матеріалом в момент початку різання

Перед розділенням продукту на частини під дією леза відбувається процес попереднього стискування їм продукту до виникнення на різальній кромці руйнівного контактного напруження  $\sigma_p$ . Момент виникнення останнього визначається значенням зусилля  $P_{кр}$ , яке прикладається до ножа і долає ряд опорів, що виникають в матеріалі.

Описаний найбільш простий випадок взаємодії леза з матеріалом – при врізанні леза з односторонньою заточкою в матеріал в нормальному відносно кромки напрямку. Лезо поглиблюється в шар матеріалу товщиною  $h$ , на величину  $h_{cm}$  (рис. 1.3, а).

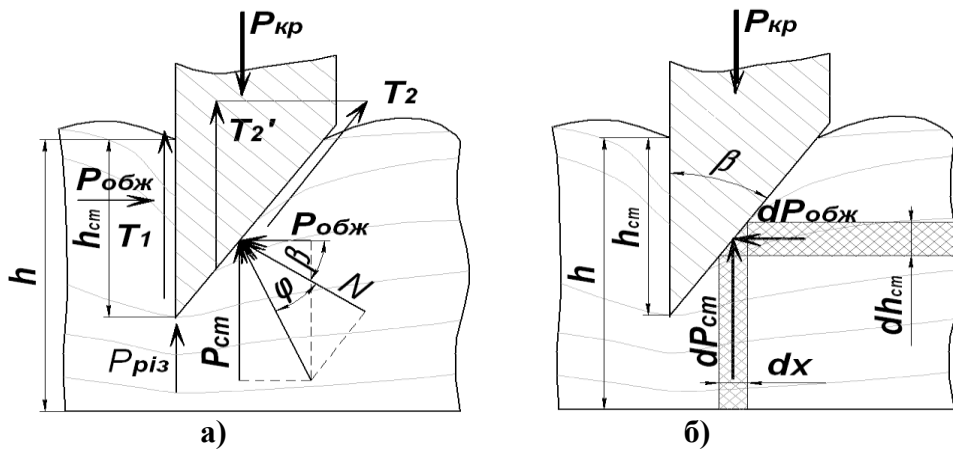


Рис. 1.3. Силова взаємодія леза з матеріалом:  
 а - опори, які виникають при проникненні леза в матеріал;  
 б - схема до визначення зусиль  $P_{ст}$  і  $P_{обж}$ .

Коли на різальній кромці виникає контактне напруження  $\sigma_p$ , починається процес різання. На ніж діють зусилля:  $P_{різ}$  – опір руйнуванню матеріалу під кромкою леза,  $P_{обж}$  – зусилля обжимання матеріалом від врізання в нього леза,  $P_{ст}$  – опір шару стискуванню фаскою леза.

На фаску леза діє зусилля  $N$ :  $N = P_{ст} \sin \beta + P_{обж} \cos \beta$ , від якої виникає зусилля тертя  $T_2 = Nf$ , де  $f = \tan \phi$  – коефіцієнт тертя продукту по матеріалу леза,  $\phi$  – кут тертя.

Зусилля тертя  $T_1$  виникає на іншій грані леза від зусилля  $P_{обж}$ :  $T_1 = P_{обж} f$ .

Вертикальна проекція зусилля  $T_2$ :  $T_2' = T_2 \cos \alpha$ .

Підставивши значення  $N$ , маємо:  $T_2' = f \left( P_{ст} \frac{1}{2} \sin 2\beta + P_{обж} \cos^2 \beta \right)$ .

В момент початку різання критична зусилля  $P_{кр}$ , прикладена до ножа, має подолати суму всіх сил, які діють в вертикальному напрямку:

$$P_{кр} = P_{різ} + P_{ст} + T_1 + T_2' .$$

Зусилля різання  $P_{різ} = F_{кр} \sigma_p = \delta \Delta l \sigma_p$ , де  $\delta$ ,  $\Delta l$  - товщина і довжина леза.

Для визначення сил  $P_{ст}$  і  $P_{обж}$  (рис. 1.3,б) розглянемо дії  $dP_{ст}$  і  $dP_{обж}$  на фаску леза зі сторони елементарних горизонтальних та вертикальних стовпчиків, виділених з шару. Відносний стиск  $\epsilon_{ст}$  будь якого вертикального стовпчика в межах фаски на відстань  $x$  від вершини леза буде  $\epsilon_{ст} = h_{ст(x)}/h$ . Для спрощення задачі приймемо  $\epsilon_{ст} = \sigma/E$  (реально маємо залежність  $\epsilon_{ст} E =$

$\sigma^n$ , приймаємо для спрощення  $n=1$ ). Тоді елементарна зусилля стискування  $dP_{cm}$ , яка діє зі сторони стовпчика площею  $dF$ , довжиною, рівній одиниці, і шириною  $dx$ :

$$dP_{cm} = E \varepsilon_{cm} dh_{cm} \operatorname{tg} \beta = E \frac{h_{cm,x}}{h} dh_{cm} \operatorname{tg} \beta; \quad P_{cm} = \frac{E}{h} \operatorname{tg} \beta \int_0^{h_{cm}} h_{cm,x} dh_{cm} = \frac{E}{2h} h_{cm}^2 \operatorname{tg} \beta$$

Отже, зусилля  $P_{cm}$  для зім'яття фаскою ножа має параболічну залежність від величини  $h_{cm}$ .

В горизонтальному напрямі відносна деформація рівна  $\varepsilon_1$ , а елементарне зусилля обжимання  $dP_{обж} = \varepsilon_1 E h_{cm}$ .

Враховуючи відому залежність між вертикальною і горизонтальною деформаціями, маємо  $\varepsilon_1 = \varepsilon_{cm} \mu = \mu \frac{h_{cm,x}}{h}$ . Тоді :

$$dP_{обж} = \varepsilon_1 E dh_{cm} = \mu \frac{h_{cm,x}}{h} E dh_{cm}; \quad P_{обж} = \mu \frac{E}{h} \int_0^{h_{cm}} h_{cm,x} dh_{cm} = \mu \frac{E}{2} \frac{h_{cm}^2}{h}$$

Враховуючи малі значення коефіцієнта Пуассона,  $P_{обж}$  складає незначну долю  $P_{сж}$ .

Тепер підставимо значення всіх сил, які протидіють  $P_{кр}$ , отримаємо її значення при довжині леза  $\Delta l = l$ :

$$P_{кр} = \delta \sigma_p + \frac{E}{2h} h_{cm}^2 \operatorname{tg} \beta + \frac{f \mu E}{2} \frac{h_{cm}^2}{h} + f \left( \frac{E h_{cm}^2}{4h} \operatorname{tg} \beta \sin 2\beta + \frac{\mu E}{2} \frac{h_{cm}^2}{h} \cos^2 \beta \right) =$$

$$= \delta \sigma_p + \frac{E}{2} \frac{h_{cm}^2}{h} \left[ \operatorname{tg} \beta + f \sin^2 \beta + \mu (f + \cos^2 \beta) \right]$$

В прийнятому вигляді  $P_{кр}$  чітко характеризує взаємозв'язок між важливими конструктивними ( $\beta$ ,  $\delta$ ), фізико-механічними ( $E$ ,  $\mu$ ,  $f$ ,  $\sigma_p$ ), та деякими режимними параметрами ( $h$ ,  $h_{cm}$ ) процесу різання.

Згідно рівняння випливає висновок, що для зменшення зусилля на деформацію продукту при різанні необхідно зменшувати кут  $\beta$  заточки леза.

### 1.3.2.2 Значення кута заточки і гостроти леза для процесу різання

Значення кута заточки обумовлене фасками леза в процесі його силової взаємодії з матеріалом. Аналізуючи величину  $P_{кр}$  як функцію однієї змінної  $\beta$ , тобто,  $P_{кр}=f_1(\beta)$ , можна отримати графічну залежність  $P_{кр} = P_{різ} + c \operatorname{tg}\beta$ , де  $c$  – розмірний коефіцієнт, рівний 1 Н/м.

Експериментальні дослідження підтверджують дану залежність. Для прикладу маємо залежність питомої роботи різання листостебельної маси кукурудзи (рис. 1.4) від кута заточки ножа. Дослідження різання інших продуктів теж мають подібні результати. Маємо значний вплив кута заточки на енергоємність процесу різання (рис.1.4). Доцільно кут  $\beta$  робити якомога меншим, аж до нульового, при якому  $P_{кр}=P_{різ}$ . Проте, зменшення кута  $\beta$  обмежене експлуатаційною надійністю леза.

Зусилля і робота різання більшості пружньо-в'язких матеріалів визначається в основному гостротою леза. Проте досі не існує чіткого визначення поняття гостроти, маємо лише ряд більше або менше доведених точок зору. Маємо результати досліджень впливу гостроти леза на зусилля різання  $P_{різ}$ . Зусилля і питома робота  $A_{num}$  різання в залежності від гостроти

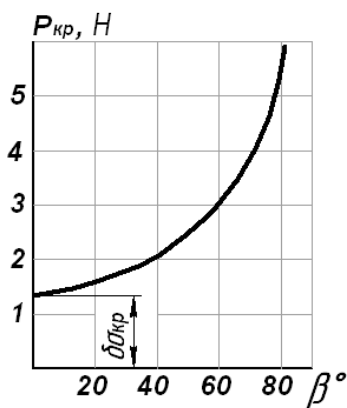


Рис. 1.4. Залежність критичного зусилля  $P_{кр}$  від кута заточки  $\beta$ .

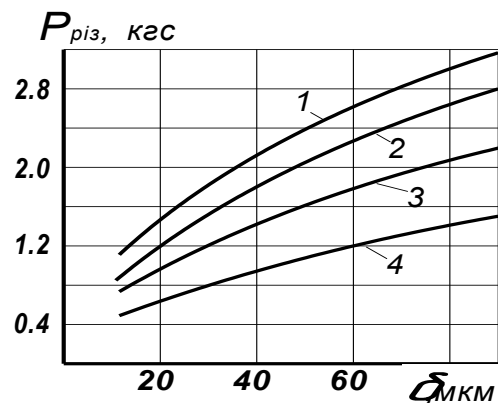


Рис. 1.5. Залежність зусилля різання від гостроти леза для коренеплодів : 1-цукровий буряк; 2-кормовий буряк, 3-морква; 4-картопля.

леза  $\delta$  змінюється по закону  $A_{num} = k\sqrt{\delta}$ . Для прикладу покажемо графічну залежність (рис.1.5) зусилля різання від гостроти леза для коренеплодів. **1.4.**

#### 1.4.Різновиди процесу різання

Розрізняють такі види різання: нормальне, нахилене і ковзаюче.

При нормальному різанні лезо розрізає матеріал в нормальному відносно кромки напрямку (такий вид різання називають рубаючим) [1, 2].

При нахиленому і ковзаючому різанні (рис. 1.6.) лезо переміщається як в нормальному напрямку до кромки, так і паралельно їй. Більшість дослідників не розрізняють ці два види різання, але між ними є різниця: в нахиленому різанні беруть участь тангенціальна складова зусилля різання  $P_t$  і  $s_t$ , проте відсутнє проковзування матеріалу по кромці за умови, що кут  $\alpha$  між нормаллю до леза і напрямом його переміщення не перевищує кута тертя  $\varphi$  леза по матеріалу. Якщо  $\alpha > \varphi$ , то різання буде з проковзуванням. Опір ковзанню леза по матеріалу в процесі його різання назвати тертям можна умовно, тому що фізична природа цього опору не вивчена і може відрізнятись від природи тертя при взаємному ковзанні двох поверхонь[1].

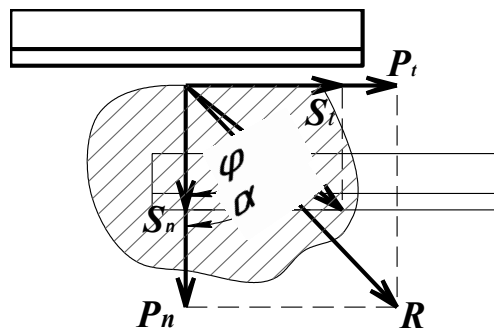


Рис. 1.6. Співвідношення між нормальною  $P_n$  і тангенціальною  $P_t$  силами різання, нормальним  $s_n$  і дотичним  $s_t$  переміщенням леза при ковзаючому різанні.

Для кількісного визначення ковзання в процесі різання використовують коефіцієнт ковзання  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = V_n/V_t = S_n/S_t = \text{tg } \varphi.$$

При ковзаючому різанні трансформується кут заточки і кромка леза в залежності від співвідношення нормальної і тангенціальної складових швидкості різання, а також кута нахилу  $\alpha$  леза до напрямку різання.

#### 1.4.1. Кінематична трансформація кута заточки та кромки леза

Раніше було розглянуто значення кута заточки для нормального різання для випадку, коли лезо рухається нормально відносно своєї різальної кромки. Кут заточки леза в даному випадку визначається виходячи із загального уявлення про геометрію леза в статичному стані.

В процесі нахиленого різання і різання із ковзанням кут заточки в напрямку різання (робочого переміщення леза) змінює своє значення – зменшується в залежності від кута нахилу різання  $\alpha$  або кута ковзання  $\tau$ . Це явище називають трансформацією кута заточки.

На рис. 1.7 показано схему леза з кутом заточки  $\beta = doc$ .

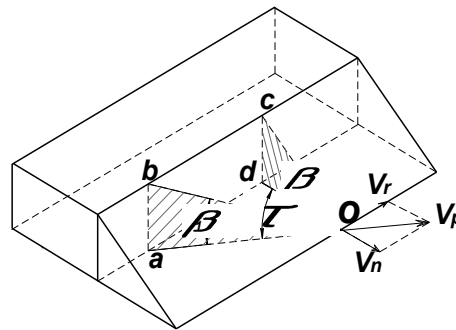


Рис. 1.7. Визначення трансформації кута заточки леза.

Якщо лезо проникає в матеріал під кутом  $\tau$  до нормалі, тобто, в напрямку  $V_p$ , кут заточки має замірятись в площині, яка проходить через цей напрям, і стане рівним куту  $\beta_1 = aob$ , закономірність зміни якого можна визначити так:

$$\beta_1 = \arctg(\tg\beta \cos\tau)$$

Відношення різниці між кутами початковим  $\beta$  та трансформованим  $\beta_1$  до початкового  $\beta$  характеризує коефіцієнт трансформації  $k$ :

$$k = \frac{\beta - \beta_1}{\beta} = \frac{\beta - \arctg(\tg\beta \cos\tau)}{\beta}$$

Дану залежність представимо графічно (рис. 1.8). З графіків видно, що для лез з більшим початковим кутом  $\beta$  коефіцієнт трансформації змінюється в залежності від кута  $\tau$  інтенсивніше, чим для лез з малим початковим кутом.

Маємо дані про результати досліджень, впливу трансформації кута заточки на енерговитрати процесу різання рослинної маси (рис.1.10).

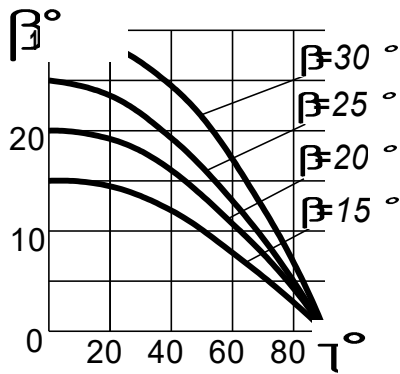


Рис.1.8.Залежність кута  $\beta_1$  від кута ковзання

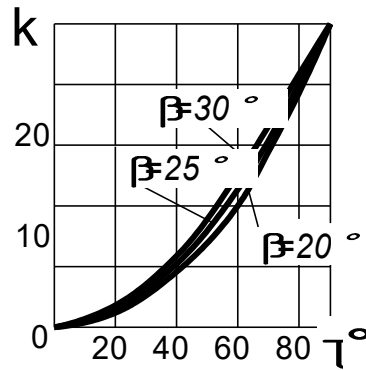


Рис. 1.9. Вплив кута ковзання на коеф. трансформації

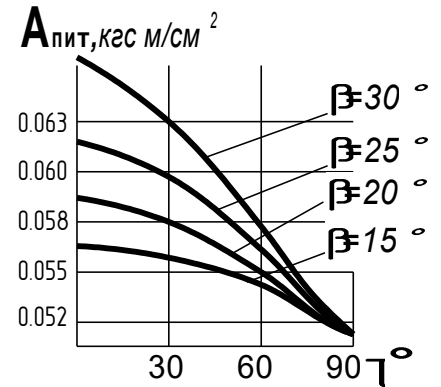


Рис. 1.10. Вплив кута ковзання на питому роботу різання

При різанні із ковзанням, крім трансформації кута заточки, для енергоємності процесу мають значення такі фактори, як перенос опору тертю з нормального напрямку на тангенціальний, перепилююча дія кромки леза, кінематична трансформація кромки, падіння питомого навантаження на погонну довжину леза, які теж залежать від коефіцієнта ковзання. Дані фактори впливають на те, що при різанні із ковзанням значення зусилля різання менші, ніж розраховані для даного значення кута  $\beta_1$ , тобто, зусилля зменшується так, ніби кут заточки зменшився ще на деякий додатковий кут  $\beta_{\text{дод}}$ . Використовують відношення  $k_1 = \beta / \beta_1$ , яке характеризує частку зниження зусилля різання внаслідок трансформації кута заточки, і  $k_2 = \beta_{\text{дод}} / \beta_1$  зниження зусиль різання за рахунок інших факторів. Для прикладу на рис. 1.11 показані графічні залежності  $k=f_0(\varepsilon)$ ,  $k_1=f_1(\varepsilon)$ ,  $k_2=f_2(\varepsilon)$  для кута заточки леза  $60^\circ$ .

При значеннях коефіцієнта ковзання до  $\varepsilon = 1-1.2$ , і відповідно, при куті ковзання до  $\tau=40-45^\circ$ , зниження зусилля різання відбувається в основному за рахунок трансформації кута заточки. При  $\varepsilon > 2$  роль трансформації кута заточки для зниження зусилля різання поступається ролі інших факторів ковзаючого

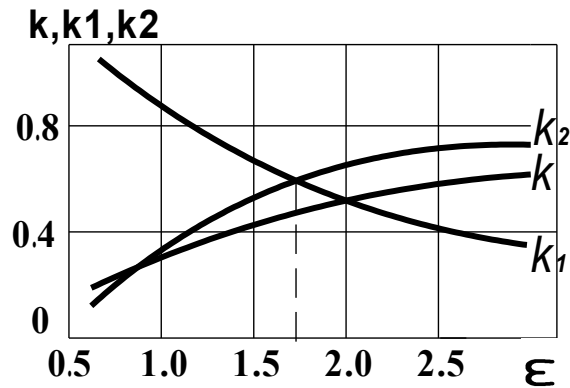


Рис. 1.11. Залежність коефіцієнтів  $k$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  від коефіцієнта ковзання  $\varepsilon$  різання. Точки перетину графіків  $k_1$  і  $k_2$  характеризують умови, при яких на зниження зусилля різання однаково впливають як ефект від трансформації кута заточки, так і ефект від інших факторів ковзаючого різання.

Гострота леза  $\delta$  визначається як подвоєний радіус його кромки. При ковзаючому та нахиленому різанні переріз кромки трансформується в напрямку руху будь якої його точки в матеріал, приймаючи форму повздожнього відрізка еліптичного циліндра, контур якого являє собою дугу гострої вершини еліпса (рис.1.12) радіусом  $r_1$ . Тоді гострота леза  $\delta_l = \delta \cos \tau$ . Для прикладу, при коефіцієнті ковзання  $\varepsilon = 10$ , при якому  $\cos \tau \approx 0.1$  (тому що  $\cos \tau = 1/\sqrt{1 + \varepsilon^2}$ ), відповідно  $\delta_l = 0.1\delta$ . Експериментальні дані показують, що питома робота різання при збільшенні гостроти леза в 4 рази (від 50 до 200мкм) збільшується в 2-3 рази. Користуються коефіцієнтом трансформації кута заточки леза  $k_\delta$ :

$$k_\delta = \frac{\delta - \delta_l}{\delta} = \frac{\delta(1 - \cos \tau)}{\delta} = 1 - \cos \tau$$

На відміну від коефіцієнта  $k_\beta$ , коефіцієнт  $k_\delta$  не залежить від початкової гостроти леза і має постійну величину для кожного значення  $\tau$ .

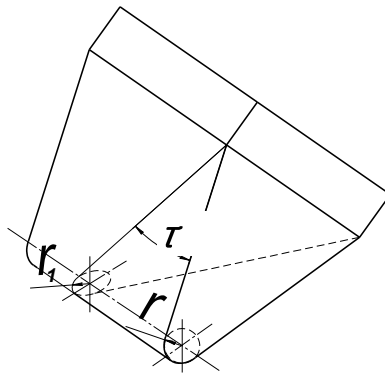


Рис. 1.12. Схема кінематичної трансформації кромки леза.

Отже, найбільш складним видом різання лезом є ковзаюче різання, на яке впливають: кінематична трансформація кута заточки, перенос частини зусилля тертя з нормального на тангенціальний напрям, кінематична трансформація кромки леза і розпилююча дія кромки. При нахиленому різанні суттєву роль відіграють лише два перших фактори, при нормальному різанні вони відсутні. Крім того, нахилене та ковзаюче різання відрізняються від нормального зниженням питомого навантаження на довжину леза.

#### 1.4.2. Вплив швидкості різання на енерговитрати та якість процесу

Під швидкістю різання розуміють швидкість переміщення кромки леза в даній точці в напрямку різання.

При підвищенні швидкості різання зменшується питома робота різання (підтверджено при різанні металів, деревини, харчових продуктів), проте вказане явище на даний час недостатньо обґрунтоване. Опір пружньо-в'язкого матеріалу динамічному навантаженню пов'язаний зі швидкістю поширення в ньому напружень та деформацій, що є його особливими якостями.

На зниження зусилля різання  $P_{різ}$  і роботи різання  $A$  при підвищенні швидкості різання  $V_{різ}$  мають вплив такі фактори, як локалізація напружень і концентрація руйнівної енергії біля кромки леза, зниження роботи попереднього стискування матеріалу лезом, збільшення інерційного підпору шарам матеріалу, зниження коефіцієнта тертя та ін. Зовнішнім проявом цих факторів є підвищення чистоти зрізу за рахунок зменшення на ньому

мікровиступів та западин, що згідно поверхневої теорії дробіння є доказом зниження енерговитрат.

На рис.1.13 зображено графічно вплив швидкості різання стебел кукурудзи при постійних інших параметрах різання на роботи різання  $A_{різ}$ , стискування  $A_{ст}$  і загальну  $A$ , на величину шару стискування  $h_{ст}$ , і коефіцієнт корисної роботи леза  $\lambda$ .

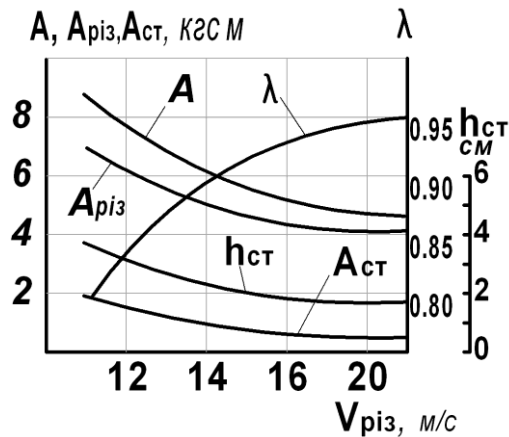


Рис. 1.13. Залежність робіт загальної  $A$ , різання  $A_{різ}$ , стискування  $A_{ст}$ , коефіцієнта  $\lambda$  корисної роботи леза, величини стискування  $h_{ст}$  шару від швидкості різання  $V_{різ}$ .

Коефіцієнт корисної роботи леза  $\lambda$  показує відношення роботи, яка витрачається безпосередньо для різання, до всієї роботи, яка витрачається при різанні:

$$\lambda = \frac{A_{різ}}{A_{різ} + A_{ст}} = \frac{P_{різ}(h - h_{ст})}{A}$$

### 1.4.3. Опис технологічних процесів відрізування та вирубання

Відрізування використовують для виготовлення штаб і листових заготовок. Цю операцію виконують ножами на приводних паралельних, гільйотинних або дискових ножицях, а також на пресах за допомогою штампів.

Ножиці з паралельним розташуванням різальних кромek застосовують тільки для розрізання тонкого металу. В гільйотинних ножицях різальні

кромки ножів 2 і 5 (рис. 1.14, а) з метою зменшення зусилля при різанні нахилені одна до одної під кутом створу. Потрібна ширина заготовки 3 встановлюється за допомогою упора 4. Перед початком відрізування лист-заготовка закріплюється притискачем 1.

На дискових ножицях лист подається і розрізується на частини обертовими дисковими ножицями (рис. 1.14, б). Розріз може бути прямолінійним і криволінійним.

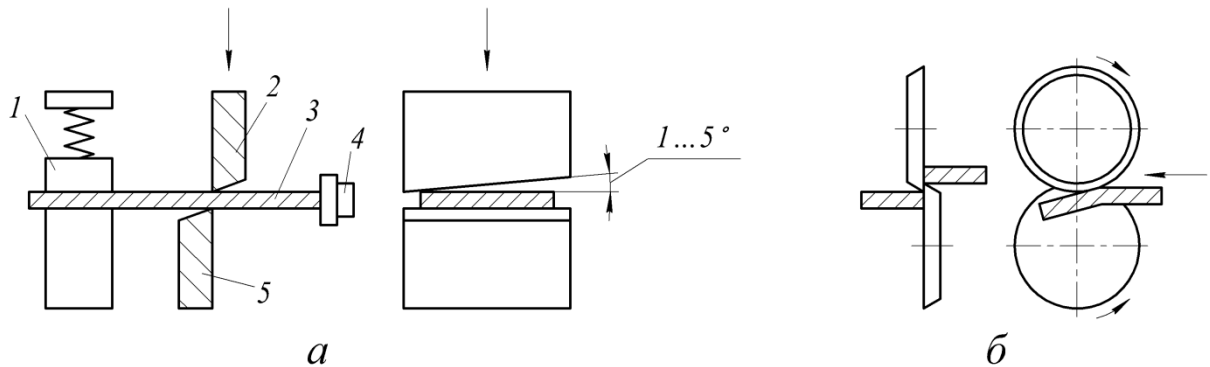


Рис. 1.14. Операція відрізування

Для одержання якісної поверхні зрізу зазор між різальними кромками ножів має становити 3...5% від товщини листа.

Схема для розрахунку зусилля різання на гільйотинних ножицях показана на рис. 1.15[4].

Формули для розрахунку зусилля різання на гільйотинних ножицях[4]:

$$P = \int_{x=0}^{x=B} \sigma_{cp} h \frac{x}{x_1} dx = \sigma_{cp} \frac{h}{x_1} \cdot \frac{B^2}{2} = \sigma_{cp} \frac{s_0^2}{2 \operatorname{tg} \gamma},$$

$$h = S_0, B = \frac{S_0}{\operatorname{tg} \gamma}$$

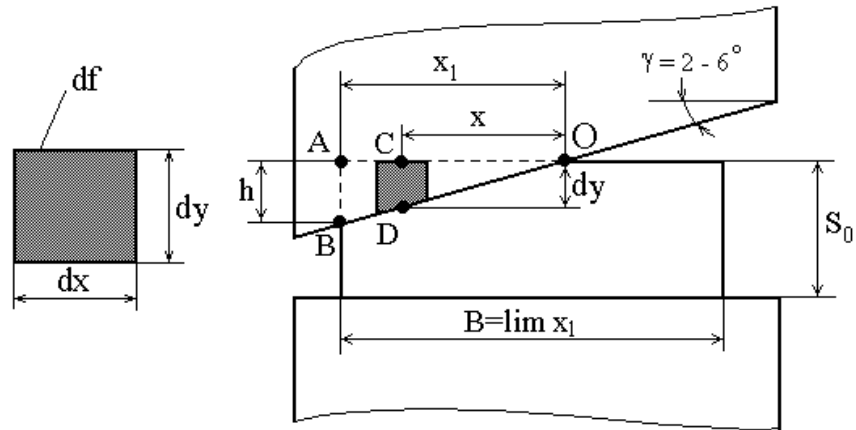


Рис. 1.15. Схема для розрахунку зусилля  
різання на гільйотинних ножицях

Вирубування і пробивання – це різання по замкненому контуру і відрізняються тільки призначенням. При вирубуванні деталь 4 (рис. 1.16, а) відокремлюється від заготовки 3, а при пробиванні в деталі 4 (рис. 1.16, б) утворюється наскрізний отвір з видаленням частини матеріалу 5 у відход. При цьому пуансон 2 і матриця 1 працюють як ножі замкненої форми. Для одержання чистого зрізу робочі кромки пуансона і матриці мають бути гострими, а також слід витримати певний зазор між пуансоном і отвором матриці. Зусилля вирубування і пробивання прямо пропорційні периметру зрізу, товщині листа і границі міцності металу, що штампується.

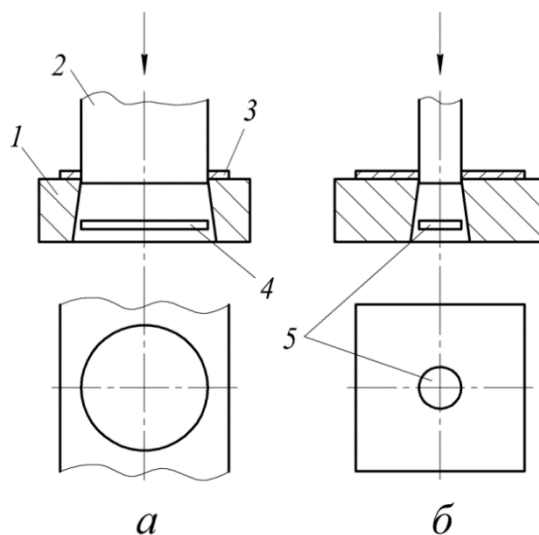


Рис. 1.16. Операція вирубування та пробивання

Вирубування та пробивання, як роздільні операції, завершуються руйнуванням металу в місці деформації.

Процес пластичної деформації заготовки, виникаючий у початкових стадіях деформування, є супутнім, звичайно небажаним, але неминучим для пластичних матеріалів. Розділення заготовки в операціях вирубування та пробивання здійснюється шляхом відносного зміщення суміжних частин заготовки в напрямку товщини заготовки. Щоб локалізувати пластичну деформацію поряд з поверхнею розділу, кромки пуансона та матриці роблять гострими, а зазор між пуансоном та матрицею невеликим (значно меншим товщини заготовки).

Розподіл напружень та деформацій у місці деформації характеризується значною нерівномірністю як у напрямі, перпендикулярному до середньої поверхні, так і вздовж поверхні, що робить задачу важкою, та замкнуті рішення можуть бути отримані тільки при значних припущеннях. Характер припущень та прийнята модель деформування повинні визначатися у зв'язку із задачами дослідження. Так, наприклад, знаходження поля напружень в місці деформації може бути здійснено рішенням плоскої задачі із застосуванням метода характеристик при прийнятих умовах на контурі.

Ставлячи, наприклад, обмежену задачу обґрунтування форми графіка зміна умови на шляху пуансона, можна шукати рішення при більш грубих припущеннях.

Графік зміни зусилля деформування на шляху пуансона при вирубуванні та пробиванні має вигляд, показаний на рис. 1.17, та характеризується порівняно плавним збільшенням зусилля до максимального значення, після якого для мало пластичних матеріалів слідує різке зниження зусилля, а для пластичних матеріалів після  $P_{\max}$  спостерігається невелика ділянка плавного зниження зусилля з наступним його різким падінням[3]. Різке зниження зусилля відповідає руйнуванню заготовки, а зміна зусилля до цієї точки обумовлено опором деформуванню в області пластичних деформацій.

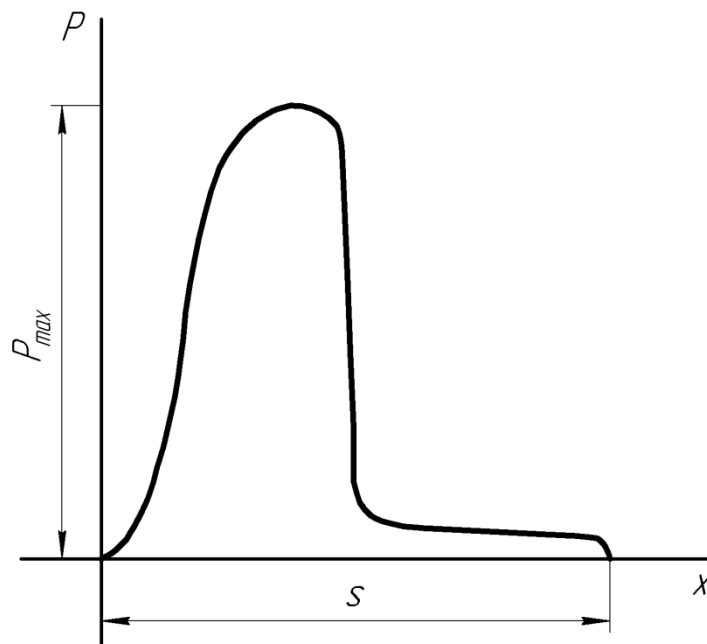
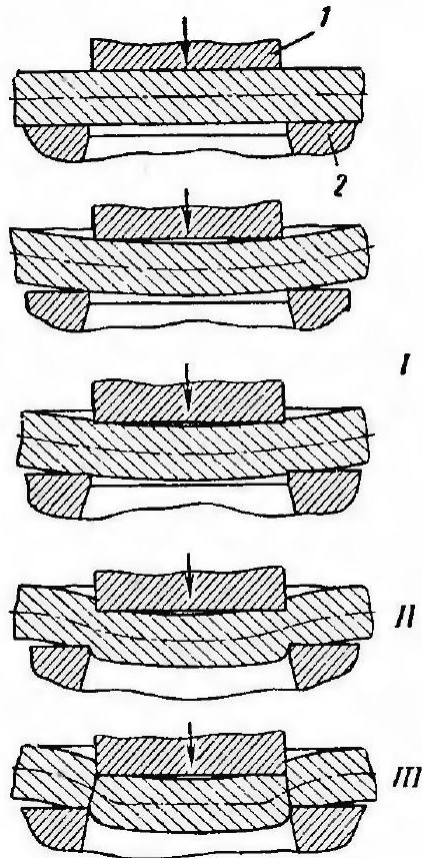


Рис. 1.17

Можна припустити, що причиною, яка визначає вказаний характер зміни зусилля на шляху пуансона, є зміцнення. Так як при вирубуванні виникає відносно зміщення частин заготовки у напрямі, перпендикулярним до поверхні заготовки при відносно малій ширині місця деформації, то можна припустити, що основною є деформація зсуву і що на поверхні, яка проходить через ріжучі кромки пуансона та матриці, діють максимальні дотичні напруження, рівні  $\tau_s$  в умовах пластичних деформацій[3].

Послідовність процесу вирубування та пробивання показана на рис. 1.18. Процес складається з трьох стадій: пружних деформацій, пластичних деформацій та руйнування[22].

На початку процесу деформування (рис. 1.18, I), що відповідає стадії пружних деформацій, матеріал під пуансоном та поблизу від нього зазнає пружне стискання і згин та трохи вдавлюється в отвір матриці (виникає тарільчастість штампованої деталі).



**Рис. 1.18. Схема процесу вирубання: 1 – пуансон; 2 – матриця**

В цій стадії величина напруження в матеріалі нижче межі міцності. При подальшому деформуванні, пружні деформації переходять у пластичні, матеріал за допомогою пуансона продовжує втискатися в матрицю (рис. 1.18, II). Процес вдавлювання металу в матрицю супроводжуються внаслідок нерівномірного розподілення напружень по перерізу вирубаної деталі руйнуванням поверхневих шарів. Стадія пластичних деформацій переходить у стадію руйнування. В цій стадії спочатку з'являються мікро-, а потім макротріщини (рис. 1.18, III), які утворюються біля ріжучих краєв пуансона та матриці і направлені по лінії найбільших деформацій зсуву; виникаючі тріщини швидко розповсюджуються на внутрішні шари матеріалу та викликають відділення деталі. Величина входження пуансона в матеріал до появи тріщин залежить від властивостей вирубаного матеріалу та складає  $(0,25-0,6) S$ . При подальшому переміщенні пуансона він проштовхує вирубану деталь крізь робочу зону матриці і вона попадає в тару.

При вирубванні та пробиванні утворюється нерівна поверхня розділення матеріалу, яка складається з блискучого пояска (зона зрізу) та шорсткої частини (зона сколювання), розташованої по відношенню до блискучого пояска під певним кутом. Як вказувалось раніше, тріщини, які ідуть від ріжучих кромek, пуансона і матриці, направлені під деяким кутом до поверхні деталі. Для того щоб направлення цих тріщин співпали, необхідна наявність деякого зазору між пуансоном та матрицею. Кут нахилу тріщин залежить від властивостей вирубуваного матеріалу і складає  $3 - 15^\circ$ . Чим твердіше матеріал, тим більший кут тріщин.

Правильно вибрані розміри (поперечного перерізу) пуансона та матриці забезпечують з'єднання тріщин та дають чистий зріз по периметру вирубуваної деталі чи пробиваємого отвору. Якщо ж розміри вибрані неправильно, тобто зазор між пуансоном та матрицею малий або великий, зусилля вирубування чи пробивання буде більше ніж при нормальному зазорі, стійкість робочих деталей штампа в  $1,5 - 2,5$  разів менше, якість поверхні зрізу погіршується.

Встановлено, що зазор між пуансоном та матрицею при вирубуванні та пробиванні залежить від товщини штампуємого матеріалу та вимог щодо чистоти зрізу.

Вплив величини зазору на деформацію метала:

- При оптимальному зазорі поверхні зсуву та тріщини зі сторони пуансона співпадають з відповідними тріщинами зі сторони матриці.
- При малому зазорі та великій товщині метала від неспівпадіння тріщин утворюється кільцева перемичка, котра перерізається з утворенням нових сколюючих тріщин і на деталі утворюється надрив та подвійний зріз із протягнутим заусенцем.
- В разі дуже великого зазору на поверхні образу утворюються рвані заусенці від затягування та обриву метала в зазорі.

Величини діаметральних зазорів (початкових) між пуансоном та матрицею при вирубуванні та пробиванні алюмінію приведені в табл. 1.2[22].

Таблиця 1.2

Товщина заготовки, мм	Зазор, мм
0,1–0,25	0,005–0,02
< 0,25–0,5	0,05–0,10
< 0,5–0,1	0,06–0,10
< 1,0–1,8	0,06–0,10
< 1,8–3,0	0,08–0,10
< 3,0–5,0	0,08–0,12
< 5,0	0,08–0,12

Для зменшення зусилля при вирубуванні та пробиванні великогабаритних деталей застосовують скошені пуансони при пробиванні та скошені матриці при вирубуванні (рис. 1.19)[22].

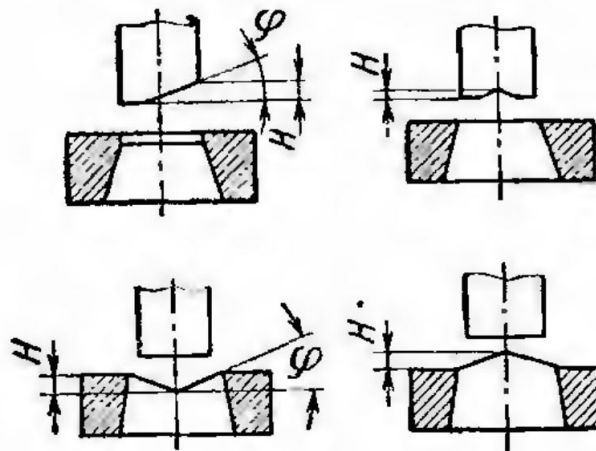


Рис. 1.19. Способи зменшення зусилля при вирубуванні та пробиванні

Формула для розрахунку зусилля вирубування (пробивання):

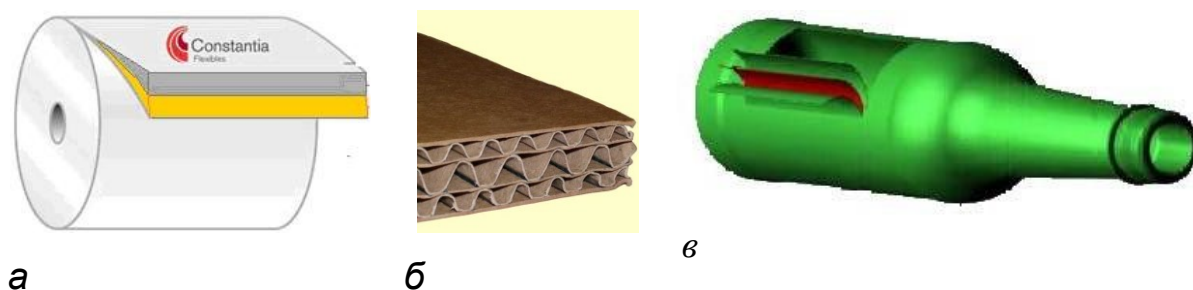
$$P = kL_d S_0 \sigma_{cp} + Q,$$

де  $L_d$  – периметр контура деталі;

$Q$  – зусилля притискання.

## 1.5. Особливості різання багат шарових харчових продуктів та пакувальних матеріалів

З літературних джерел (а також з повсякденного досвіду) відомо, що значна частина харчових продуктів (м'ясо з кістками та жилами, овочі зі шкіркою, хліб, ковбасні вироби та інші), а також пакувальних матеріалів для харчових продуктів - багат шарові. Наприклад, пакувальні плівки (рис. 1а), гофрований картон [2] (рис. 1б), деякі види ПЕТ-пляшок (рис. 1в). Тонкий шар тонувальної плівки може наклеюватись на основні пакувальні матеріали (картон, пінопласт), зміцнюючи їх. З виробничого досвіду, а також згідно останніх наукових досліджень відомо, що процес різання таких матеріалів має певні особливості порівняно з однорідними матеріалами.



*Рис. 1. Багат шарові пакувальні матеріали  
а – плівка; б – гофрокартон; в – ПЕТ-пляшка.*

Виробники різального обладнання, а також різальних механізмів пакувального обладнання часто не враховують структуру матеріалу при виборі умов та режимів різання.

Основна особливість різання багат шарових матеріалів – залежність зусилля різання та якості процесу від:

- розміщення шарів матеріалу відносно руху леза
- конструкції леза та основи, на якій знаходиться матеріал
- способу фіксації матеріалу при різанні

Зазвичай багат шарова плівка складається з більш товстого основного формоутворюючого шару, і тонкого, який використовується для зміцнення

структури, захисту основного шару від вологи і газового середовища. Основний шар зазвичай виготовляється з більш дешевого матеріалу на паперовій, полімерній або іншій подібній основі, показники міцності якої невисокі. Тонкий шар зазвичай має інші властивості – високі порівняно з основою модуль пружності та міцність. Всі шари з'єднані між собою зварюванням або склеюванням. Тоді шар клею можна розглядати як окремий елемент матеріалу.

Лезо при русі деформує матеріал на глибину, рівну товщині леза. При цьому стискаються бокові поверхні леза, і виникають сили тертя, які чинять опір його руху.

Якщо на виході леза розміщено міцний шар іншого матеріалу, він не дозволяє деформуватись навколишнім шарам. Так як лезо все одно деформує матеріал на величину своєї товщини, то зусилля стискування ним леза на межі контакту шарів значно зростає. Відповідно зростає зусилля тертя і загальний опір руху леза.

Розрізавши товстий шар, лезо з легкістю розрізає тонкий міцний шар. Найбільше ж зусилля опору руху буде на межі контакту шарів.

Збільшення зусилля різання при розміщенні оболонки або міцного шару на виході леза не є єдиним недоліком даного способу різання. При збільшенні опору руху різальна кромка леза викривлюється, лезо перестає рухатись в потрібному напрямку, внаслідок чого матеріал значно деформується під фаскою леза, поверхня зрізу стає нерівною, крихкі матеріали руйнуються хаотично.

Якщо оболонка або інший міцний шар розміщений на вході леза в матеріал, то лезо його легко розрізає. Нижче розміщений шар не буде чинити значного опору деформування матеріалу.

При проектуванні різального обладнання необхідно визначити потужність його приводу. Відома проста методика визначення зусилля та потужності різання. Вона базується на використанні експериментальної

установки маятникового типу. За допомогою отриманих математичних моделей результати експерименту легко переносяться на промислове різальне обладнання.

В різних роботах розглянуто особливості моделювання різання різних матеріалів.

При різанні матеріалу з однорідною структурою на лезо діють зусилля різання  $F_r$ , динамічного тертя  $G$  та інерції  $P_i$ .

$$G = C + k_1 V = C + k_1 \frac{dy}{dt} \quad (1)$$

$$P_i = ma = \frac{m d^2 y(t)}{dt^2}, \quad (2)$$

де  $C$ ,  $k_1$  – коефіцієнти, які характеризують тертя;  $y$ ,  $V$ ,  $a$  – переміщення, швидкість руху та прискорення леза в матеріалі.

Диференціальне рівняння руху леза:

$$F_r + G + P_i = 0 \Rightarrow F_r + (C + k_1 \frac{dy(t)}{dt}) + m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} = 0 \quad (3)$$

Розв'язавши рівняння, отримаємо залежність зусилля різання від швидкості леза та властивостей матеріалу:

$$F_r = \frac{k_1 \frac{dy(t)}{dt} - e^{-\frac{k_1 t}{m}} (C + V_{oy} k_1) + C}{e^{-\frac{k_1 t}{m}} - 1} \quad (4)$$

Аналіз рівняння (4) та отриманих результатів показано в роботі [1].

Проте дана модель не може адекватно описувати процес різання багатошарових матеріалів.

Особливістю різання багатошарових матеріалів є те, що на межі контакту шарів на лезо діє значне короткочасне (миттєве) зусилля  $F_M$ , яке направлене перш за все на подолання сил тертя.

Рівняння руху леза буде таким:

$$F_r + G + P_i + F_M = F_r + (C + k_1 \frac{dy(t)}{dt}) + m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + F_M = 0 \quad (5)$$

Миттєве зусилля може змінюватись за законами  $F_M = Be^{-bt}$  або  $F_M = Ae^{-B(\ln t)^2}$ . Графічно воно зображуються як швидко спадаюча залежність. Тривалість його дії  $0 - t_1$  значно менша, ніж тривалість переміщення леза в матеріалі.

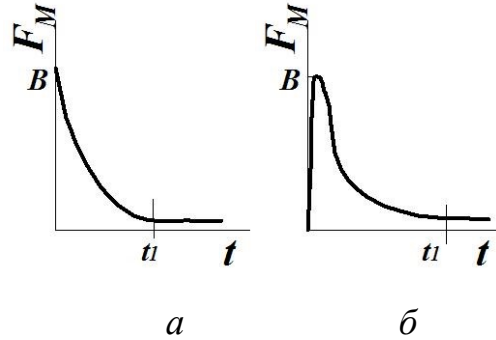


Рис. 4. Зміна миттєвої сили за часом:

а)  $F_M = Be^{-bt}$ ;      б)  $F_M = Ae^{-B(\ln t)^2}$

При  $F_M = Be^{-bt}$  диференціальне рівняння руху леза:

$$F_r + (C + k_1 \frac{dy(t)}{dt}) + m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + Be^{-bt} = 0 \quad (8)$$

Розв'язавши рівняння, при початкових умовах  $t=0 \Rightarrow x(0)=0, V(0) = V_0$  отримуємо переміщення (9), швидкість леза (10) та зусилля різання (11).

$$y(t) = \frac{m(1 - e^{-\frac{k_1 t}{m}})(V_0 k_1 + C + F_r)}{k_1^2} + \frac{\mu_1(B(1 - e^{(bt)}) + bt(C + F_p)) - mb(bt(C + F_r) + B(1 - e^{-\frac{k_1 t}{m}}))}{(mb - k_1)k_1 b} \quad (9)$$

$$V(t) = \frac{e^{-\frac{k_1 t}{m}}(V_0 k_1 + C + F_r)}{k_1} + \frac{k_1(Bbe^{(-bt)} + b(C + F_p)) - mb(b(C + F_r) + \frac{Bk_1 e^{-\frac{k_1 t}{m}}}{m})}{(mb - k_1)k_1 b} \quad (10)$$

$$F_r = \frac{Vk_1 mb - Vk_1^2 + e^{-\frac{k_1 t}{m}}(-V_0 k_1 mb + V_0 k_1^2 - mbC + Bk_1) + k_1 C - k_1 Be^{(-bt)} - k_1 C + Cbm}{e^{-\frac{k_1 t}{m}}(mb - k_1) + k_1 - mb} \quad (11)$$

На рис. 7 показано, як змінюється миттєве зусилля в залежності від коефіцієнта  $b$ , на який, в свою чергу, впливають міцність та структурно-механічні властивості оболонки.

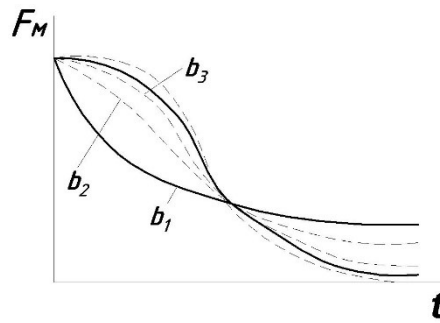


Рис. 5. Залежність миттєвого зусилля  $F_M$  від показника степені  $b$ .

Отже, крім визначення зусилля різання, результати моделювання можна застосувати для визначення структурно-механічних характеристик матеріалу та його шарів.

Визначивши швидкість леза і зусилля різання, визначаємо потужність різання як добуток зусилля різання на швидкість леза.

$$N = F_{rm} \frac{dy(t)}{dt}$$

де  $F_{rm}$  - максимальне зусилля різання.

У випадку, якщо миттєве зусилля  $F_M = Ae^{-B(\ln t)^2}$ , то рівняння руху леза:

$$F_r + (C + k_1 \frac{dy(t)}{dt}) + m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + Ae^{-B(\ln t)^2} = 0 \quad (12)$$

Рівняння (12) при використанні сучасних комп'ютерних методів має громіздкий розв'язок, включає специфічні математичні функції, які незручні при практичному використанні. Можна рекомендувати до використання наближені або чисельні методи. Наприклад, отримати розв'язок у вигляді збіжного ряду.

Зміну середнього питомого зусилля різання багатошарових матеріалів підтверджено експериментально. Згідно рівняння (4) отримано зусилля різання деяких багатошарових матеріалів.

Тонкий міцний шар розміщався на вході або виході леза з матеріалу. При окремому різанні зусилля різання цього шару настільки мале, що не фіксувалось приладами. Але, при багатошаровому різанні, коли тонкий

міцний шар розміщений на виході леза з матеріалу, середнє зусилля різання зростає.

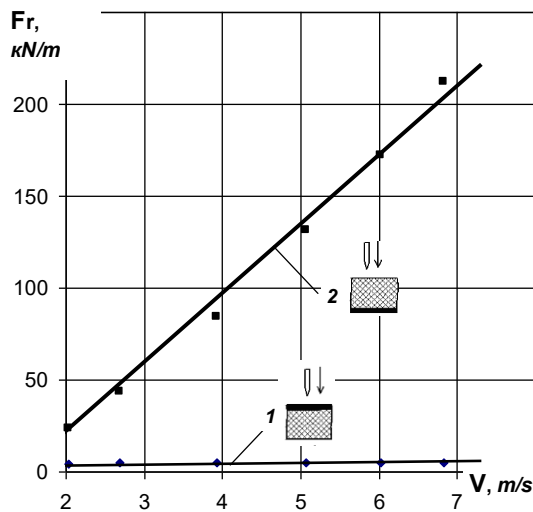


Рис. 6. Залежність зусилля різання пінопласту ( $h=10\text{мм}$ ) з наклеєною тонучою плівкою:

1 – плівка на вході леза;

2 – на виході

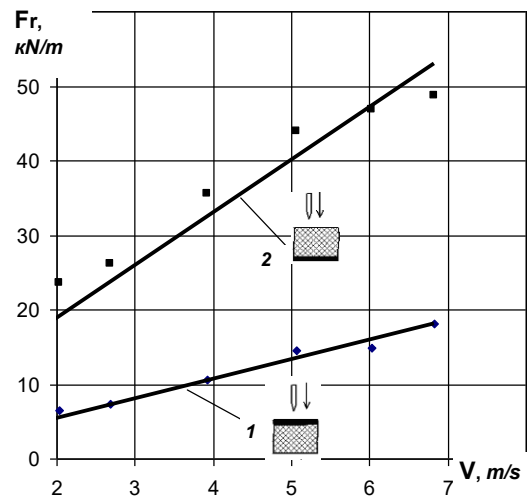


Рис. 7. Залежність зусилля різання запаяної блістерної упаковки:

1 – шар фольги на вході леза;

2 – на виході

Використано модельний матеріал – пористий пінопласт товщиною 10 мм, з наклеєною тонучою полімерною плівкою. На рис. 6 видно, що при розміщенні плівки на виході леза з матеріалу зусилля різання в понад 50 раз більше, ніж при розміщенні плівки на вході леза.

Схожі результати отримано при різанні блістерної упаковки (рис. 7), яка складається з шару слабо пластифікованого ПВХ товщиною 0.4 мм і тонкого міцного шару алюмінієвої фольги.

Отримані результати підтверджують зроблені висновки про вибір способу різання багатошарових матеріалів та раціональну орієнтацію шарів відносно руху леза.

В роботі [9] наводяться такі висновки:

1. При різанні багатошарових матеріалів на межі контакту шарів зусилля різання збільшується за рахунок стискування матеріалом бокових поверхонь леза та сил тертя, які при цьому виникають.

2. Матеріал при різанні необхідно орієнтувати так, щоб спочатку розрізався тонкий міцний шар, а потім інші, менш міцні шари. Це забезпечить низькі енерговитрати, високу якість зрізу та зносостійкість леза.
3. Розроблені математичні моделі (4, 10, 11) дозволяють визначити зусилля та потужність різання однорідних і багатошарових матеріалів.

Проте, аналіз наведених вище робіт дозволив зробити висновки про наступне:

1. Залишається недослідженим процес різання багатошарових продуктів з постійною швидкістю.
2. Експериментальний стенд маятникового типу не дозволяє визначити зміну зусилля різання під час проходження леза через продукт. Визначалось лише усереднене зусилля різання за допомогою математичних моделей у вигляді диференціальних рівнянь руху леза другого порядку.
3. В диференціальних рівняннях руху леза другого порядку для різання харчових продуктів необхідно підставляти залежність зусилля різання під час наближення та віддалення від оболонки (тонкого міцного шару багатшарового продукту). Ці залежності не встановлені детально.

### **1.6. Висновки і задачі досліджень**

Значна частина харчових продуктів та пакувальних матеріалів для харчових продуктів - багатошарові. Наприклад, пакувальні плівки, гофрований картон. Тонкий шар тонувальної плівки може наклеюватись на основні пакувальні матеріали (картон, пінопласт), зміцнюючи їх. З виробничого досвіду, а також згідно останніх наукових досліджень відомо, що процес різання таких матеріалів має певні особливості порівняно з однорідними матеріалами.

Виробники різального обладнання, а також різальних механізмів пакувального обладнання часто не враховують структуру матеріалу при виборі умов та режимів різання.

Питання, що потребують додаткових досліджень:

1. Процес різання багатошарових продуктів з постійною швидкістю.
2. Визначення залежність зусилля різання під час наближення та віддалення леза від оболонки (тонкого міцного шару багатошарового продукту).
3. Розробка рекомендацій щодо раціонального різання багатошарових харчових продуктів та пакувальних матеріалів з метою зниження енерговитрат та підвищення часу роботи різального інструменту.

Метою даної роботи є удосконалення процесу різання та вирубування багатошарових пакувальних матеріалів.

У відповідності з поставленою метою сформульовано такі задачі:

- створити експериментальні установки і розробити відповідні методики для проведення досліджень процесів різання багатошарових матеріалів з постійною швидкістю
- провести експериментальні дослідження;
- встановити математичні залежності зусилля різання від структури продукту
- обробити результати та надати рекомендації щодо вибору режимних параметрів різання багатошарових харчових продуктів

## Розділ 2

### МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ УСТАНОВКИ

#### 2.1. Об'єкт і предмет досліджень

**Об'єкт досліджень:**

Процес різання харчових продуктів

**Предмети досліджень:**

Процес різання багатошарових харчових продуктів та інших матеріалів

Модельні матеріали (пресований пінопласт, тонувальна плівка).

Харчові продукти (м'ясо, овочі);

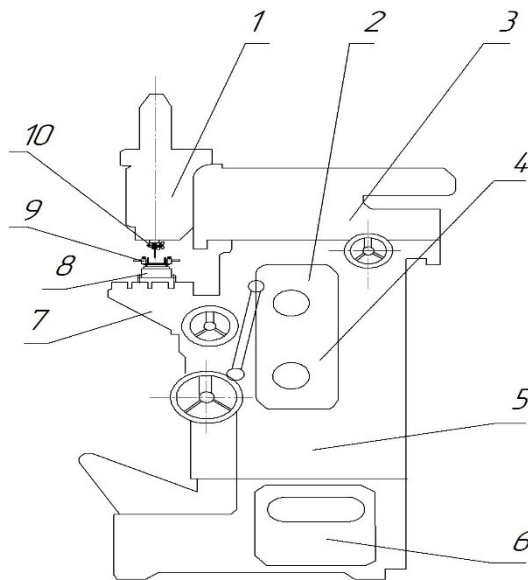
Багатошарові та оболонкові харчові продукти.

Зусилля різання

#### 2.2. Методика та установка для визначення зусилля різання та вирубвання з постійною швидкістю.

##### 2.2.1. Опис експериментальної установки.

Для дослідження процесу різання створено експериментальну установку (рис. 2.1).



**Рис.2.1. Експериментальна установка:**

1- вертикальна головка; 2- коробка швидкостей; 3- шпindelна бабка; 4- коробка подач; 5- станина; 6- електрообладнання; 7- стіл подачі; 8- ваги під'єднані до комп'ютера; 9- тримач; 10- ніж.

### **2.2.2. Експериментальний стенд на базі широкоуніверсального інструментального фрезерного верстату 676П. Призначення і сфера застосування.**

Експериментальний стенд виконано на базі фрезерного широкоуніверсального верстату 676П призначений для фрезерування деталей циліндричними, дисковими і фасонними фрезами за допомогою горизонтального шпинделя, і торцевими, кінцевими і шпонами фрезами за допомогою поворотного вертикального шпинделя.

На верстаті можна виконувати ряд фрезерних і розточувальних робіт з високою точністю, яка може бути досягнута, якщо верстат встановлений в приміщенні з постійною температурою  $20 \pm 2$  З і вологістю  $65 \pm 5\%$ , якщо поблизу верстата немає джерел тепла і вібрації. На верстаті можна виконувати, також, свердління і розсвердлювання, довбане, центрування, цекування, зенкерування, розгортання, розточування. Наявність двох шпинделів горизонтальної і поворотної вертикальної, а також великої кількості деталей до верстата, робить його широкоуніверсальним і зручним для роботи в інструментальних цехах машинобудівних заводів при виготовленні пристосувань, інструменту, рельєфних штампів і інших виробів.

Широкий діапазон оборотів шпинделя і подань, наявність механічних подань і швидких переміщень забезпечують економічну обробку різних деталей в оптимальних режимах.

#### **Конструктивні і експлуатаційні особливості:**

Раціональна побудова головного приводу з коротким кінематичним ланцюгом (на 12 верхніх сідцях беруть участь дві передачі, а на шести нижніх — три передачі) сприяє підвищенню його ККД і зниженню шуму.

Нижнє кріплення гвинта вертикального переміщення забезпечує хід 450 мм при відносно малій висоті верстата.

Поворотний крутень вертикального переміщення покращує ергономіку і розширює технологічні можливості.

Верстат оснащений великою кількістю приладдя. Основні з них:

- фрезерна вертикальна голівка
- кутовий горизонтальний стіл
- кутовий універсальний стіл
- швидкохідна голівка
- довбальна голівка
- ділильна голівка
- пристосування для фрезерування спіральних канавок
- круглий ділильний стіл
- універсальні лещата
- круглий горизонтально-вертикальний стіл
- інструментальна шафа

Переваги використання широкоуніверсального фрезерного верстата 676П :

- Лита масивна чавунна станина поглинає вібрації і дозволяє зберегти якість оброблюваних на верстаті деталей
- Реалізована можливість робити довбальні операції(при придбанні за додаткову плату довбальної голівки)
- Зручне(інтуїтивно зрозуміле), класичне управління верстатом
- Невеликі габарити верстата дозволяють розмістити його практично у будь-якому приміщенні, у тому числі і гаражі
- Широкий діапазон обертання горизонтального і вертикального шпинделів дозволяє підібрати найбільш відповідні режими різання
- Подання СОЖ здійснюється електронасосом. Продуктивність електричного насоса 22 л/мін
- Верстат має додаткову шпиндельну(вертикальну) голівку, розташовану на висувному хоботі, якою можна повертати під кутом  $\pm 90$  градусів в двох взаємно перпендикулярних площинах.

ГАБАРИТ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА

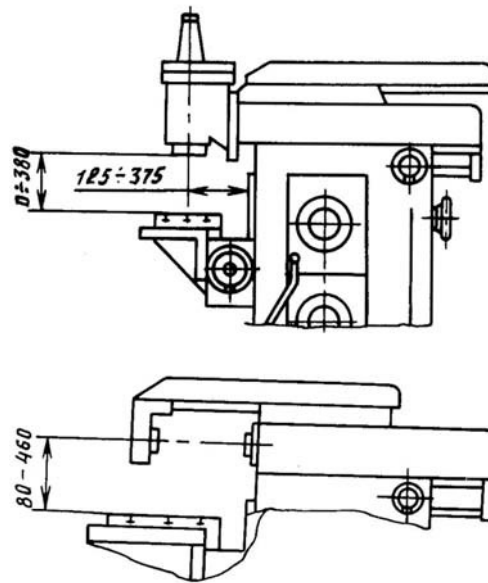


Рис.2.2. Габаритні розміри робочого простору експериментального стану

УСТАНОВОЧНЫЕ И ПРИСОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ БАЗЫ

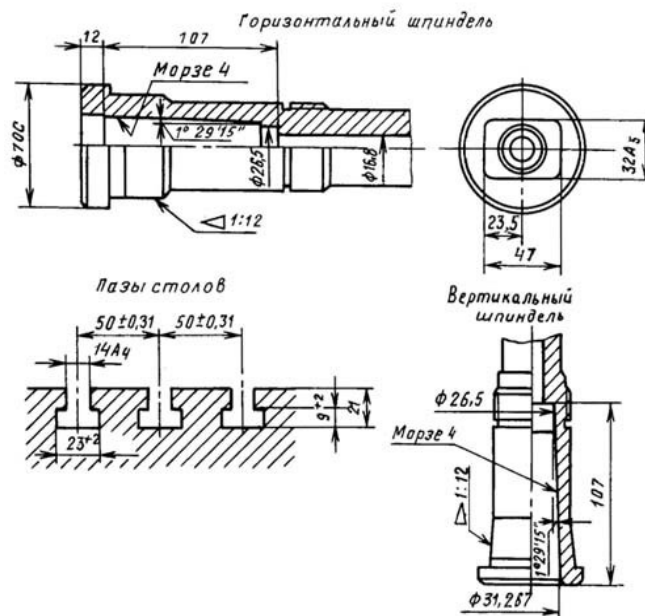
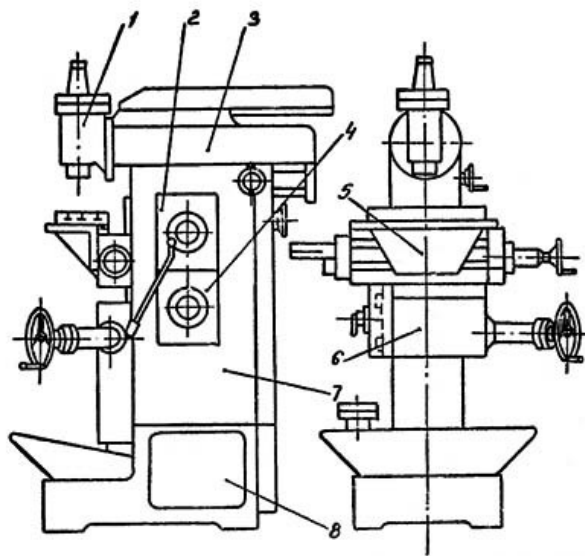


Рис.2.3. Посадочні і приєднувальні бази



**Рис.2.4. Загальний вигляд фрезерного верстата 676П**



**Рис.2.5. Розташування складових частин експериментального стенду**  
**Перелік складових частин експериментального стенду**

1. Коробка швидкостей - 75.1.001В
2. Шпиндельна бабка - 6П.6.001
3. Коробка подань - 75.2.001В
4. Супорт - 6П.3.001
5. Станина - 6П.7.001
6. Електроустаткування - 676П.90.001

## Перелік знімних частин і приладдя фрезерного верстата 676П

1. Вертикальна голівка - 5П.4.001
5. Кутовий горизонтальний стіл - 6П.81.001
  - Універсальний стіл - 6П.82.001
  - Лещата ГОСТ 14904-69
  - Круглий стіл - 5П.84.001
  - Ділильна голівка - 5П.85.001
  - Гітара - 6П.86.001
  - Довбальна голівка - 5П.87.001
  - Інструментальна шафа - 5П.55.001Б
  - Швидкохідна голівка - 75.88.001В

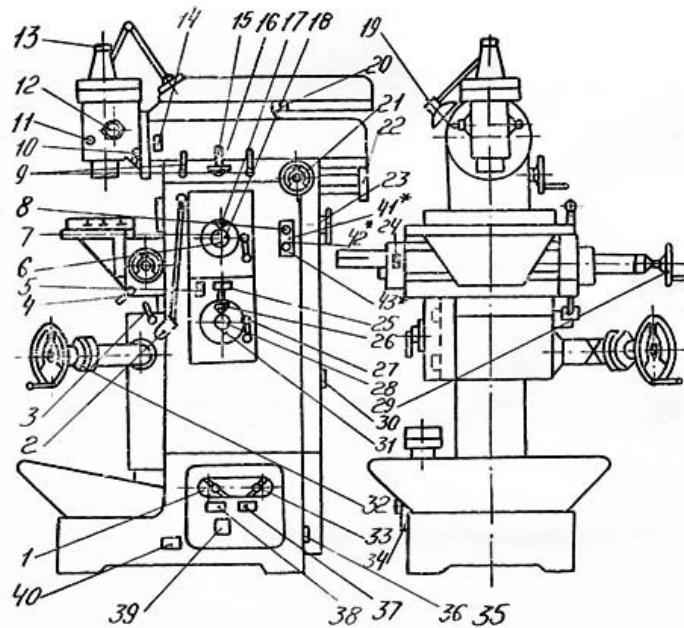
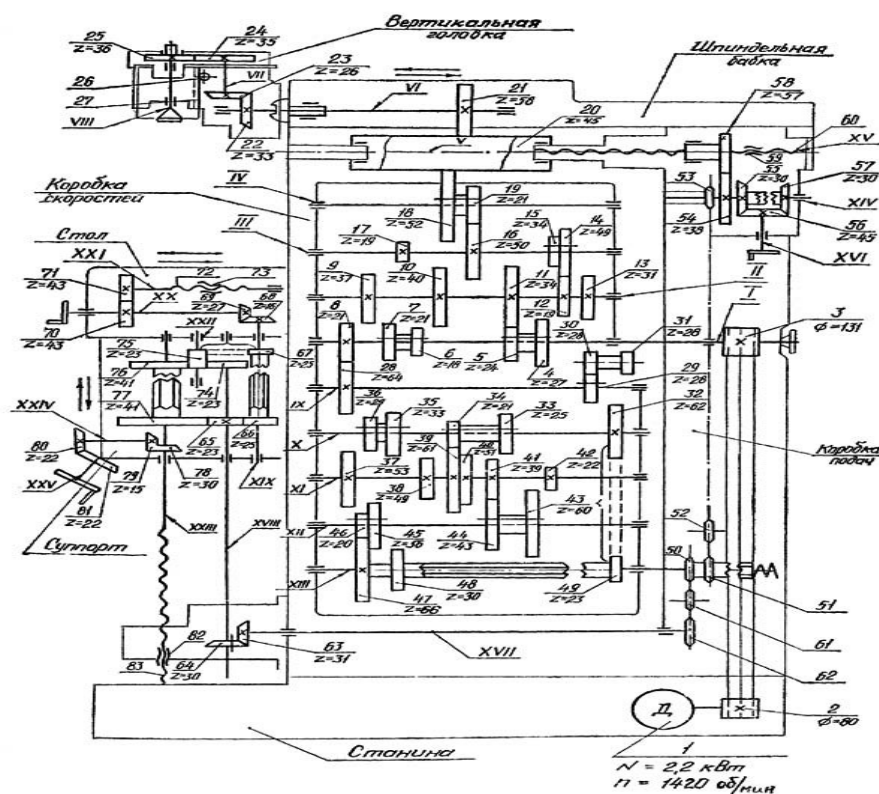


Рис. 3. Расположение органов управления и табличек с символами

### Рис.2.6. Розташування органів управління експериментальним стендом Перелік органів управління експериментальним стендом

1. Реверс шпинделя
2. Руків'я включення механічного подання столу
3. Руків'я затиску столу у вертикальному напрямі
4. Руків'я затиску столу в горизонтальному напрямі
6. Руків'я включення швидкостей
7. Грибок набору швидкостей
8. Пуск і зупинка головного двигуна
9. Руків'я затиску шпindelної бабки
10. Руків'я установки шпинделя у вертикальне положення
11. Затиск гільзи вертикального шпинделя
12. Руків'я переміщення гільзи вертикального шпинделя
13. Затиск інструменту у вертикальному шпинделі

14. Гайка затиску вертикальної голівки
15. Руків'я механічного подання шпindelної бабки
19. Вимикач освітлення
20. Затиск хобота шпindelної бабки
21. Крутень ручного переміщення шпindelної бабки
22. Затиск інструменту в горизонтальному шпindelі
23. Крутень ручного обертання шпindelя
25. Руків'я прискорених переміщень
27. Руків'я включення подань
29. Крутень ручного переміщення столу в подовжній напрям
31. Грибок набору подань
32. Крутень ручного переміщення столу у вертикальний напрям
33. Вимикач охолодження
34. Включення верстата в мережу
35. Таблички



**Рис.2.7. Схема кінематична експериментального станда Ланцюг головного руху**

Від електродвигуна 1 потужністю 2,2 кВт рух передається на вал 1 за допомогою клиноременної передачі 2-3. Від валу 1 через коробку швидкостей обертання передається барабанній шестерні 20, потім на вал горизонтального шпindelя VI. Вал вертикального шпindelя VIII отримує обертання від валу VI через конічну 22-23 і циліндричну 24-25 пар.

Різні положення блоків шестерень коробки швидкостей(7-6, 5-4, 14-15, 19-18) дозволяють повідомляти горизонтальний і вертикальний шпинделям шістнадцять різних швидкостей.

### **Ланцюг подач**

Усі подачі верстату(столу у вертикальному і подовжньому напрямках, шпиндельної бабки в поперечному напрямі) здійснюються механічно і вручну. Крім того, для усіх напрямів передбачено прискорене переміщення. Самостійного приводу подаць у верстаті немає. Механізми подаць отримують обертання від головного приводу(вал 1 коробки швидкостей) через коробку подаць. З останнього валу коробки подаць XIII за допомогою ланцюгових передач 50-62, 51-53 обертання передається механізмам подаць столу і шпиндельної бабки.

Вертикальні подачі столу здійснюються таким чином: від валу XVII через конічну пару 63-64 отримує обертання вал XVIII. На гвинт XXIII вертикального переміщення пряме обертання передається через шестерні 65-77, а зворотне — через шестерні 74-75-76. Оскільки гвинт закріплений в супорті, стіл отримує переміщення вгору або вниз.

Ручне вертикальне переміщення здійснюється крутнем, що сидить на валу XXV, через конічні пари 80-81 і 78-79. Подовжні подання вліво і управо здійснюються перемиканням муфти на валу XIX, при цьому обертання передається через шестерні 66-65 і 74-75-67 на вал XIX, через конічну пару 68-69 на вал XX, а потім через шестерні 70-71 на вал гвинта XXI.

У разі перемикання муфти на валу XIV механізм поперечного подання шпиндельної бабки повідомляє пряме або зворотне обертання гайці 59, пов'язаного з гвинтом поперечного подання, причому шпиндельна бабка переміщається вперед або назад.

Вручну шпиндельна бабка переміщається крутнем за допомогою конічної пари 55-56 або 56-57.

Прискорені переміщення здійснюються зчепленням муфти на валу XVII з муфтою циліндричного колеса 49. Таблиці механізмів головного руху і подань приведені в таблицю. 5 і 6.

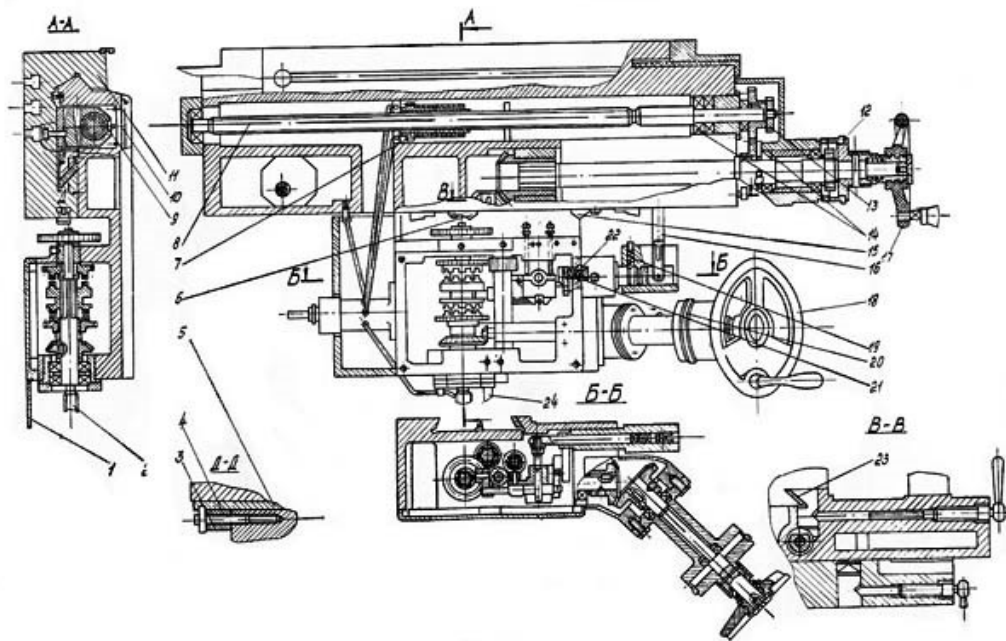


Рис. 7. Суппорт

Рис.2.8. Супорт експериментального стану

### Особливості розбирання і складання експериментального стану

Періодично, відповідно до графіку планово-запобіжних ремонтів, верстат необхідно розбирати для поточного, середнього і капітального ремонтів в наступному порядку:

1. відключити верстат від електромережі;
2. зняти приладдя(вертикальну голівку, стіл та ін.)
3. зняти хобот шпиндельної бабки;
4. вивести шпиндельну бабку з тих, що своїх, що направляють, для чого :
  - зняти упори 14(мал. 8)
  - зняти болти і конічні штифти кріплення кронштейна 13 гвинта 12
  - звільнити клин в станині і рухом вперед вивести бабку з тих, що направляють;
5. зняти крутень 7(мал. 9), а потім задній кожух 6, приводні клинові ремені і ланцюги, звільнивши для цього натяжні зірочки 12;
6. демонтувати вал приводу коробки швидкостей, створюючи цим можливість для вільного зняття коробки швидкостей, а потім вал, пов'язаний з коробкою подань;

7. витягнути із станини коробку швидкостей, заздалегідь знявши гвинти і штифти кріплення фланця коробки;
8. зняти кришку на станині з боку, протилежній стороні кріплення коробки подань, відокремити насос від корпусу коробки, а потім, звільнивши кріпильні гвинти і штифти, вийняти коробку подань;
9. розібрати основний робочий стіл(мал. 7), для чого :
  - звільнити приставні опори гвинта
  - вивернути гвинт з ходової гайки
  - звільнити клин 5
  - вивести робочий стіл з тих, що горизонтальних, що направляють супорта
10. зняти супорт із станини, звільнивши клин 23(мал. 7) обертанням крутня 18, підняти супорт вгору до виходу гвинта 2 з ходової гайки. Супорт знімати із станини підйомником.
11. Систему охолодження і електроустаткування знімати у міру потреби.

Подальше розбирання вузлів слід робити по кресленнях загального вигляду вузлів, приведених в керівництві.

Розібрані деталі слід ретельно промити гасом або уайт-спіритом і насухо протерти. На необертальних втулках необхідно зробити мітки, що визначають їх положення до розбирання. Це забезпечить їх співвісність.

Складання після ремонту треба робити в порядку, зворотному розбиранню.

При складанні слід звернути увагу на регулювання підшипників кочення(уникати зайвого натягу, здатного викликати перегрівання підшипників). При капітальних ремонтах, шліфуванні або шабруванні тих, що направляють треба пам'ятати, що правильне положення ходових гвинтів визначається компенсаторами, товщина яких встановлюється в процесі складання.

**Технічні характеристики експериментального стенду  
Найменування параметра 676П**

**Основні параметри**

Клас точності	П
Розміри горизонтального(кутового) столу, мм	250 x 800
Розміри вертикального столу, мм	250 x 630
Максимальна маса оброблюваної деталі, кг	100
Відстань від осі горизонтального шпинделя до робочої поверхні горизонтального столу, мм	80..460
Відстань від торця вертикального шпинделя до робочої поверхні горизонтального столу, мм	0..380
Виліт осі вертикального шпинделя, мм	125..375
Найбільший подовжній хід столу(X), мм	400
Найбільший хід шпиндельної бабки вертикального шпинделя(Y), мм	250
Найбільший вертикальний хід столу(Z), мм	380

**Вертикальний і горизонтальний шпинделі**

Частота обертання горизонтального шпинделя, про/мін	50..1630
Частота обертання вертикального шпинделя, про/мін	63..2040
Кількість швидкостей шпинделя	16
Ціна ділення лімбів, мм	0,05
Ціна ділення лінійок, мм	
Конус горизонтального і вертикального шпинделів	Морзе 4
Межі подань шпиндельної бабки, мм/мін	13..395
Кількість подань шпиндельної бабки	16
Прискорений хід шпиндельної бабки, м/мін	0,9
Максимальне зусилля подання бабки, Н	
Максимальний допустимий момент, що крутить, на шпинделі горизонтальному/ вертикальному, Нм	
Затиск-віджимання інструменту	Ручний
Гальмування шпинделя	ні

**Вертикальна фрезерна голівка**

Найбільше осьове переміщення вертикального шпинделя, мм	60
Найбільший кут повороту вертикальної голівки у вертикальній площині, градус	±90

Маса вертикальної фрезерної голівки, кг

### **Кутовий горизонтальний стіл**

Кількість подань столу в подовжньому і вертикальному напрямі 16

Межі подовжніх і вертикальних подань столу (X, Y), мм/мін 13..395

Прискорений хід столу в подовжньому і вертикальному напрямі, мм/мін 935

Максимальне зусилля подання столу, Н

Число Тонни - образних пазів 5

Маса кутового горизонтального столу

### **Кутовий універсальний стіл**

Розміри горизонтального універсального столу, мм 200 x 630

Найбільший кут повороту в горизонтальній площині, град  $\pm 20$

Нахил довгої сторони, град  $\pm 45$

Нахил короткої сторони, град  $\pm 30$

Маса кутового горизонтального столу

### **Стіл круглий горизонтально-вертикальний**

Діаметр планшайби столу, мм 250

Габаритні розміри, мм 345 x 330 x 110

Маса круглого столу

### **Привід і електроустаткування верстата**

Кількість електродвигунів на верстаті 2

Електродвигун головного приводу, кВт 2,2

Електродвигун приводу подань, кВт -

Електродвигун мастила і затиску інструменту, кВт -

Електродвигун приводу насоса охолодження, кВт 0,12

Сумарна потужність електродвигунів, кВт 2,32

### **Габарити і маса верстата**

Габарити верстата (довжина x ширина x висота), мм 1282 x 1215 x 1780

Маса верстата, кг

### **2.2.3. Порядок проведення досліджень**

Дослідження проводились в такому порядку.

1. Вирізався дослідний зразок продукту певної товщини і встановлювався в тримач [9] (рис.2.1).
2. Тримач з дослідним зразком поміщався на ваги під'дані до комп'ютера [8] . Потім ваги з дослідним зразком ставли на горизонтальну площину стола який здійснює рух у вертикальному напрямку до ножа [10], який закріплений на вертикальній головці [1].
3. Вмикається подача стола, і при початковому навантаженні ножа на дослідний зразок починався відлік часу. Через кожні 10 секунд фіксувалось зусилля, яке діє на зразок.

### **2.2.4. Заходи з безпеки життєдіяльності під час роботи з експериментальним стендом**

#### **Перед початком роботи необхідно:**

1. Привести в порядок робочий одяг. Застебнути або обхопити широкою гумкою рукави, заправити одяг так, щоб не було розвіваються решт; прибрати волосся під щільно надітий головний убір або косинку;
2. Переконатися в справності верстата, інструменту, пристосувань, огорож, а також запобіжних і заземлюючих пристроїв з боку електроживлення;
3. Перевірити на холостому ходу верстата справність дій органів управління, системи мастила і охолодження, фіксацію важелів включення і переключення; періодично перевіряти правильність роботи блокувальних пристроїв;
4. У разі виявлення несправностей верстата, інструменту, пристосувань, електрообладнання до роботи не приступати;

5. Зручно встановити тару під заготовки і оброблені вироби; перевірити справність підніжної решітки, настилу і відсутність на них місць, залитих маслом.

6. Перевірити кріплення ножа та продукту.

**Під час роботи слід:**

1. Виробляти установку і їх важких заготовок і пристосувань (з масою більше 20 кг) тільки за допомогою підйомних пристроїв; звільняти заготовку від підвіски дозволяється тільки після її установки і надійного закріплення на верстаті;

2. Не порушувати правило, яке забороняє працювати на верстаті в рукавицях або рукавичках, а також з забинтованими пальцями, незахищеними гумовими рукавицями;

3. Надійно і жорстко закріплювати пристосування, інструмент і заготовки на верстаті;

4. З метою запобігання травм рук, поломки фрез і псування поверхні стола верстата важкі фрези попередньо ставляться на спеціальну дерев'яну підставку і піднімаються столом до висоти шпинделя.

5. Щоб уникнути травм через поломки інструменту необхідно: включати спочатку обертання шпинделя (фрези) і лише потім подачу, здійснюючи це поза контактом інструмента з заготівлею; перед зупинкою верстата вимкнути спочатку подачу і відвести фрезу від заготовки, потім вимкнути обертання шпинделя;

6. При виникненні вібрацій верстат зупинити і вжити заходів до їх усунення (перевірити закріплення і стан фрези, заготовки, змінити режим різання);

7. При фрезеруванні використовувати захисні пристрої, прозорі захисні екрани або індивідуальні щитки-окуляри;

8. Неприпустимо проводити вимірювання заготовки в процесі її фрезерування;

9. Витирати руки тільки чистою, раніше не застосовувалася дрантям, так як дрібною стружкою, що стала в дрантя, якої раніше витирався інструмент або верстат, можна поранити руки;

10. Не спиратися на верстат під час роботи;

11. Обов'язково зупинити верстат і вимкнути електродвигун, перш ніж покинути робоче місце навіть на короткий час, а також у разі припинення подачі електроенергії, прибирання, мастилі і чищення верстата.

12. Видаляти стружки з заготовки і верстата тільки спеціальними гачками та щітками-кмітливостю.

13. Обережно поводитись біля верстату, ножа. Це може призвести до порізів, чи інших видів поранень.

**Після закінчення роботи потрібно:**

1. Вимкнути верстат і електродвигун;

2. Привести в порядок робоче місце, очистити верстат від стружки, покласти інструмент у відведене місце, акуратно скласти заготовки та вироби;

3. Змастити тертьові частини верстата;

## **РОЗДІЛ 3.**

### **РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ПОЯСНЕННЯ**

#### **3.1. Визначення зусилля різання різних за структурою харчових продуктів та модельних матеріалів**

##### **1. Дослідження різання модельного тіла – пінопласту з оболонкою з полімерної плівки. Плівка розрізається в кінці різання**

В таблиці 3.1 показано результати експериментальних досліджень процесу різання пінопласту з оболонкою з полімерної плівки. Плівка знаходилась на виході леза в продукт. Швидкість леза складала 0,22 мм/с. Кількість паралельних досліджень складала 3.

На рисунку 3.1 показано графічні залежності отриманих результатів. На початку різання зусилля швидко зростає до 40 Н. Після 40-50 секунд зусилля дещо знижується до 30-35 Н, і далі залишається приблизно незмінним. Це ми пояснюємо тим, що спочатку продукт зминається під дією навантаження леза, потім після прорізання продукту зусилля залишається приблизно незмінним.

В кінці різання, перед наближенням леза до плівки, зусилля різання стрімко зростає до 90-110 Н, і після розрізання миттєво падає.

Таблиця 3.1

**Зміна зусилля різання модельного тіла – пінопласту з оболонкою на  
виході леза**

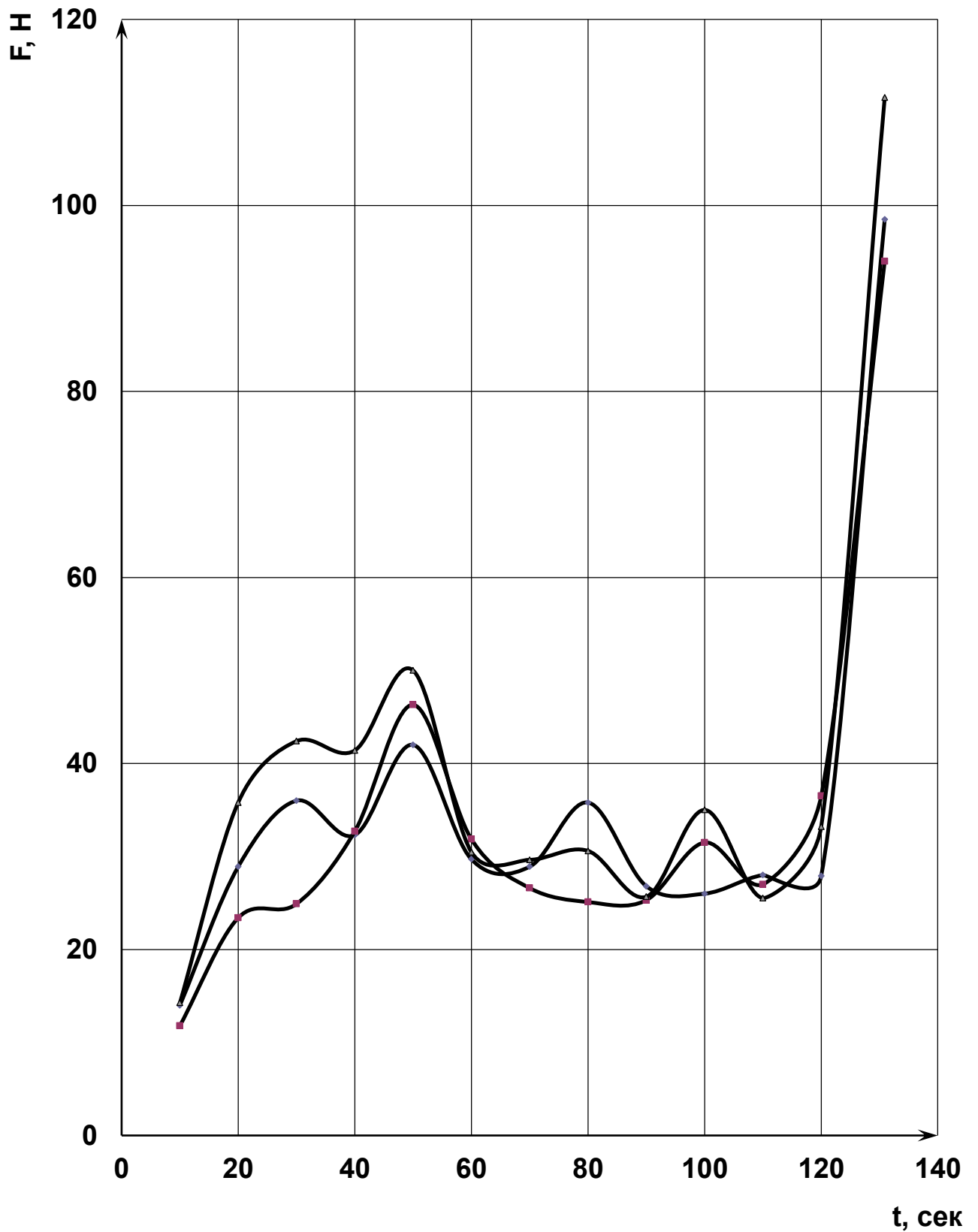
Час, с	Зусилля різання				
	№1 F, Н	№2 F, Н	№3 F, Н	Fс. Н	s
10	14,00	11,80	14,27	13,36	1,04
20	28,90	23,40	35,80	29,37	3,47
30	36,00	24,90	42,40	34,43	5,65
40	32,30	32,70	41,40	35,47	3,04
50	42,00	46,30	50,00	46,10	3,35
60	29,70	31,86	30,47	30,68	1,05
70	28,90	26,60	29,64	28,38	1,11
80	35,80	25,10	30,60	30,50	5,33
90	26,80	25,30	25,67	25,92	0,80
100	26,00	31,50	35,00	30,83	3,97
110	28,00	27,00	25,52	26,84	0,95
120	27,89	36,50	33,21	32,53	4,43
130	98,50	94,00	111,60	101,37	4,85

де F – отримане значення зусилля різання під час паралельних дослідів (1,2,3),

H;

Fс – середнє значення зусилля різання за паралельними дослідями, H;

s - середнє квадратичне відхилення.



**Рис. 3.1. Зміна зусилля різання в часі.**

**Продукт – пінопласт з оболонкою. Оболонка розрізається в кінці різання.**



**Рис. 3.2. Дослідний стенд. Модельне тіло – пінопласт з оболонкою**

## 2. Дослідження різання модельного тіла – пінопласту без оболонки

В таблиці 3.2 показано результати експериментальних досліджень процесу різання пінопласту без оболонки. Швидкість леза складала 0,22 мм/с. Кількість паралельних досліджень складала 3.

На рисунку 3.3 показано графічні залежності отриманих результатів. На початку різання зусилля швидко зростає до 36 Н. Після 30-40 секунд зусилля дещо знижується до 18-24 Н, і далі залишається приблизно незмінним.

Це ми пояснюємо тим, що спочатку продукт зминається під дією навантаження леза, потім після прорізання зм'ятого шару продукту зусилля залишається приблизно незмінним.

**Таблиця 3.2**

### Зміна зусилля різання модельного тіла – пінопласту без оболонки

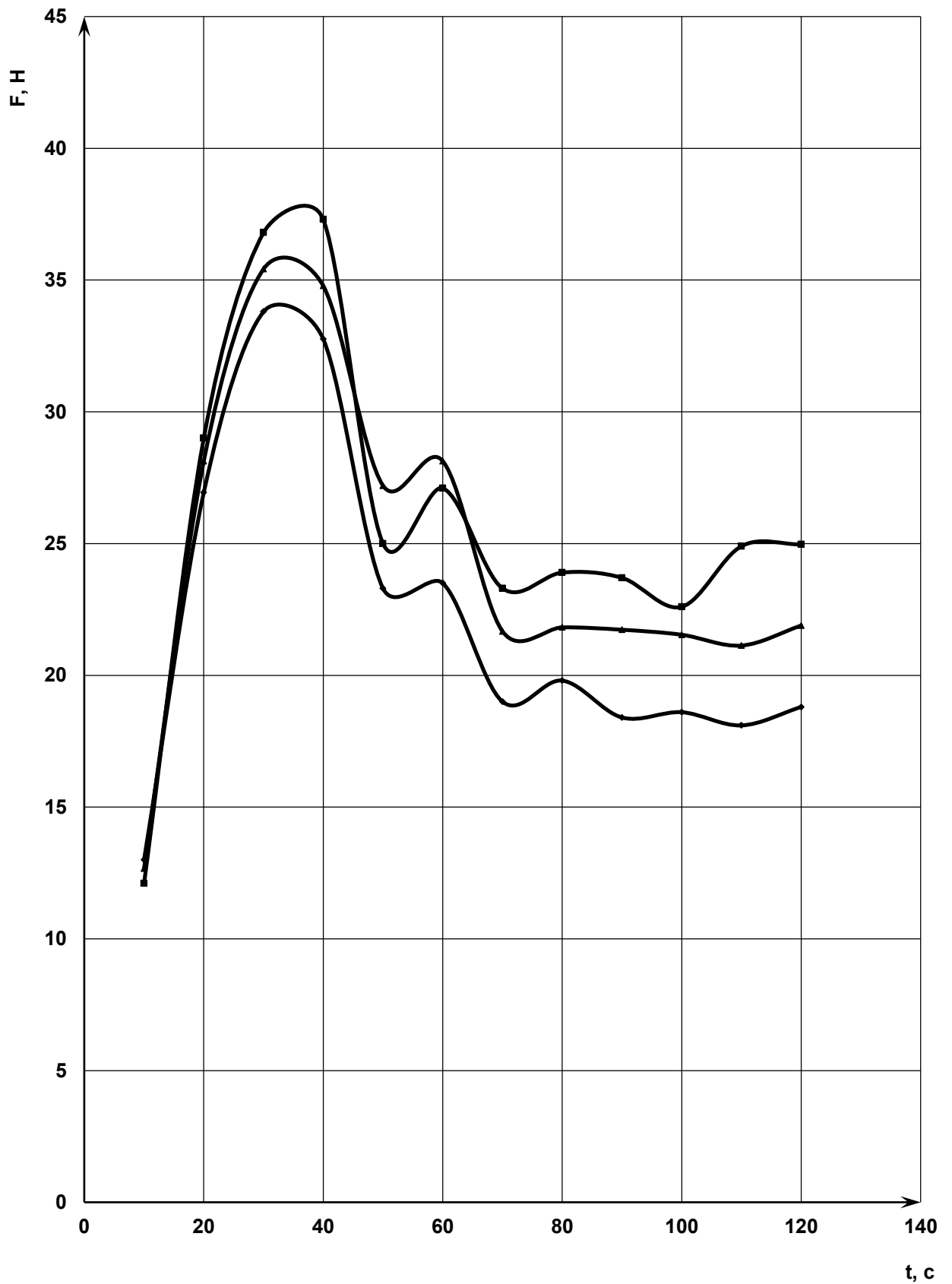
Час, с	Зусилля різання				
	№1 F, Н	№2 F, Н	№3 F, Н	Fс. Н	s
10	13,00	12,10	12,67	12,59	0,44
20	26,94	29,00	28,13	28,02	1,05
30	33,80	36,80	35,42	35,34	1,51
40	32,76	37,30	34,78	34,95	2,24
50	23,30	25,00	27,2	25,17	1,53
60	23,50	27,10	28,13	26,24	2,29
70	19,00	23,30	21,67	21,32	2,21
80	19,80	23,90	21,82	21,84	2,05
90	18,40	23,70	21,73	21,28	2,73
100	18,60	22,60	21,54	20,91	2,13
110	18,10	24,90	21,13	21,38	3,36
120	18,80	24,97	21,89	21,89	3,09

де F – отримане значення зусилля різання під час паралельних дослідів (1,2,3),

Н;

Fс – середнє значення зусилля різання за паралельними дослідями, Н;

s - середнє квадратичне відхилення.



**Рис. 3.3. Зміна зусилля різання в часі.  
Продукт – пінопласт без оболонки.**



**Рис. 3.4. Дослідна стенд з модельним тілом – пінопласт без оболонки**

### 3. Дослідження різання модельного тіла – пінопласту з оболонкою з полімерної плівки. Плівка розрізається на початку різання

В таблиці 3.3 показано результати експериментальних досліджень процесу різання пінопласту з оболонкою з полімерної плівки. Плівка знаходилась на вході леза в продукт. Швидкість леза складала 0,22 мм/с. Кількість паралельних досліджень складала 3.

На рисунку 3.5 показано графічні залежності отриманих результатів. На початку різання зусилля швидко зростає до 54 Н. Після 30-40 секунд зусилля знижується до 19-24 Н, і далі залишається приблизно незмінним.

Це ми пояснюємо тим, що спочатку продукт зминається під дією навантаження леза, потім після прорізання оболонки і зім'ятого шару продукту зусилля різання залишається приблизно незмінним.

**Таблиця 3.3**

#### Зміна зусилля різання модельного тіла – пінопласту з оболонкою на вході леза

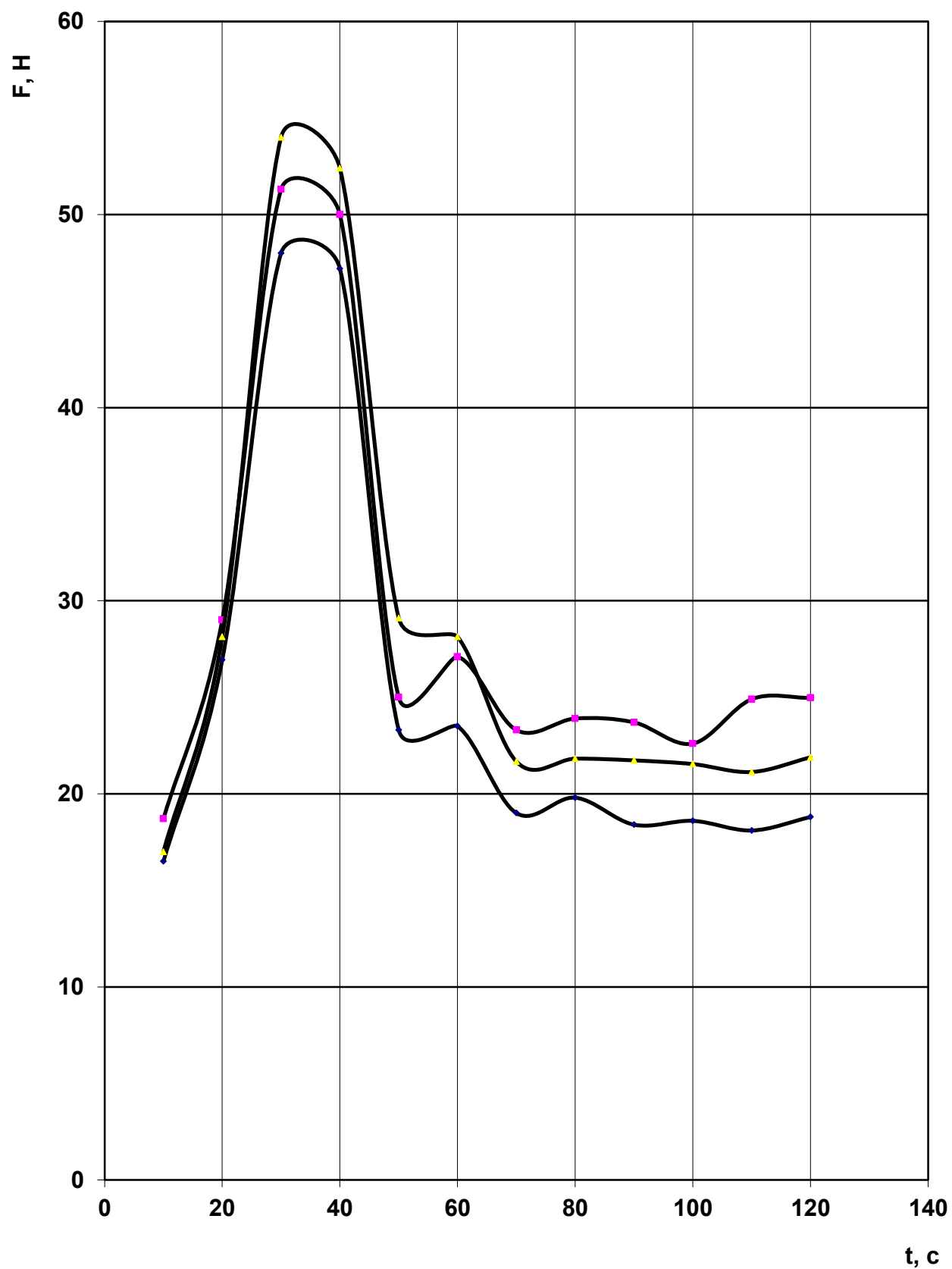
Час, с	Зусилля різання				
	№1 F, Н	№2 F, Н	№3 F, Н	Fс. Н	s
10	16,50	18,70	17	17,40	1,05
20	26,94	29,00	28,13	28,02	1,05
30	48,00	51,30	54	51,10	2,53
40	47,20	50,00	52,4	49,87	2,18
50	23,30	25,00	29,1	25,80	2,09
60	23,50	27,10	28,13	26,24	2,29
70	19,00	23,30	21,67	21,32	2,21
80	19,80	23,90	21,82	21,84	2,05
90	18,40	23,70	21,73	21,28	2,73
100	18,60	22,60	21,54	20,91	2,13
110	18,10	24,90	21,13	21,38	3,36
120	18,80	24,97	21,89	21,89	3,09

де F – отримане значення зусилля різання під час паралельних дослідів (1,2,3),

Н;

Fс – середнє значення зусилля різання за паралельними дослідями, Н;

s - середнє квадратичне відхилення.



**Рис. 3.5. Зміна зусилля різання в часі.**

**Продукт – пінопласт з оболонкою. Оболонка – на вході леза.**



**Рис. 3.6. Дослідна стенд з модельним тілом – пінопласт з оболонкою на виході леза**

#### 4. Дослідження різання модельного тіла – м'яса з жилюю. Жила розрізається в кінці різання

В таблиці 3.4 показано результати експериментальних досліджень процесу різання м'яса з жилюю. Жила знаходилась на виході леза в продукт. Швидкість леза складала 0,22 мм/с. Кількість паралельних досліджень складала 3. На рисунку 3.7 показано графічні залежності отриманих результатів. На початку різання зусилля швидко зростає до 140 Н. Після 30-40 секунд зусилля дещо знижується до 100 Н, і далі залишається приблизно незмінним. Це ми пояснюємо тим, що спочатку продукт зминається під дією навантаження леза, потім після прорізання продукту зусилля залишається приблизно незмінним.

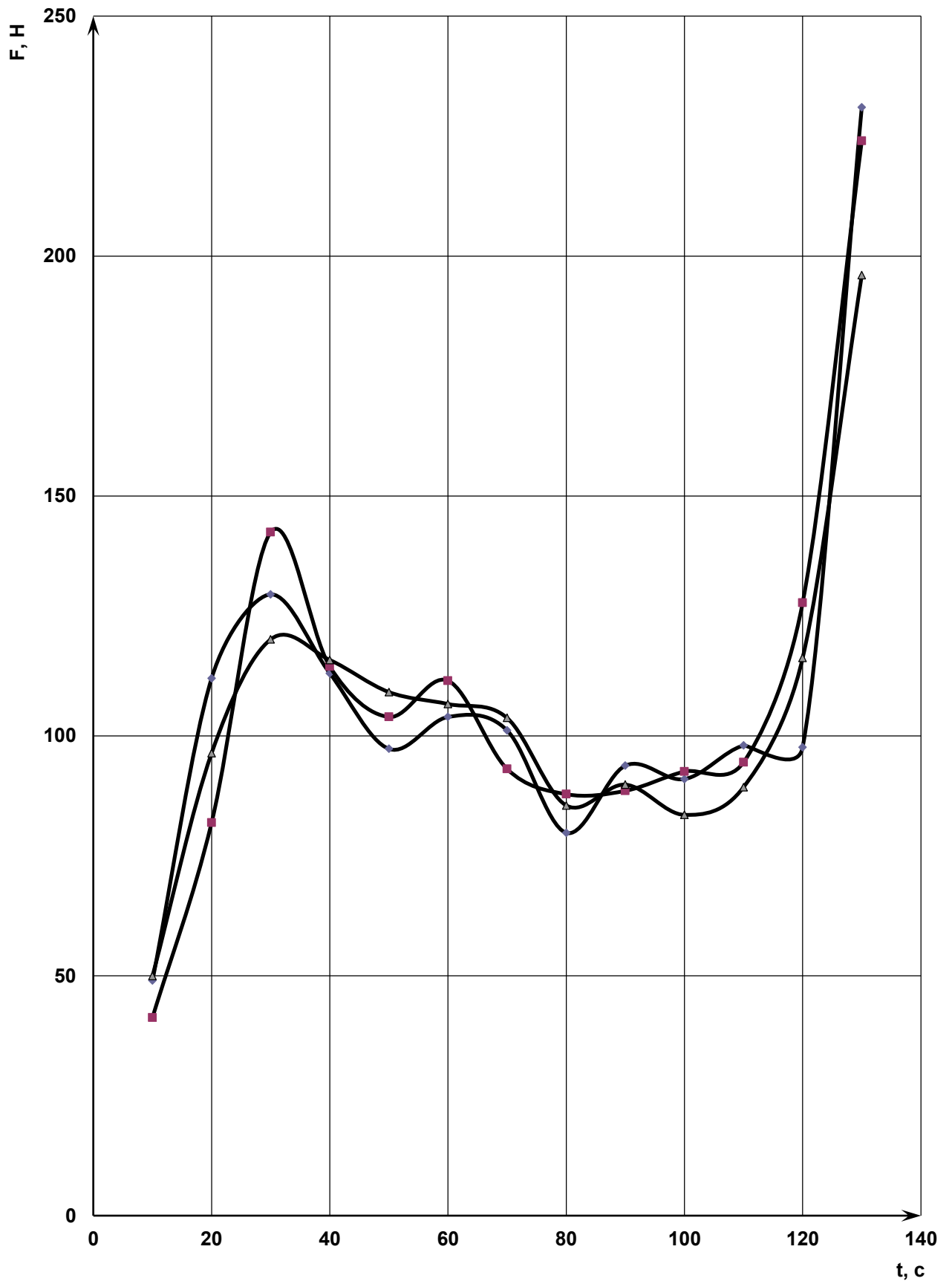
В кінці різання, перед наближенням леза до жили, зусилля різання стрімко зростає до 220-230 Н, і після розрізання миттєво падає.

**Таблиця 3.4**

#### Зміна зусилля різання модельного тіла – м'яса з жилюю на виході леза

Час, с	Зусилля різання				
	№1 F, Н	№2 F, Н	№3 F, Н	Fс. Н	s
10	49,00	41,30	49,95	46,75	3,64
20	112,00	81,90	96,39	96,76	15,11
30	129,50	142,45	120,12	130,69	6,86
40	113,05	114,45	115,82	114,44	1,13
50	97,30	103,95	109,13	103,46	5,04
60	103,95	111,51	106,65	107,37	3,68
70	101,15	93,10	103,74	99,33	3,89
80	79,80	87,85	85,51	84,39	4,24
90	93,80	88,55	89,85	90,73	2,80
100	91,00	92,58	83,55	89,04	2,59
110	98,00	94,50	89,32	93,94	3,33
120	97,62	127,75	116,24	113,87	15,50
130	231,00	224,00	196,00	217,00	12,12

де F – отримане значення зусилля різання під час паралельних дослідів (1,2,3), Н; Fс – середнє значення зусилля різання за паралельними дослідями, Н; s – середнє квадратичне відхилення.



**Рис. 3.7. Зміна зусилля різання в часі.**

**Продукт – м'ясо з жилюю. Жила – на виході леза.**

## 5. Дослідження різання модельного тіла – м'яса без жили

В таблиці 3.5 показано результати експериментальних досліджень процесу різання м'яса без жили. Швидкість леза складала 0,22 мм/с. Кількість паралельних досліджень складала 3.

На рисунку 3.8 показано графічні залежності отриманих результатів. На початку різання зусилл

я швидко зростає до 133 Н. Після 30-40 секунд зусилля поступово, але незначно знижується до 90 Н, і далі залишається приблизно незмінним. Це ми пояснюємо тим, що спочатку продукт зминається під дією навантаження леза, потім після прорізання зусилля залишається приблизно незмінним.

**Таблиця 3.5**

### Зміна зусилля різання модельного тіла – м'яса без жили

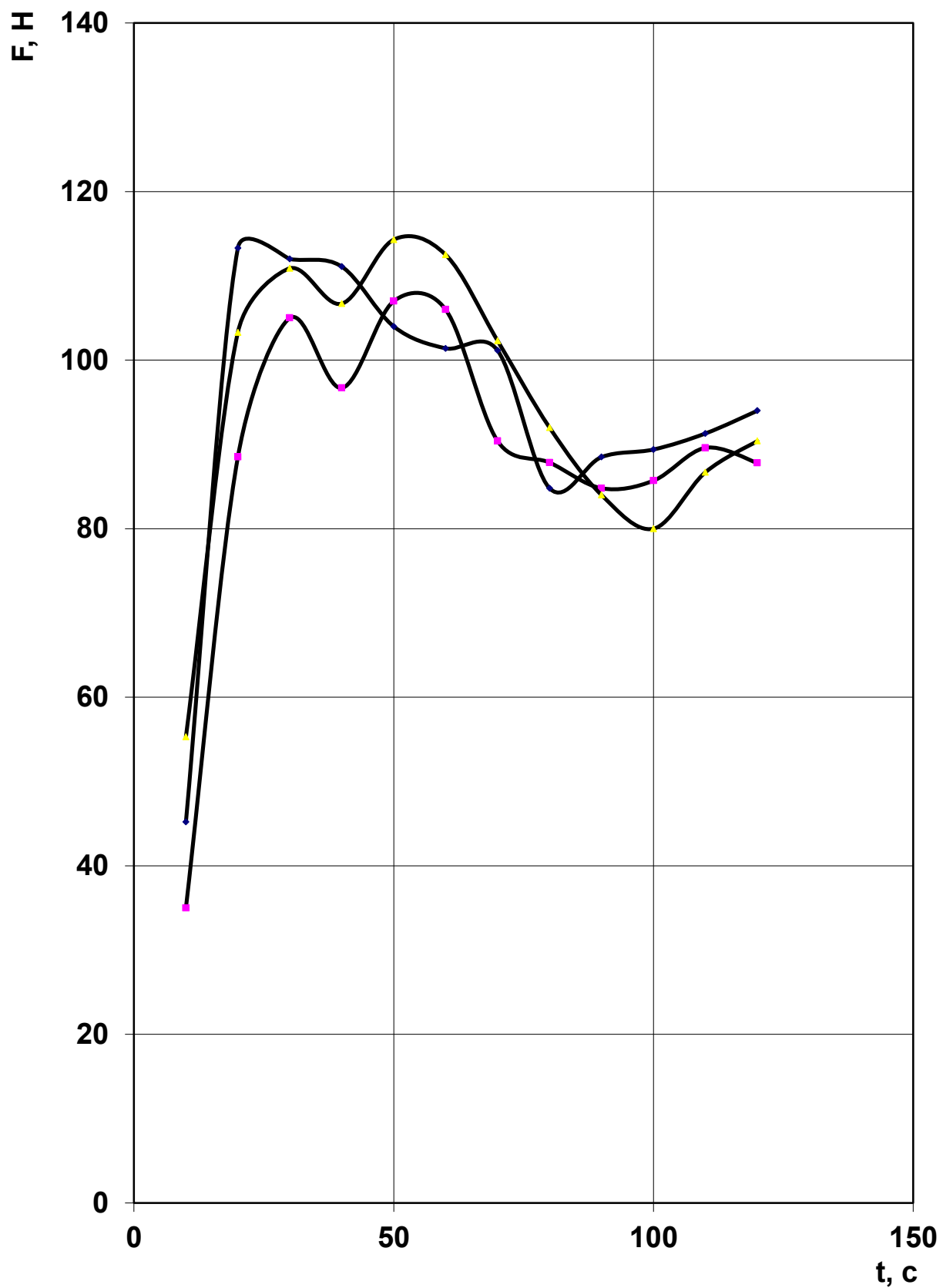
Час, с	Зусилля різання				
	№1 F, Н	№2 F, Н	№3 F, Н	Fс. Н	s
10	45,20	35,00	55,30	45,17	5,87
20	118,90	88,50	103,30	103,57	15,24
30	124,50	132,80	116,00	124,43	4,83
40	124,00	116,00	124,00	121,33	3,77
50	104,00	107,00	114,30	108,43	3,71
60	101,40	106,00	112,50	106,63	4,29
70	101,15	90,40	102,30	97,95	5,08
80	84,80	87,85	92,00	88,22	2,80
90	88,50	84,80	84,00	85,77	2,30
100	89,40	85,70	80,00	85,03	3,59
110	91,30	93,50	86,70	90,50	1,85
120	94,00	89,30	86,00	89,77	3,47

де F – отримане значення зусилля різання під час паралельних дослідів (1,2,3),

Н;

Fс – середнє значення зусилля різання за паралельними дослідями, Н;

s - середнє квадратичне відхилення.



**Рис. 3.8. Зміна зусилля різання в часі.**

**Продукт – м'ясо без жили.**

## 6. Дослідження різання модельного тіла – м'яса з жилюю на вході леза

В таблиці 3.6 показано результати експериментальних досліджень процесу різання м'яса з жилюю. Жила знаходилась на вході леза в продукт. Швидкість леза складала 0,22 мм/с. Кількість паралельних досліджень складала 3.

На рисунку 3.9 показано графічні залежності отриманих результатів. На початку різання зусилля швидко зростає до 230 Н. Після 30-40 секунд зусилля знижується до 100 Н, і далі залишається приблизно незмінним.

Це ми пояснюємо тим, що спочатку продукт зминається під дією навантаження леза, потім після прорізання жили зусилля залишається приблизно незмінним.

**Таблиця 3.6**

### Зміна зусилля різання модельного тіла – м'яса з жилюю на вході леза

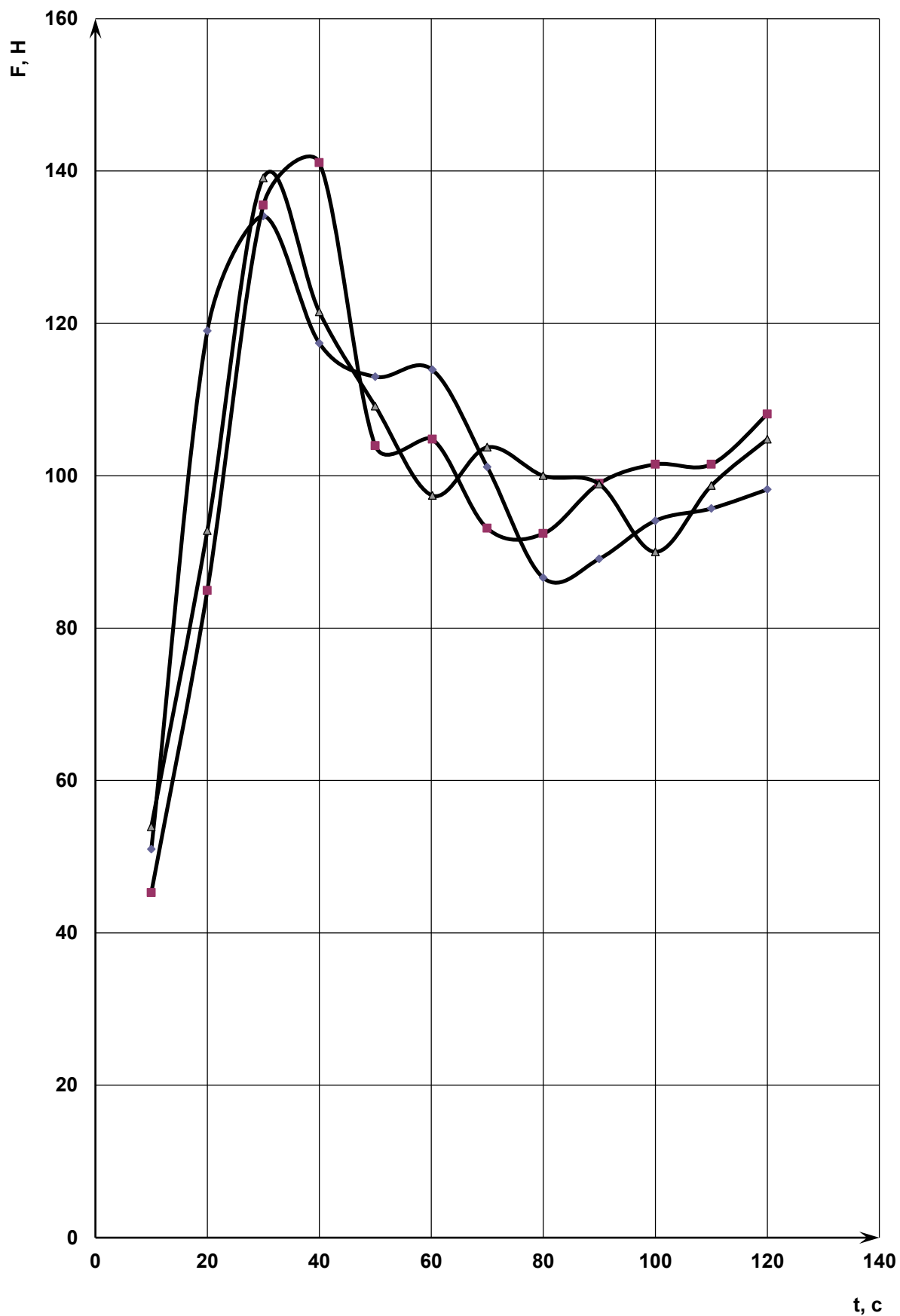
Час, с	Зусилля різання				
	№1 F, Н	№2 F, Н	№3 F, Н	Fс. Н	s
10	51,00	45,30	53,95	50,08	2,86
20	119,00	84,95	92,79	98,91	18,27
30	214,50	221,90	233,50	223,30	7,23
40	149,30	141,10	150,00	146,80	3,87
50	113,00	103,95	109,13	108,69	4,46
60	113,90	104,80	97,40	105,37	6,98
70	101,15	93,10	103,74	99,33	3,89
80	86,60	92,40	100,00	93,00	5,24
90	89,10	99,00	84,20	90,77	4,94
100	94,10	101,50	90,00	95,20	3,75
110	95,70	101,50	98,70	98,63	2,91
120	98,20	108,10	104,80	103,70	5,16

де F – отримане значення зусилля різання під час паралельних дослідів (1,2,3),

Н;

Fс – середнє значення зусилля різання за паралельними дослідями, Н;

s - середнє квадратичне відхилення.



**Рис. 3.9. Зміна зусилля різання в часі.  
Продукт – м'ясо з жилюю. Жила – на вході леза.**

## 7. Дослідження різання модельного тіла – картоплі

В таблиці 3.7 показано результати експериментальних досліджень процесу різання картоплі. Швидкість леза складала 0,22 мм/с. Кількість паралельних досліджень складала 3.

На рисунку 3.10 показано графічні залежності отриманих результатів. На початку різання зусилля швидко зростає до 9 Н. Після 10 секунд зусилля знижується до 6,5 Н, і далі залишається приблизно незмінним.

Це ми пояснюємо тим, що спочатку прорізається оболонка картоплі, потім після розрізання оболонки продукту зусилля залишається приблизно незмінним.

**Таблиця 3.7**

### Зміна зусилля різання модельного тіла – картоплі

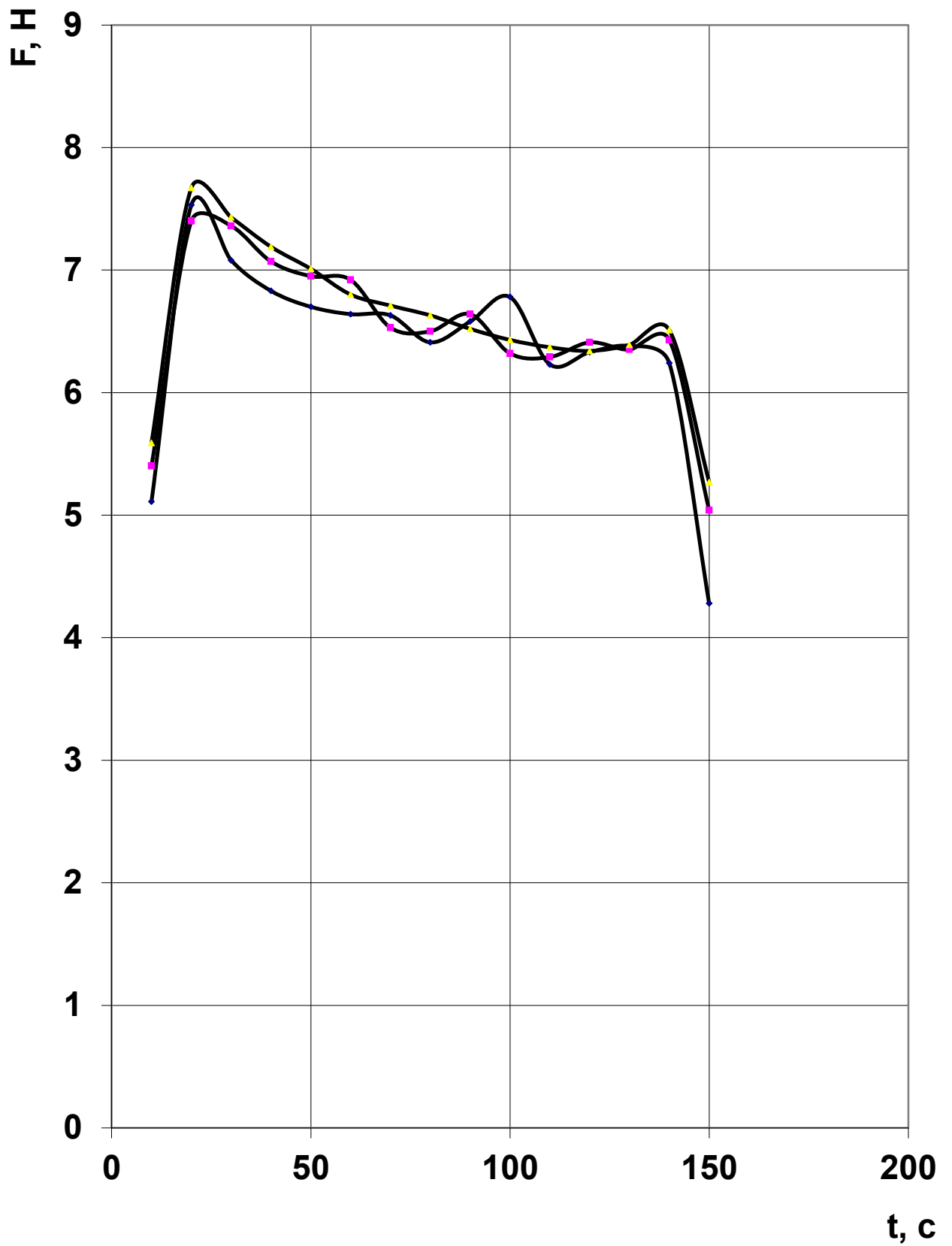
Час, с	Зусилля різання				
	№1 F, Н	№2 F, Н	№3 F, Н	Fс. Н	s
10	8,00	8,30	8,16	8,15	0,15
20	7,53	7,40	7,67	7,53	0,08
30	7,08	7,36	7,43	7,29	0,18
40	6,83	7,07	7,19	7,03	0,16
50	6,70	6,95	7,01	6,89	0,16
60	6,64	6,92	6,80	6,79	0,14
70	6,63	6,53	6,71	6,62	0,05
80	6,41	6,50	6,63	6,51	0,08
90	6,58	6,64	6,52	6,58	0,03
100	6,78	6,32	6,43	6,51	0,25
110	6,23	6,29	6,37	6,30	0,05
120	6,33	6,41	6,34	6,36	0,04
130	6,38	6,35	6,39	6,37	0,01
140	6,24	6,43	6,51	6,39	0,13
150	4,28	5,04	5,27	4,86	0,49

де F – отримане значення зусилля різання під час паралельних дослідів (1,2,3),

Н;

Fс – середнє значення зусилля різання за паралельними дослідями, Н;

s - середнє квадратичне відхилення.



**Рис. 3.10. Зміна зусилля різання в часі.**

**Продукт – картопля.**

## 8. Дослідження різання модельного тіла – моркви

В таблиці 3.8 показано результати експериментальних досліджень процесу різання моркви. Швидкість леза складала 0,22 мм/с. Кількість паралельних досліджень складала 3.

На рисунку 3.11 показано графічні залежності отриманих результатів. На початку різання зусилля швидко зростає до 24 Н, і після 50-60 секунд зусилля залишається приблизно незмінним до кінця різання.

Це ми пояснюємо тим, що спочатку прорізається оболонка моркви, потім після прорізання оболонки продукту зусилля залишається приблизно незмінним.

**Таблиця 3.8**

### Зміна зусилля різання модельного тіла – моркви

Час, с	Зусилля різання				
	№1 F, Н	№2 F, Н	№3 F, Н	Fс. Н	s
10	8,50	8,63	8,76	8,63	0,11
20	17,40	13,40	15,12	15,31	2,03
30	22,30	18,00	20,73	20,34	2,09
40	22,80	21,80	20,67	21,76	0,85
50	24,20	22,72	21,87	22,93	1,04
60	23,90	23,40	22,41	23,24	0,55
70	21,80	20,09	21,57	21,15	0,81
80	20,85	20,81	22,84	21,50	0,66
90	20,93	20,10	21,06	20,70	0,39
100	23,50	24,20	22,95	23,55	0,38
110	24,90	25,32	24,56	24,93	0,23
120	25,84	24,81	25,78	25,48	0,49
130	24,70	23,89	24,85	24,48	0,39
140	23,86	23,31	23,98	23,72	0,26

де F – отримане значення зусилля різання під час паралельних дослідів (1,2,3),

H;

Fс – середнє значення зусилля різання за паралельними дослідями, H;

s - середнє квадратичне відхилення.

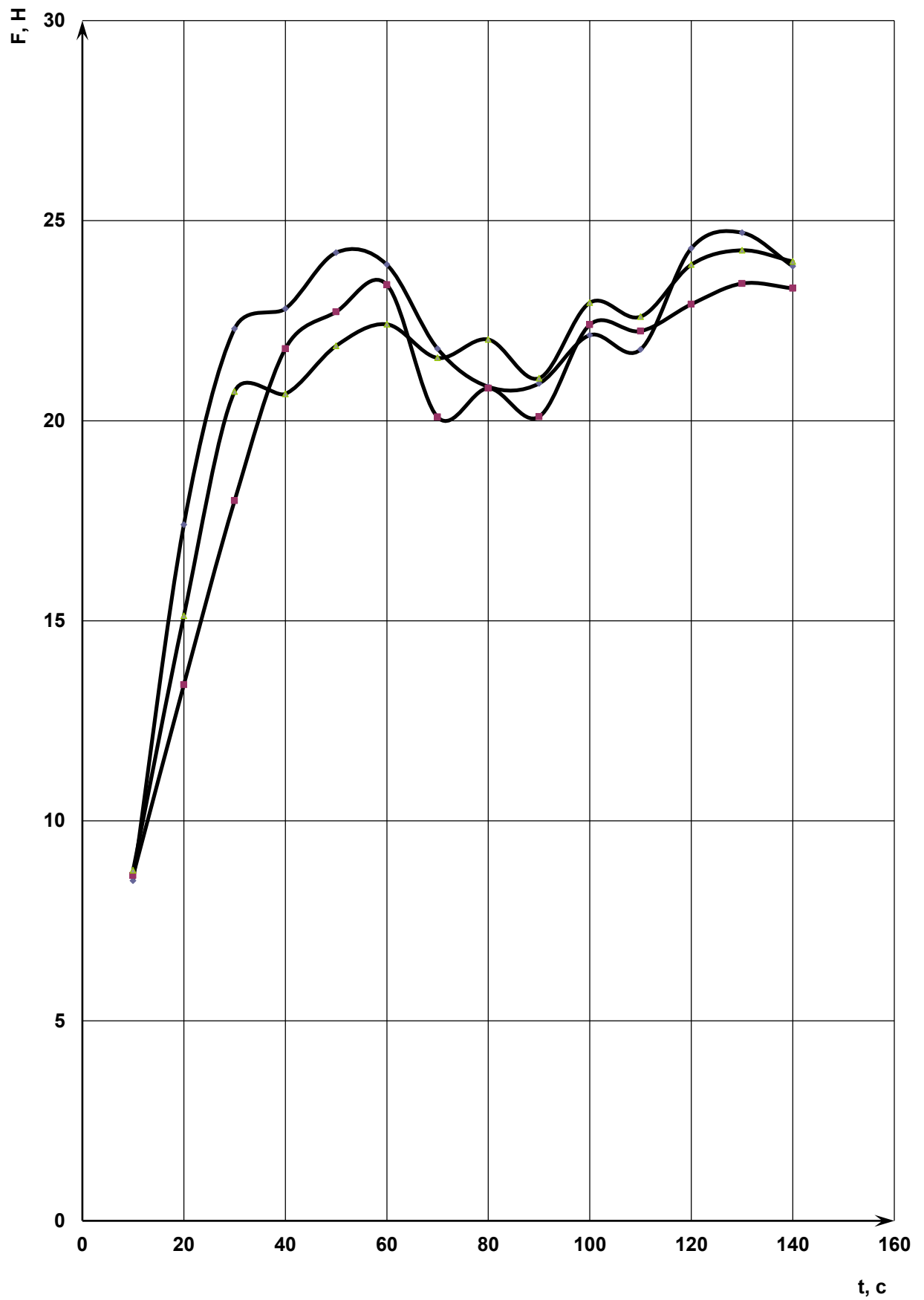


Рис. 3.11. Зміна зусилля різання в часі.

## Продукт – морква.

### 9. Дослідження різання модельного тіла – буряку столового

В таблиці 3.9 показано результати експериментальних досліджень процесу різання буряку столового. Швидкість леза складала 0,22 мм/с. Кількість паралельних досліджень складала 3.

На рисунку 3.12 показано графічні залежності отриманих результатів. На початку різання зусилля швидко зростає до 25 Н, і після 50-60 секунд зусилля дещо зменшується до 16 Н, з 160 секунди зусилля дещо збільшується до 22 Н.

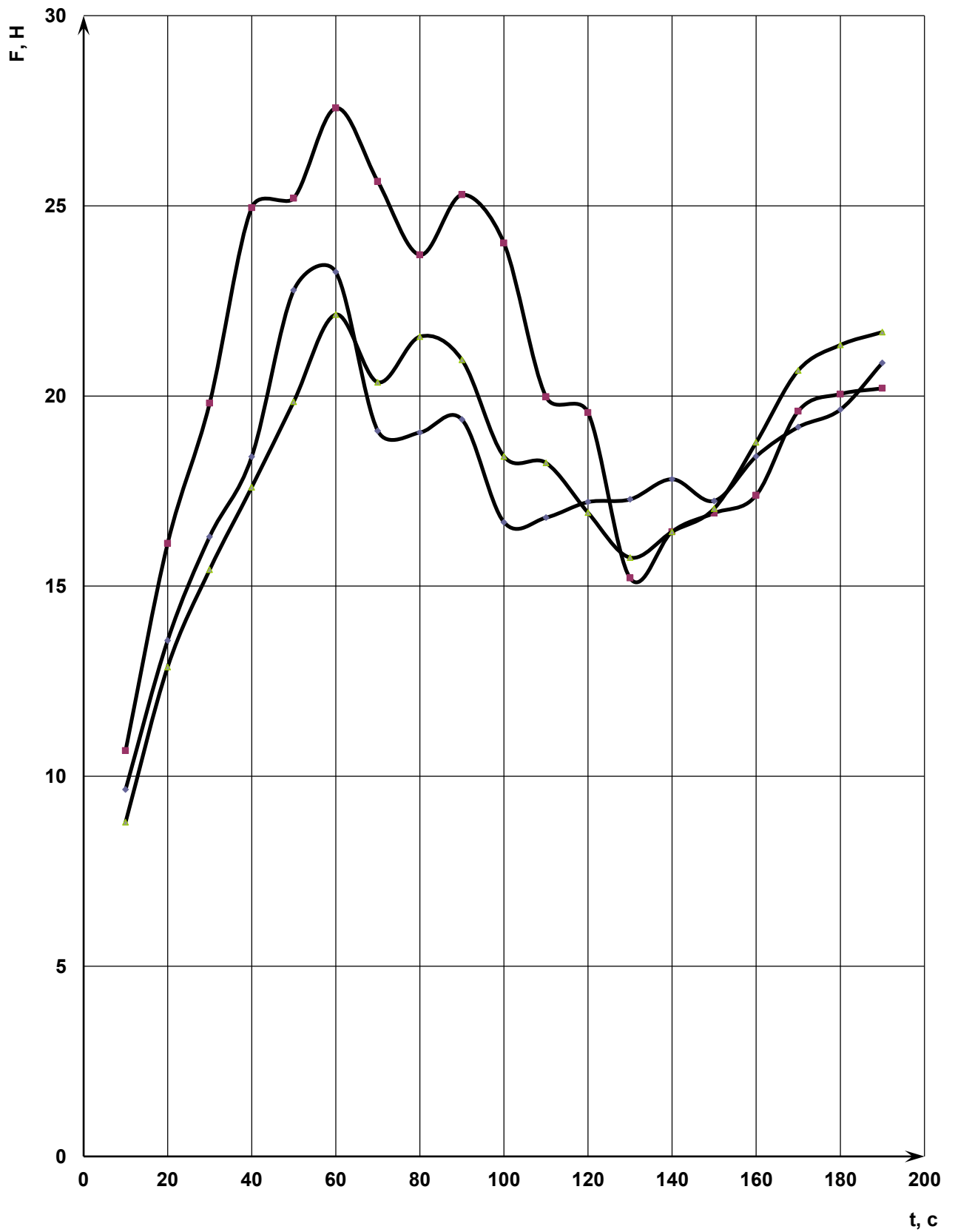
Це ми пояснюємо тим, що буряк має неоднорідну структуру, і деякі шари можуть мати різну твердість.

Таблиця 3.9

#### Зміна зусилля різання модельного тіла – моркви

Час, с	Зусилля різання				
	№1 F, Н	№2 F, Н	№3 F, Н	Fс. Н	s
10	9,65	10,67	8,79	9,70	0,56
20	13,57	16,12	12,87	14,19	1,22
30	16,30	19,81	15,43	17,18	1,68
40	18,40	24,95	17,6	20,32	3,10
50	22,78	25,20	19,85	22,61	1,50
60	23,26	27,57	22,14	24,32	2,07
70	19,08	25,64	20,36	21,69	3,12
80	19,04	23,71	21,56	21,44	2,36
90	19,38	25,29	20,95	21,87	2,83
100	16,68	24,02	18,41	19,70	3,51
110	16,80	19,98	18,24	18,34	1,57
120	17,21	19,56	16,93	17,90	1,11
130	17,28	15,21	15,75	16,08	1,10
140	17,81	16,43	16,43	16,89	0,80
150	17,24	16,92	17,04	17,07	0,16
160	18,41	17,39	18,78	18,19	0,50
170	19,18	19,60	20,67	19,82	0,53
180	19,64	20,05	21,34	20,34	0,60
190	20,87	20,20	21,68	20,92	0,42

де F – отримане значення зусилля різання під час паралельних дослідів (1,2,3), Н; Fс – середнє значення зусилля різання за паралельними дослідями, Н; s – середнє квадратичне відхилення.

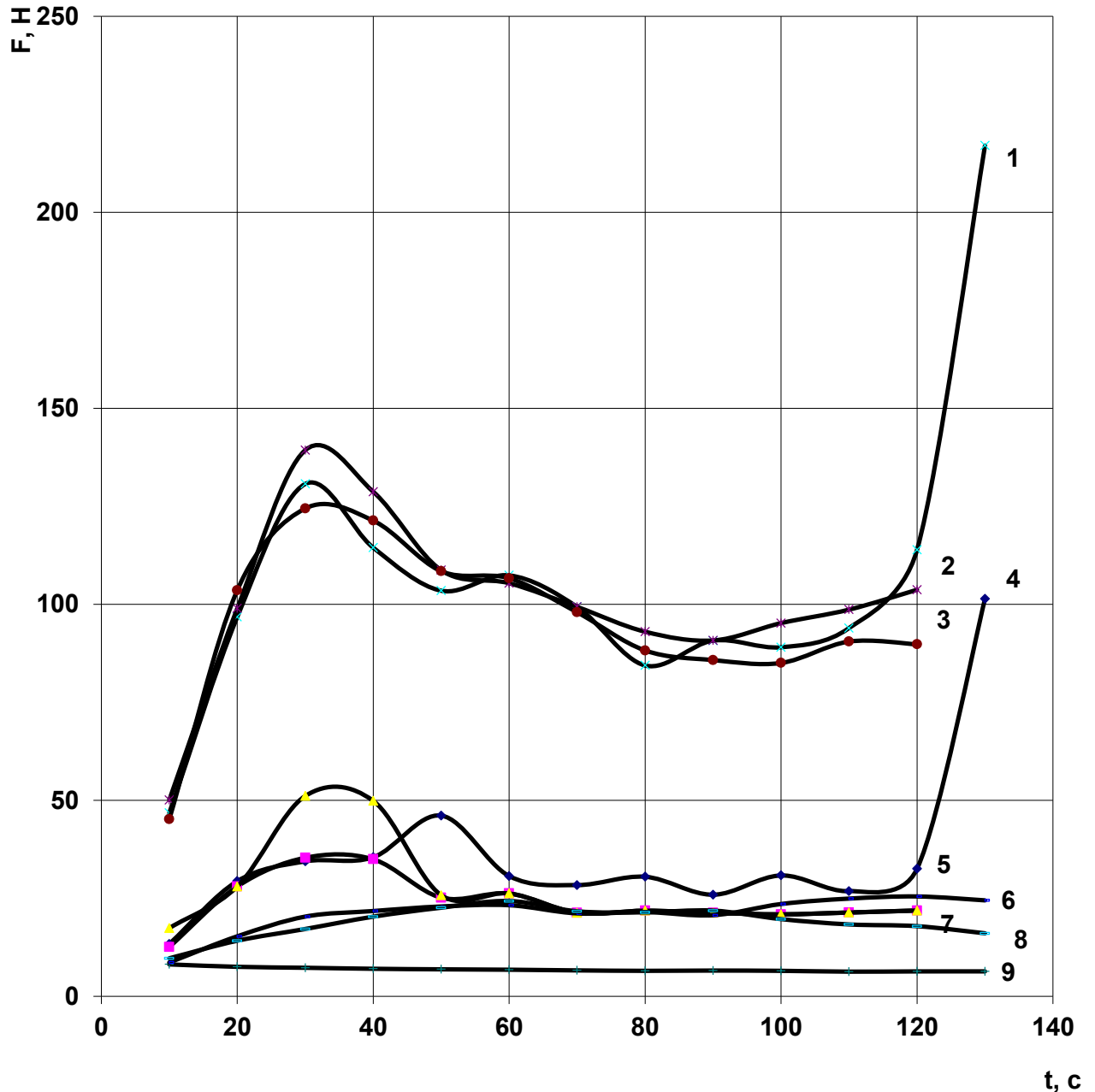


**Рис. 3.12. Зміна зусилля різання в часі.**

**Продукт – буряк столовий.**

## Порівняння отриманих результатів

На рисунку 3.13 показано графічні залежності отриманих результатів середніх значень всіх дослідів.



**Рис. 3.13. Зміна зусилля різання в часі для різних продуктів:**

1- м'ясо з жилюю. Жила – на виході леза; 2- м'ясо з жилюю. Жила – на вході леза; 3- м'ясо без жили; 4- пінопласт з оболонкою. Оболонка – на виході леза; 5- пінопласт з оболонкою. Оболонка – на вході леза; 6- пінопласт без оболонки; 7- картопля; 8- морква; 9- буряк столовий.

### 3.2. Математично-статистична обробка отриманих результатів

Отримані дані дозволяють описати їх у вигляді математичних залежностей. Проте, дані на графіках суттєво відрізняються, тому що присутні ділянки з лінійним, майже постійним зусиллям різання, і стрімко зростаючим.

Тому раціонально розбити отримані результати на дві частини, і для кожної з них отримати математичну залежність (рис. 3.14).

За допомогою програмного пакету Excel виведемо математичні залежності на інтервалах часу різання, сек:

Лінійна залежність: від 40 до 100

Квадратична залежність: від 100 до 130.

Результати представлені в таблиці 3.14 та на рис. 3.14

Таблиця 3.13

#### Математично-статистична обробка отриманих результатів

	1			2			
	F1	F1 розр	D, %	F1	F1 розр	D, %	
40	35,5	38,4	8,3	40	114,4	111,0	-3,01
50	46,1	36,5	-20,8	50	103,5	106,5	2,94
60	30,7	34,6	12,8	60	107,4	102,0	-5,00
70	28,4	32,7	15,2	70	99,3	97,5	-1,84
80	30,5	30,8	1,0	80	84,4	93,0	10,20
90	25,9	28,9	11,5	90	90,7	88,5	-2,46
100	30,8	39,0	26,5	100	80,0	88,0	10,00
110	53,1	45,5	-14,4	110	98,4	95,0	-3,46
120	57,0	73,7	29,3	120	122,7	136,0	10,84
131	127,3	129,3	1,6	131	217,0	219,4	1,11

Позначення в таблиці:

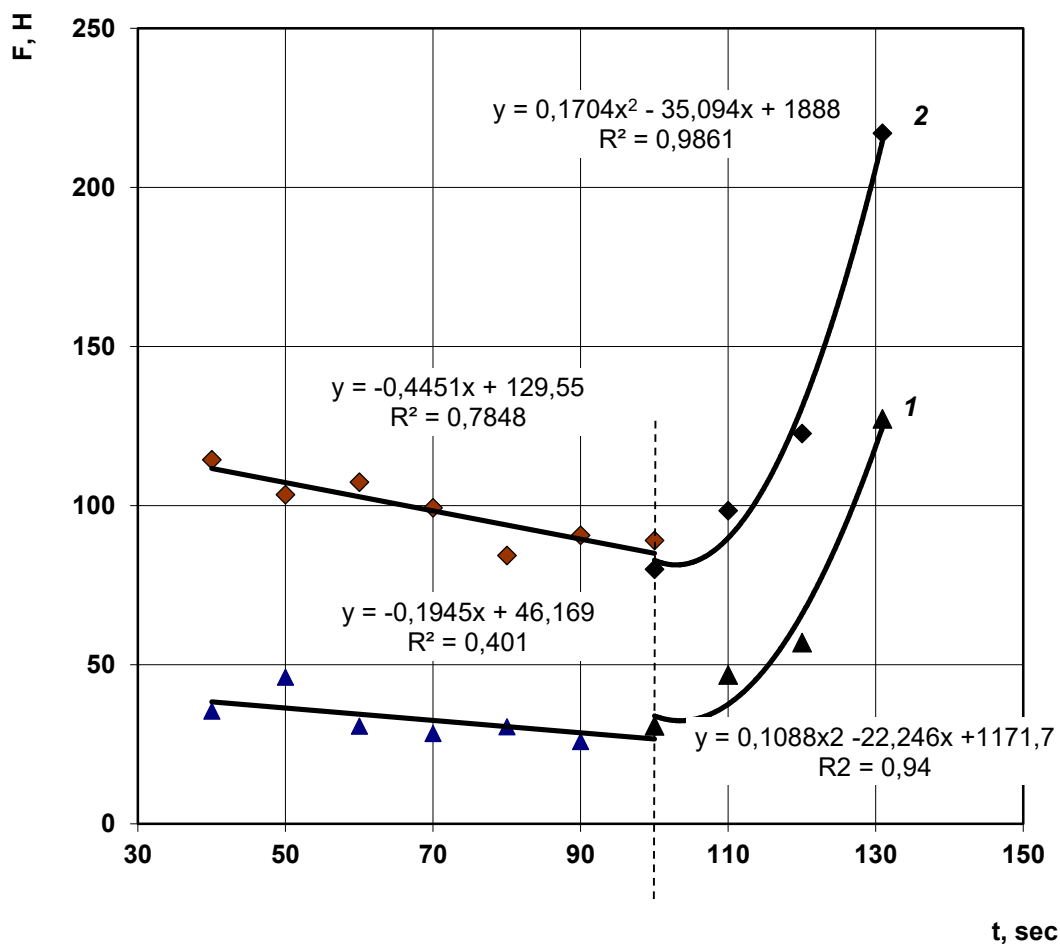
1 – результати для різання модельного тіла – пінопласта з оболонкою;

2 - результати для різання м'яса;

F1 – зусилля різання, визначене експериментальним шляхом, Н;

F1 розр – зусилля різання, визначене розрахунковим шляхом, Н;

D – відносна похибка між реальними та розрахованими даними, %



**Рис. 3.14. Математично-статистична обробка отриманих результатів**

1 – результати для різання модельного тіла – пінопласта з оболонкою;

2 - результати для різання м'яса.

Отже, отримані математичні залежності описують реальний процес з максимальною відносною похибкою 29 %. В абсолютній більшості випадків похибка не перевищує 10 %.

Велике значення похибки пояснюється недосконалістю експериментальної установки, а саме, вібрацією, нерівномірністю руху леза та іншими збурювальними факторами.

Отримані закономірності рекомендуємо застосовувати для математичної моделі руху леза в неоднорідному за структурою продукті.

### 3.3. Пояснення отриманих результатів

З отриманих результатів бачимо складний закон зміни зусилля різання.

Якщо для однорідних за структурою продуктів зусилля різання приблизно постійне, то для багатошарових продуктів маємо більш складну закономірність.

Якщо тонкий міцний шар багатошарових продуктів (в нашому випадку це м'ясо з жилистими прошарками, модельне тіло – пінопласт з оболонкою з полімерної плівки) розрізається лезом на початку, то тонкий міцний шар не значно впливає на зусилля різання, зміна зусилля під час проходження леза через тонкий шар не значна і не реєструвалася приладами.

Якщо тонкий міцний шар розрізається в кінці різання, то отримали іншу закономірність – стрімке збільшення зусилля різання в момент наближення до оболонки.

При розміщені оболонки в кінці руху леза зусилля різання збільшується в 4 рази.

На початку різання в продуктах зусилля зростає тому що, спочатку йде продавлювання продукту до моменту надрізу самого продукту, і лише через деякий час відбувається розрізання продукту.

Деякі харчові продукти та інших матеріалів мають міцну оболонку та нерозривні з нею. Це хліб зі скоринкою, м'ясо з жилистими прошарками, ковбасні вироби, сало, овочі з міцною оболочкою, і нехарчові матеріали – багатошарові будівельні, деревина з корою, скло з наклеєною тонуючою плівкою. Також сюди відносяться продукти, які мають різні вкраплення: м'ясо з кістками, деревина з серцевиною та сучками.

Досвід різання таких матеріалів показав, що для їх розрізання необхідно прикласти різне зусилля в залежності від того, де знаходиться оболонка чи вкраплення – на початку шляху леза, чи пізніше.

Наприклад, деревину легше розпиляти, якщо спочатку розрізати кору або вкраплення сучків, а потім вже власне деревину.

Скло дуже важко розрізати, якщо тонуюча плівка знаходиться з іншої сторони скла по відношенню до різачка.

Будівельні багатошарові матеріали (руббероїд, ізоляційні матеріали) легко розрізаються, якщо різання почати з оболочки або іншого міцного шару.

Аналогічне явище було помічено при різанні м'яса – якщо в м'ясі присутня хоча б мінімальна кількість жилистої тканини, то характер різання сильно відрізняється. Коли тканина розміщена на початку шляху леза – зміну зусилля різання на існуючому обладнанні відчутти неможливо.

Якщо жилиста тканина в кінці шляху леза – зусилля різання збільшується до 50 %.

Отже, якщо прошарок розміщений на виході леза з продукту, зусилля різання збільшується майже в 2 рази порівняно з випадками без прошарку або при його розміщенні на вході в продукт.

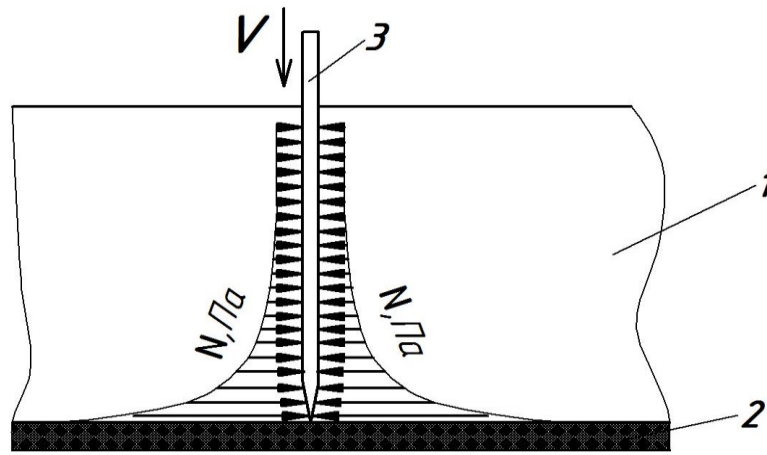
Даний факт ми пояснили так. Якщо на виході леза розміщено міцний шар іншого матеріалу, він не дозволяє деформуватись навколишнім шарам. Так як лезо все одно деформує матеріал на величину своєї товщини, то зусилля стискування ним леза на межі контакту шарів значно зростає. Відповідно зростає зусилля тертя і загальний опір руху леза (рис. 3.1).

На бокові поверхні леза при проходженні через продукт діють нормальні навантаження, які виникають внаслідок стискання продуктом леза.

Від нормальних навантажень виникають зусилля тертя, напружені протилежно руху леза.

Якщо оболочка відсутня – продукт вільно деформується лезом, і тиск продукту на бокові поверхні леза незначний.

Якщо є оболочка – вона утримує продукт і протидіє його деформуванню. Чим ближче шар продукту до оболочки – тим більший вона чинить опір деформуванню, створюючи



**Рис. 3.1** Зміна тиску матеріалу на бокову поверхню леза на межі контакту шарів:

**1 – основний шар; 2 – тонкий міцний шар; 3 - лезо**

великі сили тертя, які чинять великий опір просуванню леза.

Можна припустити, що зростання зусилля різання зумовлене зусиллями тертя продукту по боковим поверхням ножа.

Звідси випливає висновок – при різанні продукту з оболочкою спочатку нарізаємо оболочку, потім – основну частину продукту. Так зберігаємо енергоресурси на різання і забезпечуємо вищу якість зрізу, без викривлень та деформацій; зберігаємо довгу роботопридатність різального інструменту.

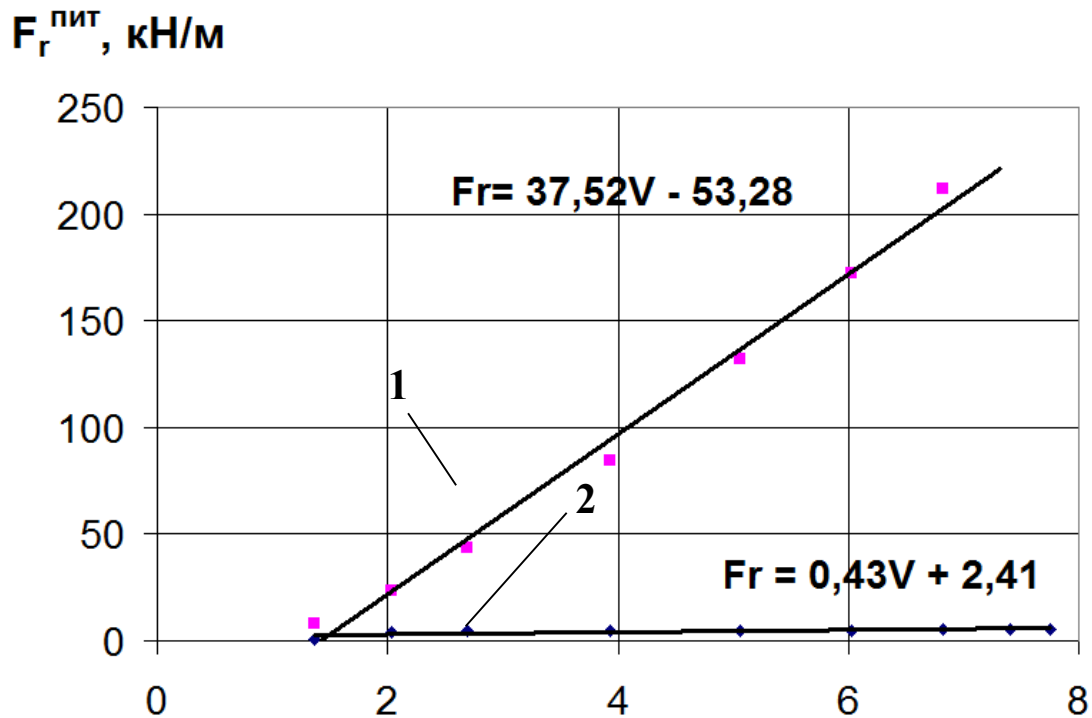
#### **3.4. Порівняння отриманих результатів з результатами досліджень інших дослідників**

Отримані результати експериментальних досліджень порівняно з іншими аналогічними результатами.

Встановлено, що явище збільшення зусилля різання при наближенні леза до тонкого міцного шару багат шарового продукту спостерігали інші дослідники.

На рис. 3.2. представлена графічна залежність питомого зусилля різання пінопласту пористого з тонуючою плівкою від швидкості леза.

В роботі проводяться результати досліджень впливу швидкості леза на зусилля різання пінопласту з тону вальною наклеєною плівкою (рис. ). Якщо плівка розміщена на виході леза з продукту, то зусилля різання збільшується в 20-50 разів порівняно з випадком, коли плівка на вході леза. Помічено, що ця закономірність має більш виражений характер для великих швидкостей леза.



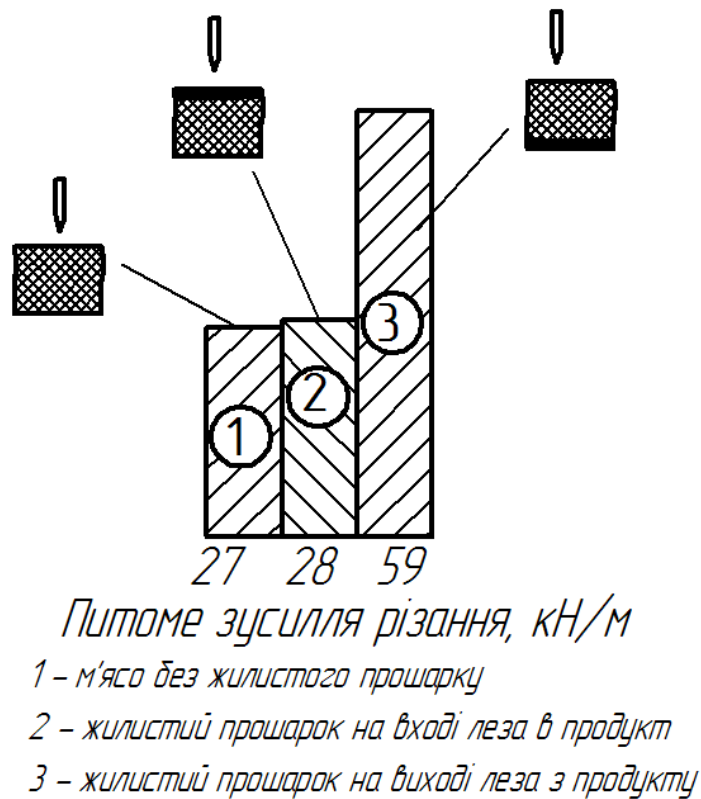
**Рис.3.2. Вплив швидкості леза на питоме зусилля різання пінопласту пористого з тонючою плівкою.**

1 - плівка на початку шляху леза

2 - плівка в кінці шляху леза

В роботі проводяться результати досліджень впливу швидкості леза на зусилля різання м'яса з жилястим прошарком з різним розміщенням прошарку (рис. 3.3.). Якщо плівка розміщена на виході леза з продукту, то зусилля різання збільшується в 20-50 разів порівняно з випадком, коли плівка на вході леза. Помічено, що ця закономірність має більш виражений характер для великих швидкостей леза.

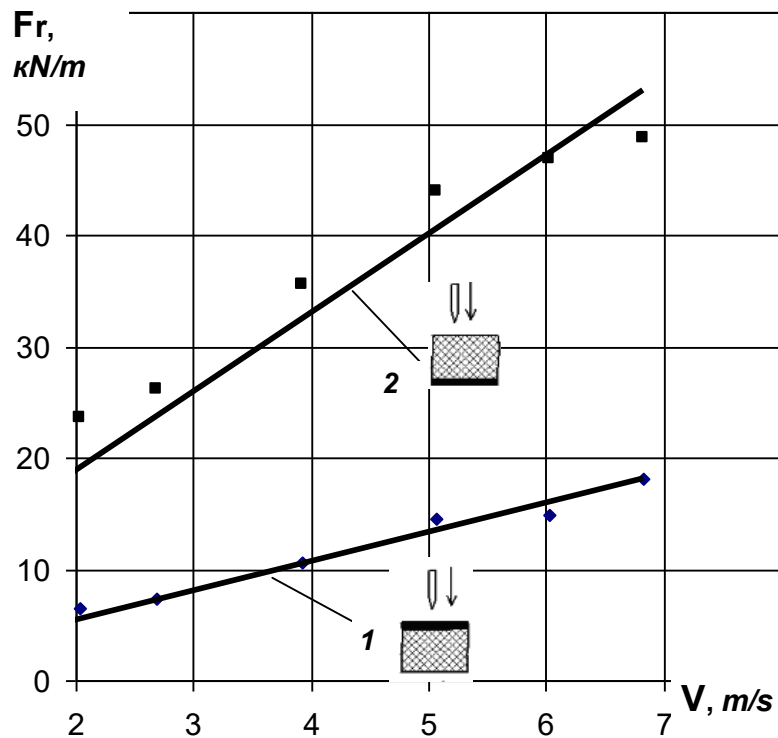
Якщо прошарок розміщений на виході леза з продукту, зусилля різання збільшується майже в 2 рази порівняно з випадками без прошарку або при його розміщенні на вході в продукт. Графічно це представлено на рис 3.3



**Рис.3.3. Вплив розміщення жилистого прошарку в м'ясі на зусилля різання**

В роботі тонкий міцний шар розміщався на вході або виході леза з матеріалу. При окремому різанні зусилля різання цього шару настільки мале, що не фіксувалось приладами. Але, при багатошаровому різанні, коли тонкий міцний шар розміщений на виході леза з матеріалу, середнє зусилля різання зростає.

На рис. видно, що при розміщенні плівки на виході леза з матеріалу зусилля різання в понад 50 раз більше, ніж при розміщенні плівки на вході леза.



**Рис. ( 3.4 ). Залежність зусилля різання запаяної блістерної упаковки:**

**1 – шар фольги на вході леза; 2 – на виході**

В роботі на розрахунковій схемі процесу різання (рис. 3.4) зображено полівінілхлоридну плівку – 1 та шар металу – 2, який знизу нерухомо зафіксований. Ніж, товщиною 1 мм, при різанні стискає половину ПВХ плівки, переміщуючи її на  $dx = 0,5$  мм. Лезо при русі деформує матеріал на глибину, рівну товщині леза. При цьому стискаються бокові поверхні леза, і виникають сили тертя, які чинять опір його руху.

Так як на виході леза розміщено міцний шар іншого матеріалу, він не дозволяє деформуватись навколишнім шарам. Так як лезо все одно деформує матеріал на величину своєї товщини, то зусилля стискування ним леза на межі контакту шарів значно зростає. Відповідно зростає зусилля тертя і загальний опір руху леза.

**Висновок.** Отже результати проведених раніше іншими дослідниками досліджень свідчать про те, що отримані нами результати приблизно схожі між собою. Це підтверджує адекватність наших результатів та висновків.

### **3.5. Рекомендації щодо вибору способів різання**

З метою зниження зусилля різання ми рекомендуємо раціональне розміщення шарів багат шарового продукту відносно руху ножа.

Для всіх випадків спочатку потрібно розрізати тонкий міцний шар.

Якщо оболонка або інший міцний шар розміщений на вході леза в матеріал, то лезо його легко розрізає. Нижче розміщений шар не буде чинити значного опору деформування матеріалу.

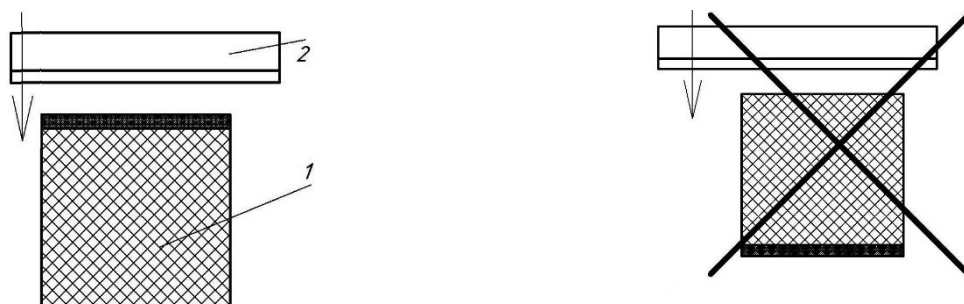
Отже, при різанні лезо спочатку має розрізати тонкий міцний шар, а потім – основний, товстий шар матеріалу (рис. 3). При цьому буде забезпечено нижчі енерговитрати на процес різання і високу його якість поверхні зрізу.

В більшості випадків для пакувальних матеріалів (рис. 3, випадок 1) використовується нормальний рубаючий спосіб різання або рубаючий під кутом. Ковзальне різання застосовується рідше.

Розміщення леза при різанні під кутом (рис. 4, випадок 2) теж дозволяє знизити зусилля різання. Спочатку розрізається оболонка, а за нею основна маса матеріалу. В іншому випадку оболонка постійно знаходиться на виході леза и чинить значний опір деформуванню матеріалу, і відповідно, збільшує зусилля тертя.

При різанні дисковим ножом (рис. 4, випадок 3), коли вісь його обертання розміщена над матеріалом, спочатку розрізається тонкий міцний шар. При розміщенні осі обертання нижче тонкого шару – виникає додаткове тертя.

### 1. Різання нормальне рубаюче



### 2. Різання рубаюче під кутом



### 3. Різання ковзальне дисковим ножом



### 4. Різання стрічковим зубчастим ножом

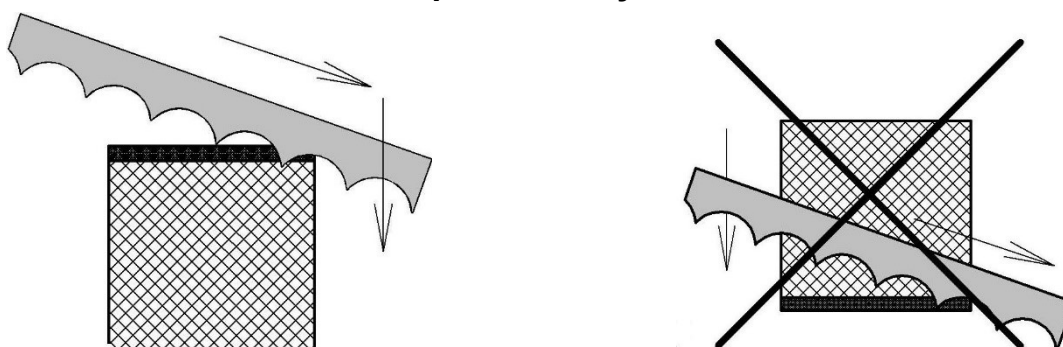


Рис. 3. Вибір орієнтації різального інструменту і багатошарового матеріалу при різних способах різання

Аналогічно вибирається орієнтація матеріалу при різанні стрічковим зубчастим ножом (рис. 4, випадок 4).

При різанні дисковим або стрічковим ножами виникає додаткове ковзання матеріалу по їх боковим поверхням. Збільшення бокового тиску на ніж на межі контакту шарів ще більш негативно впливає на процес різання, так як сила тертя збільшується багатократно порівняно з рубаючим різанням.

## РОЗДІЛ 4

### ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ. ПРОЕКТ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ СТРІЧКОВИМ НОЖЕМ.

#### 4.1. Постановка задачі

Потрібно розробити проект лабораторного стану для дослідження процесу різання різних харчових продуктів стрічковим ножом.

Елементи стану:

1. Різальний механізм зі стрічковим зубчастим ножом
2. Механізм подачі
3. Привід.

Продукти, що нарізаються: м'ясні вироби, хліб, овочі.

#### 4.2. Огляд конструкцій різальних пристроїв зі стрічковим ножом

##### Стрічкова пила фірми HOBART (Німеччина)

Стрічкова пила MS - 34E розроблена як для великих м'ясокомбінатів, так і для невеликих підприємств по переробці м'яса і риби, їдалень, супермаркетів, магазинів.

Потужний двигун і рівномірний хід різального полотна дають в сукупності високу продуктивність.

Традиційна німецька якість - гарантія надійності, а високоточне виготовлення вузлів забезпечує тривалий термін експлуатації.

Пила виготовлена з використанням новітньої техніки і технології, в повній відповідності з міжнародними вимогами ЄС і правилами техніки безпеки.

- станина і робочий стіл виконані нержавіючої сталі;
- можливість регулювання товщини і висоти розрізу;



<b>Модель</b>	<b>MS - 34E</b>
<b>Потужність, кВт</b>	1.5
<b>Робоча напруга, В</b>	380
<b>Розміри стрічкового полотна, мм</b>	2490x16x0,6
<b>Робочий стіл, мм</b>	700 x700
<b>Висота подовжнього розрізу, мм</b>	320
<b>Габаритні розміри, мм</b>	705x715x1700
<b>Вес, кг</b>	130

### **Пили стрічкові вітчизняного виробництва**

Призначені для розпилювання свіжого і замороженого м'яса, м'ясних блоків, свіжій і замороженої риби, птаха і продуктів гастрономів на порційні шматки різної ваги.

Підходять для використання як на великих так і на невеликих підприємствах по переробці м'яса і риби, а так само у великих магазинах і супермаркетах.

#### **ПЛН- 225**

- корпус пили виконаний із забарвленої вуглецевої сталі;
- стіл нерухомий виконаний з нержавіючої сталі;
- можливість регулювання товщини і висоти розрізу.

**ПЛН-225**



<b>Модель</b>	<b>ПЛН- 225</b>
<b>Напруга, В</b>	220
<b>Потужність, кВт</b>	0,75
<b>Швидкість стрічкового полотна, м/з</b>	16
<b>Висота розпилювального вікна, мм</b>	225
<b>Ширина розпилювального вікна, мм</b>	195
<b>Розміри робочого столу, мм</b>	400x435
<b>Розміри стрічкового полотна, мм</b>	1666x16x0,5
<b>Габаритні розміри, мм</b>	555x460x820
<b>Маса, кг</b>	90

### МПЕЛ- 300

- регулювання висоти і ширини розрізу; \_
- корпус пили виконаний із забарвленої сталі;
- рухливий стіл виконаний з нержавіючої сталі;
- поліпшений механізм утримувача полотна;
- зручний механізм натягнення полотна;
- передбачено регулювання стійкості пили на підлозі;
- забезпечена контейнером для збору і видалення відходів.



### В2-ФР-2П

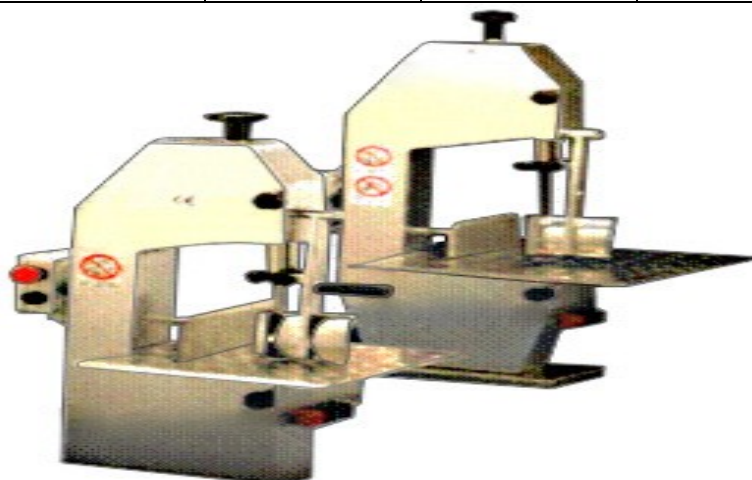
- корпус пили виконаний із вуглецевої сталі;
- рухливий стіл виконаний з нержавіючої сталі;
- зручний механізм натягнення полотна;
- можливість регулювання висоти розрізу.



Модель	МПЕЛ- 300	В2 -ФР-2П
Напруга, В	380	380
Потужність, кВт	1,6	2,2
Швидкість стрічкового полотна, м/з	14	19,2
Висота розпилювального вікна, мм	300	350
Ширина розпилювального вікна, мм		480
Розміри робочого столу, мм	600x600	800x900
Розміри стрічкового полотна, мм	2050x20x1	3680x20x0,6
Габаритні розміри, мм	800x700x1800	1055x1140x1972
Маса, кг	140	270

Стрічкові пили фірми Fama (Італія)

Модель	ПМ-ФПЛ-250	ПМ-ФПЛ-350	ПМ-ФПЛ-351	ПМ-ФПЛ-460
Напруга, В	380	380	380	380
Потужність, кВт	1,1	1,5	1,5	1,5
Розмір стрічкового полотна, мм	1650x16x0.4	2640x20x0.6	2640x20x0.6	3630x20x0.6
Висота розпилювального вікна, мм	220	370	320	440
Ширина розпилювального вікна, мм	190	290	290	440
Розміри робочого столу, мм	300x400	650x750	650x750	750x860
Тип столу Робочий хід столу, мм	нерухомий	нерухомий	рухливий L=300	рухливий й L=300
Габаритні розміри, мм	700x465x920	750x830x1700	750x830x1700	750x960x2100
Вес, кг	65	100	110	140



Стрічкова пила була розроблена для невеликих підприємств по переробці м'яса і риби, столових, м'ясних і рибних магазинів. Стрічкова пила вироблена відповідно до головних міжнародних вимог і правил техніки безпеки, ці машини зроблені з литого металу і поставляються в двох виконаннях: забарвлений "V" або анодований "А"

Модель	Довжина полотна пили, мм	Розміри пропіл, мм	Потужність, кВт	Напруга, В	Габаритні розміри, мм	Вес, кг
FSG 101 1550 A	1 550	260×175	0,75	220 / 380	440×370×810	28
FSG 103 1830 A	1 830	320×195		220 / 380	530×420×910	38
FSG 1550 220v	1 550	260×175		220	440×370×810	28
FSG 1550 380v				380		
FSG 1830 220v	1 830	320×195		220	530×420×910	38
FSG 1830 380v				380		

### Стрічкові пили марки КТ (Фінляндія)



### СТРІЧКОВІ ПИЛИ МАРКИ "КТ"

спроектовані і виконані з використанням новітньої техніки і відповідають найстрогішим вимогами, таким, що пред'являються до подібного устаткування. Точна відповідність двигуна і складальних частин устаткування гарантує його надійність, легкість обслуговування і тривалий термін експлуатації. Кожна деталь пили продумана оптимальним чином. У повсякденній експлуатації пили відрізняються практичністю і безпекою.

#### Потужність і якість

Низький рівень шуму при роботі, рівномірний хід різального полотна і потужний двигун дають в сукупності високу продуктивність. Нижня і верхня бічні опори різального полотна з міцного металу гарантують рівний і гладкий зріз.

## Безпека і гігієнічність

З метою підвищення безпеки стрічкових пил марки "КТ" пускові вимикачі розташовані під різальним столом. Стрічкові пили як з алюмінієвим корпусом, так і з корпусом з нержавіючої сталі відповідають існуючим вимогам Європейського Стандарту, що пред'являються до стрічкових пил.

Із стрічковими пилами марки "КТ" вигідно мати справу, оскільки витрати на зміст і догляд за пилою мінімальні, що робить пили привабливими для споживача і сьогодні, і в майбутньому. А/Про "Конетеоллисуус" виробляє широкий асортимент обладнання і запасних частин з 1938 року. Фірма торгує своїм обладнанням в багатьох країнах через розгалужену мережу продажу і користується славою фахівця у своїй області виробництва.

## Технічні характеристики

Модель	Швидкість полотна, м/з	Розмір полотна, мм	Потужність, кВт	Габаритні розміри, мм	Вес, кг
КТ - 210	15	1570×16	1,1	570×540×915	38
КТ - 325	16	2345×20	1,8	790×650×1690	87
КТ - 400	20	3135×20	1,8	975×650×1890	120

## Пили для розпилювання туш фірми KOMEL (Польща)

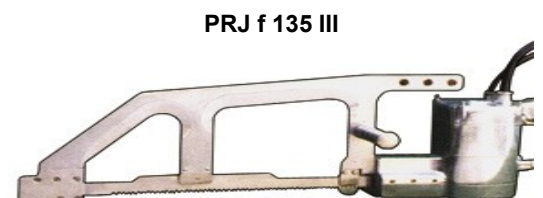
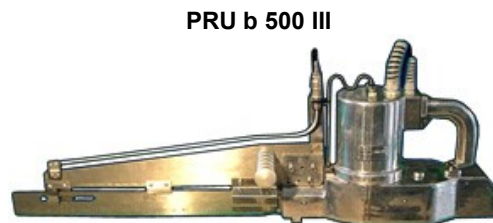
Міцні і надійні високопродуктивні пили.

Призначені для подовжнього розпилювання туш великої рогатої худоби і свиней на напівтуші в цехах первинної переробки худоби на м'ясокомбінатах.

- підведення води для охолодження полотна від пригорання і надає можливість змивання кісткових стружок під час розрізання;

- електропили відповідають вимогам правил безпеки і гігієнічним стандартам;

- для безпечної і надійної роботи пили рекомендується використовувати блок живлення на напругу 24 В або 42 В;



Періодичність перевірки стрічкової пили, що знаходиться в експлуатації, встановлюють не рідше за один раз в рік

#### **4.3. Опис конструкції і принципу дії.**

Машина має зварну конструкцію. На зварній конструкції встановлений електродвигун механічної подачі, який за допомогою гвинтової механічної подачі повідомляє шматку м'яса поступальну ходу на зустріч стрічковій пилі.

Під час досягнення штовхальником стрічки електродвигун відключається. Потім за допомогою реверсу штовхальник повертається в початкове положення, зупиняючись також за допомогою вторинного кінцевого вимикача.

Вал приводу встановлюється в підшипниковій опорі. На правій консолі валу встановлюється приводний шків стрічкової пили. Ліва консоль через втулкову пружну муфту з'єднується з валом електродвигуна.

Для мастила підшипникової опори застосовують пластичні консистентні мастила, достоїнствами яких є простота їх застосування і догляду за підшипниковими вузлами, нескладні засоби ущільнення. У цій підшипниковій опорі застосовуються найбільш поширені в сучасному загальному машинобудуванні ущільнення манжетів, виготовлені з гуми.

Пружна муфта виконана у вигляді двох напівмуфт, між торцями яких розташований пружний елемент. Муфта має достатні пружні властивості і здатність компенсувати значні радіальні і кутові зміщення, порівняно проста по конструкції, зручна при монтажі і в обслуговуванні.

Різальна стрічка охоплює приводний шків і ведений (натяжний) шків, встановлений в підшипниковій опорі. Натягнення стрічки забезпечується за допомогою гвинтового натягача.

Пильне полотно закривається захисним кожухом.

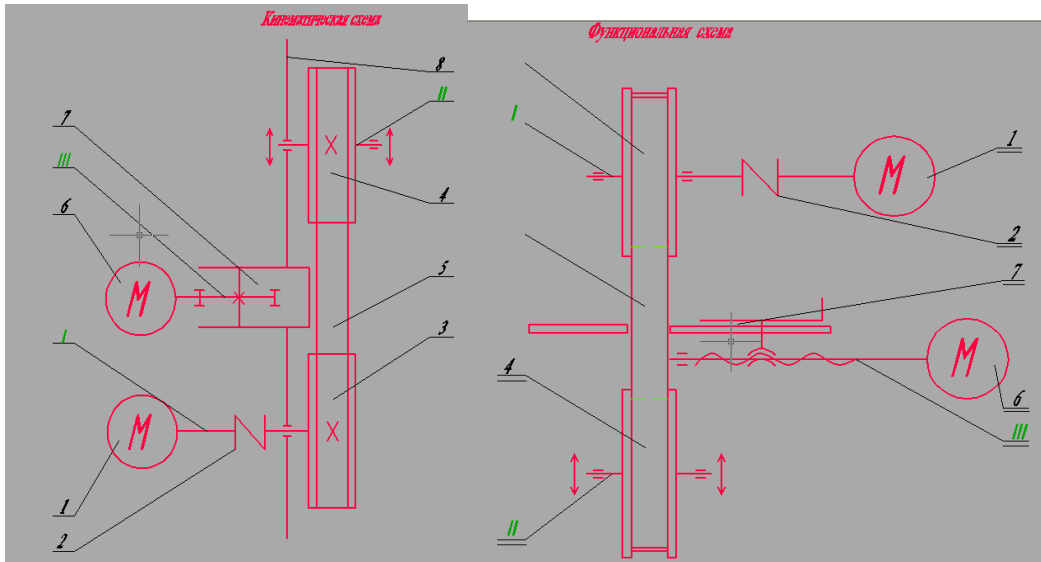
При аварійному обриві пильного полотна воно зупиняється ловцем.

#### **4.4. Розрахункова частина.**

##### **4.4.1. Технологічний розрахунок.**

Для визначення продуктивності лабораторної стрічкової пили і потужності необхідною для її приводу необхідно розглянути кінематичну схему і функціональну схему (рис. 4.3).

У кінематичну схему машини входить: 1 - приводний електродвигун, 2 - муфта, 3 - шків ведучий. 4 - шків ведений, 5-стрічка, 6 - електродвигун, 7 - каретка, 8 - корпус.



**Рис. 4.3**

Продуктивність стрічкової пили знаходиться за формулою:

$$Q = \frac{1}{T_{ц}} \cdot 3600, \text{ шт/ч. (1/ с.12)}$$

Час робочого циклу знаходиться за формулою:

$$T_{ц} = 2T_{обр} + T_{загр}, \text{ с. (2) (1/ с. 12)}$$

де

$T_{обр}$  - час обробки одного шматка м'яса;

$T_{загр}$  - час завантаження одного шматка.

Виходячи з конструкції стрічкової пили і фізичних можливостей людини приймаємо \_.

Час обробки одного шматка м'яса :

$$M_{рп} = \frac{L}{v_{под}}, \text{ с. (1/ с. 13)}$$

де

$L$  - довжина шматка м'яса;

$v_{под}$  - швидкість подачі шматка.

Виходячи з конструкції пили приймаємо  $L=0,17$  м

Швидкість різання приймаємо  $v_{рез} = 18$  м/с (с. 98)

За рекомендацією Мочихи "Різання харчових матеріалів"

$$v_{под} = \frac{1}{10} \cdot v_{рез} = 1,8 \text{ м/с.}$$

$$T_{обр} = \frac{L}{v_{под}} = \frac{0,17}{1,8} = 0,094 \text{ с.}$$

$$T_{ц} = 2T_{обр} + T_{загр} = 2 \cdot 0,094 + 5 = 5,188 \text{ с.}$$

$$Q = \frac{1}{T_{ц}} \cdot 3600 = \frac{1}{5,188} \cdot 3600 = 693,9 \text{ м/с.}$$

#### 4.4.2. Енергетичний розрахунок.

Початкові дані:

Випробовуваний продукт - м'ясо;

Питомий опір різанню -  $\rho = 650$  Н/м;

Кут заточування ножа – 20 градусів;

Ширина продукту, що розрізає, -  $b$ ;

Товщина стрічки – 1 мм;

Максимальна швидкість пильного полотна -  $v_{п}$

Сумарна потужність електродвигунів :

$$N = (P_{ин} \cdot v_p) / 1000 \text{ кВт} \cdot (\dots) \cdot (4) \text{ (3/ с. 281)}$$

де

$v_p$  -  $v_{п}$  - швидкість різання продукту, м/с;

$P_{ин}$  -  $P_{ин}$  - проекція результуючого зусилля на направляючі

швидкості різання, Н.

Зусилля на різання продукту :

$$P_1 = g_s \cdot v; H \cdot (\dots) \cdot (5) \text{ (3/ с. 281)}$$

де

$g_s$  - \_ - питомий опір різанню, Н/м;

$u$  - ширина продукту, що розрізає, м;

Виходячи з даних літератури питомий опір продукту різанню приймаємо 8 кН/м

За результатами лабораторних досліджень ширину продукту, що розрізає, приймаємо 0,085 м

$$P_1 = 8000 \cdot 0,085 = 680H ;$$

Зусилля на відгинання відрізуваного шматка :

$$P_2 = 5/6 \cdot \alpha \cdot G \cdot h \cdot v, H \text{ _}; \text{де}$$

$\alpha$  - \_ - кут заточування ножа, град;

$G$  - товщина відрізуваного продукту, м;

$u$  - ширина відрізуваного продукту, м

Товщину відрізуваного продукту приймаємо  $v = 0,06$  м

$$P_2 = 5/6 \cdot 9 \cdot 100 \cdot 0,06 \cdot 0,085 = 3,8H ;$$

Проекція зусилля на напрям швидкості різання :

$$P_{in} = P_1 \cdot \cos \beta + P_2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta + 2 \cdot P_2 \cdot f \cdot \cos \alpha, H \text{ _}. (6) \text{ (/3/ с. 282)}$$

де

$P_1$  - зусилля на відгинання відрізуваного шматка, Н;

$P_2$  - зусилля на розрізання продукту, Н;

$\beta$  - кут ковзання, град;

$\alpha$  - кут заточування, град;

$f = 0,4/0,6$  - \_ - коефіцієнт тертя продукту.

$$P_{in} = 680 \cdot \cos 53 + 3,8 \cdot \sin 9 \cdot \cos 53 + 2 \cdot 3,8 \cdot 0,6 \cdot \cos 9 = 414H .$$

Сумарна потрібна потужність електродвигуна :

$$N_{\Sigma n} = 414 \cdot 1,8 / 1000 = 0,7 \text{ кВт.}$$

### 4.4.3. Розрахунок міцності.

#### 4.4.3.1 Розрахунок пильного полотна.

Уточнюємо передавальне число:

$$Q = \frac{D_2}{D_1 \cdot (1 - \xi)},$$

де

$\xi$  - коефіцієнт пружного ковзання ( $=0,01$ ).

$$Q = \frac{290}{290 \cdot (1 - 0,01)} = 1,01$$

Визначаємо окружну швидкість пильного полотна :

$$Q = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{60}, \text{ м/с,}$$

$$Q = \frac{3,14 \cdot 0,29 \cdot 1425}{60} = 21,62 \text{ м/с.}$$

Вибираємо міжосьову відстань для пильного полотна:

$$a = 2(D_1 + D_2), \text{ мм.}$$

$$a = 2(290 + 290) = 1160 \text{ мм.}$$

Визначаємо розрахункову довжину пильного полотна по вибраній міжосьовій відстані, мм:

$$L = 2a + \frac{\pi(D_2 + D_1)}{2} + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4a}, \text{ мм.}$$

$$L = 2 \cdot 1160 + \frac{\pi(290 + 290)}{2} + \frac{(290 - 290)^2}{4 \cdot 1160} = 3302,7 \text{ мм.}$$

Перевіряємо число пробігів пильного полотна :

$$v = \frac{V_{окр}}{L},$$

$$v = \frac{21,62}{3,3027} = 6,54 < [v] = 6$$

Визначуваний кут обхвату на шківі:

$$\alpha = 180^\circ - \frac{D_2 - D_1}{a} \cdot 57^\circ.$$

$$\alpha = 180 - \frac{290 - 290}{1160} 57^\circ = 180^\circ$$

Розрахуємо навантаження на пильное полотно:

$$F_t = \frac{N \cdot 10^3}{V_{окр}}, \text{ Н.}$$

$$F_t = \frac{1000}{21,62} = 46,25 \text{ Н}$$

Розрахуємо площу поперечного перерізу пильного полотна :

$$A = b \cdot \delta = \frac{F_t}{[\sigma_t]} = \frac{46,25}{1,5} = 29,8 \text{ мм}^2$$

де  $[\sigma_t]$  - розрахункова корисна напруга:

$$[\sigma_t] = [\sigma_t]_0 \cdot C_\alpha \cdot C_v \cdot C_p \cdot C_0 = 2,25 \cdot 1 \cdot 0,86 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 1,55 \text{ Н/мм}^2$$

$C_\alpha$  - коефіцієнт, що враховує вплив кута обхвату на шківі:

$$C_\alpha = 1 - 0,003 \cdot (180^\circ - \alpha) = 1 - 0,003 \cdot (180 - 180) = 1$$

$C_v$  - коефіцієнт, що враховує вплив відцентрової сили :

$$C_v = 1,04 - 0,0004V^2 = 1,04 - 0,0004 \cdot 21,62^2 = 0,996$$

$C_p$  - коефіцієнт динамічності і режиму роботи передачі. В даному випадку приймаємо  $C_p=1$

$C_0$  - \_ - коефіцієнт враховує вплив розташування передачі і способу регулювання натягнення пильного полотна на його працездатність.

Приймаємо:

$$\sigma_0 = 1,5H / \text{мм}^2;$$

Визначимо зусилля, діюче на вал, :

$$Q = 2\sigma_0 \cdot b \cdot \delta \cdot \sin \frac{\alpha}{2},$$

$$Q = 2 \cdot 5 \cdot 23,84 \cdot 1,25 \cdot \sin \frac{180}{2} = 149H.$$

#### 4.4.4. Розрахунок подаючого механізму (передача гвинт - гайка).

Основним критерієм працездатності передачі є зносостійкість, яка оцінюється по середньому тиску між витками різьблення гвинта і гайки.

Зносостійкість розраховується по формулі:

$$q = \frac{F_a}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot Z}, \text{ Па. (15) (/5/ с. 30)}$$

де

$F_a$  - осьове навантаження на передачу.

Приймаємо  $F_a = 50$  Н.

$d_2$  - середній діаметр різьблення; = 8,8 мм.

$H_1$  - робоча висота профілю (с. 30);

$$H_1 = 0,5 \cdot P = 0,5 \cdot 2 = 1 \text{ мм.}$$

$z$  - число витків різьблення в гайці;  $z = 6$ .

$$q = \frac{50}{\pi \cdot 8,8 \cdot 1 \cdot 6} = 0,3 \text{ Па.}$$

Визначимо критичне навантаження по гнучкості гвинта :

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{R}, \text{ Н. (5/ с. 31)}$$

де

$\mu$  - коефіцієнт приведення довжини, спосіб закріплення кінців гвинта, що враховує.

$l$  - виміряна довжина гвинта;  $l=160$  мм.

$R$  - радіус поперечного перерізу гвинта;  $R=3,5$  мм.

$$\lambda = \frac{2 \cdot 160}{3,5} = 91,4 \text{ Н.}$$

$$F_{кр} = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot (a - b \cdot \lambda), \text{ Н. (5/ с. 31)}$$

де

$d_1$  - внутрішній діаметр гвинта; 8,5 мм.

$$F_{кр} = \frac{\pi \cdot 8,5^2}{4} \cdot (450 - 1,67 \cdot 92,4) = 175,2 \text{ Н.}$$

Визначимо розрахунковий коефіцієнт запасу стійкості гвинта;

$$n_y = \frac{F_{кр}}{F_a}, \text{ (18) (5/ с. 31)}$$

де

$F_{кр}$  - критичне навантаження для гвинта, Н;

$F_a$  - діюча на гвинт стискуюча сила, Н;

$$n_y = \frac{175,2}{50} = 3,5$$

Достатня подовжня стійкість гвинта можлива якщо дотримується умова.

$$n_y \geq [n_y],$$

де

$[n_y]$  - допустимий коефіцієнт запасу стійкості.

$$[n_y] = 2,54.$$

Виходячи з розрахованого коефіцієнта запасу стійкості гвинта, ця умова дотримується.

#### 4.4.5. Розрахунок міцності привідного валу.

Виробимо перевірочний розрахунок кінця валу, передавального крутний момент. Діаметр валу  $d=20$  мм. Заставну призматичну шпонку підібрати по Госту. Передавана потужність  $N=7,5$  кВт. Частота обертання валу  $n=725$  про/хв. Матеріал валу - сталь 40ХН. Термообробка - поверхневе загартування ТВЧ.

Визначуваний крутний момент, що передається валом

$$T = 9,55 \cdot 10^6 \frac{N}{n} = 9,55 \cdot 10^6 \frac{7,5}{725} = 98793 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Підбираємо розміри перерізу шпонки згідно СТ СЭВ 189-75 в залежності від діаметру валу  $b \times h = 6 \times 6$  мм. Глибина паза  $t_1 = 3,5$  мм.

Визначуваний полярний момент опору (нетто) для перерізу кінця валу, ослабленого пазом шпони, :

$$W_p = \frac{\pi d^3}{16} - \frac{b \cdot t_1 \cdot (d - t_1)}{2d} = \frac{3,14 \cdot 20^3}{16} = 1427 \text{ мм}.$$

Оскільки вал здійснює нереверсивне обертання, дотична напруга змінюється по пульсуючому циклу. Визначаємо амплітуду і середнє навантаження:

$$\tau_a = \tau_m = \frac{1}{2} \cdot \tau_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{T}{W_p} = \frac{1}{2} \cdot \frac{98793}{1427} = 34,62 \text{ Н} / \text{мм},$$

Визначення коефіцієнту запасу втомної міцності по крученню

$$s = s_\tau = 5,1.$$

Порівнюючи з тим, що допускається значення  $[s] = 1,8$  (враховані основні навантаження без урахування динамічних), приходимо до висновку, що в даному перерізі валу виявляється великий запас втомної міцності і щоб не було необхідності вибрати леговану сталь 40ХН, а замість неї можна прийняти дешевшу вуглецеву.

#### **4.4.6. Правила монтажу, експлуатації і вимоги безпеки.**

Перед початком роботи на стрічкових пилах перевіряють справність заземлення рами і надійність кріплення машини до виробничого столу або фундаменту.

Під час експлуатації стрічкових пил не можна встановлювати або знімати робочі органи при включеній машині, направляти і проштовхувати застряглий продукт руками. Необхідно використовувати спеціальні дерев'яні або пластмасові штовхальники, а у разі заклинювання продукту необхідно вимкнути машину і його видалити.

В процесі експлуатації стрічкових пил стежать за гостротою різальних кромek робочих інструментів і при необхідності виробляють їх заточування. Робота із затупленою стрічкою призводить до зниження якості нарізки і продуктивності. Для заточування стрічку знімають з шківів.

Конструкцією машини передбачено два блокувальні пристосування, які не дозволяють включення машини до тих пір, поки на приводну частину не буде встановлено змінне пристосування, а також доки на подаючий механізм не буде завантажений продукт.

Перед початком роботи включають стрічкову пилу і переконуються в правильності зборки. Після перевірки роботи машини на неодруженому ході приступають до різання продукту.

Після закінчення роботи необхідно привід машини відключити, знімають робочі органи і здійснюють санітарну обробку. При санітарній обробці знімні робочі органи, подаючий механізм, розвантажувальний пристрій очищають від продуктів. Далі промивають гарячою водою до повного видалення

залишків продуктів, просушують і кладуть на зберігання поблизу машини на спеціальну полицю.

#### **4.4.7. Монтаж установки і проведення експериментальних досліджень**

##### **1. Підготовка лабораторної стрічкової пили до монтажу. Монтаж.**

Включати стрічкову пилу при встановленій транспортній рамці категорично забороняється. Переміщення пили, пов'язане з його нахилами, без транспортної рамки категорично забороняється.

Розконсервацію і підготовку пили до експлуатації після транспортування, підключення і введення в експлуатацію здійснює споживач виробу.

Транспортувати пилу до місця його установки слід в упаковці заводу-виробника. Повне розбирання упаковки повинне здійснюватися в приміщенні лабораторії, де пила буде змонтована.

У разі вузьких проходів і дверей допускається упаковку розібрати в іншому приміщенні, зняти панелі облицювання, за винятком верхніх, зняти подаючий механізм, від'єднати перемичку заземлення між станинами, зняти стрічку, від'єднати електропроводи на клемному ящику, відвернути 4 болти, що скріплюють між собою станини, і роз'єднати їх.

Під час транспортування роз'єднаних блоків слід використовувати отвори в нижній частині станин, для чого в них слід вставити ломи або труби, які і послужать елементами захоплення для такелажних пристосувань і навантажувачів.

На місці установки зняти рамку, встановлену заводом для транспортування, встановити на штатні місця кришки і виріб зібрати. Порядок зборки зворотний викладеному.

Облицювання на місце встановлювати не слід.

Кронштейн заземлення перед під'єднанням слід змастити мастилом.

Рекомендується стрічкову пилу встановити так, щоб навколо нього був вільний прохід 1 м

У вибраному місці пили обов'язково виставити по рівню.

Регулювання забезпечується за рахунок болтів. Після регулювання болти застопорити гайками.

Виробити зовнішній огляд пили і переконатися в правильності монтажу виробу і підключення його електропроводки.

Подати напругу через знижувальний трансформатор. Наявність живлення сигналізує лампа.

## 2. Підготовка стрічкової пили до роботи.

Перед початком роботи варто переконатися в справності пили.

З цією метою виробити зовнішній огляд. Переконатися, що усі комплектуючі встановлені на штатні місця і надійно зафіксовані.

Включити знижувальний трансформатор і переконатися, що сигнальна лампа включена.

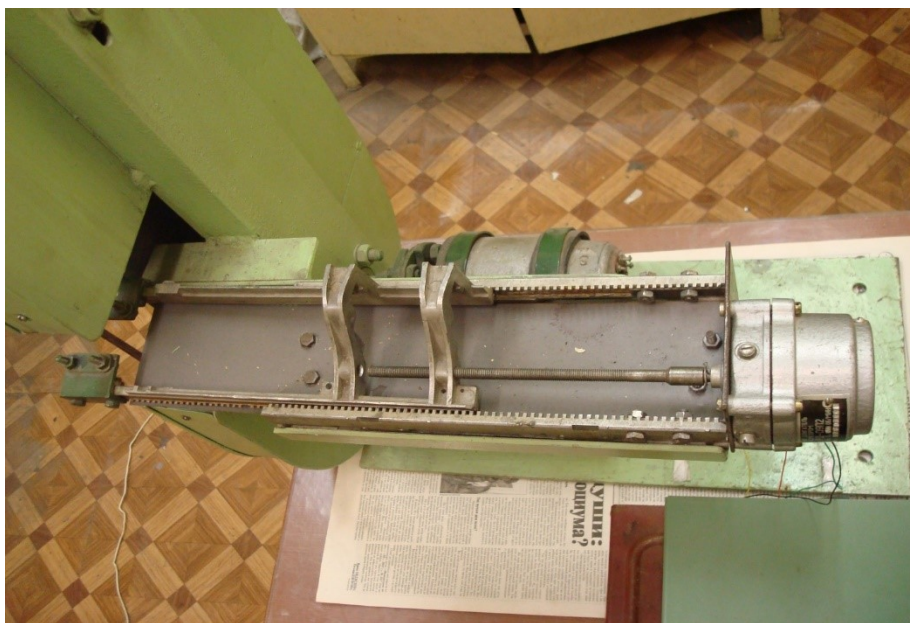
Натиснути кнопку "Пуск". При цьому буде помітний характерний шум роботи стрічкової передачі. Інших шумів прослуховуватися не повинно.

Зупинка двигунів повинна статися через 6 хвилин автоматично.

Знову натиснути кнопку "Пуск" і через 5-7 секунд натиснути кнопку "Стоп", повинне статися відключення усіх двигунів.



**Рис. 4.4. Прототип лабораторного стану**



**Рис. 4.5. Прототип механізму подачі лабораторного стану**

### **Висновки**

1. Більшість харчових продуктів та пакувальних матеріалів мають неоднорідну багат шарову структуру

2. Зусилля різання багатошарових матеріалів не постійне. Під час наближення леза різального інструменту до тонкої міцної оболонки зусилля різання стрімко зростає.

3. Проведено дослідження різання багатошарових харчових продуктів та інших матеріалів з постійною швидкістю ножа.

4. Визначено характер зміни зусилля різання під час наближення леза до оболонки та виведено емпіричне рівняння для визначення зусилля різання. Рівняння доцільно використовувати в математичних моделях руху леза.

5. Пояснено отримані результати.

6. Порівняно отримані результати з результатами інших дослідників та виявлено приблизне їх співпадіння, що вказує на точність отриманих результатів.

7. Надано рекомендації щодо вибору режимів різання з метою зниження енерговитрат.

8. Розроблено лабораторний стенд для дослідження процесу різання харчових продуктів стрічковим зубчастим ножом, який рекомендовано до використання в навчальному процесі.

Отже, роботу виконано та отримано результати згідно поставленої мети і задач.

## Список використаної літератури

- Arnold, G., Zahn, S., Legler, A., Rohm, H. Ultrasonic cutting of foods with inclined moving blades. *Journal of Food Engineering*. Volume 103, Issue 4, April 2011, Pages 394-400.
- Batt C.A. *Encyclopedia of Food Microbiology (Second Edition)* / C.A. Batt. – Elsevier, 2017. – 110 p.
- Brennan J. G.. *Food Processing Handbook, 2nd Edition* / James G.B., Alistair S.G. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 2011. – 826 p.
- Brown, T., James, S.J., Purnell, G.L. Cutting forces in foods: Experimental measurements. *Journal of Food Engineering*. Volume 70, Issue 2, September 2005, Pages 165-170.
- Fellows P. *Food processing technology. Principles and Practice. Second Edition* / P. Fellows. – CRC Press, 2000. – 591 p.
- Gospodinov D., Hadjiiski V., Stefanov S. Modeling of corrugated paperboard by using the finite element method // *University of Ruse "Angel Kanehev" Proceedings*. Volume 49, Book 9.2, 2010, P.114-118.  
<http://www.ukrpromkomplekt.biznes-pro.ua/index.php?page=3&rubr=1002>
- Kunze W. *Technology Brewing And Malting. 5th English Edition* / W. Kunze. – VLB Berlin. – 935 pages
- Lelieveld H. *Handbook of Hygiene Control in the Food Industry (Second Edition)* / H. Lelieveld, J. Holah, D. Gabrić. – Elsevier, 2016. – 736 p.
- Lortz, W. A model of the cutting mechanism in grinding. *Wear*. Volume 53, Issue 1, March 1979, Pages 115-128.
- Mitev R., Hadjiiski W., Stefanov S., Sazdov Ch. Modeling and testing of resistance petaloid bottom of PET bottles for carbonated drinks. 10th International Conference “Research and Development in Mechanical Industry” RaDMI 2010, 16-19 September 2010, vol.2, p.1168-1173.
- Naumenko N. *History of Food Science* / N. Naumenko N. – Kyiv, NUFT. – 2014. – 199 с.

Ralko O. The restructuring and organisational development in the food industry in Ukraine // Restructuring: theory and practice : [monograph] / [Tetyana Mostenska, Iryna Fedulova, Virginija Jurėnienė (scientific editors)]. – Kyiv – Kaunas – Szczecin: National University of Food Technologies, Institute of World Economy and International Relations, University of Szczecin, Vilnius University. – Kyiv: Kondor, 2012. – P. 171–195.

Rubenstein C. The application of force equilibrium criteria to orthogonal cutting. International Journal of Machine Tool Design and Research. Volume 12, Issue 2, June 1972, Pages 121-126

Toledo R.T. Fundamentals of Food Process Engineering. Third Edition / R.T. Toledo. – Springer, 2007. – 585 p.

Yiu H. Hui. Handbook of Food Science, Technology, and Engineering. / H. Hui Yiu. – CRC Press, 2006. – 928 p.

Zahn, S., Schneider, Y., Zücker, G., Rohm, H. Impact of excitation and material parameters on the efficiency of ultrasonic cutting of bakery products. Journal of Food Science. Volume 70, Issue 9, November 2005, Pages E510-E513.

Zhou D., Claffee M.R., Lee K.-M., McMurray G.V. Cutting, 'by pressing and slicing', applied to robotic cutting bio-materials. Proceedings – IEEE International Conference on Robotics and Automation. Volume 2006, 2006, Article number 1642141, Pages 2896-2901

Нещадим. - К. : НУХТ, 2013. – 51 с.

Біотехнологія: Підручник / В.Г. Герасименко, М.О. Герасименко, М.І. Цвіліховський та ін.; Під общ. ред. В.Г. Гера сименка. — К.: Фірма «ІНКОС», 2006

Гончаренко Б.М. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій: підручник / Б.М. Гончаренко, А.П. Ладанюк. – Київ: НУХТ, 2014. – 530 с.

Гуць В.С., Губеня О.О. Моделювання процесу різання харчових продуктів // Товари і ринки. – 2007. - № 2. - С.107-114.

- Гуць, В. С. Різання багат шарових пакувальних матеріалів / В. С. Гуць, О. О. Губеня // Упаковка. - 2012. - № 1. - С. 52-55.
- Домарецький В.А. Технологія солода та пива: Підруч. / В.А. Домарецький. – Київ: Інкос, 2004. – 426 с.
- Заплетніков І. М. Експлуатація і обслуговування технологічного обладнання харчових виробництв [Текст] : навч. посіб. / І. М. Заплетніков, В. Г. Мирончук, В. М. Кудрявцев ; Нац. ун-т харч. технол., Донец. нац. ун-т екон. і торг. — К. : ЦУЛ, 2012. — 344 с.
- Кривошей В.М. М'ясні вироби в Україні (ринок, тенденції, упаковка) / Упаковка. – 2016. - №1.
- Мирончук В.Г., Орлов Л.О., Українець А.І. та ін.. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Навчальний посібник. – Вінниця: Нова книга, 2004. – 288с.
- Монтаж, експлуатація, діагностика та ремонт обладнання м'ясопереробних підприємств: підручник / І. Г. Бабанов, О. М. Гавва, О. І. Бабанова та ін. – Київ: Сталь, 2015. – 600 с.
- Мостенська Т. Збалансування продовольчого ринку в контексті забезпечення продовольчої безпеки: монографія / Т. Мостенська. – Київ: Кондор-Видавництво, 2015. – 283 с.
- Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості [Текст] : підручник / В. Г. Мирончук, І. С. Гулий, М. М. Пушанко та ін. ; за ред. В. Г. Мирончука. – 2-ге вид., перероб. і доп. — Вінниця : Нова книга, 2007. — 648 с.
- Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості : підручник / Мирончук В. Г., Гулий І. С., Пушанко М. М. та ін.; за ред. В.Г. Мирончука. – Вінниця: Нова книга, 2007. – 648 с.
- Оборудование микробиологических производств / Калунянц. К.А., Голгер Л.И., Балашов В.Е. М. – 1987. – 398 с.
- В. С. Гуць, С. Д. Коваленко, О. В. Євтушенко та ін. – К. : НУХТ, 2016. – 97 с.

- Пакувальне обладнання: підручник / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А.І. Волчко, О.О. Кохан. – Київ: Упаковка, 2010. – 744 с.
- Процеси і апарати харчових виробництв [Текст] : Підруч. / І. Ф. Малежик, П. С. Циганков, П. М. Немирович, О. С. Марценюк ; Ред. І.Ф. Малежик. — К. : НУХТ, 2003. — 400 с.
- Процеси і апарати харчових виробництв [Текст] : приклади і задачі : навч. посіб. / І. Ф. Малежик, П. М. Немирович, В. Л. Зав'ялов та ін. ; за ред. І. Ф. Малежика ; Нац. ун-т харч. технол. — К. : НУХТ, 2015. — 386 с.
- Процеси і апарати харчових виробництв: Підручник / За ред. проф. І.Ф.Малежика. – К.: НУХТ, 2003.- 400с.
- Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / За ред. проф. І. Ф. Малежика. Підручник. – К.: НУХТ, 2003. – 400с.
- Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Навчальний посібник / В. Г. Мирончук, Л. О. Орлов, А. І. Українець та ін. – Вінниця: Нова книга, 2004. – 288 с.
- Сидоров Ю. І. Процеси і апарати хіміко-фармацевтичної промисловості [Текст] : навч. посіб. / Ю. І. Сидоров, В. І. Чуєшов, В. П. Новіков. — Вінниця : Нова книга, 2009. — 816 с.
- Ситник І.О., Климнюк С.І., Творко М.С. Мікробіологія, вірусологія, імунологія. - Тернопіль: Укрмедкнига, 2009. - 295 с.
- Скопенко Н.С. Інтеграційні процеси в харчовій промисловості України: сучасна концепція розвитку: монографія / Н.С. Скопенко, Т.Л. Мостенська. – Київ: Кондор, 2015. – 392 с.
- Сухенко Ю. Г. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв: підручник / Ю.Г. Сухенко, О.А. Литвиненко, В.Ю. Сухенко. – Київ: НУХТ, 2010. – 547 с
- Технологічні комплекси харчових виробництв: Навчальний посібник / В.І. Теличкун, О.М. Гавва, Ю.С. Теличкун, О.О. Губеня, М.Г. Десик, О.М. Чепелюк. – Київ: Видавництво «Сталь», 2017. – 456 с.