

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

Падуса Максима Андрійовича  
Прізвище, ім'я, по батькові студента(ки)

На здобуття другого (магістерського) ступеня вищої освіти

Розробка стенду для дослідження процесу проколювання матеріалу голкою  
Назва теми

Галузь знань 13 Механічна інженерія  
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування  
Освітня програма Машини та апарати легкої промисловості

Шифр МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент(ка) 1 курсу група МБм-23-1  
Шифр

  
Підпис

Максим ПАДУС  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник К.Т.Н., доц  
Науковий ступінь, вчене звання

  
Підпис

Світлана СМУТКО  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер К.Т.Н. доц.  
Досада

  
Підпис

О.Тимощук  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:  
Завідувач кафедри  
машин і апаратів, електромеханічних та  
енергетичних систем  
Назва

  
Підпис

Віталій НЕЙМАК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

17.12.2024  
Дата

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем  
Рівень вищої освіти      другий (магістерський)  
Галузь знань              13 Механічна інженерія  
Спеціальність            133 Галузеве машинобудування  
Освітня програма        Машини та апарати легкої промисловості

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

17 . 12 . 2024 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Падуса Максима Андрійовича

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка стенду для дослідження процесу проколювання матеріалу голкою

Керівник роботи Смутко Світлана Влеріївна, к.т.н., доцент

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

Затверджено наказом ректора університету від 26 08 2024 р. № 60

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

3. Вихідні дані до роботи процес проколювання голкою матеріалу

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

Вступ. 1. Огляд та аналіз процесів зшивання та механізмів голки швейних машин. 2. Аналітичне дослідження впливу форми заточки голки швейної машини на процес проколювання. 3. Розробка стенду для визначення зусилля проколювання матеріалу голкою. 4. Експериментальні дослідження процесу зусилля проколювання матеріалу голкою. Висновки. Перелік джерел посилання.

Додатки

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

Види голок швейних машин ДО. Процес проникнення голки в матеріал ДТ. Розрахунок зусилля проколу матеріалу голкою з овальною заточкою вістря PP1. Стенд для визначення зусилля проколу матеріалу голкою С1. Стенд для визначення зусилля проколу матеріалу голкою Е1. Дослідження зусилля проколу голкою в середовищі LabVIEW Д1. Результати експериментальних

досліджень  
PP2

процесу

проколу

матеріалу

### 6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

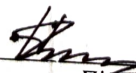

7. Дата видачі завдання 2 вересня 2024 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Збір інформації за темою кваліфікаційної роботи	вересень 2024 р.	
2. Огляд та аналіз процесів зшивання та механізмів голки швейних машин	вересень, жовтень 2024 р.	
3. Аналітичне дослідження впливу форми заточки голки швейної машини на процес проколювання	жовтень 2024 р.	
4. Розробка стенду для визначення зусилля проколювання матеріалу голкою.	жовтень, листопад 2024	
5. Експериментальне дослідження процесу проколювання	листопад 2024	
6. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	листопад, грудень 2024	

Студент(ка)

Керівник роботи

  
Підпис  
  
Підпис

Максим ПАДУС  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ  
Світлана СМУТКО  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Галузь знань 13 Механічна інженерія  
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування  
Освітня програма Машини та апарати легкої промисловості

## АНОТАЦІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Падуса Максима Андрійовича

Прізвище, ім'я, по батькові студента

Тема роботи Розробка стенду для дослідження процесу проколювання матеріалу голкою

1. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання рецензента \_\_\_\_\_

2. Обсяг магістерської роботи: креслень 7 арк, сторінок записки 102

3. Характеристика розділів пояснювальної записки:

Проведено аналіз голок та типів загострення вістря для зшивання різних типів матеріалів, розглянутий процес проколювання матеріалів та проаналізовано фактори, які впливають на його якість. Виконано математичний аналіз зусилля проколу за допомогою математичної та фізичної моделей процесу зусилля проколювання голкою матеріалу. Виконано теоретичний розрахунок зусилля проколювання шкіри голкою з овальною заточкою вістря. Розроблено програму в програмному комплексі MatLAB для визначення зусилля проколу матеріалу голкою та отримано графік зусилля проколу голкою матеріалу.

Достовірність отриманих даних аналітичного дослідження підтверджена циклом експериментальних досліджень на спеціально спроектованому експериментальному стенді для дослідження процесу зусилля проколу. За допомогою програмного комплексу LabVIEW розроблена схема віртуального приладу для обробки сигналів з двох каналів для зняття вхідних даних значень зусилля проколу та кута повертання головного валу.

Підпис студента 

" 17 " 12 20 24 р.

### Р І Ш Е Н Н Я Е К ЗА М Е Н А Ц І Й Н О Ї К О М І С І Ї:

Протокол 5 від 27 12 20 24 р.

Оцінка роботи ЕК добре /с  
Рекомендації ЕК \_\_\_\_\_

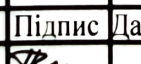



Особливі відмітки \_\_\_\_\_

Технічний секретар \_\_\_\_\_  
Підпис \_\_\_\_\_ Ім'я, ПРІЗВИЩЕ \_\_\_\_\_

" 27 " 12 20 24 р.

## ЗМІСТ

Вступ .....	6
1 Огляд та аналіз процесів зшивання та механізмів голки швейних машин.....	9
1.1 Види голок швейних машин .....	9
1.2 Процес проколювання матеріалів та аналіз факторів, що впливають на його якість .....	12
1.3 Конструкція механізмів голок.....	31
1.4 Висновки до розділу 1.....	36
2 Аналітичне дослідження впливу форми заточки голки швейної машини на процес проколювання .....	37
2.1 Дослідження впливу форми вістря голки на процес проколювання.....	37
2.2 Висновки до розділу 2.....	47
3 Розробка стенду для визначення зусилля проколювання матеріалу голкою.....	48
3.1 Методи дослідження зусилля проколювання голкою матеріалу.....	48
3.2 Розробка стенду для експериментальних досліджень зусилля проколювання матеріалу голкою .....	55
3.3 Підбір датчиків та засобів реєстрації даних для експериментального стенду .....	56
3.4 Висновки до розділу 3.....	73
4 Експериментальні дослідження процесу зусилля проколювання матеріалу голкою.....	74
4.1 Розробка методики проведення експериментальних досліджень зусилля проколювання матеріалу голкою.....	75
4.2 Експериментальне дослідження процесу зусилля проколу голкою з овальною заточкою вістря з різними типами матеріалів.....	76

МРМА 24.00.00.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Розробка стенду для дослідження процесу проколювання матеріалу голкою  Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав	Падус М. А.						4	102
Перевір.	Смутко С.В.							
Н.контр.	Тшчощук							
Затвер.	Неймак В.С.					ХНУ гр. МБм-23-1		

4.3 Обробка результатів експериментальних досліджень.....

4.4 Висновки до розділу 4.....

Висновки .....

Перелік джерел посилання .....

Додатки .....

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Легка промисловість - це комплексна галузь, що охоплює майже 20 підгалузей і класифікується на такі групи:

- текстильна (включаючи бавовну, коноплі, вовну та шовк), трикотажна (включаючи первинну обробку льону та вовни, виробництво нетканих матеріалів, сітчасте в'язання та виробництво текстильних трикотажних виробів);
- одягу;
- шкіри, взуття та хутра.

Виробництво одягу є дуже складним і важливим видом виробництва, що передбачає використання високоякісної сировини, передових технологій виробництва та сучасних моделей і фасонів.

Конкурентоспроможність є ключовим питанням для цієї галузі. Конкурентоспроможність швейних виробів пов'язана з двома показниками: рівнем ціни та рівнем якості продукції, причому останній фактор поступово переважає. Якість - це сукупність характеристик або властивостей, які обумовлюють здатність продукції задовольняти певні потреби відповідно до її призначення.

Поняття якості нерозривно пов'язане з поняттям технічного рівня продукту. Іншими словами, відносні характеристики якості продукції ґрунтуються на співвідношенні між показниками, що визначають її технічну досконалість, і відповідними базовими показниками. Основними базовими показниками є призначення, надійність, ергономічність, стандартизація/уніфікація, технологічність, естетичність, транспортабельність, патентні, правові, екологічні та показники безпеки. Сукупність вищезазначених показників формує якість продукції.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк. 6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Товари широкого вжитку повинні бути надійними, естетично привабливими та добре виконувати свої функції. Крім цих показників, важлива також ціна продукту.

З ціною пов'язане питання економічно оптимальної якості (ЕОЯ).

Крім ціни, важливими є також експлуатаційні характеристики виробу.

На сучасному етапі промисловість швейних машин розширилася до широкого спектру технічних секторів, включаючи машини різного призначення.

Швейні машини є основним обладнанням, що використовується у виробництві одягу, взуття та трикотажних виробів.

Успішне впровадження передових технологій у виробництво створило передумови для конструювання специфічних і спеціалізованих швейних машин, призначених для виконання конкретних, і навіть досить вузькоспеціалізованих, завдань.

Основним робочим інструментом швейної машини є голка, яка бере безпосередню участь у процесі шиття. Голка використовується для прошивання матеріалу, заправки нитки, створення петель і петельок та затягування швів.

Основним процесом, що здійснюється під час шиття, є проколювання матеріалу голкою. Сила вколювання є найважливішим фактором, що впливає на довговічність голки, оскільки опір матеріалу проникненню голки в основному обумовлений поперечним перерізом голки. Ймовірність того, що кінчик голки не зможе проникнути в тіло нитки тканини і згодом буде зруйнований, залежить від правильного номера голки і форми заточки кінчика голки.

Розрив ниток і волокон матеріалу або шкіри в процесі шиття призводить до погіршення зовнішнього вигляду і експлуатаційних характеристик виробу. При пошкодженні або руйнуванні волокон під час пошиття трикотажних виробів відбувається розпускання петель трикотажного полотна, що також є дефектом.

Поздовжні і поперечні динамічні навантаження на голки під час введення голки також є важливими факторами. Вони призводять до прогину голки та пропуску стібків на перетинах стібків, що впливає на якість виробу. Тому

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

дослідження процесу проколювання матеріалу голкою швейної машини є доцільним і своєчасним.

Метою даної кваліфікаційної роботи є створення стенду для дослідження процесу проколювання матеріалу голкою, який надасть можливість дослідження якості проколу матеріалів від форми заточки вістря голки швейної машини.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

# 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ШВЕЙНИХ ПРОЦЕСІВ І ГОЛОК ШВЕЙНИХ МАШИН

## 1.1 Типи голок для швейних машин

Під час шиття на швейному обладнанні часто зустрічається проблема відсутності стібків або низької якості строчки. Зміна налаштувань швейної машини або чергування різних типів строчок кардинально не покращує ситуацію і зазвичай списується на неякісне обладнання або недобросовісних виробників [1]. Саме голка визначає плавність роботи і якість обробки. Сучасні голки бувають різних стилів. Вони включають в себе версії з вістрям, форму вушка і розміри канавок. Всі ці особливості, деякі з яких ледь помітні для людського ока, мають значний вплив на формування стібка, його цілісність і якість.

Види голок швейних машин визначаються типами швейних робіт, до яких вони призначені, а також матеріалом тканини, з яким працюють. Далі розглянемо основні види голок швейних машин.

Загальні (універсальні) голки. Це стандартні голки, які використовуються для шиття більшості типів тканин, таких як бавовна, синтетика, льон, шерсть. Вони мають середній розмір від 70 до 90 (за міжнародною шкалою), з округлою вершиною. Призначені для шиття стандартних тканин середньої щільності.

Голки для джинси і товстих тканин. Мають міцнішу та товстішу стержневу частину. Вони зазвичай мають більший діаметр, від 100 до 110, що дозволяє працювати з важкими тканинами, такими як джинса, парусина, шкіра та інші щільні матеріали. Використовуються для шиття важких, щільних матеріалів, що потребують більшої міцності.

Голки для трикотажних тканин. Мають спеціальний вигин в голівці та округлий пік, що запобігає розтягуванню або пошкодженню еластичних тканин.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Призначені для роботи з тканинами, які мають властивість розтягуватися (трикотаж, лайкра, еластан).

Голки для шкіри. Ці голки мають гострий кінчик, здатний проколювати шкіру або штучну шкіру без їх пошкодження. Зазвичай вони мають від 90 до 110 одиниць за розміром і мають спеціальний проріз, який запобігає розриву матеріалу під час шиття. Використовуються для шиття натуральної або штучної шкіри, а також замші.

Голки для шиття металізованих та декоративних ниток. Мають спеціальний отвір, щоб уникнути пошкодження тонких декоративних ниток. Відрізняються більш широким отвором, що дозволяє використовувати металічні або декоративні нитки без пошкодження. Призначені для шиття декоративними нитками, такими як металізовані, бісерні нитки.

Голки для квілтингу - процесу зшивання декількох шарів тканини. Голка має міцніший стрижень і спеціальний, більш товстий пік для проходження через кілька шарів тканини. Для квілтингу, який включає в себе пошиття кількох шарів тканини, часто використовують більш товсті голки (наприклад, розміри 90–100).

Мікрошарикові голки. Мають спеціальне покриття, яке дозволяє працювати з дуже тонкими тканинами без їх пошкодження. Призначені для дуже тонких і делікатних тканин, таких як шифон або органза.

Голки для вишивки. Це голки, які використовуються в основному для декоративної вишивки. Вони мають більш широке вушко для зручності прокладання вишивальних ниток.

Голки з подвійним вушком. Це голки, що мають два отвори, через які можна прокласти дві нитки одночасно. Використовуються для декоративного шиття або виконання подвійного рядка.

Розміри голок варіюються від 60 до 120, де менші числа (наприклад, 60) призначені для тонких тканин, а більші (наприклад, 110, 120) — для більш товстих матеріалів.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк. 10
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

При виборі голки для швейної машини важливо враховувати не тільки матеріал тканини, а й тип стібка та техніку шиття, що застосовуються. Правильно підібрана голка покращує якість шиття і продовжує термін служби як швейної машини, так і тканини.

Експерти підкреслюють, що якими б не були параметри голки, вони повинні бути ідеально адаптовані до типу і товщини тканини [2]. Сучасні технології, що використовуються в легкій промисловості, неухильно призводять до появи нових видів тканин з різними властивостями і характеристиками. При роботі з такими тканинами необхідно забезпечити міцність і якість з'єднань ниток без шкоди для структурної цілісності самої тканини. Звичайну відповідність між типом голки і типом тканини можна знайти в інструкції до швейного обладнання.

Справжній професіонал повинен володіти знаннями і навичками сумісності голок, знати їх характеристики і властивості. Наприклад, особливу увагу слід приділяти упорядкуванню швейних голок. Залежно від швейної машини, системи голок можуть бути налаштовані індивідуально. Купуючи голку, необхідно знати не тільки тип швейної машини, про яку йде мова, але і клапан самої голки. Візьмемо, наприклад, голки DVx1 і DPx5 - вони використовуються на універсальних машинах, але колби у цих двох моделей різні.

Ви можете дізнатися тип голки, подивившись в інструкції з експлуатації або порівнявши її з голкою, яка йшла в комплекті з машиною, коли ви її купували. Деякі виробники вказують тип голки безпосередньо на самій швейній машині. Одразу після покупки швейної машини подивіться на тип голки і запишіть його, щоб потім не займатися довгими і нудними пошуками.

Розглянемо параметри голки швейної машини

Параметри голки швейної машини показані на рис 1.1.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Швейна голка

Лезо - це тонка частина голки, яка проходить крізь тканину.

Діаметр леза визначає розмір/кількість голок.

Вістря: загострена частина леза голки.

Вушко: отвір, перпендикулярний до леза, через який проходить нитка.

Довгий паз: паз уздовж передньої частини леза голки від хвостовика до вушка.

Ширина канавки може становити до 40% від діаметра голки, що обмежує розмір нитки, яку можна використовувати з певними розмірами голок.

Канавка направляє нитку у вушко і дозволяє їй швидко і вільно проходити.

Короткий жолобок - коротка закруглена ділянка на зворотному боці леза голки, над вушком, де носик човника проходить поряд з центральною лінією голки. У цій точці гачок проходить близько до вушка, захоплюючи верхню нитку і створюючи петлю для формування стібка.

Колба - це верхня найтовстіша частина голки, яка використовується для введення викрутки в голку, яка утримується на місці гвинтовим затискачем. Промислові голки мають круглий хвостовик, в той час як побутові голки мають плоский хвостовик з одного боку.

Конічний фланець - це конічний перехід між колбою і лезом.

Наконечник - це тупий кінець голки на кінці колби. Якщо голка підібрана правильно, стібки матимуть привабливий вигляд і не пошкодять матеріал.

Окрім номерів в маркуванні швейних голок можна зустріти та буквені позначення, які позначають сферу застосування конкретної голки, а саме, для яких типів тканин вона призначена.

Всі текстильні матеріали, будь то ткани, трикотажні або неткані, зшиваються голкою з певною геометрією вістря, підбраною відповідно до структури матеріалу. Правильний вибір відіграє важливу роль в результаті шиття. Використання правильних голок дозволяє досягти бажаного результату (рис. 1.2).

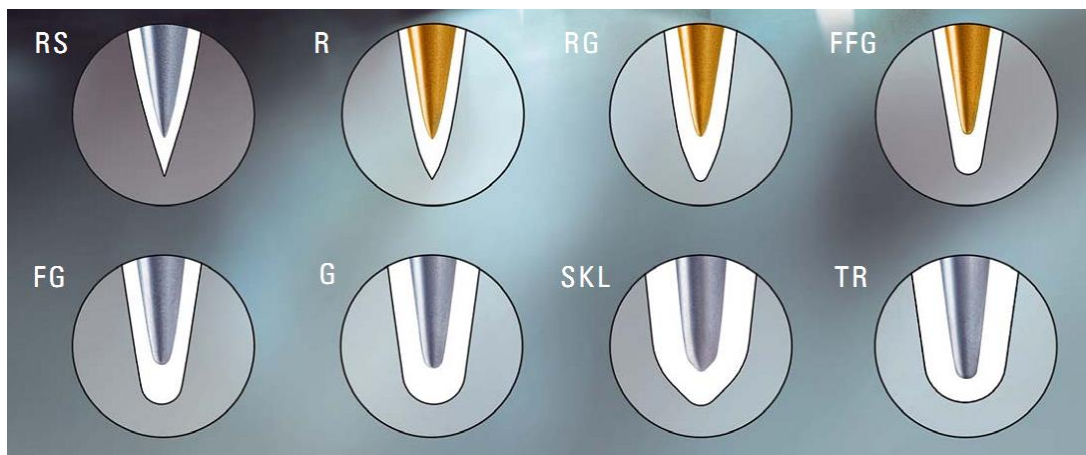
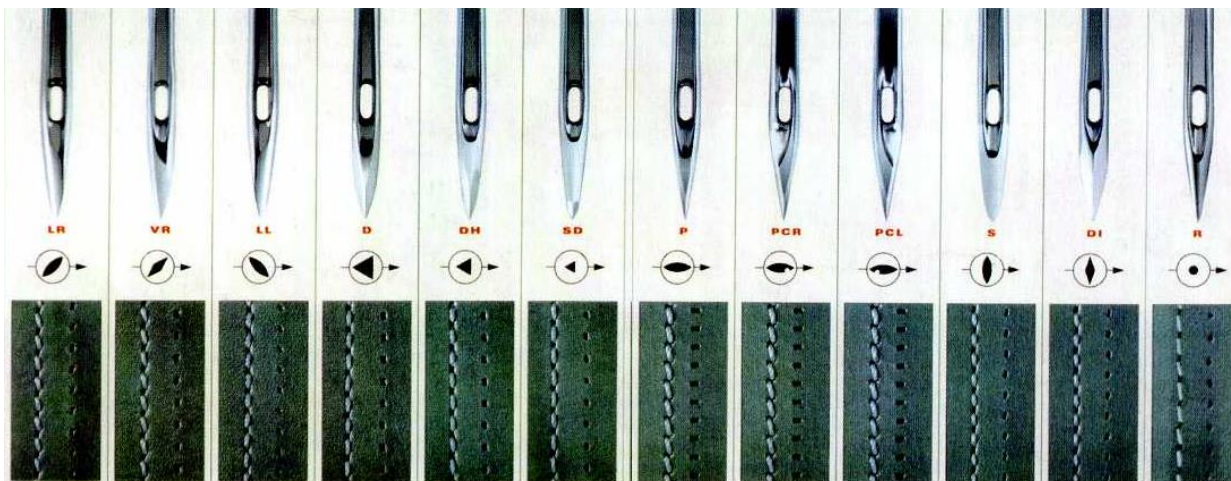


Рисунок 1.2 – Типи загострення голок швейних машин

Голки з ріжучими кромками використовуються для шиття важких матеріалів і виробів зі шкіри. На рисунку 1.3 показані типи ріжучих кромок для цих матеріалів.



а б в г г д е є ж з и та

Рисунок 1.3 – Голки з різальним загостренням для виробів

зі шкіри та важких матеріалів

а – загострення LR; б – загострення VR; в – загострення LL; г – загострення D; г  
– загострення DH;  
д – загострення SD; е – загострення P; є – загострення PCR; ж – загострення  
PCL;  
з – загострення S; и – загострення DI; та – загострення R

Голки для шкіргалантереї - ще один предмет гордості виробника. Фахівці розробили кілька модифікацій голок з ріжучими вістрями для більш ефективної роботи з різними типами шкіри. Серед основних переваг голок для шиття шкіри - менша кількість поломок голки, менше пропусків стібків і обривів нитки, а також вища якість перерізу. Завдяки цим особливостям професіонали швейної справи можуть значно підвищити свою продуктивність і використовувати ці голки протягом тривалого часу з високою міцністю.

Обробка шкіри - одне з найдавніших ремесел. Сьогодні, згідно з модою, окрім міцності швів, важливим є їхній зовнішній вигляд. Міцні шви повинні, по можливості, також надавати кінцевому продукту оздоблювальний ефект. Для економічно ефективного виробництва пошиття повинно здійснюватися на високій швидкості з використанням сучасних швейних машин. Згідно з

вимогами замовника, це тісно пов'язано з високою якістю продукції. У таблиці 1.1 показано залежність типу голки від типу шкіри та її обробки.

Таблиця 1.1 Залежність типу голки від типу шкіри та обробки

М'яка шкіра (напр. для верхнього одягу)	Середня шкіра	Груба та товста шкіра
1	2	3
		
Рекомендовано: R, SD (LL, LR)	Рекомендовано: всі види загострення залежно від зовнішнього вигляду строчки	Рекомендовано: LR, LL, D, DH, DI

При розробці конструкції та технології голки в основному враховуються наступні вимоги:

- низький рівень поломки голки;
- низький рівень пропуску стібків;  низький рівень обриву нитки;
- висока якість перерізу;
- тривалий термін служби.

Вибирайте вістря відповідно до типу необхідного стібка. Для кожного типу шкіри слід вибирати правильний тип голки, оскільки він впливає на загальний вигляд стібка і міцність строчки. Типи стібків і відповідні типи голок показані на малюнку 1.4.



Отвори голок здебільшого закриті, з середньою або короткою відстанню між окремими стібками.

Приклад: пряма строчка з закритими голковими отворами. Підходить для більшості видів шкіри.

Приклади застосування: взуття, сумки, чохли.

Точка D (d на рис. 1.4). Зшийте шкіру у великій трикутній формі. Шов прямий, нитка під час шиття злегка піднімається вгору. Відстань між стібками від середньої до великої.

Застосування: пряма строчка. Підходить для товстої, твердої шкіри та картону. Приклади використання: ремені, валізи, спеціальне взуття, пластмаси тощо.

Вістря SD (e на рис. 1.4). Полірований трикутник на кінці круглого вістря, з прямим швом. При шитті нитка розташовується трохи вище, а отвір досить помітний. Відстань між стібками від короткої до середньої.

Застосування: утворює рівний шов (злегка нерівний), підходить для м'якої шкіри (шкіра для верхнього одягу). Приклади використання: взуття, чохли, вишивка по шкірі тощо.

Крапковий - DH (c на рис. 1.4). Трикутники середнього розміру через шкіру, прямими стібками. При шитті нитка злегка піднімається вгору і отвір добре видно. Відстань між стібками від середнього до великого. Застосування: пряма строчка, підходить для твердої або середньої твердості шкіри.

Приклади: м'які меблі, сумки, взуття тощо, а також укривні матеріали, штори, намети тощо.

Точка знаходиться в точці P (рис. 1.5, a). Розрізайте шкіру горизонтально, поки матеріал не повернеться під кутом 90°. На товстій, жорсткій шкірі діагональна строчка дає ефект оздоблення. При прошиванні нитка розташовується зверху, прокол майже повністю закривається, а відстань між окремими стібками дуже коротка.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк. 17
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

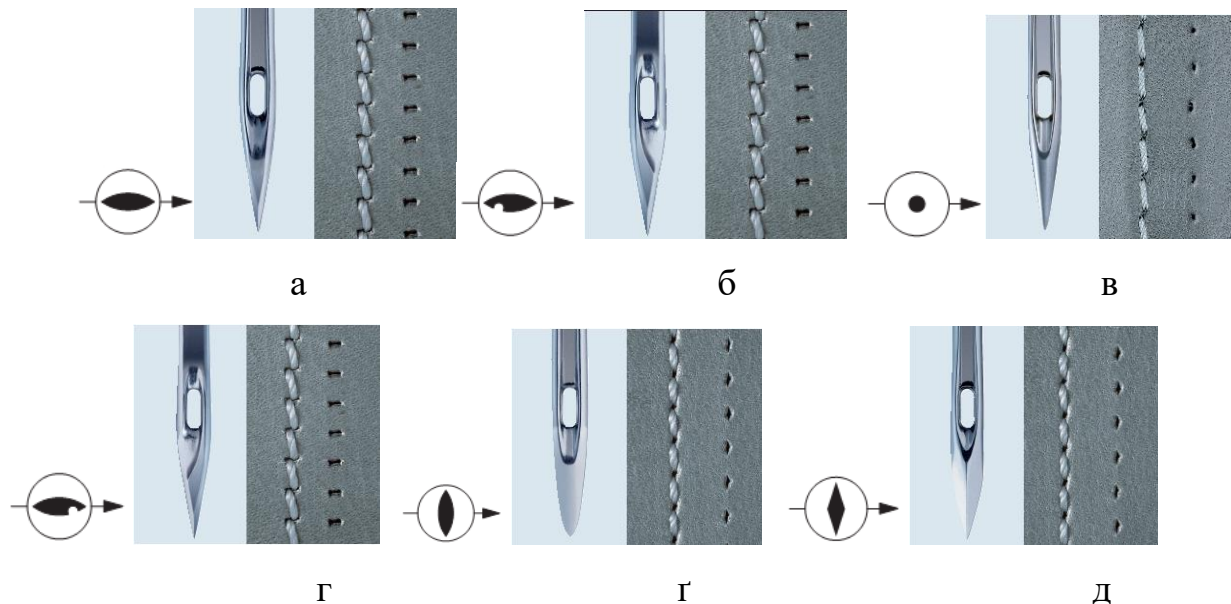


Рисунок – 1.5 Вид строчки та проколювання шкіри голкою:

а – загострення Р; б – загострення РСL; в – загострення R; г – загострення РСR;  
г – загострення S; д – загострення DІ

Застосування: Для виконання строчок з яскраво вираженими декоративними ефектами і подовжених стібків.

Приклади використання: взуття, ремені, м'які меблі.

Вістря - ПКР (d на рис. 1.5). Застосування: Для виконання строчок з яскраво вираженими оздоблювальними ефектами, особливо на двоголкових швейних машинах для лівосторонньої строчки. Приклади: взуття, м'які меблі, сумки.

Загострений - РСL (рис. 1.5, б). Зовнішній вигляд стібка схожий на крапку Р.

Застосування: для виконання строчок з яскраво вираженим декоративним ефектом, особливо на праворучних двоголкових швейних машинах.

Приклади використання: взуття, м'які меблі, сумки тощо.

Точка S (d на рис. 1.5). Стібки прямі. При зшиванні деяких видів шкіри нитка втягується глибоко, а прокол розташовується вздовж шва і досить помітний. Відстань між окремими стібками від середньої до великої.

Застосування: Для створення стібків, достатньо глибоких, щоб їх можна було втягнути всередину.

Підходить для м'якої та помірно жорсткої шкіри. Приклади: взуття, шкіряний верхній одяг, м'які меблі, сумки, ремені. Гострокінцевий - DІ (рис. 1.5 д). Зовнішній вигляд стібка нагадує S-подібне вістря, а його чотиригранна форма покращує різання.

Призначення: Для виконання глибоких прошивних стібків. Використовується на шкірі середньої та твердої твердості.

Приклади використання: валізи, сумки, спеціальне взуття (також для брезенту).

Вістря-R (рис. 1.5, в). Стандартне кругле вістря для проколювання без ріжучого ефекту. Прямий, злегка нерівний шов. Під час прошивання нитка злегка піднімається вгору. Відстань між стібками може бути від середньої до великої. Застосування: Для глибоких внутрішніх стібків.

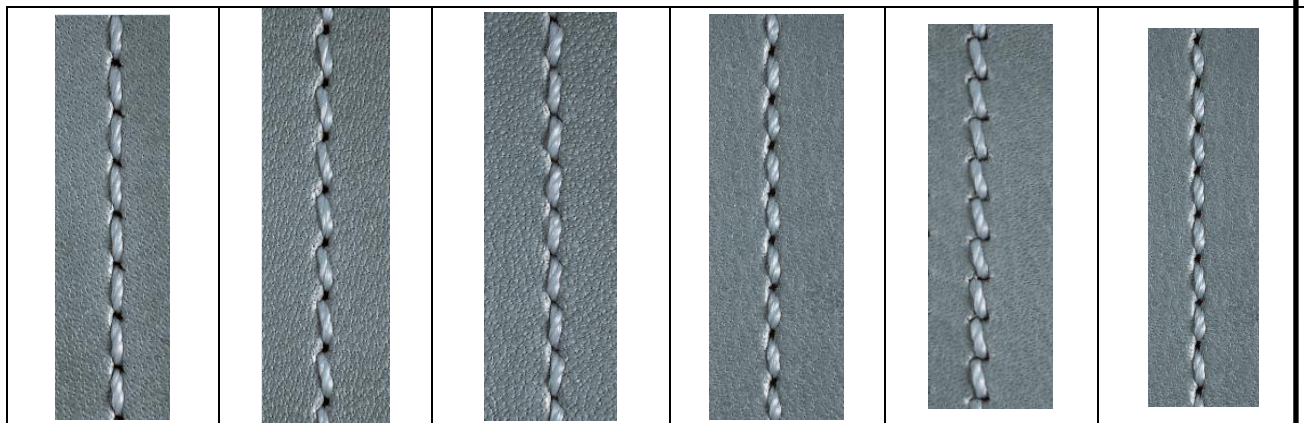
Підходить для м'якої шкіри (шкіряний верхній одяг).

Приклади: спортивне взуття, шкіряний верхній одяг, чохли і т.д., а також фольговані матеріали і матеріали з покриттям.

Нитка Чим більша кількість стібків (кількість проколів на см), тим більша довжина нитки, що використовується. Чим більша кількість стібків, тим нижча міцність стібка, пов'язана з ниткою, оскільки шкіра стає слабшою через занадто велику кількість проколів у строчці. Типи стібків наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2– Види строчок

Прямий шар ниток	Похилий шар ниток	Заповинені проколи строчки	Підкреслено видні проколи	Накладені нитки строчки	Глибоко втягнуті нитки строчки
1	2	3	4	5	6



Чим більша кількість стібків і чим товща голка, тим більший поперечний переріз шкіри. При однаковій товщині голки рівень поперечного перерізу і міцності на розрив визначається, зокрема, вибором вістря: вістря Р надає шкірі максимальну міцність на розрив, оскільки розрізає її впоперек шва.

Мінімальну міцність на розрив забезпечують точки S, які розрізають уздовж шва. Криві всіх інших типів точок лежать між кривими точок Р і S (рис. 1.6). На практиці максимальна міцність шва досягається тоді, коли шкіра і нитка розриваються одночасно при розрізі шва. На графіку показано перетин міцності нитки вздовж стібка і міцності на розрив шкіри в залежності від вибору точок.

Для досягнення максимальної міцності стібка з різними точками і налаштуваннями нитки необхідно знову відрегулювати відстань між стібками. Вплив типу шкіри на зовнішній вигляд стібка Шкіра має різну вертикальну і горизонтальну структуру (рис. 1.7). Причиною цього є капіляри і потові залози, розташовані вздовж поверхні (рис. 1.8). Залежно від їхнього розташування змінюється зовнішній вигляд строчки (рис. 1.9 а, б, в).

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

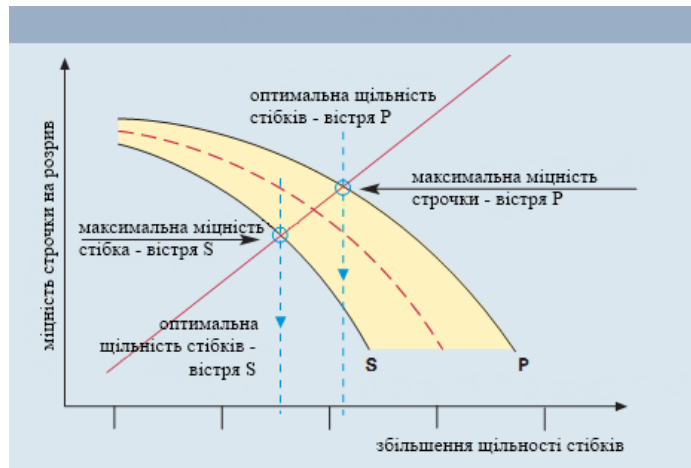


Рисунок 1.6 – Графік міцності строчки на розрив

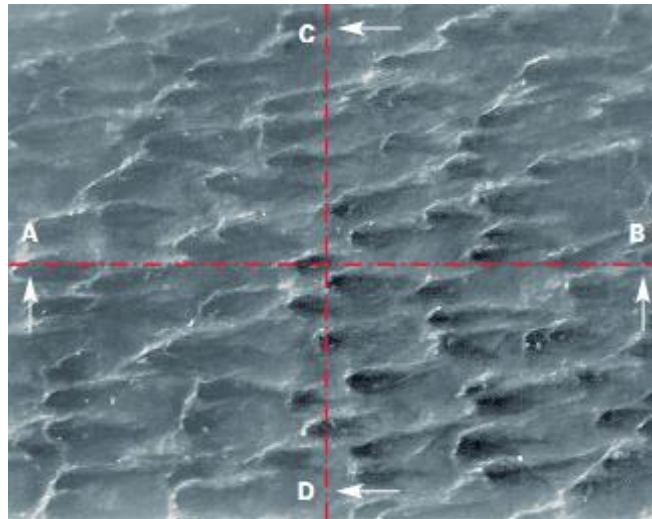


Рисунок 1.7 – Шкіра під мікроскопом

Використання стандартних прошовувальних голок (наприклад, R) може призвести до значних відмінностей у зовнішньому вигляді стібка.

Для досягнення рівномірного вигляду стібка слід використовувати ріжучі вістря. Якщо стібки повинні бути прямими в усіх напрямках, рекомендується використовувати вістря S, LL, D і DH.

Якщо потрібен похилий декоративний ефект строчки, рекомендується використовувати ріжучі вістря LR, VR і P.

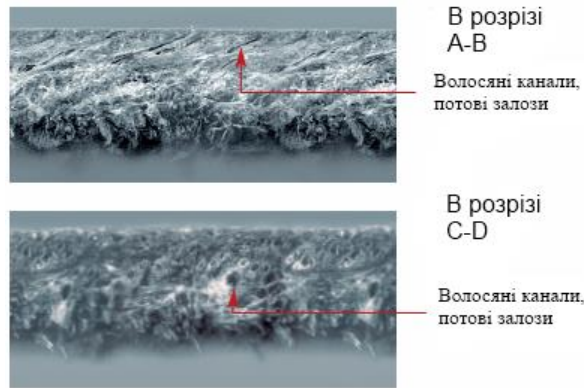


Рисунок 1.8 – Шкіра в розрізі

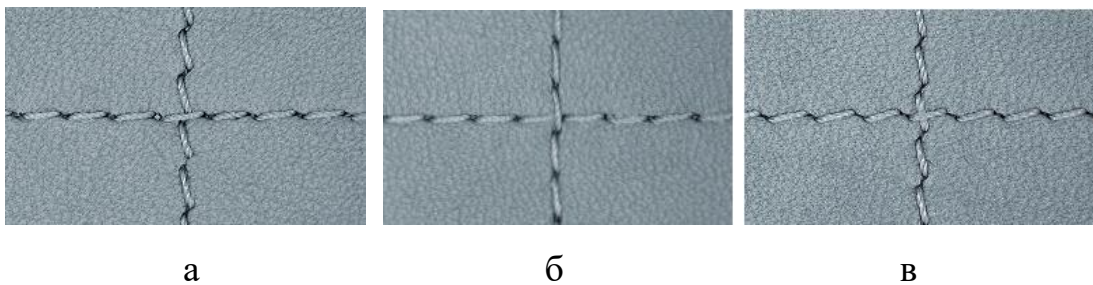


Рисунок 1.9 – Види строчок

а – зовнішній вигляд строчки – загострення типу R; б – зовнішній вигляд строчки – загострення типу LL; в – зовнішній вигляд строчки – загострення типу LR

1.2 Процес проколювання матеріалів та аналіз факторів, що впливають на його якість

Коли в шкірі робиться отвір, шкіра значно послаблюється. Це однаково стосується як прошивання отворів для голок і шпильок, зроблених тканиною (гудзиками) при прикріпленні шкіри до каркаса або під час попереднього зшивання виробу, так і прошивання отворів для голок, зроблених під час виправлення неправильних стібків.

Для того, щоб мінімізувати це зниження міцності, весь процес проколювання матеріалу голкою (всі складальні стібки, шпильки, тексти і т.д.)

повинен бути строго обмежений припуском шва, щоб виключити помилки, які вимагають повторного прошивання.

Крім того, необхідно знайти оптимальну довжину стібка, що визначається відстанню між сусідніми проколами в матеріалі в місці зшивання, для того, щоб отримати як хороший «щільний» стібок, так і отвори в цьому стібку, досить віддалені один від одного, щоб вони не зливалися в один великий отвір при нормальному натягу в місці зшивання.<sup>3,4</sup>].

Сила проникнення при зшиванні натуральної шкіри овальною загостреною голкою була досліджена аналітичним шляхом.

Процес проникнення голки в матеріал поділяється на кілька етапів, які проілюстровані на рисунку 1.10.

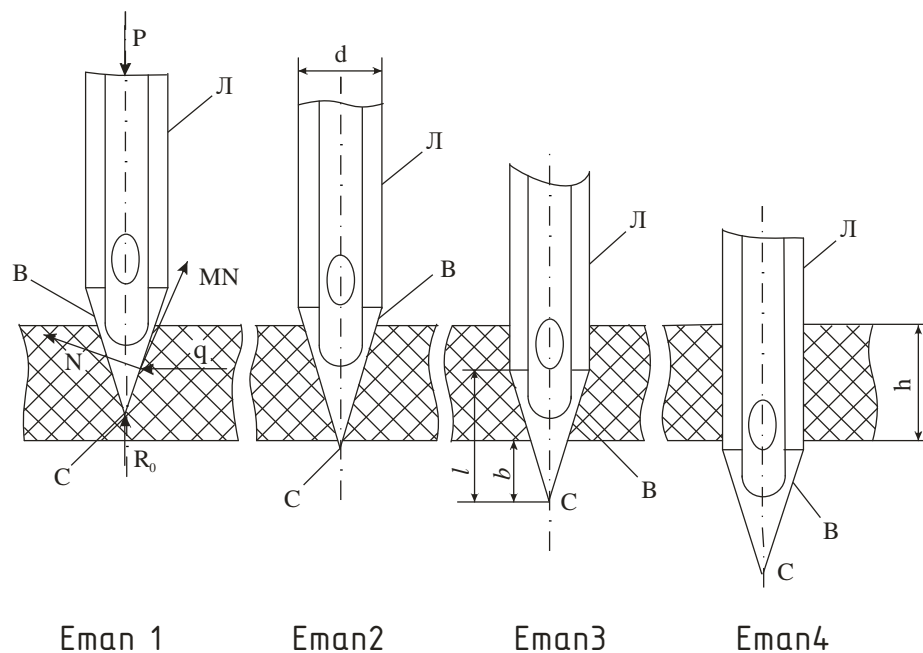


Рисунок 1.10 – Послідовність проколювання голкою матеріалу

1. вістря С спочатку стискає матеріал, а потім проникає на всю товщину матеріалу;
2. кінчик вістря С виходить з матеріалу;
3. лезо L входить в матеріал, а бічні сторони вістря В розрізають і відокремлюють волокна шкіри Вістря В розрізає і відокремлює волокна шкіри

своєю стороною; 3. лезо L входить в матеріал, а сторона вістря В розрізає і відокремлює волокна шкіри;

4. вістря В виходить з матеріалу, а лезо L контактує зі шкірою;

5. лезо L потім вводиться в матеріал; 6. лезо L потім вводиться в матеріал.

Прокол голкою є складним процесом, і на практиці для визначення корисного зусилля зазвичай використовують експериментальні дані. Аналітичні розрахунки для визначення зусилля проколу матеріалу голкою описані в роботах [5-9], де плоска задача (проникнення клина в тканину) вирішена в [6, 7], а об'ємна задача вирішена в [5, 8, 9], де наведена формула для визначення зусилля проникнення в матеріал.

Однак всі розрахунки проводилися для голок з круглим вістрям при шитті текстильних матеріалів. З огляду на нескінченну кількість форм і типів голок, доступних сьогодні, зарубіжні виробники постійно працюють над удосконаленням існуючих голок. Крім поліпшення форми і розмірів існуючих швейних голок, також проводяться дослідження, спрямовані на створення нових голок для поліпшення якості шиття.

При такому широкому розмаїтті доступних голок дуже важливо визначити характеристики правильної голки для типу роботи, яку потрібно виконати. Незалежно від того, шиете ви шкіру, тканину або трикотаж, для кожного завдання потрібен свій тип голки. Тип обладнання також відіграє важливу роль, будь то універсальна швейна машина, вишивальна машина, оверлок або спеціальна швейна машина.

Нижче представлені різні типи голок для різних матеріалів і завдань.

Голки з обрізаними кінцями використовуються для шиття виробів зі шкіри. Голка повинна прорізати шкіру, а не проникати в неї наскрізь. Це пов'язано з тим, що в місці проникнення можуть виникнути мікротріщини, які з часом пошкодять виріб.

Сьогодні на ринку існує величезна кількість різноманітних швейних голок, причому не тільки для шиття тканин, але й для шкіряних матеріалів [10]. Для

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

шкіри, однак, потрібна голка з ріжучою кромкою, щоб проколоти матеріал з мінімальним тертям і зусиллям. Існує два основних типи голок, що використовуються для шиття шкіри: клинові голки та трикутні голки.

Клиновидні голки - найпопулярніші голки для шиття шкіри у світі. Ріжуча кромка цієї голки становить 70% від діаметра і не перевищує 1,2 мм. Ця голка залишає прямий отвір довжиною приблизно 1 мм.

Напрямок ріжучої кромки (клин) може бути перпендикулярним до лінії стібка, що максимізує кількість стібків на сантиметр і забезпечує найміцніший стібок для даної довжини петлі. На жаль, така орієнтація клина не дає гарного шва. Вирівнювання ріжучої кромки клинкової голки з лінією шва дає більш чистий шов, але він не такий міцний. Крім того, в цьому напрямку мінімально допустима довжина петлі є максимальною. В іншому випадку всі проколи зіллються і шкіра буде розрізана, а не зшита.

Компроміс між зовнішнім виглядом і якістю досягається за допомогою лівосторонньої голки. У цієї голки ріжуча кромка знаходиться під кутом 45° до лінії стібка (вздовж північно-східної та південно-західної ліній). Нитка заправляється в голку цього типу із заходу на схід (зліва направо).

Голка повинна бути такого розміру, щоб нитка вільно проходила через вушко. Сучасними є дуже маленькі голки з трикутною лівою стороною. Це циліндрична голка з маленьким трикутним кінчиком і трохи коротшим ріжучим краєм.













Проникаюча здатність цієї голки перевершує проникаючу здатність круглої голки і забезпечує рівномірну форму стібка. Ця голка вимагає трохи більшого зусилля для проколювання, ніж клинова голка, і залишає більш чистий отвір.

Окрім товщини голки, для виробу важлива також форма кінчика голки. Наконечники голок бувають різних форм, які впливають не тільки на рівномірність, але й на міцність стібків. Нижче перераховані найкращі типи, а також їх загальне позначення і сфера застосування.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк. 25
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

В таблиці 1.3 відображені види голок та їх основні характеристики [11].

Таблиця 1.3 – Види голок та їх основні характеристики.

Загострення	Позначення	Фронтальний вид загострення	Особливості	Примітка	Вид шва
1	2	3	4	5	6
	S		Загострення форми "лопатка", одне з найпоширеніших	Для прошивання нежної кожи, получения декоративного крупного стібка	
	LR		Загострення з правобічної закруткою	Для отримання декоративного шва з нахилом вправо 45°	
	LL		Загострення з лівосторонньою закруткою	Для отримання декоративного шва з нахилом вліво 45°	
	PSL		Загострення із захисною лівосторонньою бічною канавкою (захищає нитку від обриву)	Для отримання розрізу перпендикулярно лінії шва, для щільних матеріалів	

Імовірність того, що кінчик голки потрапить у нитку тканини і згодом буде зруйнований, залежить від правильного номера голки та форми її кінчика. Якщо

нитки матеріалу перерізаються в процесі шиття, зовнішній вигляд виробу погіршується, а експлуатаційні характеристики знижуються [12].

Якщо під час пошиття трикотажних виробів пошкодити або зруйнувати волокна пряжі, то петлі трикотажного полотна розпустяться, що також є дефектом.

Проколи голки в матеріалах можна розділити на явні і приховані. Відкриті проколи видно відразу після виготовлення, а приховані - під час експлуатації виробу.

При пошитті трикотажу та інших видів тканини проникнення може відбуватися з різних причин, основними з яких є

- форма вістря голки або кут нахилу вістря голки,
- ступінь затуплення вістря голки або якість покриття леза голки,
- високий тиск притискання до тканини,
- невідповідність номера голки типу матеріалу, що зшивається,
- велика кількість шарів матеріалу, що зшиваються одночасно,
- низька або висока вологість матеріалу, що зшивається.

Проаналізувавши залежність проникнення в матеріал, що прошивається, від форми вістря голки, було зроблено висновок про необхідність подвійного заточування вістря голки. Використання голок з подвійним загостренням дає можливість скоротити довжину кінчика голки, збільшуючи її міцність і зменшуючи ймовірність пошкодження кінчика голки.

Під час операції кінчик голки поступово тупішає. Затуплення кінчика голки збільшує ймовірність проникнення голки в тканину, тим самим збільшуючи ймовірність проколу і ступінь прогину оброблюваного матеріалу. Для запобігання явищам проколювання, що залежать від затуплення кінчика голки, рекомендується перевіряти і замінювати голку після щонайменше 8 годин безперервної роботи.

Якість покриття леза голки має значний вплив на величину проникнення в тканину і відхилення. Часткове відшарування покриття леза голки або виробничі

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк. 27
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

дефекти можуть призвести до високої шорсткості леза голки під час роботи. Голки з високою шорсткістю леза голки збільшують величину прогину тканини, тим самим збільшуючи силу проколу і значно підвищуючи ймовірність пропуску стібка при роботі з трикотажними тканинами.

Перед установкою голки необхідно ретельно перевірити шорсткість леза (воно не повинно бути шорстким), щоб запобігти проколюванню, викликаному великою шорсткістю леза.

Для обробки трикотажних, ажурних, мереживних, в'язаних тканин, штучного шовку та інших синтетичних тканин рекомендується використовувати так звані кулясті голки.

Для обробки трикотажних тканин рекомендується використовувати голки з калібром 85 або вище. Високий тиск притискувача на тканину може призвести до того, що зубці механізму транспортування тканини пошкодять нижні шари тканини, що також впливає на швидкість зносу механізму швейної машини.

При шитті трикотажних тканин важливо, щоб тиск притискача на тканину був якомога меншим, щоб зшитий виріб міг рухатися. У той же час, тиск притискання на притискний пристрій повинен бути достатнім, щоб уникнути розривів шва.

Пошкодження внутрішніх шарів матеріалу спричиняється великою кількістю шарів матеріалу, що зшиваються одночасно. Якщо кількість шарів становить п'ять або більше, голка повинна бути тоншою, ніж необхідно. Це зменшить проникнення в тканину.

Прогин тканини можна розділити на два етапи. Перший етап - це прогинання тканини вниз (рис. 1.11). Другий етап - це прогинання тканини вгору (рис. 1.12). Величина прогину матеріалу вниз в момент проколу голки нерозривно пов'язана з явищем проколу і залежить від відповідності матеріалу і номера голки, форми і кута нахилу вістря голки, ступеня затуплення вістря голки, тиску притискання на тканину, кількості шарів матеріалу, що зшиваються

одночасно, і ступеня вологості. Наприклад, чим сильніше явище проколювання матеріалу, тим більший ступінь відхилення при проколюванні голки, і навпаки.

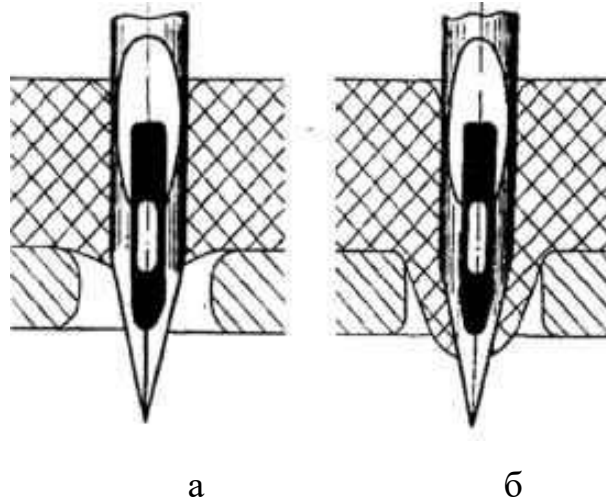


Рисунок 1.11 – Форма прогину тканини при проколі голкою  
а – голка починає проколювати матеріал; б – голка зминає матеріал.

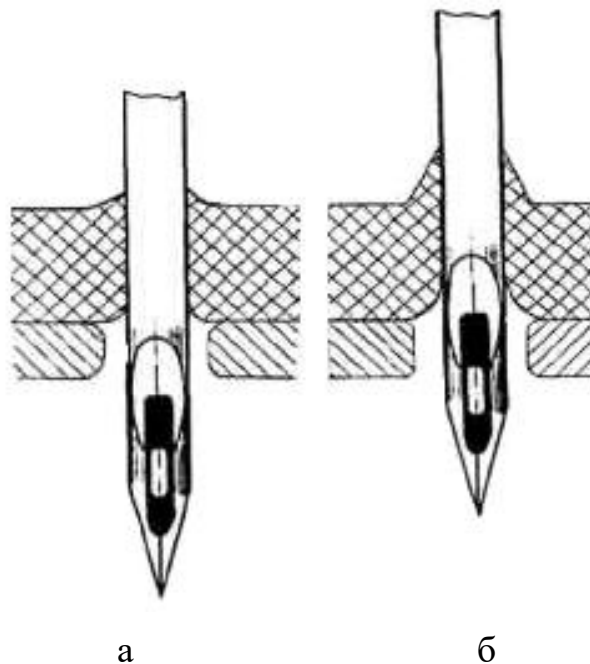


Рисунок 1.12 – Форма прогину тканини при підйомі голки  
а – голка починає виходити з матеріалу; б – вихід голки з матеріалу з прогином  
тканини при підйомі

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.  
29

На додаток до вищесказаного, ступінь відхилення матеріалу вниз також визначається розміром паза голки в голковій пластині. Рекомендоване співвідношення між голковим пазом голкової пластини і діаметром леза голки становить 2:1.

Відхилення тканини вгору в значній мірі визначається величиною відхилення тканини вниз. Однак, крім всіх перерахованих вище факторів, на прогин тканини вгору також впливає розмір канавки в притискувачі, через яку проходить голка. Якщо канавка більша, то величина відхилення вгору збільшується, а якщо менша - відповідно зменшується.

Наприклад, щоб розширити краюобметочну строчку, перемістіть конічний носок притискного пристрою в крайній правий кут. Це робиться для того, щоб поліпшити якість строчки при збільшенні ширини. Однак в цьому випадку канавка в притискувачі, через яку проходить голка, стає більшою. В результаті збільшується величина прогину тканини вгору.

Звідси можна зробити висновок, що з найбільш розтяжними трикотажними матеріалами найкраще працювати при середньому значенні ширини кромки для краю обметувальної строчки (у випадку оверлока, де положення конусних пальців притискного пристрою можна регулювати).

Прогин матеріалу небажаний, оскільки він створює проміжки в швах, а розрив або обрив нитки матеріалу взагалі неприпустимий і призводить до браку. Щоб цього не сталося, важливо вибрати відповідний номер голки для оброблюваного матеріалу, використовувати голку з формою і кутом нахилу вістря, що відповідають матеріалу, переконатися, що тиск притискного пристрою не чинить занадто сильного тиску на матеріал, оглянути або замінити голку після щонайменше 8 годин безперервної роботи, переконатися, що канавка голки на голковій пластині має великий розмір. Якщо паз голки в голковій пластині великий або якщо одночасно зшивається велика кількість шарів (трикотажу), машину необхідно оснастити голкою, яка на одну або дві голки менша, ніж необхідний номер голки.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк. 30
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

### 1.3 Конструкція механізмів голок

Одяг виготовляється за допомогою швейних машин. Ці машини називаються технічними машинами. Швейні машини використовуються для перетворення, зміни форми, розміру і виду матеріалу, що зшивається. В даному випадку швейні машини використовуються для зшивання швейних матеріалів разом і перетворення їх в одяг шляхом механічного скріплення.

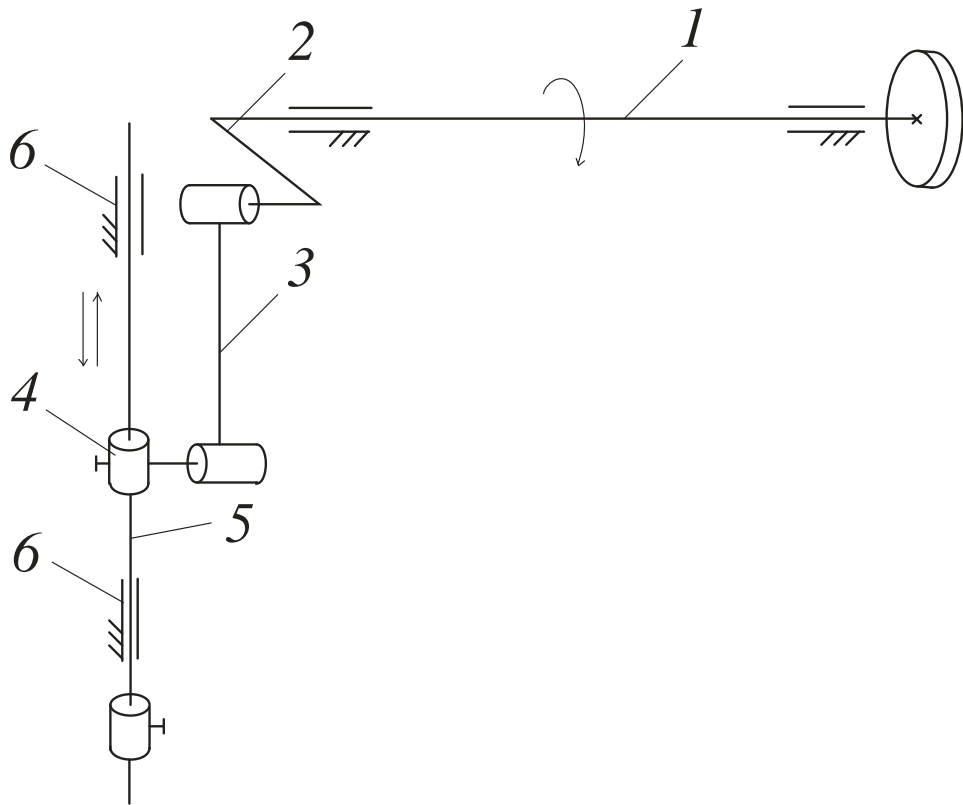
Машина складається з механізму. У швейних машинах інтерес представляє голковий механізм, оскільки він виконує основне завдання - проколювання матеріалу голкою і формування швів. На відміну від машин, які перетворюють енергію, механізми перетворюють рух.

Більшість механізмів у швейному обладнанні є типовими. Наприклад, кривошипно-шатунні механізми, які перетворюють обертальний рух у зворотно-поступальний, кулачкові механізми, які перетворюють обертальний рух у зворотно-поступальний, та ексцентрикові механізми, які перетворюють обертальний рух у зворотно-поступальний або коливальний. Ці механізми використовуються не тільки в швейних машинах, але і в широкому спектрі інших машин.

Взаємодію механічних механізмів найпростіше простежити на кінематичній схемі, яка зображується за допомогою умовних позначень. Кривошипно-шатунний механізм (рис. 1.13).

Це один з типових механізмів (голкових механізмів) швейних машин. Цей механізм часто зустрічається в різноманітних швейних машинах.

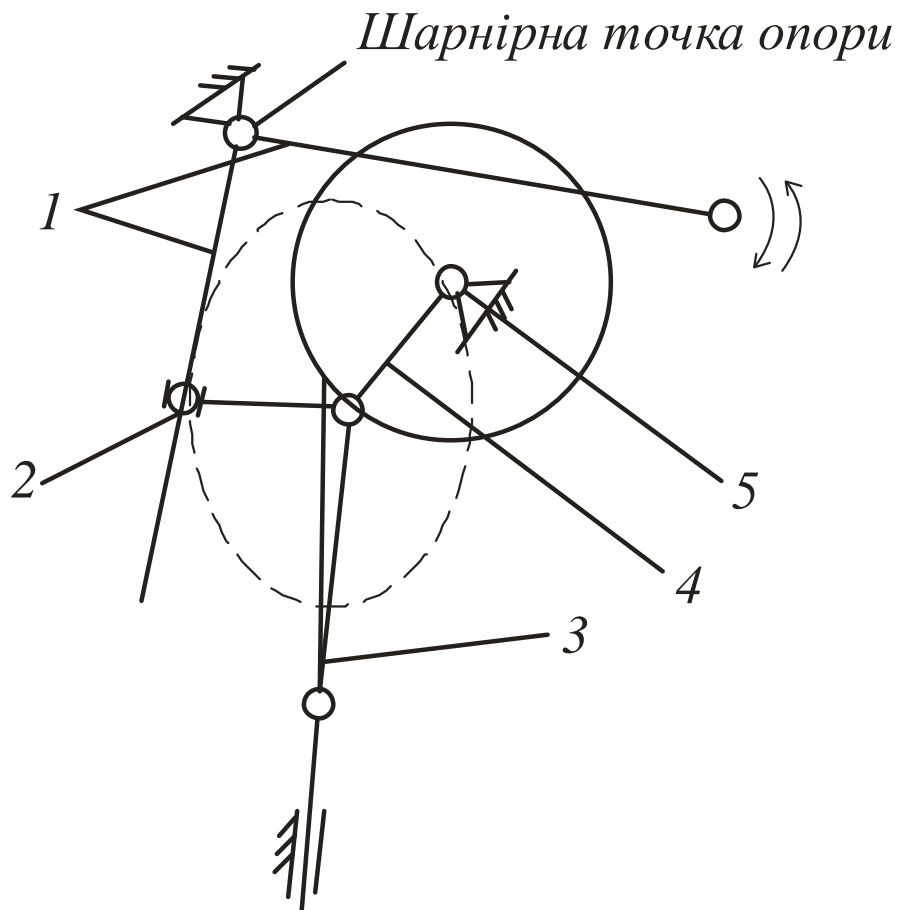
Цей механізм може приводитися в дію від поршня до вала (у випадку поршневих двигунів) або від вала (вал, що обертається від двигуна) до повзунка.



1 – вал; 2 – кривошип; 3 – шатун; 4 – хомутик;  
 5 – стержень голководія; 6 – направляючі голководія  
 Рисунок 1.13 – Кривошипно–шатунний механізм

Механізм працює наступним чином: вал обертається разом з кривошипом 2 і верхньою головкою шатуна 3, яка шарнірно з'єднана з ним, а повзун направляючої голководу здійснює зворотно-поступальні рухи. На схемі замість повзуна показаний затискач 4, в якому закріплений голковод 5. Кривошипно-шатунні механізми такої конструкції використовуються в швейних машинах для перетворення обертального руху головного вала в зворотно-поступальний рух голки.

Кулісні механізми (рис. 1.14) використовуються для перетворення обертального руху в коливальний або зворотно-поступальний. Ці механізми виконують ту ж функцію, що і кривошипно-шатунний механізм, і є його вдосконаленням.

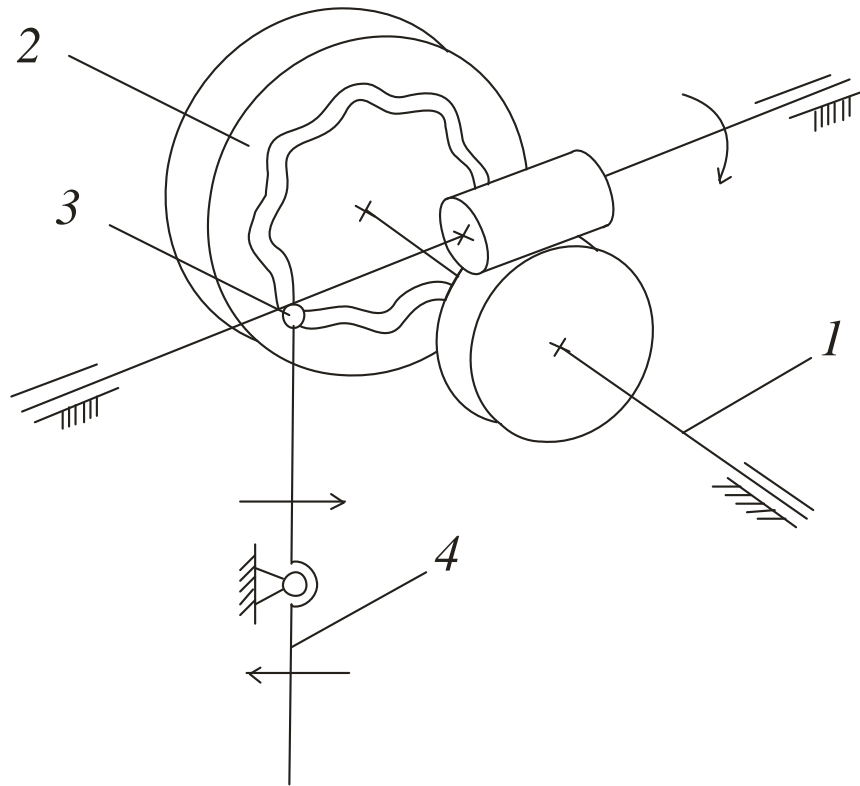


- 1 – важіль ниткопритягувача; 2 – камінь куліси;  
 3 – шатун; 4 – кривошип; 5 – головний вал

Рисунок 1.14 – Кулісний механізм

У швейних машинах часто застосовуються петлеукладачі у вигляді кутового поворотного важеля, який обертається і прикріплений до корпусу машини. Одне плече важеля (зовнішнє) забезпечене вушком для нитки, а внутрішнє плече важеля служить для переміщення голководу 2, який вставлений в голвку шатуна 3 голководу і приводиться в рух кривошипом 4 головного шпинделя 5. При обертанні кривошипа шпинделя і його пальця п'яльца утворюють еліптичну криву, то наближаючись до точки кочення (плече п'ялець зменшується), то віддаляючись від неї. При цьому зовнішнє плече важеля повороту кута опускається або піднімається.

Кулачкові механізми (рис. 1.15) застосовують у робочих машинах, особливо напівавтоматах, які керують складними рухами без використання складних механічних та електричних пристроїв.



1 – робочий вал; 2 – кулачок; 3 – ролик; 4 – важіль

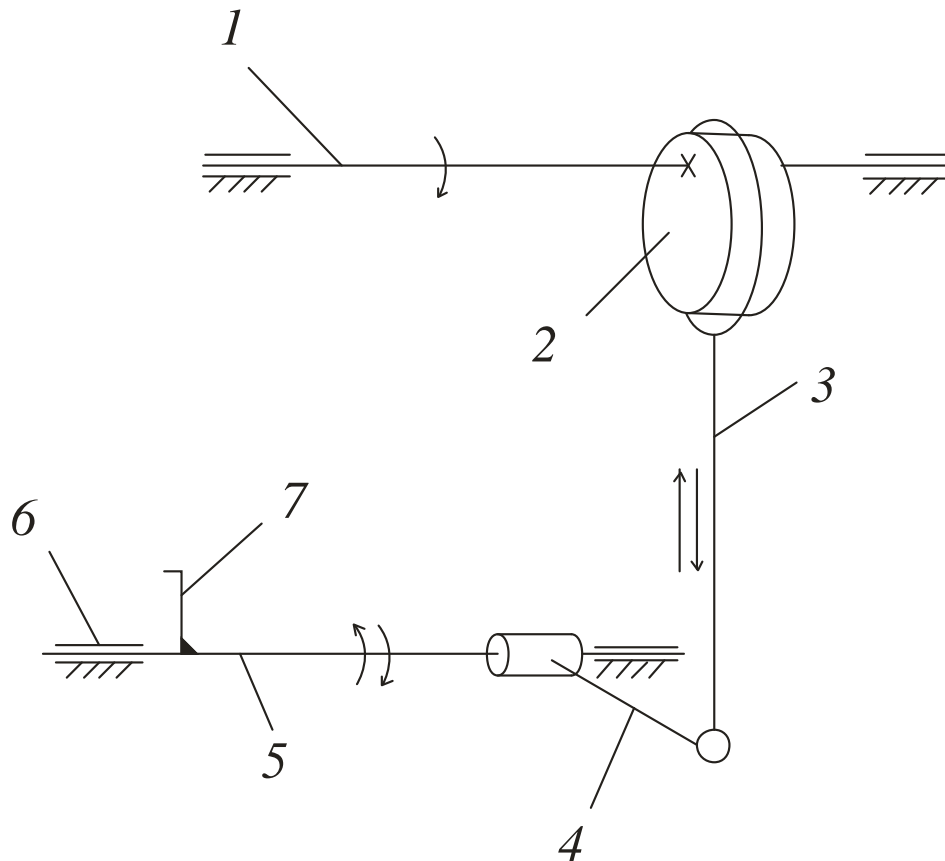
Рисунок 1.15 – Кулачковий механізм

Робочий вал 1 (його називають розподільчим, оскільки він розподіляє всю роботу між різними механізмами) обертається, змушуючи механізми машини виконувати певне завдання. Команди від валу надходять до кулачка 2, який обертається разом з валом і постійно або періодично контактує з важелем 4, який рухається і «приводиться в рух» через ролик 3. Важіль далі передає свій рух на привід.

У напівавтоматичних швейних машинах, наприклад, петельних, кулачок використовується для надсилання команд, коли гудзик повинен рухатися, щоб проколоти наступний отвір, або залишатися на місці для закріплення шва.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Ексцентрикові механізми (рис. 1.16). Механізми, що використовуються для перетворення обертального руху в зворотно-поступальний або коливальний для різних виконавчих механізмів. У швейних машинах вони часто використовуються для передачі руху на двигуни тканини (рейки) та інші пристрої.



1 – вал; 2 – ексцентрик; 3 – шатун; 4 – коромисло;  
5 – вал; 6 – втулки; 7 – коромисло

Рисунок 1.16 – Ексцентриковий механізм

Вертикальне переміщення рейки передається наступним чином. На валу встановлений ексцентрик 2. Ексцентрик впливає на шатун 3, який передає вертикальний рух. Шатун обертає коромисло 4 на валу 5, закріпленому у втулці 6. Коромисло 7, прикріплене до переднього кінця вала, також отримує коливальний рух, і якщо воно з'єднане з важелем двигуна тканини, то останній опускається і піднімається.

Всі голкові механізми виконують однакову функцію введення голки в тканину, протягування нитки через тканину і утворення стібків. Залежно від типу виконуваної операції необхідно використовувати певний тип голкового механізму. Наприклад, у напівавтоматах механізм голки не є типовим (кривошипний, шарикопідшипниковий), а отримує рух голки по лівій, правій або заданій траєкторії від кулачка і копіювального диска (якщо програма машини записана на механічному носії) або (якщо машина з електромеханічним керуванням). Рух голки передається від крокового двигуна через систему ланок та ексцентриків.

#### 1.4 Висновки до розділу 1

1. В даному розділі було проаналізовано різні типи голок та вістря для зшивання різних типів матеріалів;

2. Розглянуто процес пробивання отворів в матеріалах та проаналізовано фактори, що впливають на їх якість;

3. Розглянуто та проаналізовано конструкцію голкового механізму для прошивання матеріалу;

4. Вирішено, що для подальшого вивчення та кращого усвідомлення проблеми сили виштовхування матеріалу необхідно провести математичний аналіз сили виштовхування матеріалу. З цією метою необхідно математично змодельовати процеси сили прилипання голки.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 2 АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОРМИ ВІСТРЯ ГОЛКИ НА ПРОЦЕС ПРОКОЛЮВАННЯ

### 2.1 Дослідження впливу форми вістря голки на процес проколювання

Встановлено, що коли голки піддаються високим навантаженням, відбувається їх деформація та поломка [6]. Також відомо, що деформація голки може призвести до розриву стібка, погіршення зовнішнього вигляду та зниження міцності ниткових швів. Поломка голки знижує продуктивність і вимагає додаткової витрати голок.

Прокол голки є складним процесом і на практиці для визначення корисних зусиль зазвичай використовують експериментальні дані. Аналітичні розрахунки для визначення сили проколу описані в роботах [5-9], де в [6,7] вирішується плоска задача (введення клина в тканину), а в [5,8,9] - об'ємна задача для виведення формули для визначення сили проколу матеріалу. Однак всі розрахунки проводилися для голок з круговою заточкою при шитті текстильного матеріалу.

Значення зусилля проколу на різних етапах (рис. 1.10) різні і залежать від пружності матеріалу та сил тертя, що діють на голковий елемент. На першому етапі вістря в точці С (рис. 1.10) долає опір реакції матеріалу під дією зовнішньої сили  $P$ , що передається від механізму направлення голки, викликаючи реакції  $R_0$  і  $q$ . Реакція  $R_0$  діє на вершину точки  $c$  вздовж осі голки. Ця сила залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу і радіуса затуплення  $r_0$  точки  $C$ . Згідно з [13], величина цієї сили є постійною і може бути отримана з наступного рівняння.

$$dR_0 = k_1 \sigma_s \cdot S_c = 4k_1 \sigma_s \cdot r_0 \cdot da_0, \quad (2.1)$$

де  $k_1$  - коефіцієнт, що враховує вплив радіусу заокруглення вершини загострення

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк. 37
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

голки,  $k_1 = 1,0-1,8$  при  $r_0 = 0,05-0,1$  мм;

$r_0$  - радіус заокруглене (затуплення) вершини загострення  $C$ ;

$\sigma_s$  - межа міцності шкіри при стисненні ;

$S_c$  - майданчик затупленої частини вершини загострення  $C$ , ( $a_0$  - велика піввісь еліпсоподібної вершини загострення  $C$ ,  $2a_0$  - ширина крапки голки).

Сила  $q$  діє в горизонтальній площині і характеризує пружність матеріалу; використовуючи методику [5], на першому етапі визначається сила, що проникає в матеріал еліптично заточеною голкою. Для цього розглянемо поверхню заточування голки (рис. 2.1) у вигляді еліптичного конуса.

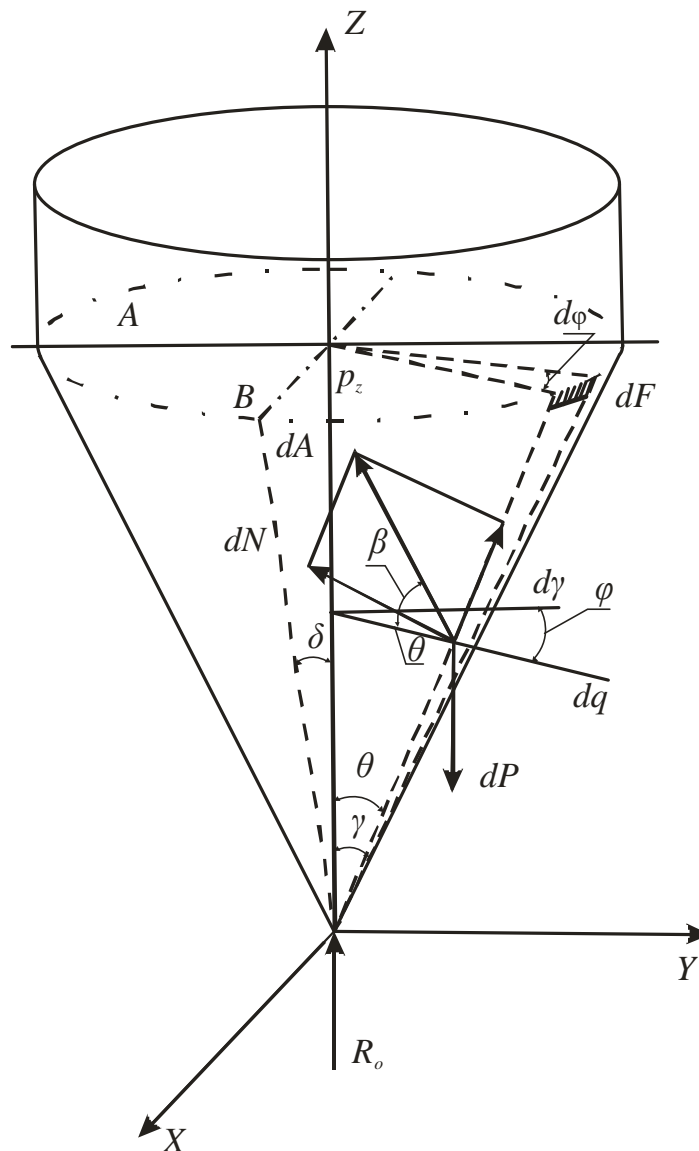


Рисунок 2.1 – Схема сил, діючих на голку з овальною заточкою

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Виберемо нескінченно малий елемент з площею.:

$$dF = p_z \cdot d\psi \cdot dL, \quad (2.2)$$

де  $p_z$  - радіус-вектор еліпса;

$d\psi$  - елементарний кут в довільно обраному перерізі еліпса;

$dL$  - диференційна довжина дуги, яка створює еліптичний конус.

Величину  $dL$  знайдемо за формулою:

$$dL = \sqrt{1 + (p'_z)^2} \cdot d_z, \quad (2.3)$$

де  $p'_z$  - похідна функції  $p_z$  по аргументу  $Z$ .

Враховуючи (2.3), значення елементарних площ елементів мають такий вигляд:

$$dL = \sqrt{1 + (p'_z)^2} \cdot d_z \cdot d\varphi. \quad (2.4)$$

Значення елементарної пробивної сили визначається з умови рівноваги сил на осях координат.  $OZ$  та  $OY$  в площині перерізу з кутом  $\theta$

$$\left. \begin{aligned} \sum Z = -dP_1 + dR_0 + dF \sin(\beta + \theta) = 0 \\ \sum Y = dq \sin \varphi - dA \cos(\beta + \theta) \sin \varphi = 0 \end{aligned} \right\}, \quad (2.5)$$

де  $dA$  - рівнодіюча сил тертя  $dT$  та нормального тиску  $dN$ .

З рівняння (2.5) можна отримати  $dA$  і  $dq$ , а розділивши одне на інше, отримаємо

$$dL = dR_0 \cdot dq \operatorname{tg}(\beta + \theta). \quad (2.6)$$

Елементарні сили  $dq$ , пов'язані з деформацією матеріалу, виражаються через напруження матеріалу, що діють у площині, перпендикулярній до поперечного перерізу.:

$$dq = \sigma_{\text{сж}} dF \cos \theta. \quad (2.7)$$

Підставляючи у вираз (2.6) значення  $dq$  та  $dF$  отримаємо:

$$dP_1 = dR_0 + \sigma_{\text{сж}} p_z \sqrt{1 + (p'_z)^2} \cos \theta \operatorname{tg}(\beta + \theta) d\varphi dZ. \quad (2.8)$$

Визначивши межі інтегрування за двома змінним, знайдемо силу  $P_1$

$$P_1 = 4k_1 \sigma_{\text{сж}} r_v \int_0^{d_0} da_0 + \int_0^{2\pi} \int_0^h \sigma_{\text{сж}} p_z \sqrt{1 + (p'_z)^2} \cos \theta \operatorname{tg}(\beta + \theta) d\varphi dZ, \quad (2.9)$$

де  $h$  - товщина матеріалу.

Рівняння прямої лінії, що визначає форму вістря голки, отримано за допомогою параметричного рівняння еліпса.

$$X = A \cdot \cos \varphi; Y = B \cdot \sin \varphi, \quad (2.10)$$

де  $A$  та  $B$ -велика та мала півосі еліпса.

$$P_z = Z \cdot \operatorname{tg} \theta, \quad (2.11)$$

де  $\theta$  - Половина гострого кута кінчика голки при будь-якому перерізі кінчика голки в куті.  $\varphi$ .

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{Z}; \theta = \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{Z}. \quad (2.12)$$

Позначивши  $B/A$  —  $\operatorname{tg} \delta / \operatorname{tg} \gamma$  та виконавши алгебраїчні перетворення, маємо

$$P_z = \frac{Z \cdot \operatorname{tg} \gamma}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + C^2 + (1 - C^2) \cdot \cos 2\varphi}, \quad (2.13)$$

де  $\gamma$  та  $\delta$  - половина гострого кута кінчика голки по відношенню до осей  $x$  і  $y$  відповідно.

Оскільки під час вколювання голки в матеріалі виникають невеликі короткочасні напруження, в наближеному розрахунку припускається, що залежність деформація/напруження підпорядковується закону Гука.:

$$\sigma_{сж} = E \cdot \varepsilon, \quad (2.14)$$

де  $E$ -умовний модуль пружності матеріалу при стисненні;

$\varepsilon$  - відносна деформація матеріалу.

Відносну деформацію можна виразити як відношення абсолютної деформації до максимальної деформації в отворі проколу  $d$ , тобто Оскільки максимальна абсолютна деформація матеріалу відбувається в напрямку довгої осі еліпса вістря голки, її вважають наступним чином.:

$$\varepsilon_{остр} \approx \frac{2Z}{d} \cdot \operatorname{tg} \gamma. \quad (2.15)$$

Тоді навантажень а стиснення

$$\sigma_{сж} = \frac{E \cdot 2Z}{d} \cdot \operatorname{tg} \gamma. \quad (2.16)$$

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи, що в загальному рівнянні (2.9)

$$\cos \theta = \frac{1}{\sqrt{1+(p'_z)^2}}, \operatorname{tg}(\beta + \theta) \approx \mu + \operatorname{tg} \theta \quad (2.16)$$

і підставляючи значення  $p_z$  (2.13) та  $\sigma_{сж}$  (2.16), маємо:

$$P_1 = 4k_1 \sigma_B r_0 \int_0^{d_0} da_0 + \frac{2\eta \operatorname{tg}^2 \gamma E}{d} \int_0^{2\pi} \int_0^h \left[ \frac{\mu Z^2}{\sqrt{2}} \sqrt{1+C^2+(1-C^2) \cdot \cos 2\varphi} + \right. \\ \left. + \frac{Z^2 \operatorname{tg} \gamma}{2} \sqrt{1+C^2+(1-C^2) \cdot \cos 2\varphi} \right] d\varphi dZ, \quad (2.18)$$

де  $\eta$  - поправочний коефіцієнт, що враховує вплив двох різучих кромки.

Інтегруючи рівняння (2.18) за  $dZ$ , отримуємо:

$$P_1 = 4k_1 \sigma_B r_0 a_0 + \frac{2\eta E \operatorname{tg}^2 \gamma}{d} \left[ \frac{\mu h^3}{3\sqrt{2}} \sqrt{1+C^2+(1-C^2) \cdot \cos 2\varphi} d\varphi + \right. \\ \left. + \frac{Z^2 \operatorname{tg} \gamma h^3}{6} \int_0^{2\pi} \sqrt{1+C^2+(1-C^2) \cdot \cos 2\varphi} d\varphi \right] d\varphi. \quad (2.19)$$

Інтеграл  $\int_0^{2\pi} \sqrt{1+C^2+(1-C^2) \cdot \cos 2\varphi} d\varphi$  можна після деяких перетворень привести до еліптичного інтегралу Лежандра другого роду:

$$\int_0^{2\pi} \sqrt{1+C^2+(1-C^2) \cdot \cos 2\varphi} d\varphi = 4\sqrt{2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1-(1-C^2) \cdot \sin^2 \varphi} d\varphi. \quad (2.20)$$

Графіки частинних похідних на кожному проміжку виглядають наступним чином, тому допускається взаємозаміна меж інтегрування.  $\left(0, \frac{\pi}{2}\right)$ ,  $\left(\frac{\pi}{2}, \pi\right)$ ,  $\left(\pi, \frac{3}{2}\pi\right)$ ,  $\left(\frac{3}{2}\pi, 2\pi\right)$  Симетричні відносно вертикальної осі, що проходить через центр кожного проміжку..

$$E = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi} d\varphi, \quad (2.21)$$

є еліптичний інтеграл Лежандра другого роду  $E(\varphi, k)$ , де  $k^2 = 1 - C^2$ ;  $k = \sin \alpha$ .

Після всіх перетворень отримано остаточну формулу для сили проколу в перший період входження голки в матеріал.:

$$P_1 = 4k_1 \sigma_B r_0 a_0 + \frac{2\eta E \text{tg}^2 \gamma h^3}{3d} [4\mu E(\varphi, k) + \pi \text{tg} \gamma (1 - C^2)]. \quad (2.22)$$

Значення  $E(\varphi, k)$  визначається за таблицями [7] при  $\varphi = 90^\circ$ ;  $k = \sin \alpha$ ;  $k^2 = 1 - C^2$  де  $C = B/A$  (кут  $\alpha$  обчислюється в градусах).

У другій фазі (див. розділ 1, рис. 1.8), коли кінчик вістря голки С виходить з матеріалу товщиною  $h$ , діє тільки його бічна сторона. При цьому сила виштовхування  $R_P$  зменшується на величину  $R_0$  порівняно з силою  $P_1$  (залежне рівняння (2.22)).

$$P_2 = \frac{2\eta \text{tg}^2 \gamma h^3 E}{3d} [4\mu E(\varphi, k) + \pi \text{tg} \gamma (1 + C^2)]. \quad (2.23)$$

У третьому періоді (див. розділ 1, рис. 1.8) лезо голки  $L$  починає входити в матеріал і сила в цьому випадку збільшується на величину  $P_1$ :

$$P_n = \int_0^{2\pi} \int_l^{b+h} \sigma_{сж} p_Z \sqrt{1+(p'_Z)^2} \cos \theta \operatorname{tg}(\beta + \theta) d\varphi dZ. \quad (2.24)$$

Припустимо, що лезо голки - це прямий циліндр діаметром 1,5 см.  $d$ ,  $p_Z = d/2$ ,  $p'_Z = 0$ ,  $\operatorname{tg} \theta = 0$ . Напруження в матеріалі під впливом леза голки при  $2p_Z/d = 1$ .

$$\sigma_n = E. \quad (2.25)$$

Після підстановки значень (2.25):

$$\operatorname{tg}(\beta + \theta) = \frac{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \theta}{1 - \operatorname{tg} \beta \operatorname{tg} \theta} = \operatorname{tg} \theta; \quad (2.26)$$

$$\cos \theta = \frac{1}{\sqrt{1+(p'_Z)^2}} = 1; \quad (2.27)$$

$$\operatorname{tg} \beta = \mu, \quad (2.28)$$

та інтегрування виразу (2.24) з введенням поправочного коефіцієнта  $\lambda$  отримаємо:

$$P_n = \pi d \mu \lambda E (b + h - l). \quad (2.29)$$

Цей фактор враховує знижений опір проникненню в матеріал завдяки коротким і довгим канавкам леза голки. Загальне зусилля  $P_2$  визначається як сума  $P_0$  (2.23) та  $P_n$  (2.29)

$$P_3 = P_0 + P_n = \int_0^{2\pi} \int_l^{b+h} \eta \sigma_{сж} p_Z \sqrt{1+(p'_Z)^2} \cos \theta \operatorname{tg}(\beta + \theta) d\varphi dZ + \pi d \mu \lambda E (b + h - l). \quad (2.30)$$

Після інтегрування (2.30)

$$P_3 = \frac{2\eta \operatorname{tg}^2 \gamma h^3 E}{3d} \left[ 4\mu E(\varphi, k) + \pi \operatorname{tg} \gamma (1 + C^2) \right] (l^3 - b^3) + \pi d \mu E(b + h - l). \quad (2.31)$$

Рівняння (2.31) показує залежність  $P_2$  від виходу вістря голки  $O$  з матеріалу; максимальне значення  $P_2$  можна визначити, дослідивши максимальне і мінімальне значення функції  $P_2$ . Взевши похідну, отримують значення  $b$ , для якого значення  $P_2$  є максимальним.

$$b = \frac{d}{\operatorname{tg} \gamma} \sqrt{\frac{\pi \mu \lambda}{2\eta \left[ 4\mu E(\varphi, k) + \pi \operatorname{tg} \gamma (1 + C^2) \right]}}. \quad (2.32)$$

Позначивши

$$\sqrt{\frac{\pi \mu \lambda}{2\eta \left[ 4\mu E(\varphi, k) + \pi \operatorname{tg} \gamma (1 + C^2) \right]}} = \alpha, \quad (2.33)$$

маємо

$$b = \frac{d}{\operatorname{tg} \gamma} \alpha. \quad (2.34)$$

Підставивши отримані значення (2.25)-(2.28) і (2.34) у рівняння (2.31) і замінивши їх, отримаємо наступне рівняння: . Коефіцієнти тертя  $M$  вістря і лева голки по відношенню до матеріалу приймаються рівними.

$$P_{\max}^T = \frac{2\eta d^2}{3\operatorname{tg} \gamma} E \left[ 4\mu E(\varphi, k) + \pi \operatorname{tg} \gamma (1 + C^2) \right] \left( \frac{1}{8} - \alpha^3 \right) + \pi d \mu \lambda E \left[ \frac{d}{2\operatorname{tg} \gamma} (2\alpha - 1) + h \right]. \quad (2.35)$$

Рівняння (2.35) справедливе для товстих матеріалів тільки при  $d \gg h$ . Для тонких матеріалів при максимальній силі проникнення,  $P_{max}$ , залежить тільки від опору матеріалу проникненню точки.

Вважається, що,

$$P_{max}^T = \frac{\eta E h}{6} \left[ 4\mu E(\varphi, k) + \pi t g \gamma (1 + C^2) \right] \left[ \frac{4h^2 t g^3}{d} + 3(d - 2h t g \gamma) \right]. \quad (2.36)$$

У четвертому періоді (див. розділ 1, рис. 1.8) на матеріал діє тільки лезо голки. У цьому випадку сила проколювання швидко зменшується і її значення визначається наступним рівнянням:

$$P_4 = \pi d \mu \lambda E h. \quad (2.37)$$

На основі цих розрахунків була розроблена програма за допомогою програмного пакету MatLAB (Додаток А) для розрахунку зусилля проколу матеріалу голкою.

За допомогою розробленої програми було розраховано зусилля проколу матеріалу голкою, як показано на рисунку 2.2..

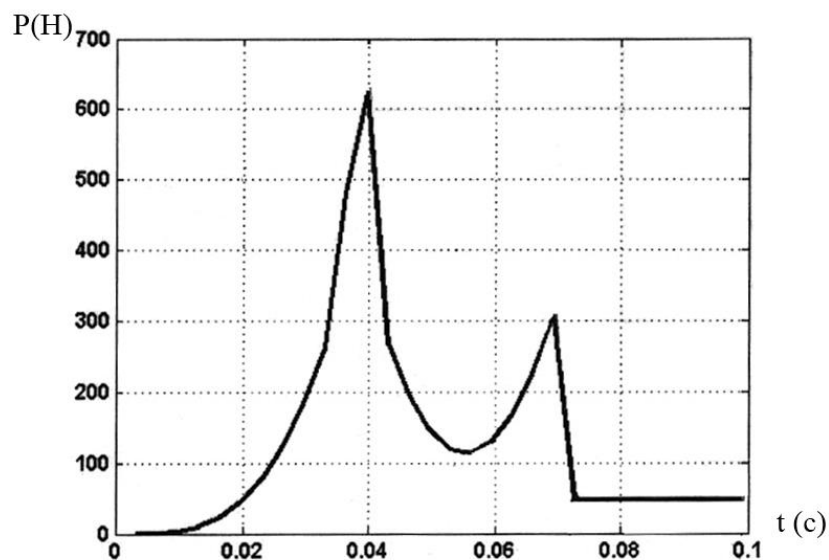


Рисунок 2.2 – Графік зусилля проколювання матеріалу голкою

Вихідними даними для розрахунку зусиль є геометричні параметри голки, такі як діаметр голки  $d$  і півкут  $\gamma$  точки загострення, та параметри матеріалу, такі як товщина  $h$ .

Для перевірки достовірності теоретичних результатів сили проколу матеріалу голкою з еліптичною ріжучою кромкою необхідно провести серію експериментальних досліджень.

## 2.2 Висновки до розділу 2

1. В даному розділі були проведені теоретичні розрахунки сили проколу шкіри еліптичною голкою.

2. Була розроблена програма в програмному пакеті MatLAB та використана голка для розрахунку матеріалу. Визначено зусилля для проколу матеріалу та перетворено значення в графік построзрахованої сили проколу;

3. Зроблено висновок про необхідність проведення серії експериментальних досліджень для підтвердження достовірності отриманих аналітичних розрахункових даних.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

### 3 РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЗУСИЛЛЯ ПЕРФОРАЦІЇ

Для проведення експериментальних досліджень необхідно розробити лабораторний стенд для вивчення процесу перфорації. Для цього необхідно переглянути програмне забезпечення для аналізу різних типів датчиків і запису вихідних даних. Також важливо переглянути вже відомі методи дослідження цього процесу та вдосконалити, спростити або розробити на їх основі нові випробувальні стенди.

#### 3.1 Методи дослідження сили проникнення голки в матеріал

В [14] експериментально визначали силу проникнення голки в матеріал за допомогою методу маятникового копіра, де вістря голки. Пропонується визначати кут повороту кривошипа, що відповідає моменту, в який кінчик голки проколює матеріал. Зразок проколюють голкою на спеціальному маятниковому копірі (рис. 3.1). Маятник 1, який піднімається на висоту  $h_1$  (на кут  $\alpha$ ), опускається і приводить в рух кривошип 2, який через шатун 3 і голкотримач 4 передає свій рух голці 5. Голка 5, яка рухається вниз, проникає в матеріал 6 в точці К (що відповідає куту повороту ( $\phi_m$ ) кривошипа 2) і переміщується через нього на величину  $S_m$ . Маятник 1 піднімається (на кут  $\beta$ ) на висоту  $h_1 < h_2$  за рахунок залишкової кінетичної енергії. Робота (J), витрачена на проколювання зразка голкою, дорівнює наступному рівнянню.:

$$A = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2) - A_{uu}, \quad (3.1)$$

або

$$A = m \cdot g \cdot R \cdot (\cos(\beta) - \cos(\alpha)) - A_{uu}, \quad (3.2)$$

де  $m$  – маса маятника, Н;

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$l$  – довжина маятника, м;

$\alpha$  та  $\beta$  — відповідно, кут підйому маятника до  $i$  після проколу зразка голкою, град.;

$A_{ш}$  – шкідлива робота (витрачається на подолання сил тертя опори), Дж.

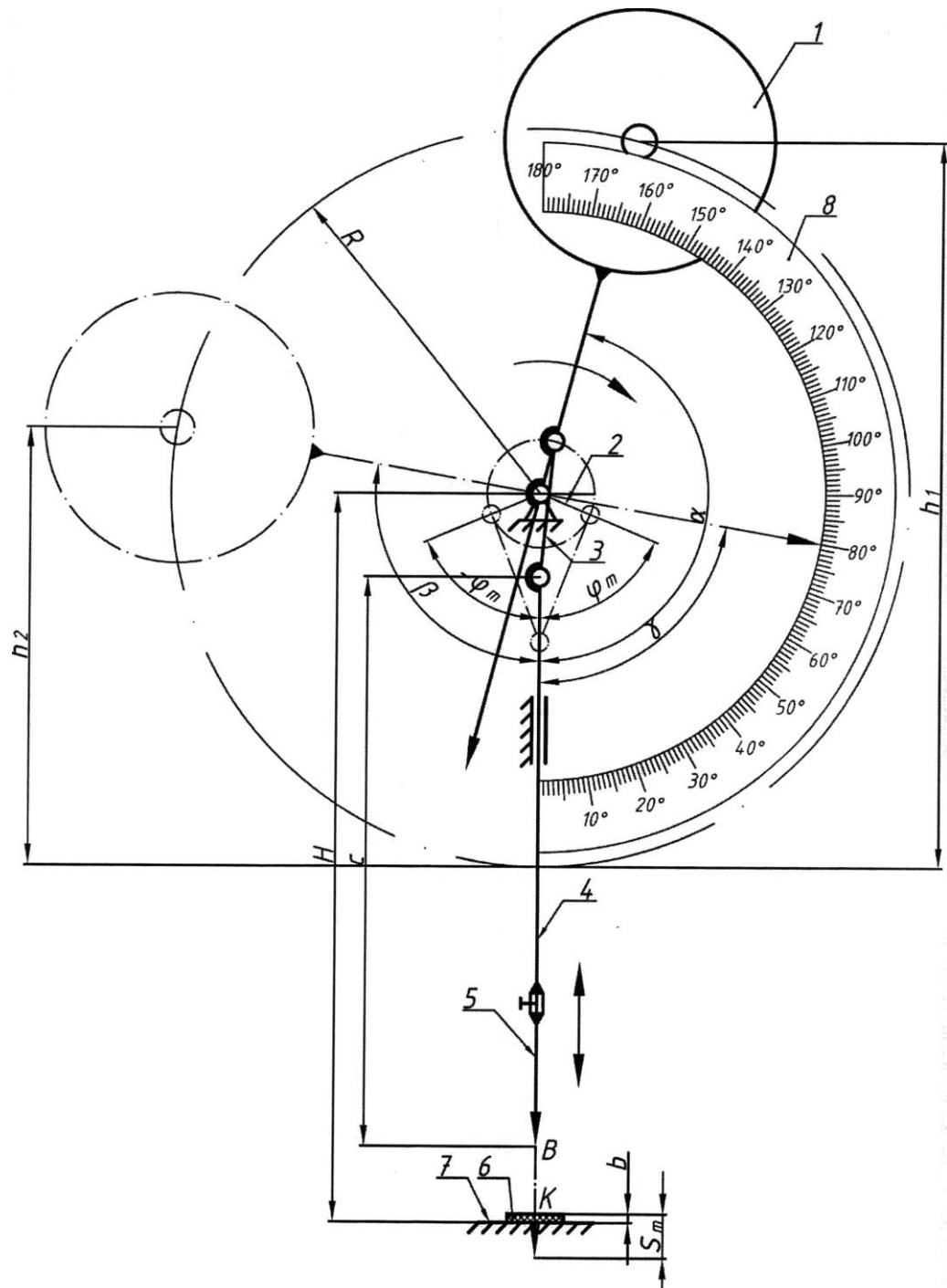


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема для визначення зусилля проколу зразка голкою методом маятникового копіра

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Сила проколу зразка голкою - це відношення роботи  $A$  до величини ходу голки під час проколу зразка  $S_m$ , тобто:

$$F = \frac{A}{S_m}, \quad (3.3)$$

де  $A$  – Час, необхідний для того, щоб встромити голку в зразок., Дж;

$S_m$  – хід голки в матеріалі, м.

Для визначення величини ходу голки в матеріалі  $S_m$ , висота  $H$  розраховується через суму проекції кривошипа  $r$  і шатуна  $l$  на вертикальну вісь, відстань  $c$  і товщину зразка матеріалу  $b$  за допомогою рівняння (3.4):

$$H = r \cdot \cos(\varphi_m) + l \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{r \cdot \sin(\varphi_m)}{l}\right)^2} + c + b, \quad (3.4)$$

де  $H$  – відстань між віссю встановлення маятника  $l$  та верхньою площиною голкової пластини, м;

$r$  – радіус кривошипа, м;

$l$  – довжина шатуна, м;

$c$  – Відстань між віссю кінематичної пари шатуна і голководу та вістрям голки., м;

$b$  – Товщина матеріалу під штовхачем у стиснутому стані., м;

$\varphi_m$  – Кут повороту кривошипа відповідає моменту, коли кінчик голки (точка В) входить в зразок (точка К)..

Розв'язання рівняння (3.4) відносно кута  $\varphi_m$  дає рівняння (3.5), яке визначає кут повороту кривошипа.:

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк. 50
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$\varphi_m = \pm \arctg \left( \frac{\sqrt{-(-r-l+c-H+b) \cdot (-r+l+c-H+b) \cdot (r+l+c-H+b) \cdot (r-l+c-H+b)}}{(H^2 - 2 \cdot H \cdot b - 2 \cdot H \cdot c + b^2 + 2 \cdot b \cdot c - l^2 + c^2 + r^2)} \right). \quad (3.5)$$

Підставте значення  $\varphi_m$  зі знаком плюс перед «arctg» в рівняння (3.6), щоб визначити хід голки в матеріалі.  $S_m$ :

$$S_m = r + l - \left( r \cdot \cos(\varphi_m) + l \cdot \sqrt{\left( \frac{r \cdot \sin(\varphi_m)}{l} \right)^2} \right). \quad (3.6)$$

Значення  $S_m$ , отримане за формулою (3.6), порівнюється зі значенням  $S_{mv}$ , розрахованим за формулою (3.7):

$$S_m = r + l + c + b - H. \quad (3.7)$$

Якщо  $S_m = S_{mv}$ , то кут визначено правильно. Методика і порядок розрахунку Початкові параметри для розрахунку:

- Маса маятника,  $m = 0,750$  кг;
- Радіус маятника,  $R = 0,130$  м;
- Кут падіння,  $\alpha = 165^\circ$ ;
- Відстань від осі, на якій закріплений маятник, до верху штовхача,  $H = 0,252$  м;
- Товщина лапки штовхача,  $p = 0,025$  м;
- Радіус кривошипа,  $r = 0,019$  м;
- Довжина шатуна,  $l = 0,048$  м;
- Відстань від кінематичної пари шатуна і голководу до вістря

голки,

$$c = 0,197 \text{ м};$$

- Товщина зразка матеріалу під лапками затискачів при стисненні,  $m$ ; визначається, коли зразок укладається під лапки затискачів перед випробуванням.
- Кут  $\gamma$ ; визначається за 8-бальною шкалою (рис. 3.1).
- Шкідлива робота,  $A_{ш} = 0,676$  Дж.

Визначте роботу  $A$  [Дж], яку виконує голка, коли проколює зразок: □

Помістіть зразок матеріалу під лапку штовхача.

- Поверніть маятник до кута падіння  $\alpha = 165^\circ$ .
- Відпустіть маятник. Визначте за шкалою кут  $\gamma$  для серії
- з трьох дослідів. Для кожного наступного дослідів піднімайте лапку штовхача і переміщуйте зразок матеріалу так, щоб голка не потрапляла в уже просвердлений в матеріалі отвір під час наступних поштовхів:

- Визначте кут підйому  $\beta$  маятника.:

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^3 (180^\circ - \gamma_i)}{3}; \quad (3.8)$$

Визначте роботу, витрачену на проколювання зразка голкою, використовуючи рівняння (3.2).

Визначити кут повороту  $\varphi_m$  кривошипа, що відповідає моменту проколу зразка вістрям голки.:

$$\varphi_m = \arctg \left( \frac{\sqrt{-(-r-l+c-H+b) \cdot (-r+l+c-H+b) \cdot (r+l+c-H+b) \cdot (r-l+c-H+b)}}{(H^2 - 2 \cdot H \cdot c - 2 \cdot H \cdot c + b^2 + 2 \cdot b \cdot c - l^2 + c^2 + r^2)} \right)$$

Визначте хід голки в матеріалі  $S_m$  за формулою (3.6).

Визначити хід голки  $S_{mv}$  в матеріалі за формулою (3.7) і порівняти отримане значення  $S_{mv}$  зі значенням  $S_m$ . Якщо  $S_m = S_{mv}$ , то кут  $\varphi_m$  визначено правильно і можна визначити силу вдавнення голки в матеріал.

Рівняння (3.3) використовується для визначення сили прилипання голки  $F$  до зразка. Сформулюйте, які фізичні параметри визначають опір голкопроколюванню матеріалів легкої промисловості і як результати можуть бути використані на практиці в проектних роботах і при експлуатації технологічних машин легкої промисловості.

Крім методу, описаного в [14], який вимірює силу, що виникає в процесі проколювання матеріалу голкою, дослідники використовували різноманітні методи. Найбільш ранні дослідження проводилися в статичних умовах з використанням різних механічних пристроїв, включаючи динамометр<sup>1</sup>, ваги з тримачем, закріпленим на верхніх і нижніх лещатах пристрою<sup>2</sup>, консольну балку<sup>4</sup> і балочний динамометр<sup>5</sup>. В роботі [6] зусилля при проколі нетканого матеріалу голкою в статичних умовах визначалося за допомогою тензометричних методів.

В динамічних умовах зусилля проколу тканини голкою вперше було визначено в роботі [14] за допомогою маятникового копіра. Для визначення зусилля проколювання в динамічному режимі за допомогою тензорезисторів використовують три способи встановлення тензорезисторів: на голці, на вушку стержня та на голковій пластині.

Для дослідження навантаження і голки невеликий датчик опору був приклеєний безпосередньо до леза голки в колбі, тобто в зоні відсутності тертя з матеріалом, що зшивається. В одному випадку (рис. 3.2) тензорезистор 3 був прикріплений до балки 2, яка була прикріплена до голчастого стержня 1.

В іншій установці тензометрична балка 2 розтягується пружиною 6 при обертанні гайки 5 вздовж зрізаної частини тримача 7. Під час вимірювання голка 4 проникає в тканину і впливає на пружину 6 і балку 2, до якої з обох боків приклеєний датчик 3. В даній роботі асиметрична балка замінена кільцем 2, до

якого приклеєні тензорезистори 3. Розміри балки та кільця визначаються попередніми розрахунками.

Існують різні способи розміщення тензодатчиків на голчастих стержнях для вимірювання сили прилипання [15]: а - на балці, прикріпленій до голчастого стержня; б - на кільці, прикріпленому до голчастого стержня; в - на балці, прикріпленій до центру порожнистої голчастої трубки. Порожниста голкова трубка з розвантажувальною балкою складається з наступних елементів: 1= Голчастий стрижень; 2. Балка, кільце для кріплення датчика, 3. Тензодатчик, 4= Голка, 5- Гайка, 6- Пружина, 7- Тримач балки.

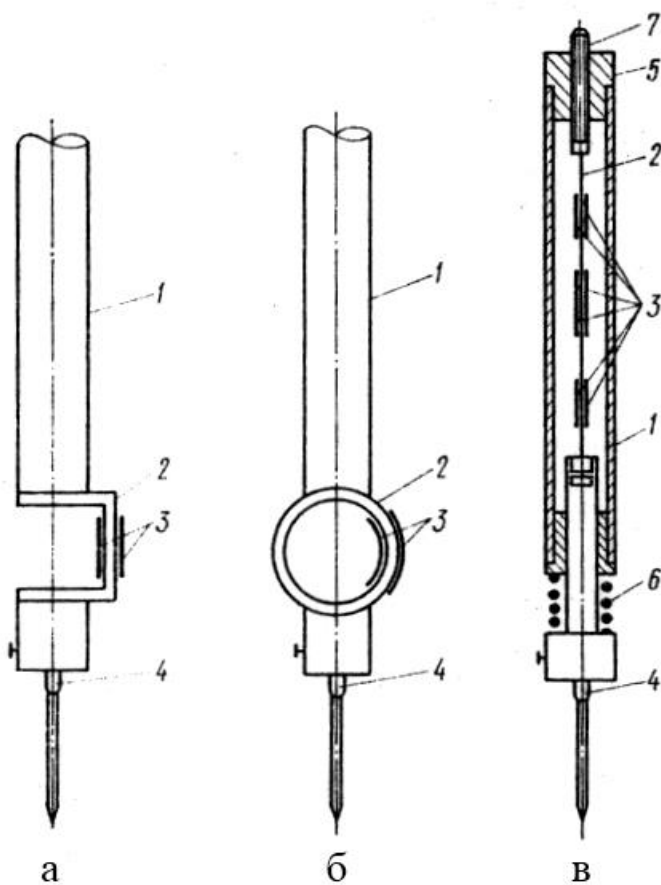


Рисунок 3.2 – Схеми розташування тензодатчиків на стержні голководія для визначення зусилля проколювання

Ці принципи збору експериментальних даних про силу проникнення виявилися складними у виготовленні і досить габаритними. Ці конструкції

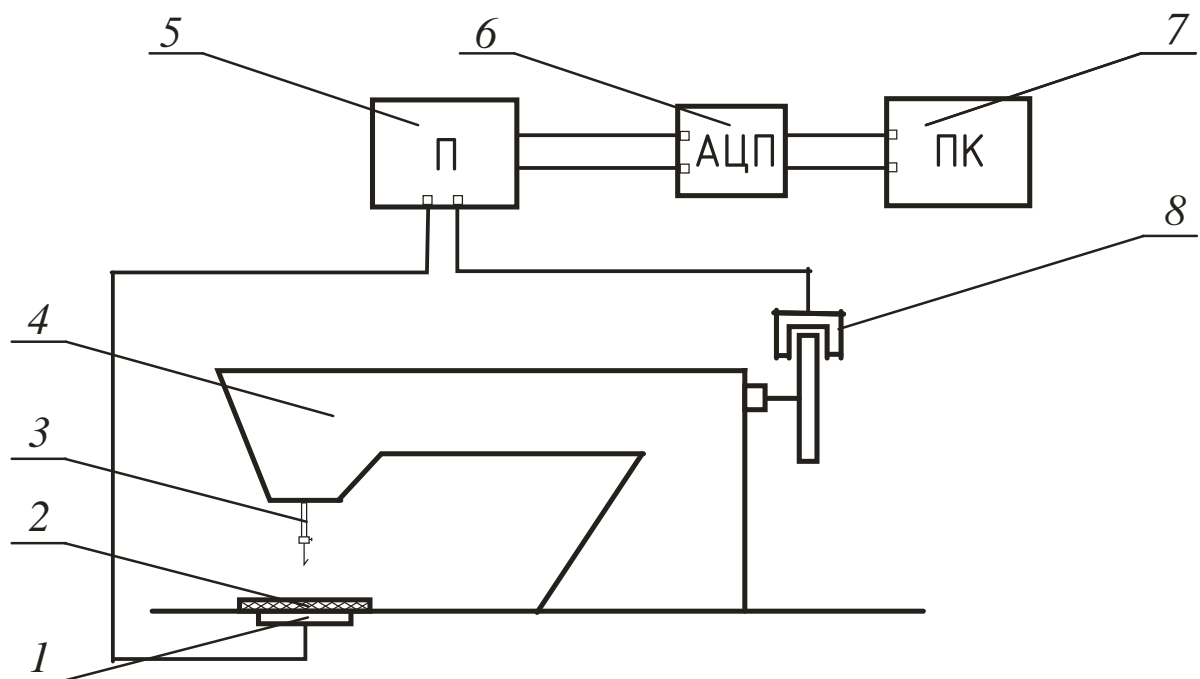
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

можна замінити простішими, які також є дуже точними і можуть бути використані на практиці..

3.2 Розробка стенду для експериментальних досліджень сили проколу матеріалів голкою.

На основі цього аналізу було прийнято рішення спроектувати та виготовити стенд для самостійного вимірювання зусилля проколювання.

Дослідження процесу проколювання здійснюється на експериментальному стенді (рисунок 3.3), який дозволяє моделювати процеси, що відбуваються під час шиття..



1 – тензобалка; 2 – матеріал для дослідження; 3 – голка; 4 – швейна машина;  
5 – підсилювач; 6 – аналого–цифровий перетворювач; 7 – персональний комп'ютер; 8 – датчик реєстрації кута обертання головного валу швейної машини

Рисунок 3.3 – Схема для визначення зусилля проколювання матеріалу голкою

Цей випробувальний стенд базується на зборі даних з тензорезисторів, встановлених на голчастій пластинчастій балці (рис. 3.4).

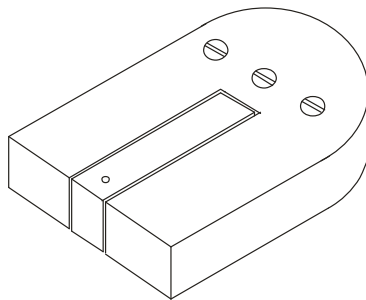


Рисунок 3.4 – Балка з тензодатчиком на голковій пластині

Ця експериментальна установка використовується для вимірювання сили тяги і кута повороту головного валу при проколюванні матеріалу еліптично гострою голкою. Це вимагає вибору правильного типу датчика для отримання необхідних експериментальних даних. Для правильного вибору датчика необхідно ознайомитися з робочим діапазоном і принципом дії різних конструкцій і типів датчиків..

### 3.3 Вибір датчиків і реєстраторів даних для випробувального стенду

Сучасне вимірювальне обладнання включає в себе безліч різних типів пристроїв і датчиків для запису і зчитування даних. Вибір між цими типами може бути складним, тому необхідно розуміти характеристики і призначення конкретного датчика або пристрою і які завдання він покликаний виконувати.

Тензорезистори - це експериментальний метод оцінки напружено-деформованого стану конструкції. Вони використовуються для вимірювання фактичного значення навантаження на конструкцію і для автоматизації процесу ідентифікації типу дефекту на основі даних акустико-емісійного контролю та

інших методів контролю, що застосовуються в системах діагностичного моніторингу [16].

Області застосування тензорезисторів включають в себе:

- Тензометрія елементів конструкцій (вимірювання деформацій елементів конструкцій, розрахунок навантажень);
- Визначення навантажень на елементи конструкцій (визначення сил та моментів);
- Обладнання різних виробників (Kyowa, HBM, Vishay, National Instruments та ін.);
- створення багатоканальної системи збору інформації на базі обладнання різних виробників (Kyowa, HBM, Vishay, National Instruments та ін.);

Основними завданнями організації системи діагностичного моніторингу є:

- своєчасне виявлення дефектів;
- збір, зберігання даних технічної діагностики аналіз та прогнозування часових змін технічного стану об'єкта;
- автоматизація технічного діагностування та усунення людського фактору при оцінці результатів діагностування..

Класично датчики деформації та переміщення - це датчики, які реєструють мікродеформації та переміщення в діапазоні від 0,01 до 10 мікрон, що виникають при впливі на різні матеріали, деталі машин та елементи конструкцій різних фізичних факторів (тиск, сила тощо).

Реєструючи мікродеформації, можна визначити фізичні впливи на досліджуваний об'єкт. На цьому принципі побудовані датчики сили, тиску, прискорення, крутного моменту та сейсмічні датчики.

За принципом дії тензорезистори можна класифікувати наступним чином.:

- тензодатчики;
- п'єзо датчики;
- мікро механічні датчики;
- інтерферометричні датчики;

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк. 57
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Тензорезистори можна розділити на металеві (в тому числі дротяні, фольговані і плівкові) і напівпровідникові тензорезистори. Інтерференційні тензорезистори є найбільш чутливими, складними і дорогими.

Найпоширенішими є металеві тензорезистори, напівпровідникові тензорезистори і п'єзоелектричні датчики через їх невеликі розміри, малу вагу і низьку вартість.

Металеві тензодатчики. Металеві тензорезистори працюють на основі зміни опору провідного матеріалу при деформації під дією навантаження (тензоефект).

У найпростішому випадку тензорезистор являє собою тонкий металевий провідник (дріт), жорстко прикріплений до деформівної деталі. Деформація деталі деформує дріт, змінюючи його довжину, переріз і питомий опір, таким чином змінюючи електричний опір всього перерізу дроту.

Опір металевих провідників.

$$R = \rho \cdot l / S. \quad (3.9)$$

Остаточне рівняння для відносної зміни питомого опору матеріалів під час деформації виглядає наступним чином.:

$$\delta(R) = [(1 + 2\mu) + C \cdot (1 - 2\mu)]\delta(l) = K_T \cdot \delta(l), \quad (3.10)$$

де  $K_T$  – Коефіцієнт тензочутливості (2÷2,5 для більшості металевих матеріалів, 4,1 для сплавів пермалою з вольфрамом).

Отже, зміна опору металевого провідника в межах пружної деформації пропорційна поздовжній деформації.

Лінійність наведеної залежності зберігається в межах

Розглянемо дротяні та фольговані типи тензорезисторів.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк. 58
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

У дротяних тензорезисторах для підвищення поздовжньої чутливості дроти діаметром 20-50 мкм наклеюють у вигляді меандрів (10-20 ланок) на тонкі (до 0,1 мм) підкладки зі спеціальних матеріалів.

Фольговані та плівкові тензорезистори виготовляють фотолітографічним методом і методом напилення. При цьому поперечна чутливість зазвичай не перевищує 0,1-0,2% поздовжньої чутливості.



Рисунок 3.5 – Тензодатчик наклеєний на циліндричну поверхню

Тензодатчики, штамповані з фольги, виготовляються з високою точністю і можуть бути оптимізовані для конкретних застосувань. Наприклад, можна використовувати тензорезистори з дифракційними решітками, осі детектування яких ортогональні одна до одної. Це дозволяє визначати деформацію поверхні зразка в будь-якому напрямку, аналізуючи співвідношення зміни опору дифракційних решіток.

Тензодатчики і датчики, засновані на принципі роботи тензорезистора, можуть бути використані для вирішення статичних і динамічних завдань.

При виборі розміру тензорезистора і виходять з того, що датчик повинен мати розмір точкового зонда для реєстрації інформації в локальних точках зразка. Тому його розміри повинні бути меншими, ніж деформаційна хвиля зразка, що контролюється.:

$$l_0 \leq 0,1\lambda, \quad (3.11)$$

де  $\lambda = v / f$  – довжина деформаційної хвилі;

$v$  – швидкість поширення ультразвуку;

$f$  – частота коливань, для металу  $v$  складає близько 5 000 м/с;

$f_{\max}$  прийmemo рівним 50кГц, отже  $l_0$  має бути менший або дорівнює 10 мм.

При динамічній деформації значення поздовжньої деформації повинні бути значно нижчими, ніж при статичних вимірюваннях через втомну міцність матеріалу.

Температура має значний вплив на роботу тензорезисторів і, відповідно, на точність вимірювань, виконаних за допомогою тензорезисторів.

Це пов'язано з наступними факторами.:

– температурна залежність питомого опору матеріалів тензорезисторів;

– температурна залежність коефіцієнта об'ємного розширення матеріалів;

– відмінності в коефіцієнтах теплового розширення матеріалів у сенсорах, підкладках і тестових зразках.

Тому опір тензорезисторів змінюється в залежності від температури, навіть якщо до досліджуваного зразка не прикладено жодних зусиль.

Для вирішення проблеми захисту від температурних впливів використовують різні методи термокомпенсації.

При виготовленні тензорезисторів виробники використовують спеціальні сплави, які мінімізують вплив температурних впливів в заданому температурному діапазоні.

Іншим фактором, який суттєво впливає на точність тензометричних вимірювань, є спосіб кріплення тензорезистора до зразка. Зараз широко використовується наклеювання тензорезисторів. Для тензорезисторів використовують спеціальні клеї, що не висипаються, такі як Sia-Clin, і вітчизняні клеї, такі як ВН-15Т, В-58Т і БФ-2. Спеціальні клеї для широкого спектру

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

завдань доступні від іноземних компаній, всі вони забезпечують хорошу адгезію в широкому діапазоні температур.

Сьогодні також використовуються зварні тензорезистори (переважно при високих температурах) за допомогою точкового зварювання.

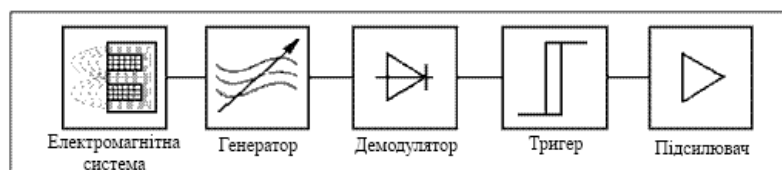
Тензорезистори також можуть відливатися у зразки (в будівництві тензорезистори можуть відливатися в бетонні конструкції).

Загалом, слід зазначити, що на сьогоднішній день тензорезистори є високоточною, високотехнологічною галуззю вимірювань і мають застосування в багатьох галузях науки та експериментальної механіки.

Сьогодні для правильної побудови тензометричних вимірювальних комплексів потрібні не тільки поверхневі знання основних принципів роботи датчиків і вимірювальних підсилювачів, а й досвід їх використання. Індуктивні датчики - це безконтактні датчики, призначені для контролю положення металевих об'єктів (вони не реагують на інші матеріали) [17].

Індуктивні датчики широко використовуються для вирішення завдань в автоматизованих системах управління технологічними процесами. Вони складаються з нормально відкритого або нормально закритого контакту.

Принцип дії заснований на зміні амплітуди коливань генератора при введенні в осердя датчика металевого, магнітного, феромагнітного або аморфного матеріалу певного розміру. При подачі живлення на кінцевий вимикач в зоні його чутливої поверхні генерується змінне магнітне поле, яке індукує вихрові струми в матеріалі, введеному в цю зону, і змінює амплітуду коливань генератора. В результаті формується аналоговий вихідний сигнал, величина якого змінюється в залежності від відстані між датчиком і об'єктом контролю. Тригер Шмітта перетворює аналоговий сигнал в логічний.



### Рисунок 3.6 – Структура роботи датчика

Індуктивні безконтактні датчики складаються з таких основних компонентів:

- генератор (формує електромагнітне поле при взаємодії з об'єктом)
- тригер Шмітта (забезпечує гістерезис при перемиканні)
- підсилювач (збільшує амплітуду сигналу до необхідного значення, яке використовується для управління сигналом)
- світлодіодний індикатор: (відображає стан перемикача, контролює працездатність і забезпечує швидке налаштування)
- компаунд: (забезпечує необхідний ступінь захисту від проникнення твердих частинок і води)
- корпус: (забезпечує встановлення сповіщувача і захищає від механічних ударів) (виготовляється з латуні або поліаміду, з елементами кріплення).

Активною зоною безконтактного датчика є ділянка перед його чутливою поверхнею, де магнітне поле чутливого елемента датчика найбільш сконцентроване. Діаметр цієї поверхні приблизно дорівнює діаметру датчика.

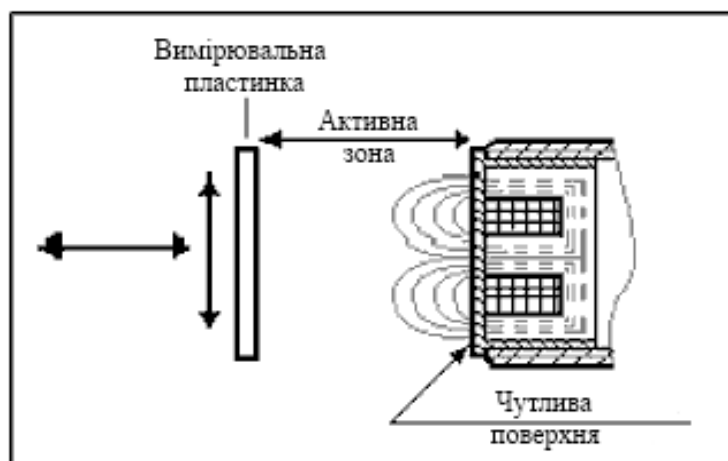


Рисунок 3.7 – Активна зона безконтактного індуктивного вимикача

Номінальні відстані спрацьовування - це теоретичні значення, які не враховують зміни робочих параметрів датчика, температури, навантаження або джерела живлення.

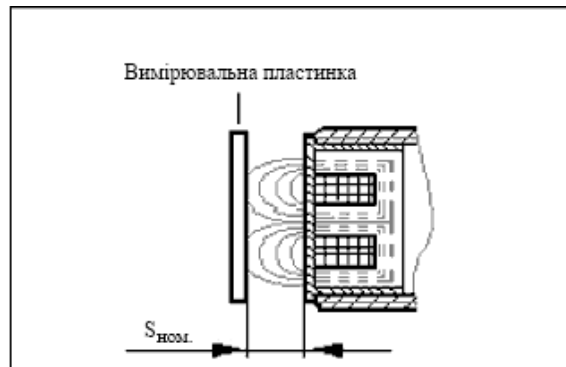


Рисунок 3.8 – Номінальна відстань перемикачання

Робочий зазор - це довільна відстань, яка забезпечує надійну роботу безконтактного датчика в допустимих межах температури та напруги.

$$0 \leq S_{роб} \leq 0,8S_{ном} \quad (3.12)$$

Робочий зазор можна визначити за допомогою поправочного коефіцієнта робочого зазору, який залежить від металу об'єкта удару.

Таблиця 3.1 – Поправочний коефіцієнт робочого зазору

Матеріал	Коефіцієнт
Сталь 40	1,00
Чавун	0,93 ... 1,05
Нержавіюча сталь	0,60 ... 1,00
Алюміній	0,30 ... 0,45
Латунь	0,35 ... 0,50
Мідь	0,25 ... 0,45

Компоненти випробувального стенду. Схема кріплення тензорезисторів до балки показана на рисунку 3.9. Тут показана тензометрична балка з наклеєними на неї тензорезисторами.

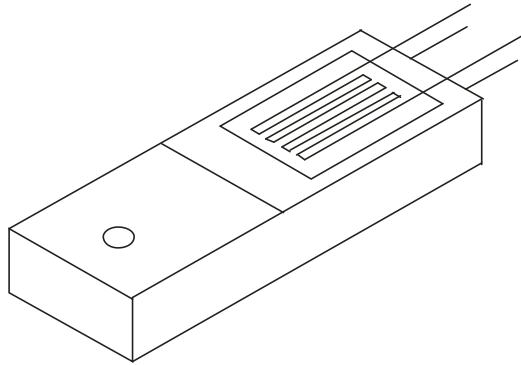


Рисунок 3.9 – Балка з тензодатчиком

Принципова схема тензодатчика та його з'єднань показана на рисунку 3.10.

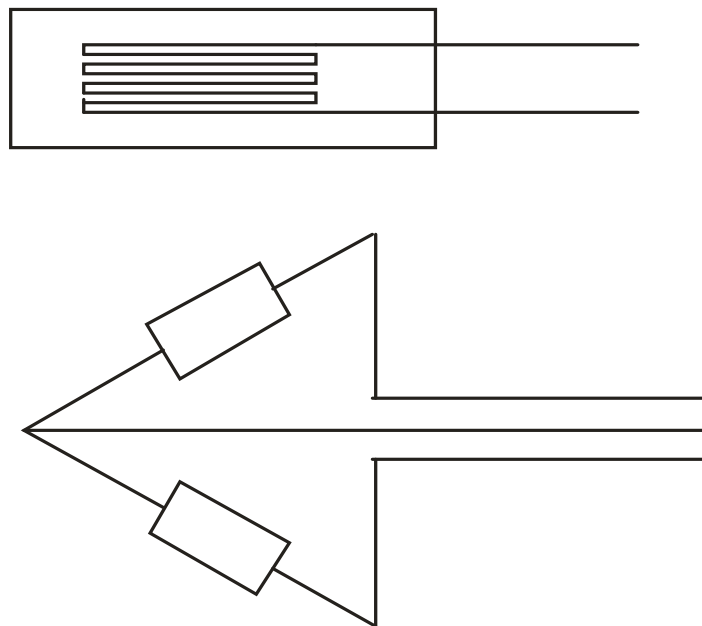


Рисунок 3.10 – Тензодатчик з схемою підключення

Експериментальний стіл працює наступним чином.

Експериментальний стіл заснований на швейній машині класу ПМЗ 23 з тензорезистором замість голкової пластини.

Голка проколює матеріал деталі через отвір в тензорезисторі, який чинить тиск на матеріал, що діє на тензорезистор і згинає його, змінюючи поперечний переріз датчика. Сила тяги передається на головний вал машини за допомогою електродвигуна. Точність сили притискання голки гарантується електричним ланцюгом.

Оскільки сигнал, отриманий від тензорезисторів, дуже малий, необхідно було посилити цей сигнал. Для цього була розроблена і виготовлена схема операційного підсилювача. Вона побудована на мікросхемі LM358P (рис. 3.11).

Електрична схема складається з вимірювальних мостів R1, R2, R3 і R4 та операційного підсилювача LM358P, який живиться від стабілізованого джерела живлення V2. Якщо міст розбалансований, на його виході генерується різниця потенціалів, яка посилюється операційним підсилювачем і подається на АЦП.

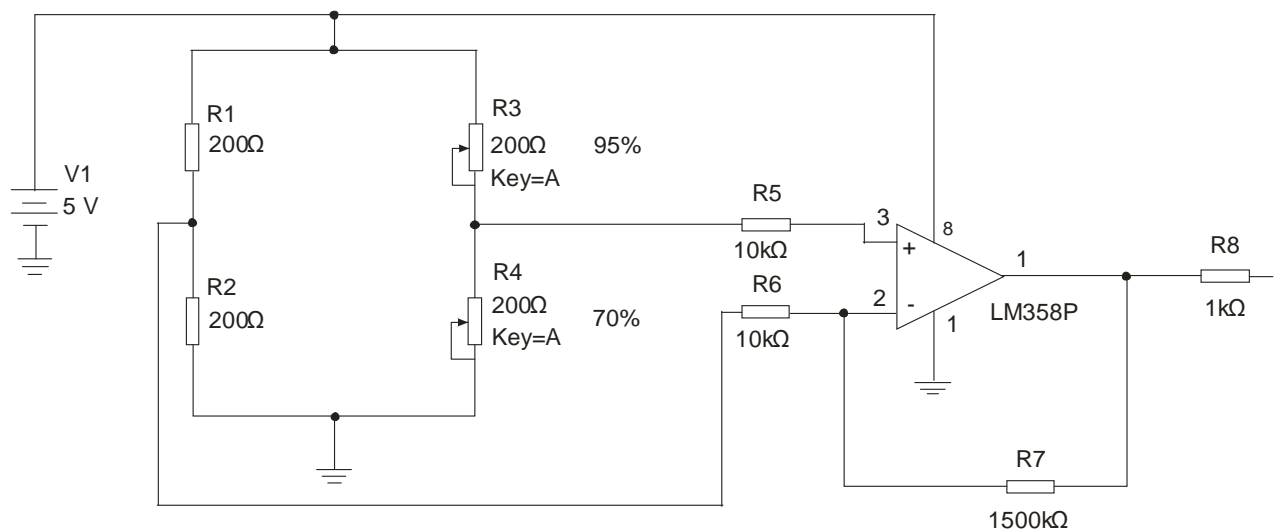


Рисунок 3.11 – Електрична схема для вимірювання зусилля, що здійснює голка на шкіру

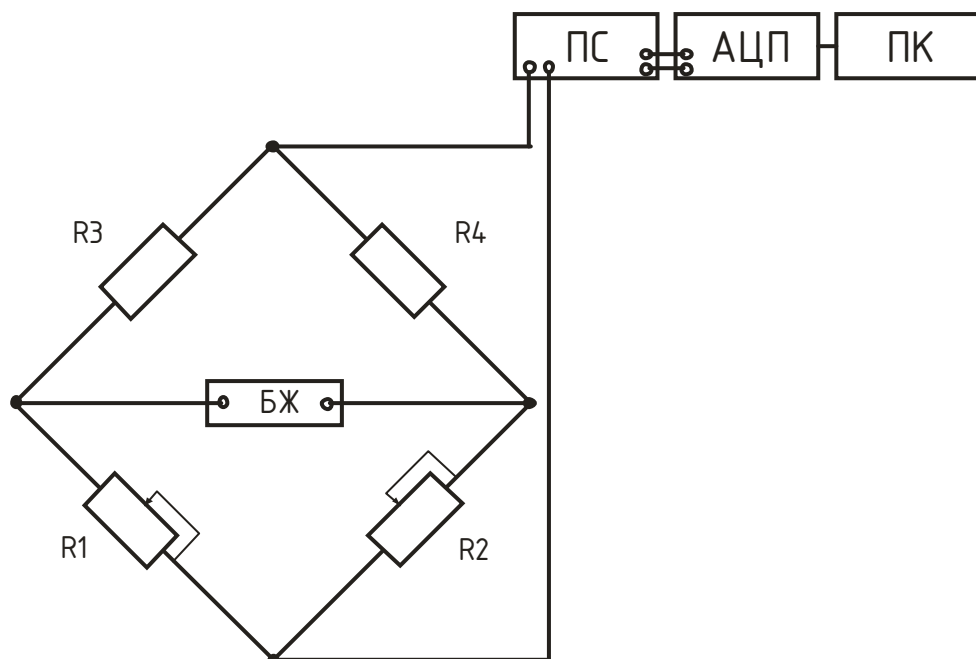
Двигуни з редуктором і брязкальцем використовуються в якості приводів для забезпечення крутного моменту на шпindel швейної машини для зменшення швидкості обертання вала.

Характеристики двигуна:

- постійне навантаження: 12 В, струм: 0,9 А, потужність: 100 Вт;

- частота обертання двигуна: 600 об/хв;
- вага: 0,5 кг;

Обертальний рух передається від вихідного валу черв'ячного редуктора на головний вал швейної машини. Головний вал передається голководу 3 швейної машини (рис. 3. 3), його положення визначається оптичним датчиком 8, головний вал передає рух голці, голка проникає в матеріал деталі 2, деформуючи пластину тензорезистора 1, тензорезистор вигинається, площа поперечного перерізу тензорезистора змінюється, сигнал підсилюється 5 та підсилюється аналого-цифровим перетворювачем (АЦП) 6, сигнал з АЦП передається на персональний комп'ютер 7 і дані зберігаються для подальшого аналізу.



R1, R2, R3, R4 – резистори; ПС – підсилювач; АЦП – аналого–цифровий перетворювач; ПК – комп'ютер.

Рисунок 3.12 – Електрична схема для визначення зусилля проколювання матеріалу голкою

Схема (рис. 3.12) працює наступним чином. Деформація тензорезистора призводить до зміни опору резисторів R1 і R2, викликаючи дисбаланс в мості  $R1R3=R2R4$ . При збільшенні (зменшенні) R1 і

зменшенні (збільшенні) R2 дисбаланс стає дуже великим і цей дисбаланс передається на підсилювач і аналого-цифровий перетворювач через Цей дисбаланс передається на ПК через підсилювач і аналого-цифровий перетворювач і перетворюється зі зміни навантаження в силу за допомогою віртуального пристрою в програмному середовищі LabView. Власне збір даних виконується за допомогою мікросистеми збору даних m-DAQ12.

Системи збору даних m-DAQ12 призначені для введення і виведення аналогових і цифрових сигналів. m-DAQ12 - це багатофункціональний модуль АЦП/ЦАП, який може бути підключений до інтерфейсу USB ( HighSpeed) і може бути підключений до ПК через інтерфейс USB (HighSpeed). Сигнали підключаються через роз'єми на бічній стороні модуля.



Рисунок 3.13 – Зовнішній вигляд мікросистеми збору даних m-DAQ12

Мікросистема m-DAQ12 містить багатоканальний 12-розрядний аналого-цифровий перетворювач з мультиплексуванням аналогових вхідних каналів, порти введення і виведення цифрових сигналів та 16-розрядний лічильник. Альтернативно, для введення аналогових сигналів можна використовувати чотири диференціальні канали або вісім каналів із загальною землею. Кожен аналоговий канал підключений до АЦП через програмно-керований підсилювач,

який можна налаштувати на один з чотирьох діапазонів вхідного навантаження ( $\pm 10$  В,  $\pm 5$  В,  $\pm 2,5$  В і  $\pm 1,25$  В).

Модуль забезпечує безперервний (синхронізований з внутрішнім таймером) збір даних з частотою дискретизації АЦП від 65 Гц до 100 КГц. Цифровий ввід/вивід забезпечується у вигляді восьми вхідних або вихідних цифрових ліній, що індивідуально конфігуруються на вхідні або вихідні, TTL-сумісні рівні.

Базова модель мікросистеми m-DAQ12 виконана у вигляді модуля в компактному пластиковому корпусі ABC (60x100x22 мм). OEM-версія мікросистеми m-DAQ14 виконана у вигляді плати і орієнтована на вбудовані додатки. Підключення до зовнішніх пристроїв здійснюється через дворядний контактний роз'єм IDC-26. Програмне забезпечення для m-DAQ12 включає драйвери, DLL-бібліотеки та приклади їх використання, Пб-бібліотеки для графічного середовища програмування LabVIEW та додаток для запису осцилограм.

Мікросистема збору даних m-DAQ12, як комплекс апаратно-програмних засобів, містить:

- багатоканальний 12-розрядний аналого-цифровий перетворювач з мультиплексованими аналоговими вхідними каналами
- порти вводу-виводу дискретних сигналів
- 16-розрядні лічильники

Мікросистема збору даних m-DAQ12, як комплекс апаратно-програмних засобів, пропонує:

- багатоканальні 12-розрядні аналого-цифрові перетворювачі з мультиплексованими аналоговими вхідними каналами
- порти вводу-виводу дискретних сигналів
- 16-розрядні лічильники - 2-канальні цифро-аналогові перетворювачі (опція):

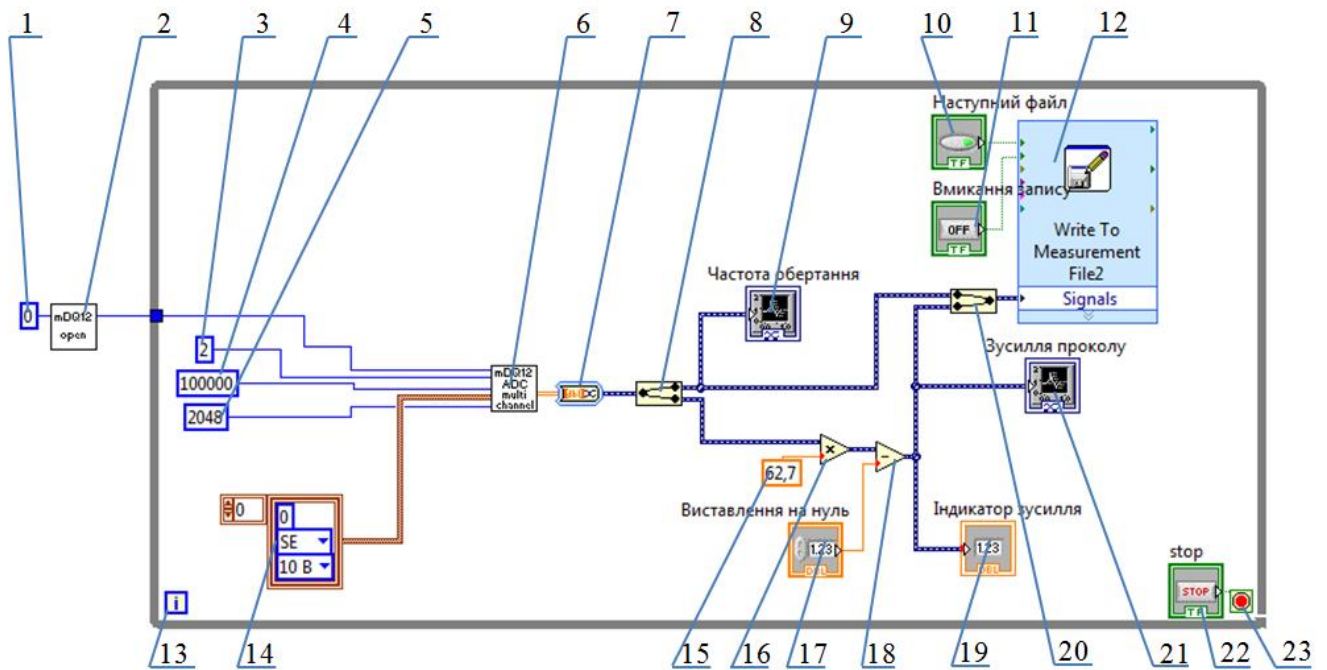
- Встановлення частоти дискретизації АЦП;

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк. 68
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- Встановлення кількості опитуваних каналів АЦП, режиму підключення та діапазону вводу;
- Зчитування масивів даних з АЦП;
- Зчитування масивів даних з АЦП у неперервному режимі;
- Зчитування стану лінії порту цифрового вводу/виводу;
- Зчитування масиву даних з цифрового вводу/виводу Встановлення даних у порт;
- Читання масивів даних з ліній цифрового вводу/виводу;
- Запис масивів даних у порт цифрового вводу/виводу;
- Запуск зовнішнього лічильника подій; - Зупинка зовнішнього лічильника подій;
- Зчитування результатів роботи зовнішнього лічильника подій;
- Встановлення вихідного діапазону ЦАП (аналогові виводи AOUT 0 аналогові виводи AOUT 0 і AOUT 1);
  - виведення даних на ЦАП; - налаштування та призначення ліній цифрового порту вводу/виводу; максимальна кількість m-DAQ12, якими можна одночасно керувати з ПК через USB - 16..

Введення даних з датчиків і запис на ПК здійснюється за допомогою програми LabVIEW (рис. 3.11), написаної для дослідження силового процесу проникнення голки в матеріал, що забезпечує нерозривний зв'язок між теоретичними розрахунками та експериментальними дослідженнями.

Передня панель (рис. 3.15) є інтерфейсом для аналізу вхідних сигналів у реальному часі та керування роботою програми. Вона також забезпечує графічне представлення всього, що відбувається в процесі в реальному часі. Процес, відображений на графіку, повинен бути збережений у файл для подальшого дослідження.



1, 3, 4, 5, 14, 15..... Елементи для встановлення постійних значень, 2..... Елементи керування портами аналого-цифрового перетворювача (АЦП), 6..... елементи керування для керування потоком даних з АЦП, 7..... Елементи для перетворення масиву значень в оброблений сигнал, 8..... Елементи для розділення сигналу на два потоки, 9, 21..... Графічні індикатори; 10, 11, 22 - кнопки керування процесом роботи програми; 12 - блоки запису значень у файл; 13 - лічильники кількості циклів; 16, 18 - елементи арифметичного перетворення; 17 - елементи регулювання значень сигналів; 19 - цифрові індикатори; 20 елемент об'єднання двох сигналів в один; 23 - елемент завершення циклу.

Рисунок 3.14 – Схема процесу роботи програми віртуального приладу для обробки сигналів з двох каналів написаної на LabVIEW для зняття вхідних даних значень зусилля проколювання та кута повертання головного валу.

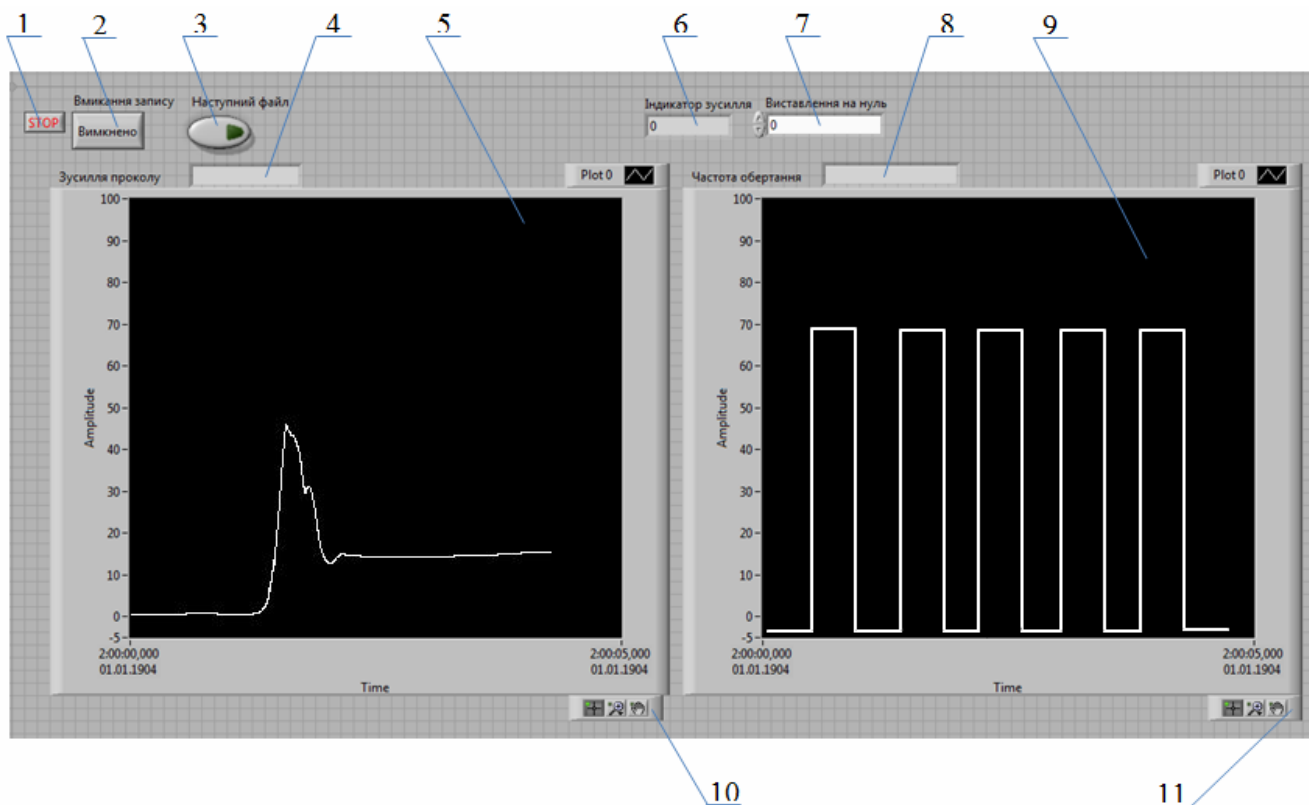


Рисунок 3.15 – Лицьова панель віртуального приладу для обробки сигналів з двох каналів

Складається з наступних елементів: 1 - кнопка «STOP» (зупинка програми); 2 - кнопка «Stop writing program to file» (зупинка запису даних у файл); 3 - кнопка «Next file» (запис даних у наступний файл); 4 - поле миттєвого значення сили Пірса; 5 - поле візуального відображення сили Пірса поле візуального відображення (графік пробивної сили); 6 - поле індикатора сили; 7 - поле установки нуля; 8 - поле миттєвого значення швидкості обертання; 9 - поле візуального відображення швидкості обертання (графік швидкості обертання); 10,11 - елементи для налаштування графічного відображення сигналу.

Принцип роботи програмної схеми віртуального приладу для обробки сигналів з двох каналів, показаний на рис. 3.10, полягає в наступному. Спочатку програма відкриває номер порту, заданий в елементі 1, за допомогою модуля 2. Далі з АЦП 6 на елемент керування потоком даних передається інформація про відкритий порт: 3 - вказує на кількість каналів АЦП, з яких зчитуються дані; 4 -

вказує на частоту зчитування даних, що надійшли на відкритий канал; 5 - виведення даних у вигляді масиву з модуля 6 14 - вказує на параметри встановлення каналу, з якого зчитуються дані. В елементі перетворення масиву значень в оброблений сигнал масив даних перетворюється в зручний для обробки потік даних, відображається на графічних індикаторах 9 і 21 і записується для аналізу за допомогою блоку 12. Оскільки дані знімаються з двох незалежних каналів, вони спочатку розділяються на два окремих потоки за допомогою елемента 8, а потім кожен з них калібрується і відображається на графічних індикаторах 9 і 21.

Калібрування виконується за допомогою арифметичного перетворення елемента 16 і калібрувальних коефіцієнтів, записаних у полі 15. Сигнал встановлюється в нуль за допомогою операції арифметичного віднімання в елементі 18. Після необхідних перетворень сигнал знову об'єднується в єдиний потік елементом 20 і надходить на блок запису значень у файл 12, керований кнопками 10 і 11. Для зупинки виконання програми використовується кнопка 22.

Такий підхід дозволяє завершити весь цикл розробки електроніки на єдиній платформі National Instruments, включаючи моделювання електронних схем, створення прототипу продукту та його тестування з використанням реального контрольно-вимірювального обладнання.

На цьому етапі необхідно зібрати дані з експериментального стенду та обробити їх. Для цього необхідно спланувати та дослідити експерименти на випробувальному стенді. Це необхідно для перевірки аналітичних розрахунків з експериментальними даними. Таким чином, можна зрозуміти, якими будуть сили при проникненні голки в матеріал тільки за допомогою програми, без необхідності проведення експерименту.

### 3.4 Висновки до розділу

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк. 72
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1. в даному розділі проаналізовано методи, що використовуються для визначення сили проколювання голкою матеріалу;
2. після проведеного аналізу проведено проектування стенду для перевірки сили проколювання;
3. розглянуто та прийнято тип датчика та метод збору і реєстрації даних;
4. за допомогою програмного пакету LabVIEW розраховано силу проколювання та основні розроблено схему віртуального пристрою для обробки сигналів з двох каналів, вхідними даними яких є кут повороту валу.
5. зроблено висновок про необхідність проведення дослідження на даному стенді для перевірки математично розрахованих даних процесу прошивання.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

#### 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СИЛ ПРОНИКНЕННЯ МАТЕРІАЛУ ГОЛКАМИ

У попередньому розділі було сформульовано гіпотези та розроблено аналітичну модель процесу проколювання голкою з еліптичним гострим вістрям. Ці гіпотези повинні бути підтверджені експериментальними дослідженнями сили проколу при точно визначених умовах. Експериментальні дослідження дозволяють спостерігати, контролювати і відтворювати всі етапи розвитку пробивної сили при повторенні початкових умов.

Перед проведенням експериментального дослідження необхідно розробити експериментальну методологію. Це передбачає побудову структури і планування експерименту з урахуванням основних принципів експериментальної реалізації.

Методологія експерименту включає такі основні етапи [20].:

- Розробка плану експерименту
- Оцінка вимірювань і вибір експериментальних засобів
- Проведення експерименту
- Обробка та аналіз експериментальних даних.

У зв'язку з великою кількістю етапів у традиційних експериментах широко застосовуються математичні теорії експерименту, які дозволяють значно підвищити точність і скоротити обсяг експериментальних досліджень.

При цьому експериментальна методика включає наступні етапи:

- планування експерименту - оцінка вимірювань і вибір засобів проведення експерименту
- математичне планування експерименту з одночасним проведенням експериментальних вимірювань
- обробка та аналіз отриманих даних.

Таким чином, на основі вищенаведеної інформації встановлено необхідність розробки методики проведення експериментальних досліджень сил тяги.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк. 74
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

#### 4.1 Розробка методик проведення експериментальних досліджень зусиль проникаючої дії голки на матеріали

Методологія експериментального дослідження - це система методів і засобів для послідовного і найбільш ефективного проведення дослідження.

Методика включає в себе мету і завдання експерименту, вибір джерел варіації, обґрунтування засобів вимірювання та кількості необхідних вимірювань, опис експерименту, обґрунтування засобів обробки та аналіз результатів експерименту.

Метою експерименту в магістерській роботі є підтвердження аналітичного розрахунку сили проколювання, описаного в попередньому розділі, тобто аналітичного розрахунку сили проникнення голки в матеріал. Необхідно отримати експериментальну залежність сили проколювання від:

- зміна параметрів голки
- пошук оптимальної сили проколювання голки для матеріалу
- аналіз процесу, за допомогою якого голка проколює матеріал, і визначення оптимального кута заточки.

Для дослідження були обрані матеріали, що використовуються у виробництві взуття, тобто штучна шкіра та натуральна шкіра, які характеризуються високими експлуатаційними характеристиками та відповідним зовнішнім виглядом [21].

У зв'язку з цим в експериментах були використані наступні матеріали.:

- напівшкуроч ДСТУ 2726-94;
- бахтармянний спилоч ГОСТ 1838-91;
- штучна шкіра (вініл-штучна шкіра) ТУ 17-21-360-85, характеристика яких відома з [22,23] та викладена у таблиці 4.1.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк. 75
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Характеристика матеріалів для досліджень

1	2	3	4
Матеріал зразка	Маса зразка, кг	Площа зразка, м <sup>2</sup>	Лінійні розміри зразка (Д*Ш), м
шкіра ВРХ (напівшкуроч) ДСТУ 2726-94	4,3*10 <sup>-3</sup>	0,0037	0,205*0,018
бахтармянний спилок ГОСТ 1838-91	1,7*10 <sup>-3</sup>		
штучна шкіра (вініл- штучна шкіра ) ТУ 17- 21-360-85	1,3*10 <sup>-3</sup>		

4. 2 Експериментальне дослідження процесу зусилля проколу голками з гострозагостреними овальними вістрями різних типів матеріалів

Для вивчення основних факторів та вибору параметрів для планування експерименту був проведений аналіз апріорної інформації. На основі цього аналізу в якості досліджуваного параметра було обрано силу проколу матеріалу голкою. Вибір цього параметра можна пояснити тим, що наявність дефектів у готових виробках пов'язана з надмірним зусиллям проколу матеріалу [21], що негативно впливає на якість та зовнішній вигляд готового виробу. Основними факторами є параметри, що виникають в самому процесі проколювання матеріалу голкою.:

- X1 – товщина матеріалу, м;
- X2 – діаметр голки, м;
- X3 –напівкут крапки загострення голки, °.

На цьому етапі необхідно вибрати експериментальну ділянку. Вибір ґрунтується на даних попередніх експериментальних досліджень та аналізі

апріорної інформації. На експериментальній ділянці встановлюються основні рівні та інтервали варіювання факторів.

Для фактору X3 встановлено такі максимальні значення 15° та мінімальні значення 10° згідно з [24]; для товщини матеріалу (фактор X1) згідно з [21] 3 x 10<sup>-3</sup> м (напівшкіра), 2 x 10<sup>-3</sup> м (штучне хутро) та 1 x 10<sup>-3</sup> (вінілштучшкіра).

Діаметр (фактор X2) вибирається з [24] і має наступні значення.

$$d = 1 \times 10^{-3} \text{ м}; d = 1,3 \times 10^{-3} \text{ м}; d = 1,6 \times 10^{-3} \text{ м}.$$

Товщина матеріалу (фактор X1) обрана як змінний фактор, оскільки голка вибирається відповідно до товщини матеріалу і сила проколу змінюється відповідно.

Таблиця 4.2 – Значення основних параметрів процесу проколювання голкою матеріалу

Матеріал	Товщина матеріалу, м	Половина кута крапки, °	Діаметр голки, м
Напівшкурор	3 × 10 <sup>-3</sup>	10	1 × 10 <sup>-3</sup> ; 1,3 × 10 <sup>-3</sup> ; 1,6 × 10 <sup>-3</sup>
Бахтармянний спилок	2 × 10 <sup>-3</sup>	12,5	
Вініл-штучна шкіра	1 × 10 <sup>-3</sup>	15	

Тому в якості змінних були обрані товщина матеріалу (X1), швидкість голки (X2) і половина кута нахилу кінчика голки (X3). Це пов'язано з тим, що ці параметри мають найбільший вплив на силу, з якою голка проникає в матеріал. Значення інших факторів наведені в таблиці 4.2.

Оскільки необхідно враховувати більше двох факторів, це багатофакторний процес і вимагає великої кількості експериментів. Тому необхідно вирішити проблему планування експериментів, яка полягає у визначенні мінімально необхідної кількості експериментів. Планування

експерименту дозволяє значно зменшити кількість експериментів, необхідних для отримання моделі процесу, що нас цікавить [20]. Для отримання точної моделі (параметрів оптимізації) використовують рівняння регресії.:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{33} \cdot x_3^2, \quad (4.1)$$

де  $b_{13}, b_{12}, b_{11}, b_{33}, b_{23}, b_3, b_{22}, b_2, b_1, b_0$  – коефіцієнти регресії;

$x_1, x_2, x_3$  – змінні фактори.

Рівні факторів були закодовані для запису експериментальних умов та обробки експериментальних даних.

Були використані наступні змінні фактори.:

- товщина матеріалу –  $X_1$ ,
- діаметр голки –  $X_2$ ,
- напівкут крапки загострення голки –  $X_3$ .

При кодуванні значень  $X_1, X_2, X_3$  верхній рівень позначають +1, нижній –1, а нульовий 0. Кодування фактора  $X_i$  визначається виразом:

$$x_i = \frac{X_i - X_{0i}}{\varepsilon_i}, \quad (4.2)$$

де  $i$  – номер фактора;

$X_i$  – натуральне значення  $i$ -го фактора;

$X_{0i}$  – натуральне значення нульового рівня  $i$ -го фактора;

$\varepsilon_i$  – інтервал зміни  $i$ -го фактора.

Експериментальні дослідження залежності зусилля притискання голки від товщини, діаметра голки та кута нахилу вістря голки до поверхні коров'ячої шкіри (напівшкіри) ДСТУ 2726-94, тирси ладанної ГОСТ 1838-91 та шкіри штучної (вінілштучшкіри) ТУ 17-21-360-85 проводили на рівнях та з



Підставляючи значення коефіцієнтів у (4.1), отримаємо рівняння регресії:

$$y(x_1, x_2, x_3) = 22,839 + 8,212 \cdot x_1 + 3,013 \cdot x_2 + 0,448 \cdot x_3 + 0,725 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,300 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,647 \cdot x_2 \cdot x_3 + 4,716 \cdot x_1^2 + 0,418 \cdot x_2^2 + 0,243 \cdot x_3^2 \quad (4.6)$$

Для отримання натурального рівняння значення коефіцієнта кодування  $X$  згідно з рівнянням (4.2) підставляється в рівняння (4.6), щоб отримати залежність сили проникнення голки в матеріал від товщини матеріалу, діаметра голки і півкута нахилу кінчика голки:

$$Q(h, d, \gamma) = 22,839 + 8,212 \cdot h + 23,22 \cdot d + 3,68 \cdot \gamma + 1,47 \cdot h \cdot d + 1,592 \cdot h \cdot \gamma + 30,79 \cdot d \cdot \gamma + 0,059 \cdot h^2 + 29,52 \cdot d^2 + 31,74 \cdot \gamma^2. \quad (4.7)$$

Отримані рівняння дозволяють описати процес проникнення голки в матеріал з урахуванням трьох факторів: товщини матеріалу, діаметра голки і півкута нахилу вістря голки.

Аналітичні розрахунки були виконані за допомогою програмного пакету MatLAB. Для розрахунку зусиль необхідно ввести основні параметри для розрахунку, тобто геометричні параметри голки та властивості досліджуваного матеріалу. Геометричні параметри голки - це діаметр голки, півкут вістря, довжина вістря, а також велика і мала півосі еліптичного вістря голки, спрямовані в еліптичне вістря. Властивості матеріалу включають в себе товщину матеріалу, модуль стиснення і межу міцності на стиск. У розрахунках також необхідно враховувати поправочний коефіцієнт [3,4].

#### 4.3 Обробка результатів експериментальних досліджень

В результаті аналітичних досліджень були отримані часові залежності зусиль проникнення і розроблена програма розрахунку в програмному пакеті MatLAB (Додаток А).

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк. 80
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Експериментальні дослідження були проведені для наступних параметрів:

- товщина досліджуваного матеріалу,  $h$ ;
- діаметр голки,  $d$ ;
- напівкут крапки загострення голки,  $\gamma$ .

Цикл експериментів

#### 1 Цикл експериментальних досліджень

- шкіра ВРХ (напівшкурок) ДСТУ 2726-94, товщиною  $h=3$  мм;
- голки:
- напівкут  $\gamma=10^\circ$ , діаметр голки  $d=1$  мм;
- напівкут  $\gamma=12,5^\circ$ , діаметр голки  $d=1,3$  мм;
- напівкут  $\gamma=15^\circ$ , діаметр голки  $d=1,6$  мм.

#### 2 Цикл експериментальних досліджень

- бахтармянний спилок ГОСТ 1838-91, товщиною  $h=2$  мм;
- голки:
- напівкут  $\gamma=10^\circ$ , діаметр голки  $d=1$  мм;
- напівкут  $\gamma=12,5^\circ$ , діаметр голки  $d=1,3$  мм;
- напівкут  $\gamma=15^\circ$ , діаметр голки  $d=1,6$  мм.

#### 3 Цикл експериментальних досліджень

– штучна шкіра (вініл-штучна шкіра ) ТУ 17-21-360-85, товщиною  $h=1$  мм;

- голки:
- напівкут  $\gamma=10^\circ$ , діаметр голки  $d=1$  мм;
- напівкут  $\gamma=12,5^\circ$ , діаметр голки  $d=1,3$  мм;
- напівкут  $\gamma=15^\circ$ , діаметр голки  $d=1,6$  мм;

Для наведених вище параметрів за допомогою розробленої програми побудовано графік залежності зусилля проколювання матеріалу голкою від часу. Результати розрахунків зусилля проколювання показані на рисунках 4.1-4.9.

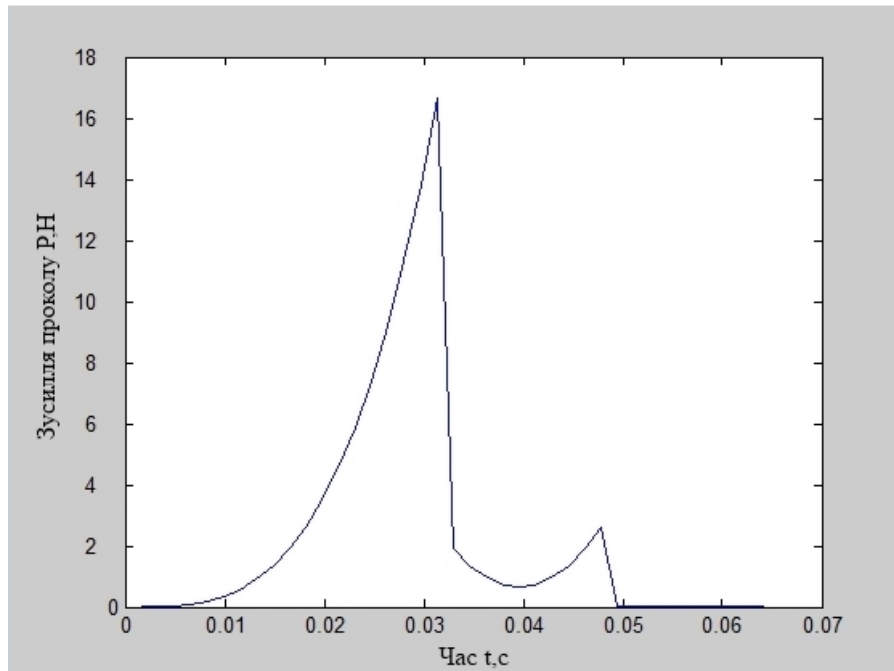


Рисунок 4.1 - Графік залежності зусилля проколу матеріалу голкою під половинним кутом  $\gamma = 10^\circ$  від точки загострення, діаметром голки  $d = 1$  мм і товщиною матеріалу  $h = 1$  мм від часу.

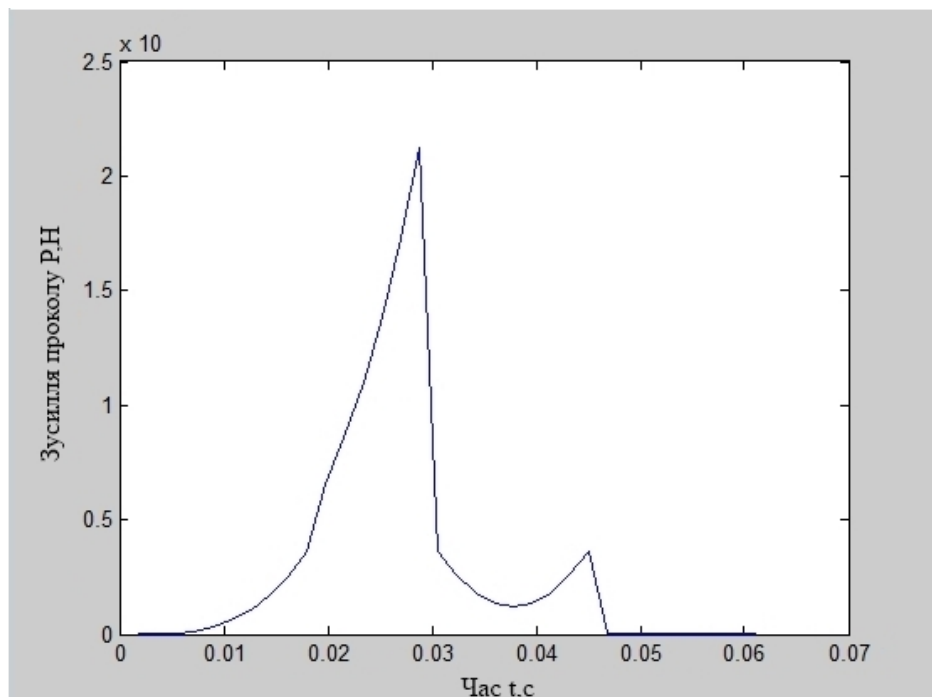


Рисунок 4.2 - Графік зміни сили проникнення голки в матеріал з часом для напівкута загострення  $\gamma = 12,5^\circ$ , діаметра голки  $d = 1,3$  мм і товщини матеріалу  $h = 1$  мм.

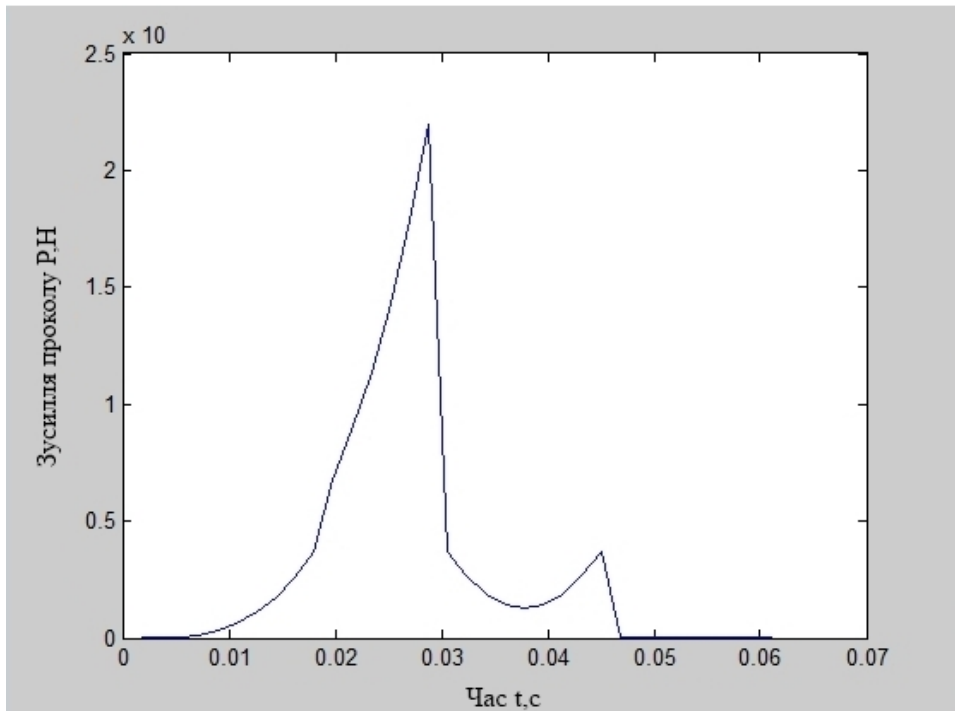


Рисунок 4.3 - Графік зміни сили проколювання матеріалу голкою від часу при гострому напівкуті  $\gamma = 15^\circ$ , діаметрі голки  $d = 1,6$  мм і товщині матеріалу  $h = 1$  мм

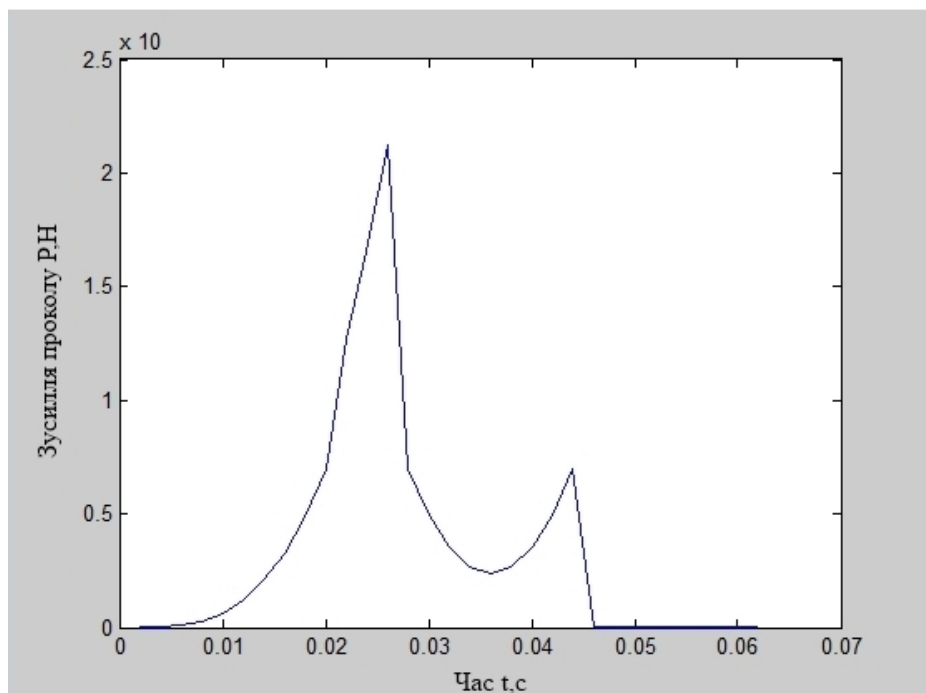


Рисунок 4.4 - Графік залежності сили прилипання голки до матеріалу від часу при гострому напівкуті  $\gamma = 10^\circ$ , діаметрі голки  $d = 1$  мм і товщині матеріалу  $h = 2$  мм

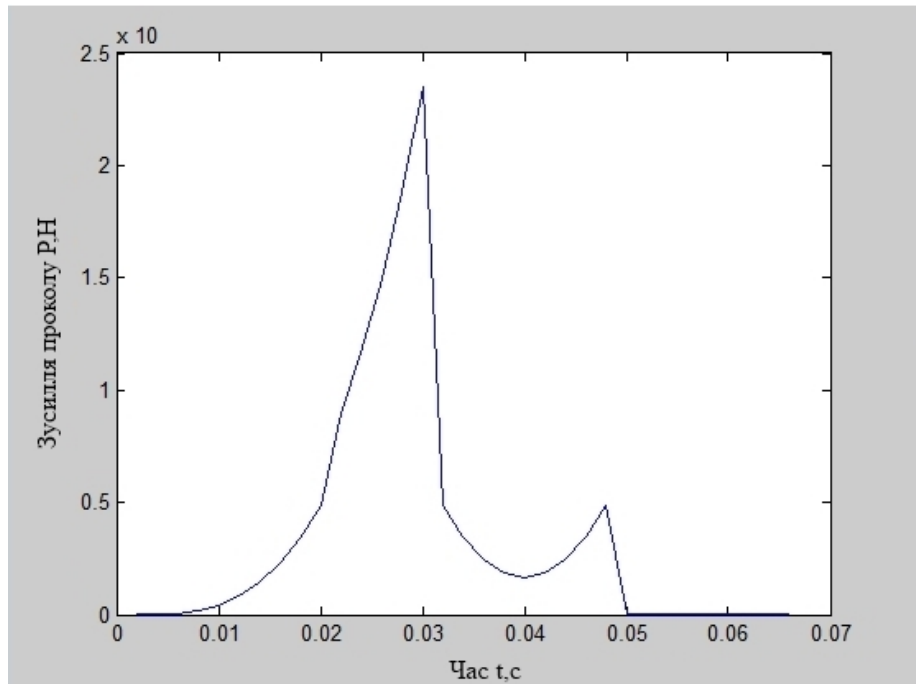


Рисунок 4.5 - Графік зміни зусилля проколу матеріалу голкою від часу у випадку півкута загострення голки  $\gamma = 12,5^\circ$ , діаметра голки  $d = 1,3$  мм і товщини матеріалу  $h = 2$  мм

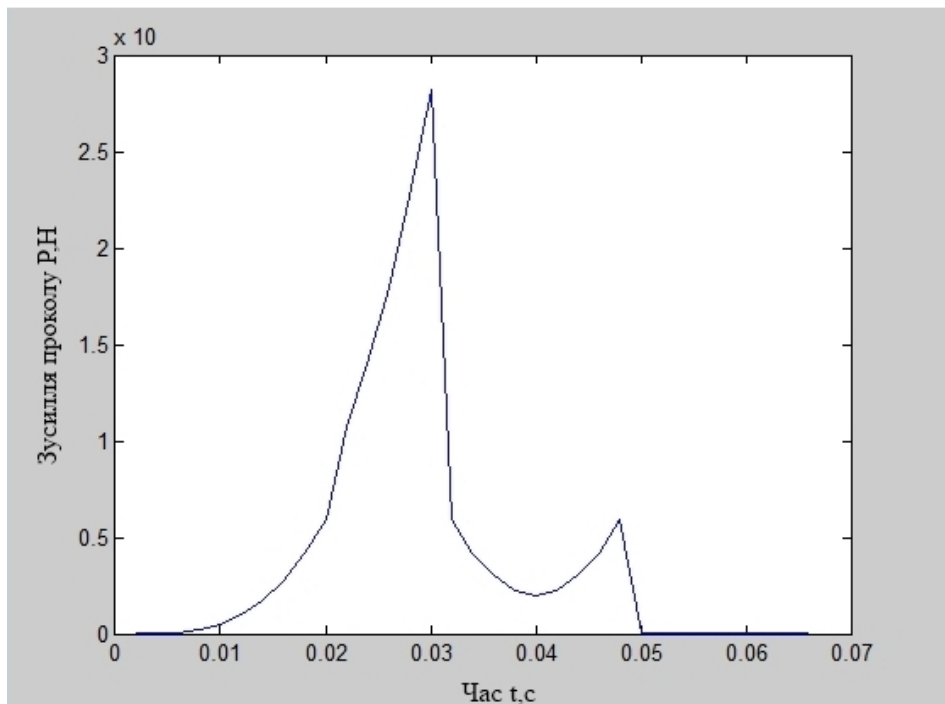


Рисунок 4.6 - Графік зміни сили проникнення голки в матеріал від часу для напівкута загострення голки  $\gamma = 15^\circ$ , діаметра голки  $d = 1,6$  мм і товщини матеріалу  $h = 2$  мм

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

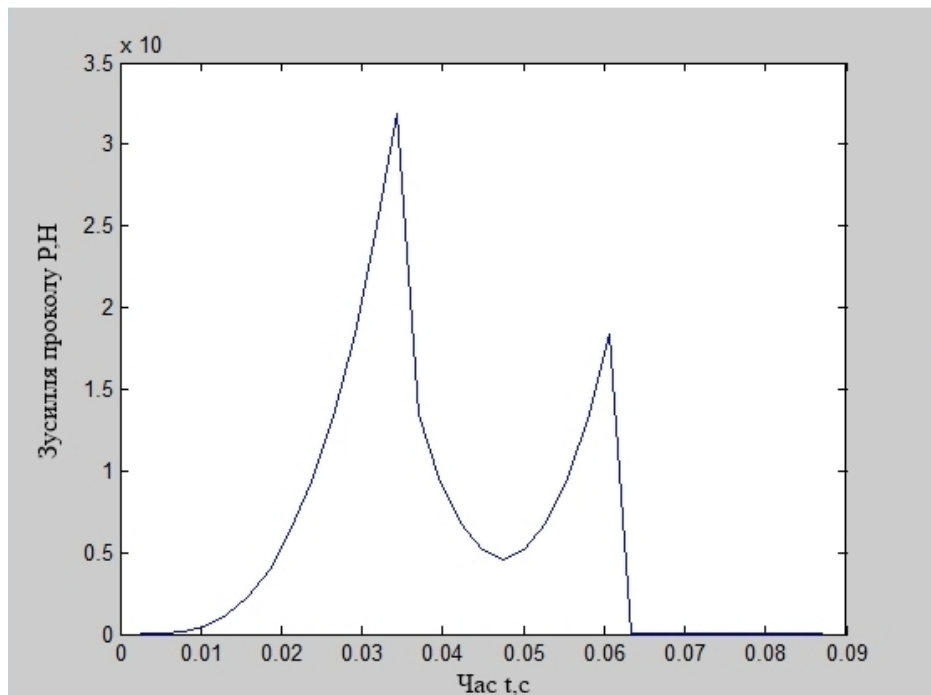


Рисунок 4.7 - Графік зміни сили проникнення голки в матеріал від часу при половинному куті  $\gamma = 10^\circ$  від точки заточування, діаметрі голки  $d = 1,6$  мм і товщині матеріалу 3 мм

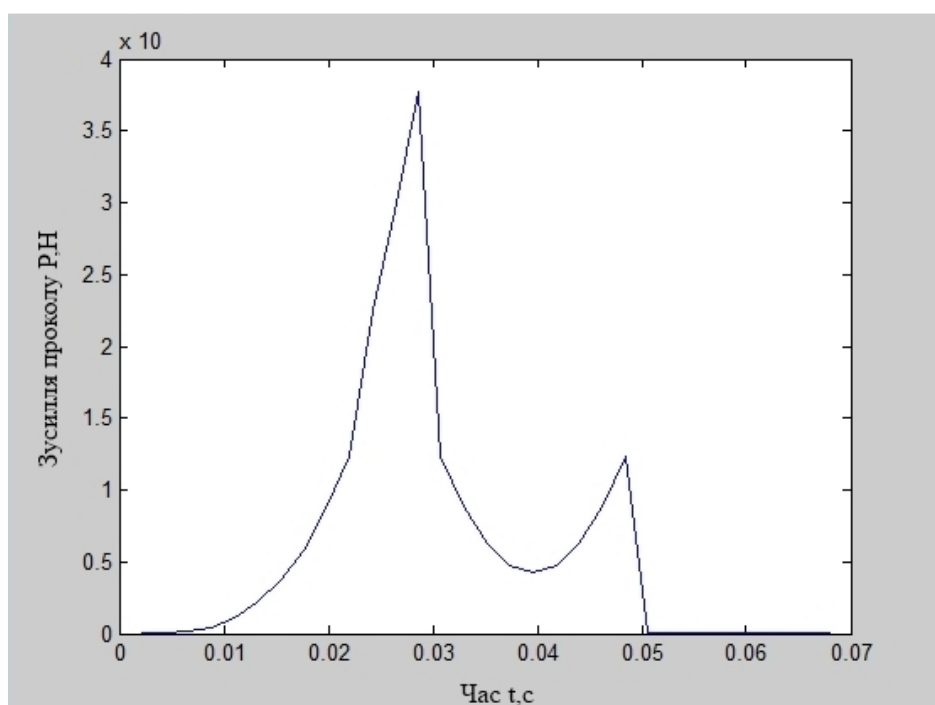


Рисунок 4.8 - Графік зміни зусилля проколювання матеріалу голкою від часу у випадку півкута загострення голки  $\gamma = 12,5^\circ$ , діаметра голки  $d = 1,6$  мм і товщини матеріалу  $h = 3$  мм

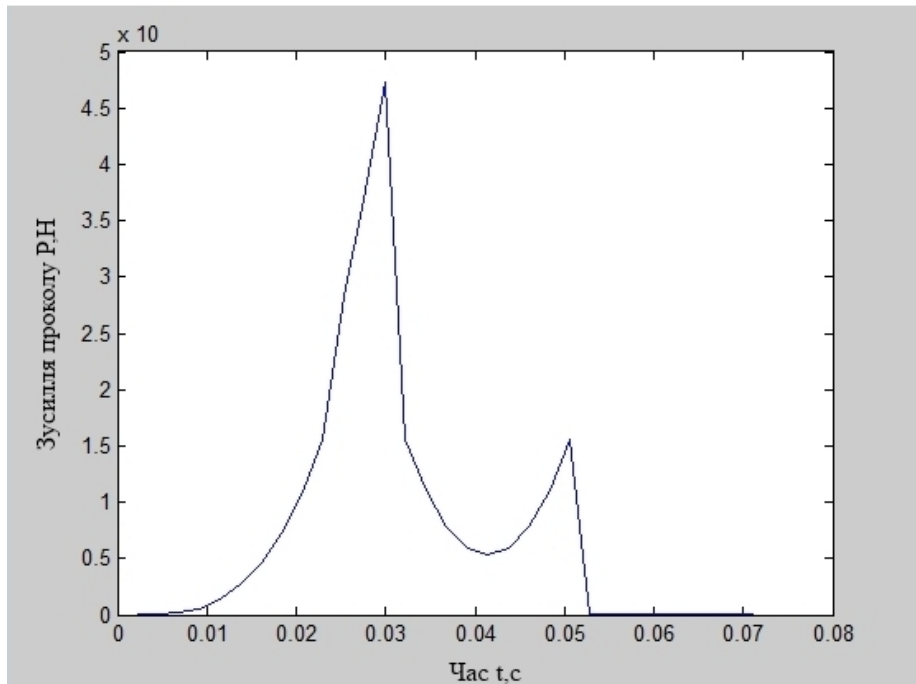


Рисунок 4.9 - Графік залежності сили проникнення голки в матеріал від часу для напівкута загострення голки  $\gamma = 15^\circ$ , діаметра голки  $d = 1,6$  мм і товщини матеріалу  $h = 3$  мм

Результатом проведення циклу експериментальних досліджень є графіки, що приведені на рисунках 4.10 – 4.18.

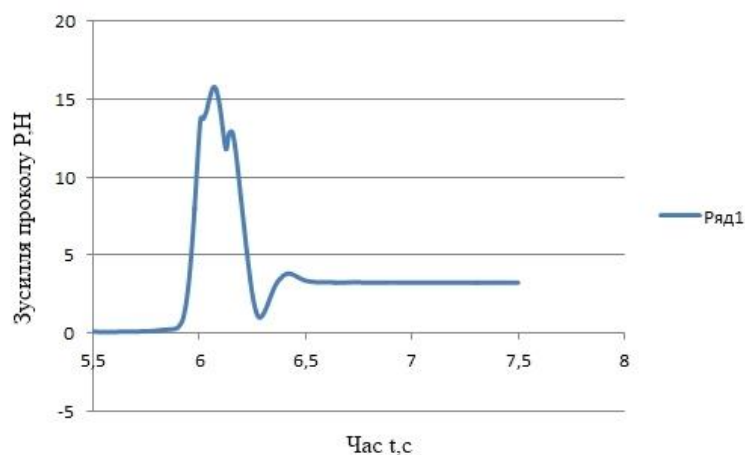


Рисунок 4.10 - Графік залежності зусилля проколу матеріалу голкою під половинним кутом  $\gamma = 10^\circ$  від точки загострення, діаметром голки  $d = 1$  мм і товщиною матеріалу  $h = 1$  мм від часу

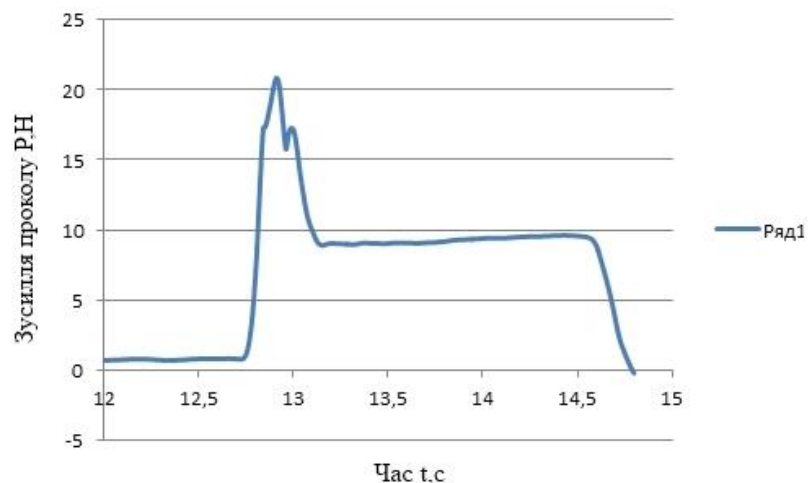


Рисунок 4.11 - Графік зміни сили проникнення голки в матеріал з часом для напівкута загострення  $\gamma = 12,5^\circ$ , діаметра голки  $d = 1,3$  мм і товщини матеріалу  $h=1$  мм

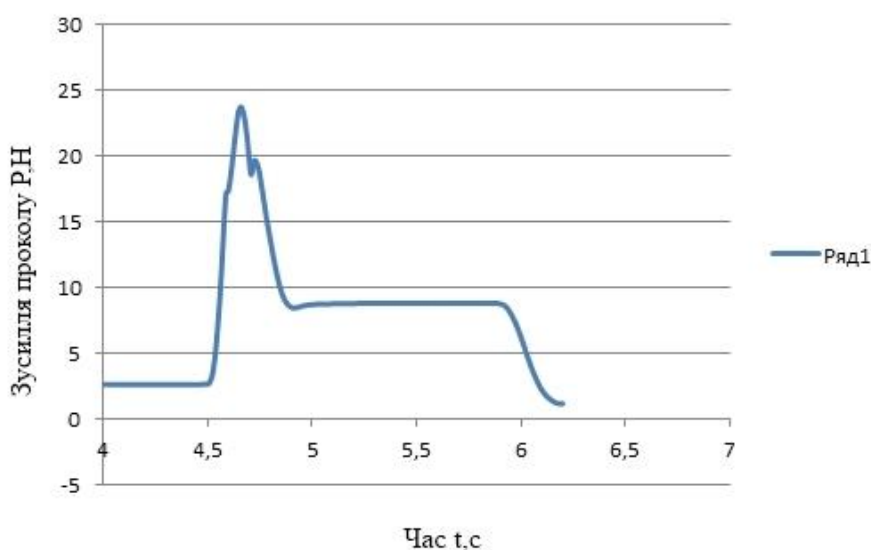


Рисунок 4.12 - Графік зміни сили проколювання матеріалу голкою від часу при гострому напівкуті  $\gamma = 15^\circ$ , діаметрі голки  $d = 1,6$  мм і товщині матеріалу  $h= 1$  мм.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

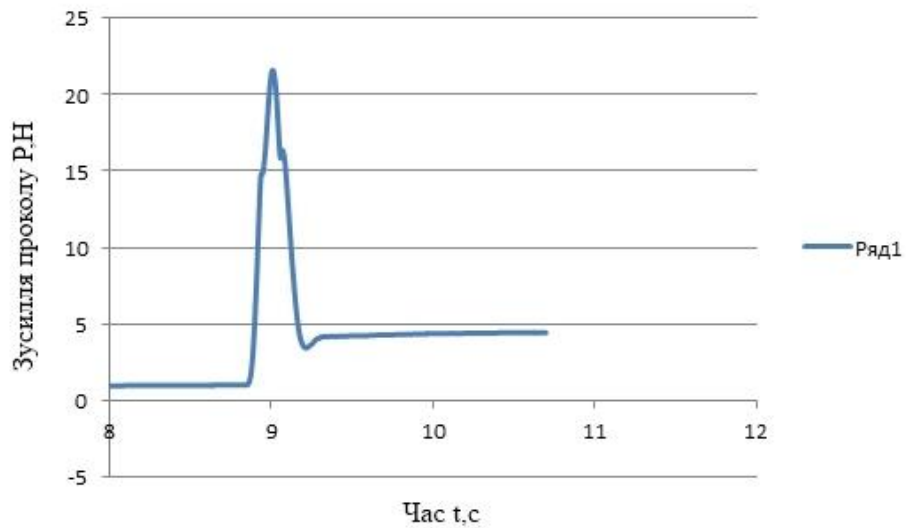


Рисунок 4.13 - Графік залежності сили прилипання голки до матеріалу від часу при гострому напівкуті  $\gamma = 10^\circ$ , діаметрі голки  $d = 1$  мм і товщині матеріалу  $h = 2$  мм

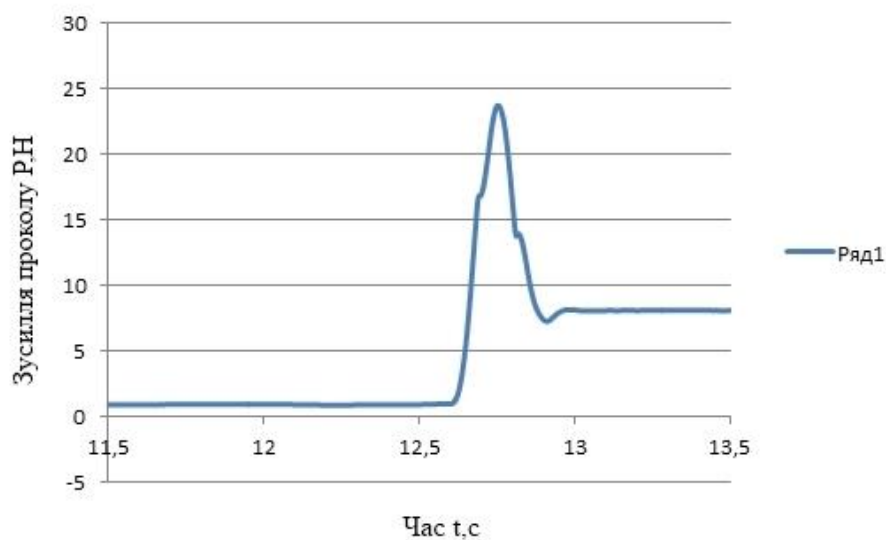


Рисунок 4.14 - Графік зміни зусилля проколу матеріалу голкою від часу у випадку півкута загострення голки  $\gamma = 12,5^\circ$ , діаметра голки  $d = 1,3$  мм і товщини матеріалу  $h = 2$  мм

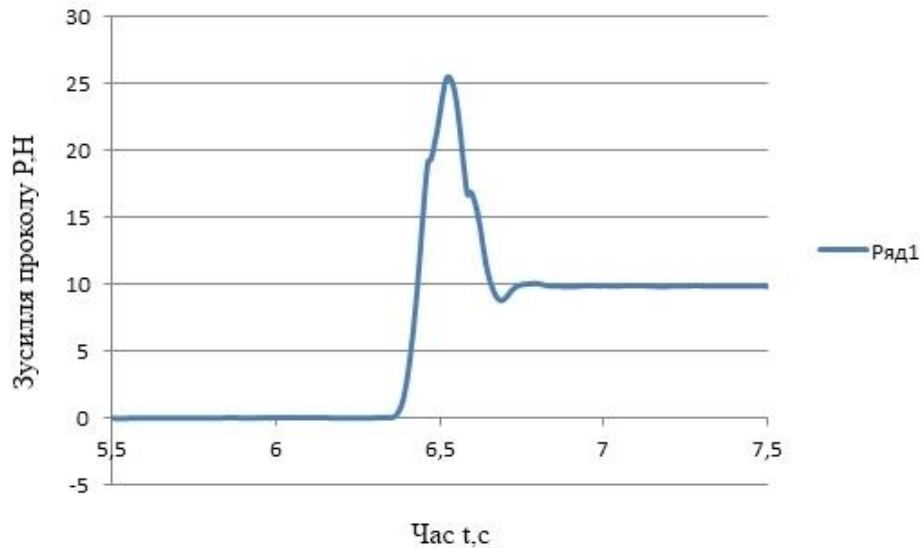


Рисунок 4.15 - Графік зміни сили проникнення голки в матеріал від часу для напівкута загострення голки  $\gamma = 15^\circ$ , діаметра голки  $d = 1,6$  мм і товщини матеріалу  $h = 2$  мм

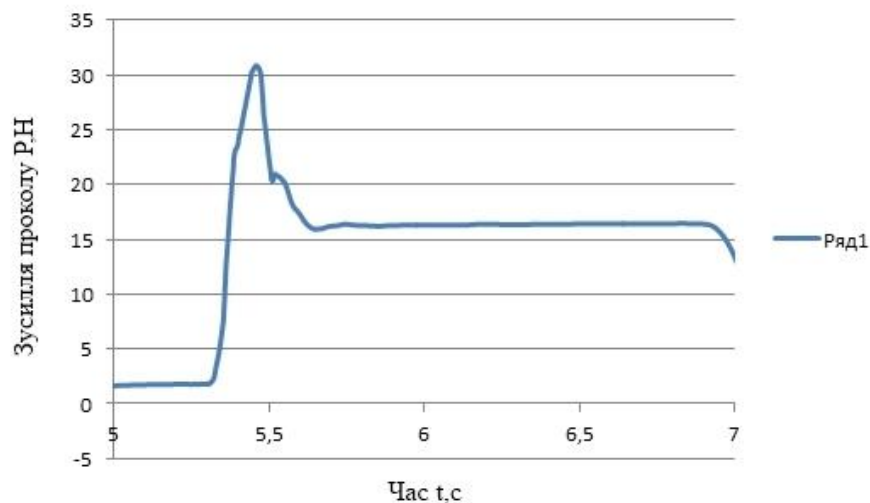


Рисунок 4.16 - Графік залежності зусилля проколу матеріалу голкою під половинним кутом  $\gamma = 10^\circ$  від точки загострення, діаметром голки  $d = 1$  мм і товщиною матеріалу  $h = 3$  мм від часу

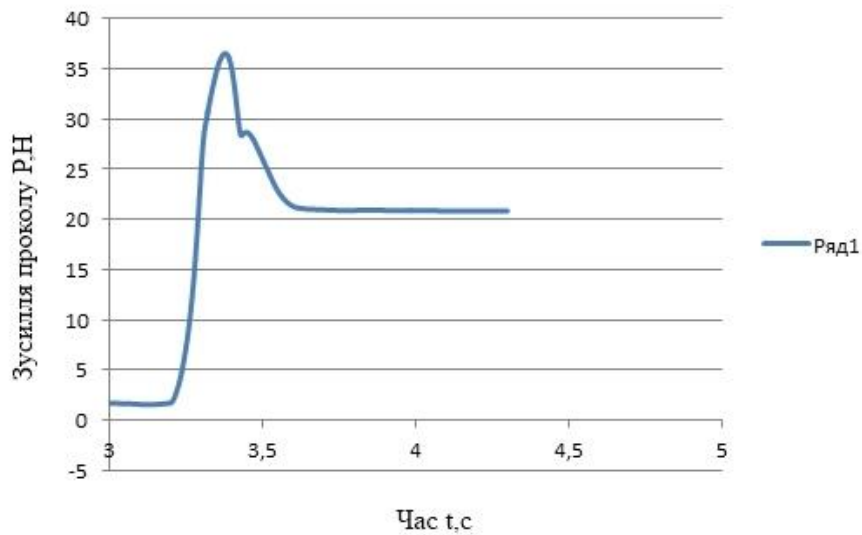


Рисунок 4.17 - Графік зміни зусилля проколу матеріалу голкою від часу у випадку півкута загострення голки  $\gamma = 12,5^\circ$ , діаметра голки  $d = 1,3$  мм і товщини матеріалу  $h = 3$  мм

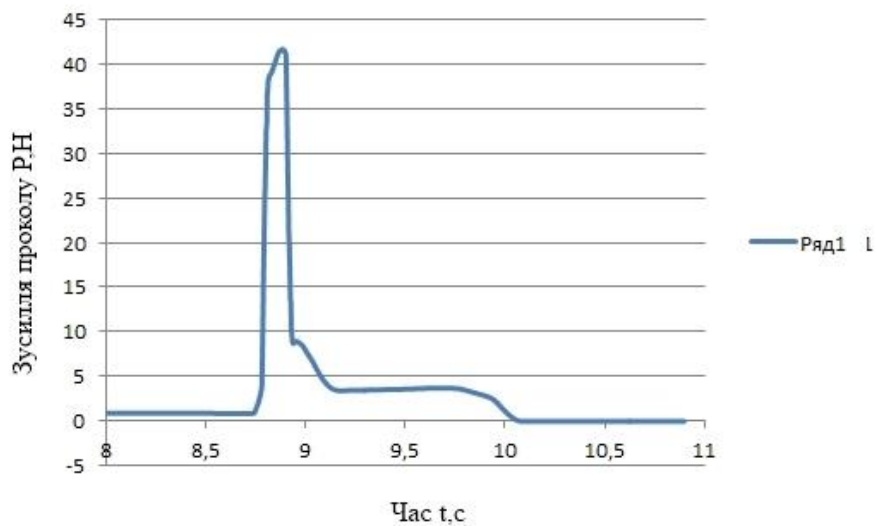


Рисунок 4.18 - Графік залежності сили проникнення голки в матеріал від часу для напівкута загострення голки  $\gamma = 15^\circ$ , діаметра голки  $d = 1,6$  мм і товщини матеріалу  $h = 3$  мм

Порівняння результатів аналітичних та експериментальних досліджень дає графічну залежність сили проникнення голки в матеріал від часу.

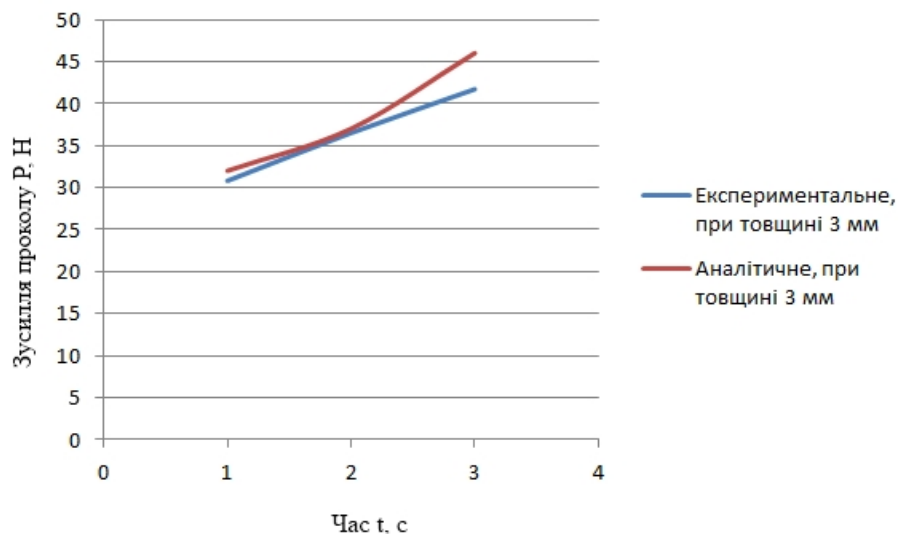


Рисунок 4.19 – Графік залежності зусилля пробивання від часу при товщині матеріалу  $h = 0,003$  м для напівшкір ДСТУ 2726-94.

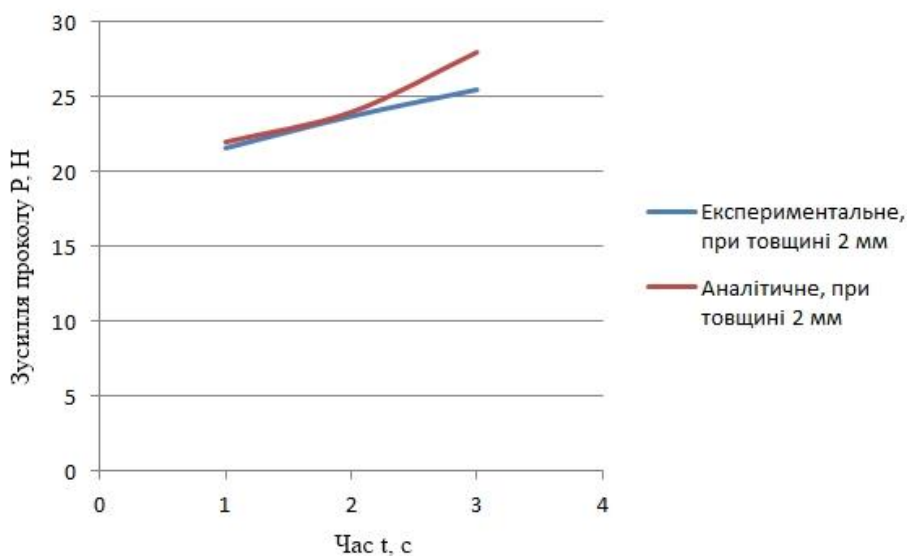


Рисунок 4.20 – Графік залежності сили прилипання від часу при товщині матеріалу  $h = 0,002$  м для динної тирси з ГОСТ 1838-91

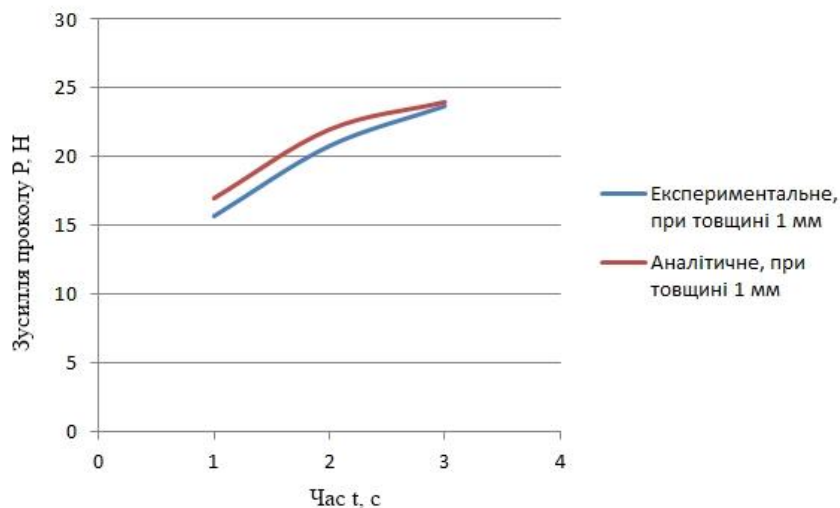


Рисунок 4.21 - Графік залежності сили прилипання від часу при товщині матеріалу  $h = 0,001$  м для вінілштучки ТУ 17-21-360-85.

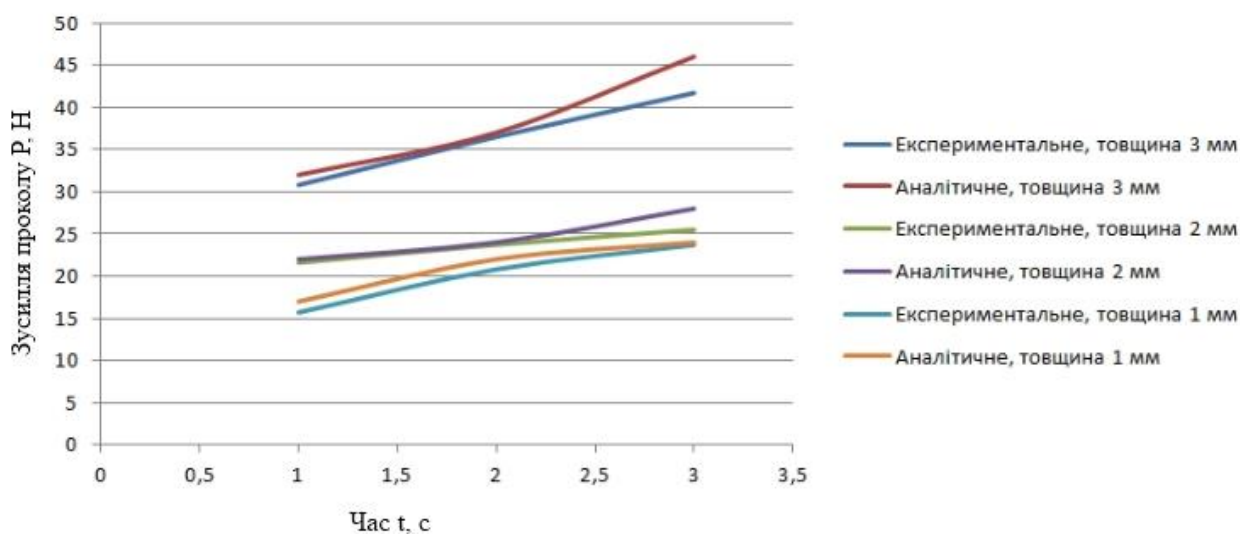


Рисунок 4.22 – Графічна залежність експериментальних та аналітичних значень сили проникнення

Розрахувати величину розбіжності між експериментальними та аналітичними розрахунками величини зусилля проколу матеріалу голкою. Розрахунки проводились на прикладі графіків, наведених на рисунках 4.4 та 4.13.

Для порівняння теоретичних та експериментальних результатів необхідно визначити критичні точки графіків та розрахувати похибку відхилення їх положень (рисунок 4.23).

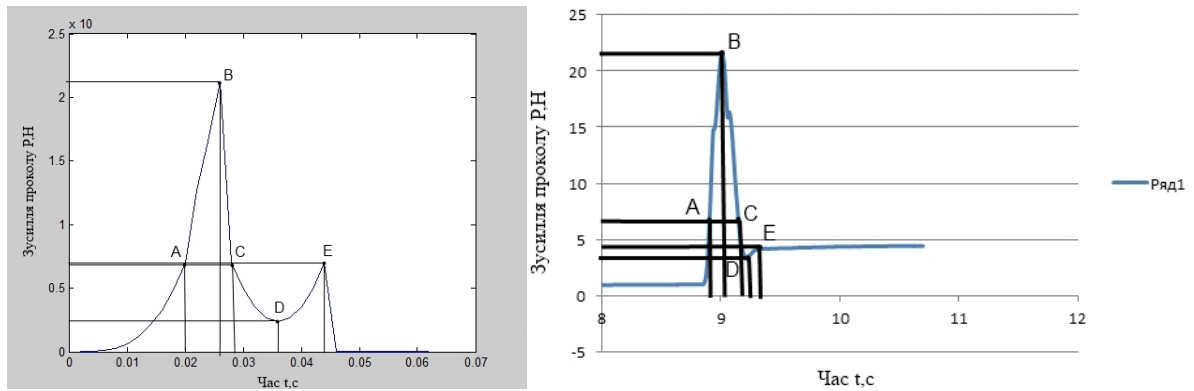


Рисунок 4.23 – Визначення критичних крапок графіку зусилля проколювання матеріалу голкою

Для аналітичних графіків сили критичні точки мають такі значення

$$A = 6,41 \text{ Н};$$

$$B = 22,4 \text{ Н};$$

$$C = 6,6 \text{ Н};$$

$$D = 3,3 \text{ Н};$$

$$E = 6,9 \text{ Н};$$

На експериментальних графіках критичними точками є наступні значення:

$$A = 5,98 \text{ Н};$$

$$B = 21,6 \text{ Н};$$

$$C = 6,25 \text{ Н};$$

$$D = 4,1 \text{ Н};$$

$$E = 4,8 \text{ Н};$$

Обчислити відношення точки А:

$$\frac{6,41}{100} = \frac{5,98}{X}; \quad (4.8)$$

З пропорції знаходимо  $X$  для крапок А:

$$X_A = \frac{5,98 \cdot 100}{6,41} = 93,29; \quad (4.9)$$

Знаходимо відсоток похибки:

$$\Delta_A = 100\% - X = 100 - 93,29 = 6,7\% \quad (4.10)$$

Складаємо пропорцію для крапок В:

$$\frac{22,4}{100} = \frac{21,6}{X}; \quad (4.11)$$

З пропорції знаходимо  $X$  для крапок В:

$$X_B = \frac{21,6 \cdot 100}{22,4} = 96,42; \quad (4.12)$$

Знаходимо відсоток похибку:

$$\Delta_B = 100\% - X = 100 - 96,42 = 3,57\% \quad (4.13)$$

Складаємо пропорцію для крапок С:

$$\frac{6,6}{100} = \frac{6,25}{X}; \quad (4.14)$$

З пропорції знаходимо  $X$  для крапок С:

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						94
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$X_c = \frac{6,25 \cdot 100}{6,6} = 94,69; \quad (4.15)$$

Знаходимо відсоток похибки:

$$\Delta_c = 100\% - X = 100 - 94,69 = 5,3\% \quad (4.16)$$

Складаємо пропорцію для крапок D:

$$\frac{4,1}{100} = \frac{3,3}{X}; \quad (4.17)$$

З пропорції знаходимо X для крапок D:

$$X_D = \frac{3,3 \cdot 100}{4,1} = 124,24; \quad (4.18)$$

Знаходимо відсоток похибку:

$$\Delta_D = 100\% - X = 100 - 124,24 = -24,24\% \quad (4.19)$$

Складаємо пропорцію для крапок E:

$$\frac{6,9}{100} = \frac{4,8}{X}; \quad (4.20)$$

З пропорції знаходимо X для крапок E:

$$X_E = \frac{4,8 \cdot 100}{6,9} = 69,59; \quad (4.21)$$

Знаходимо відсоток похибку:

$$\Delta_E = 100\% - X = 100 - 69,59 = 30,43\% \quad (4.22)$$

Знаходимо загальну величину похибки програми відносно експериментального значення зусилля проколювання матеріалу голкою:

$$\Delta = \frac{6,7 + 3,57 + 5,3 + 24,24 + 30,43}{5} = 4,35\% \quad (4.23)$$

#### 4.4 Висновки до розділу 4

1. розраховано різницю між теоретичним та експериментальним зусиллям притискання голки для інших параметрів за описаною вище методикою;

2. 2. зроблено висновок про адекватність експериментальних та теоретичних значень і про те, що математична модель (розділ 2) описується з прийнятними похибками;

3. 3. розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями становить 5%; Розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями не є суттєвою; 5. розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями не є суттєвою. Розбіжності між математичною моделлю та експериментальними результатами пояснюються деякими невідповідностями в математичній моделі, викликаними припущеннями та спрощеннями, зробленими в аналітичному дослідженні.

4. Таким чином, аналітичні розрахунки з використанням програмного пакету MatLAB показують достовірні значення сили вколювання голки з прийнятними похибками. Це дає можливість зрозуміти, які зусилля прикладаються при проколюванні голкою матеріалу без будь-яких експериментів, а лише за допомогою програми.

## ВИСНОВКИ

Під час роботи над темою магістерської роботи було проведено аналіз видів заточування голок та вістря, що використовуються для зшивання різних типів матеріалів. Вивчено процес проколювання матеріалу та проаналізовано фактори, що впливають на його якість.

З метою подальшого вивчення та кращого розуміння процесу проколювання матеріалу було проведено математичний аналіз сили проколювання з використанням математичної та фізичної моделей процесу проколювання голкою матеріалу.

Для аналізу сили проколу проведено теоретичний розрахунок сили проколу шкіри голкою з еліптичним гострим кінчиком, розроблено програму в програмному пакеті MatLAB для визначення сили проколу матеріалу голкою та отримано графік сили проколу матеріалу голкою.

Для перевірки достовірності даних аналітичного дослідження було проведено серію експериментальних досліджень на спеціально сконструйованому лабораторному стенді для вивчення процесу зусилля проколу.

Досліджено типи датчиків та методи збору і реєстрації даних: розроблено віртуальну схему приладів за допомогою програмного пакету LabVIEW для обробки сигналів з двох каналів та зняття вхідних даних про зусилля проколювання та кут повороту головного валу.

Для проведення експериментів було розроблено експериментальну установку. Це дозволило визначити оптимальну кількість експериментів.

Після проведення експериментів та обробки експериментальних і аналітичних даних було зроблено висновок, що аналітичні розрахунки з використанням програмного пакету MatLAB показали, що сила заклинювання голки достовірна з похибкою 5%.

Це дало можливість зрозуміти величину зусилля, з яким голка проникає в матеріал, тільки за допомогою програмного забезпечення, без необхідності

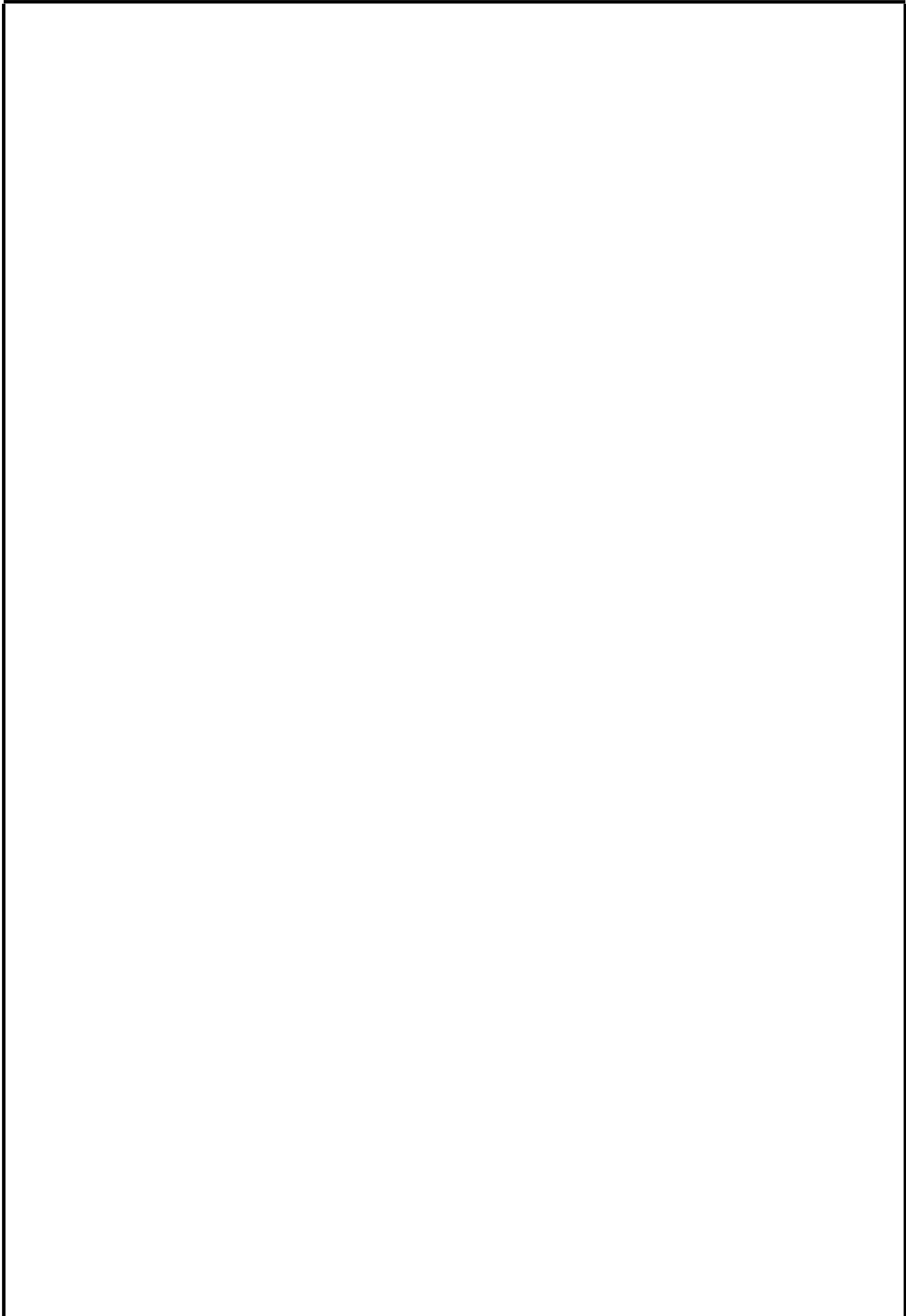
					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк. 97
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

проведення експериментів. Виходячи з вищесказаного, можна зробити висновок, що дане дослідження є актуальним в даний час. Застосовуючи ортогональні залежності на практиці, можна підібрати правильний розмір голки (тип вістря) для кожного конкретного випадку і розробити нові геометрії голок.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						98
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						99
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						100
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		