

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

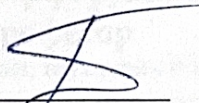
## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

# Розробка пристрою з двохкоординатною системою переміщення робочого органу для перфорування деталей верху взуття

Галузь знань 13 Механічна інженерія  
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

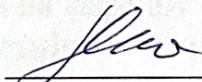
Шифр БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент  
3 курсу групи РМс-22-2

  
Підпис

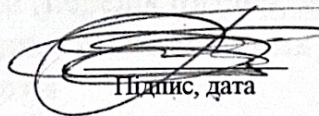
Петравчук М.С.  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

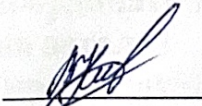
д.т.н., проф. Скиба М.Є.  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

к.т.н. Тимошук О.Г.  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри МАЕЕС

  
Підпис, дата

к.т.н., доц. Неймак В.С.  
Ініціали, прізвище

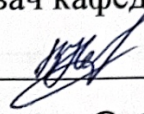
2 06 2025 р.

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем  
Освітній рівень бакалавр  
Галузь знань 13 Механічна інженерія  
Спеціальність 131 «Галузеве машинобудування»  
Освітня програма Робототехнічні та мехатронні системи галузі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

  
\_\_\_\_\_

2. 06 2025

## ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ **Петравчук Максим Сергійович** Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи **Розробка пристрою з двохкоординатною системою переміщення робочого органу для перфорування деталей верху взуття**  
керівник роботи **Скиба М.Є., д.т.н, професор**

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

Затверджено наказом ректора університету від 7 02 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 2.06.25

3. Вихідні дані до роботи: **технічні характеристики машин для перфорування деталей взуття та матеріалів**

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

1 **Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики бакалаврської роботи**

2 **Розробка пристрою з двохкоординатною системою переміщення робочого органу для перфорування деталей**

3 **Розрахунки, що підтверджують працездатність пристрою**

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

Аркуш 1. Обладнання для перфорування деталей взуття. Док. оглядовий (A1). Аркуш 2. Пристрій для перфорування деталей взуття. Схема структурна (A1). Аркуш 3. Лінійний електромагнітний двигун. Вид загальний (A1). Аркуш 4. Пристрій живлення та управління електромагнітним двигуном. Схема електрична (A1). Аркуш 5. Пристрій з двохкоординатною системою переміщення для перфорування деталей. Документ ілюстраційний (A1).

### 6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики бакалаврської роботи	20.05.25р.	
2 Розробка пристрою з двохкоординатною системою переміщення робочого органу для перфорування деталей	01.06.25р.	
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність пристрою	07.06.25р.	
4 Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	15.06.25р.	

Студент

Підпис

Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис

Ініціали, прізвище

# АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента  
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

1. Прізвище, ім'я та по батькові **Петравчук Максим Сергійович**

---

2. Тема бакалаврської роботи **Розробка пристрою з двохкоординатною системою переміщення робочого органу для перфорування деталей верху взуття**

---

---

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

---

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 69

5. Удосконалення пристроїв для перфорування деталей взуття на основі сучасних принципів автоматизації, програмного керування та енергозбереження є важливим кроком до підвищення ефективності виробництва та зниження його собівартості. Розробка машини з двохкоординатною системою переміщення є перспективним напрямом технічного розвитку для підприємств легкої промисловості, що прагнуть відповідати сучасним вимогам ринку. Тому тема бакалаврської роботи є актуальною. В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики бакалаврської роботи. В другому розділі проведено розробку пристрою з двохкоординатною системою переміщення робочого органу для перфорування деталей. В третьому розділі виконано розрахунки, що підтверджують працездатність пристрою.

Підпис студента \_\_\_\_\_

" 2 " 06 2025 р.

## РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 1 від "18" 06 2025 р.

Оцінка проекту ЕК 4,0 / C  
Рекомендації ЕК —

---

---

Особливі відмітки —

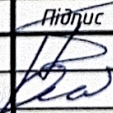
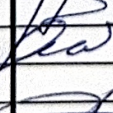

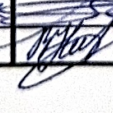
Технічний секретар \_\_\_\_\_

" 18 " 06 2025 р.

## ЗМІСТ

		стор.
	Вступ	6
1	Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики бакалаврської роботи	8
1.1	Способи оздоблення шкіряних виробів	8
1.2	Огляд операції перфорування в технологічному процесі	13
1.3	Огляд обладнання для виконання операції перфорування деталей	16
1.4	Огляд конструкцій систем двокоординатного переміщення матеріалу	32
1.5	Висновки до першого розділу	40
2	Розробка пристрою для перфорування деталей верху взуття	41
2.1	Розробка структурної схеми пристрою для перфорування деталей верху взуття	41
2.2	Система переміщення деталей	43
2.3	Вибір конструкції лінійного електричного двигуна	44
2.4	Загальний вигляд лінійного електричного двигуна	48
2.5	Блок живлення та керування роботою лінійного електричного двигуна	48
2.6	Підбір пробійників для виконання операції перфорування деталей верху взуття	51
2.7	Загальний вигляд пристрою для перфорування деталей верху взуття	52
2.8	Висновки до другого розділу	54
3	Розрахунки, що підтверджують працездатність пристрою для перфорування деталей верху взуття	55

БРМА25.00.00.000ПЗ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
		Петравчук			Розробка пристрою з двокоординатною системою переміщення робочого органу для перфорування деталей верху взуття	Літ.	Арк.	Аркушів
		Скиба					4	69
		Геллачук				ХНУ зр.РМс-22-2		
		Неймак						

3.1	Розрахунок пружини лінійного електричного двигуна	55
3.2	Висновки до третього розділу	63
	Висновки	65
	Перелік джерел посилання	67
	Додаток А	

## ВСТУП

В умовах сучасного соціально-економічного розвитку України енергетичний чинник відіграє ключову роль у формуванні стабільної та конкурентоспроможної економіки. Зростання вартості енергоресурсів, обмеженість традиційних джерел енергії та потреба у зменшенні енергозалежності країни зумовлюють необхідність впровадження заходів із енергозбереження у всіх секторах виробництва. Одним із пріоритетних напрямів є підвищення енергоефективності технологічних процесів, що забезпечить зниження витрат, підвищення якості продукції, а також загальну модернізацію виробничих потужностей.

Особливої актуальності ці питання набувають у взуттєвій промисловості, де технологічні операції вирубування та перфорування деталей верху взуття потребують високої точності, швидкості та надійності. Неправильний підбір матеріалів вирубних плит або геометричних параметрів ріжучого інструмента може спричинити підвищене зношення обладнання, зростання енергоспоживання, зниження якості обробки, а також додаткові витрати на обслуговування. Все це негативно позначається на ефективності виробництва та товарному вигляді готової продукції, що особливо важливо у конкурентному середовищі.

У цьому контексті тема бакалаврської роботи «Розробка машини з двохкоординатною системою переміщення для перфорування деталей верху взуття» є надзвичайно актуальною та практично значущою. Розробка такої машини дозволить реалізувати енергоефективний і високоточний процес перфорування заготовок, забезпечуючи автоматизоване керування траєкторією інструмента в площині XY. Це відкриває нові можливості для виготовлення складних візерунків перфорації, покращення зовнішнього вигляду виробів та підвищення продуктивності праці.

Ключовим завданням у межах цієї роботи є створення сучасної конструкції машини з оптимальною системою приводів, впровадження адаптивного

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

керування рухом ріжучого інструмента, а також вибір енергоощадних технічних рішень. Використання двохкоординатної системи переміщення дозволяє не лише точно позиціонувати робочий інструмент, а й реалізовувати складні технологічні операції без необхідності ручного втручання, що значно знижує ризики помилок і втрати матеріалу.

Таким чином, удосконалення пристроїв для перфорування деталей взуття на основі сучасних принципів автоматизації, програмного керування та енергозбереження є важливим кроком до підвищення ефективності виробництва та зниження його собівартості. Розробка машини з двохкоординатною системою переміщення є перспективним напрямом технічного розвитку для підприємств легкої промисловості, що прагнуть відповідати сучасним вимогам ринку.

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ТЕМАТИКИ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

## 1.1 Способи оздоблення шкіряних виробів

У процесі розробки нових моделей взуття важливу роль відіграє застосування різноманітних способів художньо-декоративної обробки деталей як верху, так і низу виробу. Ці способи забезпечують не лише індивідуальний стиль і привабливий зовнішній вигляд готового взуття, але й дозволяють урізноманітнити модельний ряд продукції, зберігаючи при цьому високий рівень функціональності.

Основною метою обробки деталей верху взуття є надання їм завершеного естетичного вигляду вже на етапі виготовлення заготовок. Серед методів декоративної обробки особливе місце займає тиснення, яке застосовується для нанесення художніх візерунків на поверхню натуральної, синтетичної або штучної шкіри. Технологія тиснення полягає в створенні відбитків шляхом гарячого пресування за допомогою формувальних плит з візерунком. Цей візерунок може бути нанесений на плиту офсетним способом або за допомогою гравірування. Режими тиснення залежать від типу матеріалу, але зазвичай включають температуру плит у межах 90–100 °С, тривалість контакту з матеріалом 3–5 секунд і тиск 6–16 МПа, що забезпечує чіткий і стійкий відбиток на поверхні шкіри.

Ще одним поширеним методом оздоблення, особливо актуальним при виготовленні літнього взуття, є перфорування деталей верху взуття [1, 2]. Цей процес здійснюється з використанням змінних перфораційних матриць і має подвійну функцію: декоративну та функціональну, оскільки сприяє покращенню повітропроникності та комфорту в умовах підвищених температур (рис. 1.1). На практиці перфорування часто поєднують із операціями розмітки контурів, ліній

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

зшивання, а також з нанесенням орієнтирів для декоративних стрічок, що полегшує процес подальшого складання заготовок верху [3].

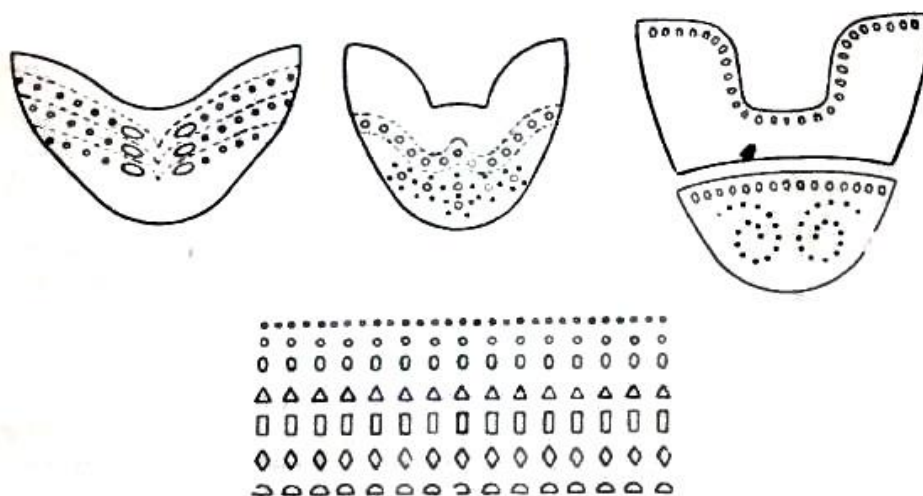


Рисунок 1.1 – Види перфорування деталей верху взуття

За своєю технологічною природою перфорування є близьким до операції вирубування, оскільки також ґрунтується на локальному руйнуванні матеріалу. Однак на відміну від вирубування, де відокремлюють великі фрагменти матеріалу, перфорування передбачає формування отворів малого діаметра, які можуть бути розміщені на незначній відстані один від одного — відстань між центрами отворів зазвичай співрозмірна з діаметром самих пробійників [4]. Такий підхід дозволяє реалізувати складні художні композиції, підкреслюючи дизайн взуття та його стилістичну концепцію.

Операції перфорування, як і інші оздоблювальні процеси, виконуються до етапу остаточного складання заготовки. Їхнє основне призначення - підвищення привабливості виробу, що є важливим чинником у сучасному конкурентному середовищі. Правильне поєднання декоративних елементів з основними конструктивними деталями сприяє формуванню гармонійного стильового образу, забезпечуючи баланс між естетикою та ергономікою виробу.

Особливо важливу роль відіграє стилізація, тобто створення певного образу або імітація форми за допомогою елементів оздоблення. У дитячому асортименті

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

та в моделях відкритого літнього взуття стилізація часто використовується для досягнення емоційного ефекту. Наприклад, домашнє взуття із декоративними елементами у вигляді вушок чи мордочок тварин (що нагадують зайчика), або вирізи, що імітують ремінці чи шнурівку, формують образ і сприяють візуальній привабливості продукції для цільової аудиторії.

У процесі проектування та виготовлення сучасного взуття декоративна обробка деталей відіграє важливу роль як у формуванні візуального образу, так і у забезпеченні функціональних характеристик виробу. Види оздоблення, що використовуються у взуттєвому виробництві, умовно поділяються на три основні категорії залежно від їх функціонального призначення та технологічного застосування [4].

#### 1. Оздоблення, що є невід'ємною частиною конструкції (рис. 1.2).

До цієї групи належать елементи, які не тільки виконують декоративну функцію, а й входять до конструктивної будови взуття. Таке оздоблення включає поєднання матеріалів за кольоровою гамою та фактурною структурою, використання блискіток, декоративних вставок, декоративних одворотів і обстрочок, а також гофрованих і прихованих еластичних елементів, обтягнутих шкірою. Сюди також входять м'які оздоблення верхнього краю з виворітного матеріалу, декоративні зав'язки, елементи зборки, заціпи, а також так звані «рустикальні» (виведені назовні) шви.

Крім того, до конструктивної обробки відноситься робоча фурнітура - блочки, гачки, пряжки, петлі, гудзики, блискавки, що забезпечують функціонування застібних елементів. Без цієї категорії оздоблення неможливо виготовити повноцінне функціональне взуття або сформувати готову модель. Ці елементи поєднують у собі як естетичну, так і практичну цінність, забезпечуючи комфорт і зручність експлуатації.

#### 2. Оздоблення, що наноситься безпосередньо на деталі верху взуття (рис. 1.3).

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ця група включає декоративні елементи, що застосовуються на етапі виготовлення деталей верху й можуть бути реалізовані за допомогою механічної, термічної чи комбінованої обробки. До неї належать перфорації, декоративні й ажурні машинні рядки, фігурні вирізи та контурні відсічення, вишивка, тиснення, шовкографія, а також технології тонування матеріалу.



Рисунок 1.2 – Моделі взуття з оздобленням, що є частиною конструкції

Перфорація відіграє особливу роль у створенні літнього взуття, оскільки виконує як естетичну, так і функціональну функцію. Вона забезпечує додаткову вентиляцію та дозволяє створювати художні візерунки на шкірі або синтетичних матеріалах. Залежно від конструктивного задуму, перфорація може мати вигляд ізольованих «кущів» отворів, слугувати фоном для декоративної строчки, або ж утворювати стилізовані форми й композиції.

Процес перфорування здійснюється з використанням змінних матриць. За технологічною природою ця операція подібна до вирубування, оскільки також передбачає локальне руйнування матеріалу шляхом прикладання зусилля через пробійники. У результаті формується система отворів малого діаметра,

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

розміщених на незначній відстані один від одного — зазвичай співрозмірній з діаметром самого інструмента [4].

Мета виконання цієї операції полягає в декоративному оформленні та забезпеченні повітропроникності верхніх деталей літнього взуття.

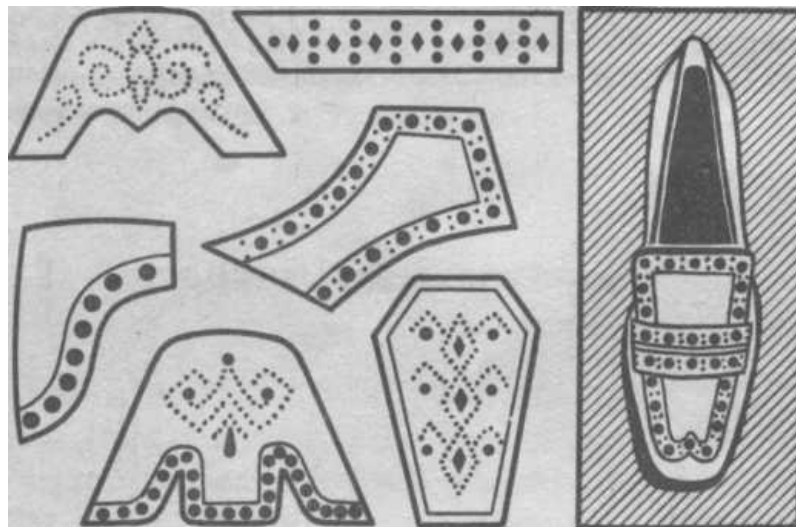


Рисунок 1.3 – Рисунки перфорації

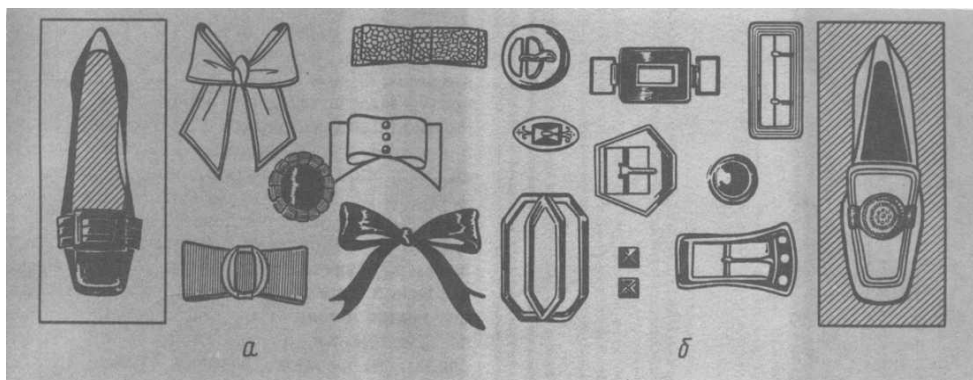
### 3. Оздоблення, що доповнює конструкцію (рис. 1.4) [5, 6].

До цієї категорії належить накладне оздоблення, яке не входить до базової конструкції, але відіграє важливу роль у стилізації та завершенні зовнішнього вигляду взуття. Це, зокрема, декоративні елементи, що прикріплюються до поверхні або швів взуття: банти, декоративні язички, перемички, петлі тощо.

Окрему групу становить декоративна фурнітура, яка не виконує безпосередньої функції застібки, але додає взуттю естетичної привабливості. До неї належать декоративні пряжки, гудзики, кнопки, наконечники, кільця, вуздечки, ланцюжки тощо. Ці елементи можуть мати спеціальні покриття: золочення, сріблення, міднення, нанесення кольорових емалей та інші варіанти декоративної обробки поверхні.

Залежно від типу, матеріалу, функціонального призначення та модельної групи взуття, в практиці виробництва можуть застосовуватися як окремі види обробки, так і їх комбінації, що дозволяє реалізовувати широкий спектр стильових рішень.

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12



а – банти; б – декоративна фурнітура

Рисунок 1.4 – Декоративні елементи взуття:

## 1.2 Огляд операції перфорування в технологічному процесі

Операція перфорування деталей верху взуття, виготовлених із різних видів матеріалів, виконується з використанням змінних матриць і має на меті не лише декоративне оформлення взуття, але й забезпечення його функціональних властивостей - зокрема, покращення вентиляції у виробах літнього асортименту. Така операція за технологічною сутністю подібна до вирубування, оскільки також передбачає локальне руйнування матеріалу шляхом прикладання зусилля через ріжучий інструмент [7]. Водночас особливістю перфорування є формування численних отворів невеликого діаметра, розміщених на незначній відстані один від одного, яка часто є співрозмірною з діаметром самих отворів.

Перфорування можна трактувати як різновид операції пробивання отворів, яка широко застосовується у виробах швейної, взуттєвої та шкіряно-галантерейної промисловості. У взуттєвому виробництві пробивання необхідне, зокрема, для підготовки отворів під декоративні елементи або вентиляційні отвори у деталях верху. У шкіряно-галантерейній галузі дана технологія активно використовується, наприклад, при виготовленні ременів, сумок, гаманців та інших виробів, де потрібна точна й акуратна перфорація або встановлення фурнітури.

Пробивання отворів у швейних та взуттєвих матеріалах, як правило, здійснюється під установку металевої фурнітури - люверсів, кнопок, заклепок

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

тощо. Часто ці операції виконуються на універсальному пресовому обладнанні, яке одночасно може виконувати як пробивання отворів, так і встановлення самої фурнітури. Це дозволяє зменшити кількість переходів у технологічному процесі, скоротити час обробки й підвищити продуктивність.

Слід зазначити, що процеси вирубування, перфорування та пробивання отворів у матеріалах легкої промисловості є досить складними з технічної точки зору. Вони залежать від багатьох чинників - як явних (властивості матеріалу, форма й стан інструмента, жорсткість обладнання), так і прихованих (температурні коливання, залишкові напруги в матеріалі, якість заточування різака тощо). Особливо ускладнюється ситуація при динамічних навантаженнях, що виникають при високошвидкісній роботі пресів.

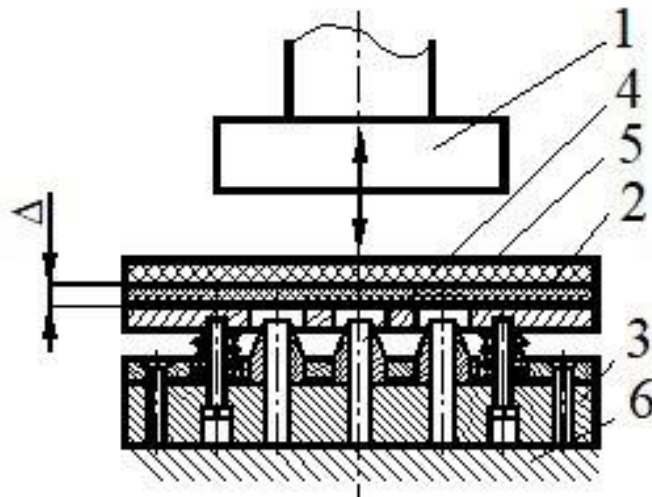
Пробивання отворів у виробах швейної, взуттєвої та галантерейної промисловості, як уже зазначалося, у більшості випадків поєднується з подальшим встановленням металевих елементів фурнітури. Такі операції виконуються здебільшого на тому ж обладнанні, яке буде розглянуто в подальшому.

Технологічні операції перфорування деталей у взуттєвому виробництві здебільшого виконуються на пресовому обладнанні, яке забезпечує необхідну точність і стабільність процесу. Згідно з методикою, описаною у джерелі [3], процес перфорування здійснюється в кілька етапів за допомогою спеціалізованої оснастки.

На першому етапі заготовку деталі верху взуття 2 (рис. 1.5) розміщують на верхній частині опорної платформи, яка входить до складу перфораційної матриці 3. Матриця закріплена на рухомій каретці, яка переміщується вручну оператором у зону обробки, безпосередньо під робочий орган преса.

Після введення матриці в робочу зону та активації преса, каретка з матрицею піднімається до упора в траверсу, де встановлені пробивні елементи - просічки 4.

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 - пуансон; 2 - заготовка; 3 - перфораційна матриця; 4 - просікач;  
 5 - прокладка; 6 - плита; Δ - товщина матеріалу

Рисунок 1.5 – Схема перфорування деталей верху взуття  
 взуттєвих виробів:

У момент дотику просічок до заготовки відбувається пробивання отворів у матеріалі згідно з конфігурацією, передбаченою конструкцією оснастки. Щоб забезпечити рівномірний і чистий зріз без задирок, а також для захисту робочих кромek просічок від надмірного зношення або поломок, між заготовкою та ріжучим інструментом додатково встановлюють прокладку 5, виготовлену з картону або пластмаси.

Після завершення операції пробивання, каретка з матрицею опускається вниз. Оператор вручну витягує каретку з робочої зони преса, після чого знімає оброблену деталь із платформи матриці для подальших технологічних операцій.

Такий механізм забезпечує достатню продуктивність і якість перфорації, хоча потребує ручного втручання при переміщенні каретки, що обмежує рівень автоматизації процесу. Удосконалення цього етапу шляхом впровадження двохкоординатних приводів і автоматичного подавання заготовки дозволить підвищити ефективність та повторюваність процесу перфорування, що є актуальним напрямом подальшої розробки.

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

### 1.3 Огляд обладнання для виконання операції перфорування деталей

У взуттєвому виробництві пробивання отворів у деталях різного функціонального призначення - як декоративного, так і конструктивного - виконується на спеціалізованому обладнанні, яке відрізняється за типом приводу, функціональністю та ступенем автоматизації.

Зокрема, для пробивання отворів у деталях устілкового вузла застосовують устаткування з електромеханічним приводом, прикладом якого є обладнання італійської фірми BANF, що забезпечує надійність і точність при обробці заготовок з різних матеріалів. Такі машини орієнтовані на повторювані операції та можуть бути налаштовані на певний тип отворів, що робить їх зручними для дрібносерійного та серійного виробництва.

Для перфорації ременів, де часто необхідне формування отворів значного діаметра або комбіноване обрізання кінця ременя, використовують машини з електрогідравлічним приводом, що забезпечують високу силу тиску при збереженні стабільної точності руху інструмента. У промисловості широко застосовуються преси моделей 750N, 750TA, 750/700 виробництва фірми OMAC (Італія), а також моделі 961B, 968B фірми ARES (Італія), які відзначаються універсальністю та можливістю використання змінних інструментів для виконання різноманітних операцій [7].

Крім того, активно впроваджується обладнання з пневматичним приводом, яке дозволяє зменшити шум і вібрації під час роботи. Прикладом такої машини є модель Zen 4.2 компанії ARES (Італія), яка виконує комбіновану операцію обрізки кінця ременя та пробивання отворів за один цикл, що значно підвищує продуктивність та зменшує кількість операцій у технологічному маршруті.

Операції перфорування деталей верху взуття найчастіше здійснюються на гідравлічних пресах, серед яких слід відзначити серії ПГТП-45 (моделі ПГТП-45-0, ПГТП-45-1-0, ПГТП-45-2-0) [8], ПГТП-100 [9], а також прес 22E8 німецької компанії Schoen [10], моделі 06045/P1 та 06099/P1 виробництва фірми Svit (Чехія),

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

BT4/4 фірми Fustellificio Vico S.r.l., PP-10 фірми Leibrock (Німеччина), PLT2001 виробництва фірми Atom (Італія) (табл. 1.1) [7]. Ці гідравлічні системи дозволяють виконувати як перфорацію, так і інші вирубні або тискувальні операції на деталях різної складності та форми.

Окрему категорію становить обладнання на базі швейних машин з електромеханічним приводом, у яких стандартну швейну голку замінено спеціальним пробивним інструментом - просічкою. Такі машини ефективно використовуються для перфорування рівномірно розміщених отворів малого діаметра, що йдуть паралельно краю деталі або відтворюють заданий декоративний візерунок. Прикладами є моделі MB-10, MB-S, MB-10K від італійської компанії Sagitta, які дозволяють досягати високої точності розташування отворів завдяки координатному керуванню та змінним шаблонам.

У сучасному виробництві зростає також застосування числово-програмного керування (ЧПК) у машинах для перфорування, яке дає змогу автоматизувати переміщення інструменту по двох координатах і створювати складні декоративні візерунки без втручання оператора. Такі системи дедалі частіше вбудовуються у пресове або комбіноване обладнання провідних виробників, як-от Atom Flashcut або Comelz CZ Plus, які забезпечують інтеграцію з CAD-системами, зменшують кількість помилок та значно скорочують час на налаштування.

Отже, вибір обладнання для перфорування залежить від типу матеріалу, розміру отворів, продуктивності лінії та ступеня автоматизації виробництва. Розвиток технологій, зокрема впровадження електронного керування, пневматичних систем і ЧПК, дозволяє реалізувати високу точність, повторюваність та швидкість операцій, що робить перфорування одним із ключових етапів у сучасному взуттєвому виробництві.

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Технічні показники пресів для перфорування деталей одягу взуття, шкіргалантерейних виробів

Характеристики	Параметри					
	Вид приводу	Електро <span>мех</span> анічний	Гідралічний			
Операція, що виконується	Перфоруван ня	Перфорування та гаряче тиснення				
Виробник, країна	Svit, Чехія	Schoen, Німеччина	Fustellificio Bico S.r.l., Німеччина	CPCP Leibrock, Німеччина	Atom, Італія	
Модель пресу	06045/P1; 06099/P1	22ES	BT4/4	ПГТП – 45 – О; ПГТП – 100 – О	PP-10 PLT2001	
Матеріали, що використовуються	Натуральна шкіра і її замітники, картон, текстильні матеріали тощо					
Режим роботи	Квазістатичний або динамічний					
Зусилля перфорування, кН	150;450	1000	1800	441;950	1000	1500
Робочий хід штока, мм	20;25	-	130		120	105
Потужність електродвигуна, кВт	1,1;1,2	4	5,5	3,3	3	5,5
Маса, кг	600;1020	1150	2500	1300	1850	2470

У промисловості існують невиправдані втрати енергії, що негативно впливають на загальну ефективність виробництва [7]. Основними чинниками таких втрат є неповне завантаження обладнання, його робота в режимі холостого ходу під час виконання технологічних операцій, а також простої, зумовлені організаційними причинами та невідповідністю наявних енергетичних потужностей реальному обсягу робіт. Одним із головних джерел нераціонального використання енергії в легкій промисловості є технічна недосконалість обладнання, зокрема його приводних систем. Невідповідність типу приводу, його потужності, режиму роботи та інших параметрів реальним вимогам технологічного процесу призводить до значних енергетичних втрат, що актуалізує потребу в модернізації технічної бази виробництва.

Аналіз технічних характеристик устаткування, наведених у таблиці 1.1, дозволив зробити висновок, що в конструкції пресів для виконання операції перфорування в переважній більшості реалізовано гідравлічний привод, що забезпечує високе зусилля при компактних габаритах і можливість точної настройки технологічних параметрів. Електромеханічний привод застосовується лише в обмеженій кількості моделей, наприклад, у пресах 06045/P1 та 06099/P1, виробництва компанії Svit (Чехія), де його використання обумовлено меншою потужністю та простотою конструкції.

На поточному етапі розвитку технологій використання пневматичного приводу або лінійних електричних двигунів в обладнанні для перфорування, що розглядається в контексті таблиці 1.1, не зафіксовано. Хоча такі приводи застосовуються в інших галузях машинобудування, у сфері взуттєвого виробництва вони поки що не отримали поширення через обмежене зусилля та складність у точному регулюванні ходу.

До основних технічних параметрів, що характеризують обладнання для перфорування, належать:

- номінальне зусилля перфорування, яке визначає можливість роботи з матеріалами різної щільності та товщини;

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- робочий хід штока, що впливає на висоту встановлення інструмента;
- режим роботи обладнання (періодичний, напівавтоматичний, автоматичний);
- споживана потужність, яка обумовлює енергоефективність процесу.

Розглянуті нижче конструкції пресового обладнання для перфорування взуттєвих деталей подані на аркуші [БРМА25.00.00.000ДО]. Зокрема, вітчизняні гідравлічні преси ПГТП–45–О та ПГТП–100–О призначені для виконання операцій перфорування і тиснення в шкіряних та синтетичних деталях верху взуття [8? 9].

Прес ПГТП–45–О (рис. 1.6, креслення [БРМА25.00.00.000ДО]) складається з таких основних елементів: зварної станини, робочого гідроциліндра, черв'ячно-гвинтового редуктора, рухомої каретки, гідравлічного приводу і електроустаткування [11].

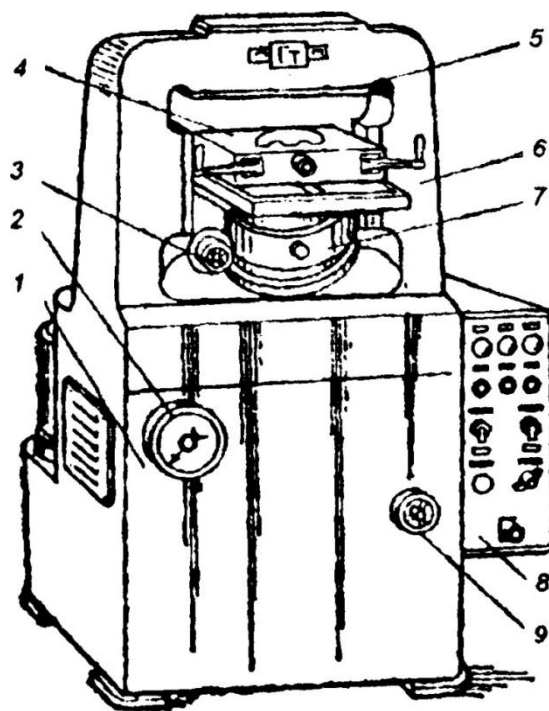


Рисунок 1.6 – Прес ПГТП – 45 – О

Станина машини утворює опорну тумбу 1, до якої за допомогою болтів кріпиться лита замкнута коробчата рама 6, що забезпечує жорсткість і точність усієї конструкції. Всередині станини встановлений гідроциліндр із поршнем,

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

шток якого з'єднаний із механізмом регулювання висоти – черв'ячно-гвинтовим редуктором 7. За допомогою маховика 3 оператор може встановити необхідну відстань між рухомою кареткою 4 та нерухомою плитою 5. Маховичок 9 призначений для регулювання тиску в гідросистемі, що безпосередньо впливає на зусилля притиснення заготовки до візерункової матриці. Параметри гідросистеми відображаються на манометрі 2. Для керування всіма функціями машини з правого боку станини встановлено підвісний пульт керування 8 з кнопками запуску, аварійної зупинки та режимами роботи.

Моделі ПГТП–45–О та ПГТП–100–О мають однакову загальну конструкцію, однак різняться максимальним зусиллям вирубки, що становить відповідно 45 та 100 тон, що дозволяє адаптувати ці моделі під різні типи матеріалів - від м'якої шкіри до товстих синтетичних композицій [8, 9].

Для підвищення гнучкості й точності в сучасних умовах доцільно оснащувати такі преси системами ЧПК, сервокерованими гідравлічними клапанами або сенсорними панелями управління. Це дозволить не тільки автоматизувати налаштування параметрів, але й забезпечити інтеграцію обладнання у загальну систему керування виробництвом (MES/ERP).

Перелічене вище пресове обладнання, що використовується для виконання операцій перфорування та тиснення у взуттєвій промисловості, має схожі конструктивні рішення та аналогічний принцип дії. Незважаючи на відмінності у виробниках і країнах походження, більшість моделей побудовані за класичною схемою з використанням гідравлічного приводу, мають жорстку станину, напрямні елементи для каретки та пристрої для ручного або автоматизованого регулювання робочого тиску.

У таблиці 1.2 наведено узагальнені технічні характеристики цих пресів, що дозволяє провести порівняльний аналіз їх експлуатаційних параметрів: зусилля пресування, робочого ходу, продуктивності, споживаної потужності, габаритних розмірів і маси. Дані характеристики зведені на основі джерел [7, 8].

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики пресів марки ПГТП

Найменування параметру	ПГТП–45–О	ПГТП–100–О
Продуктивність, пар за годину		
при тисненні	157	157
при перфоруванню	287	287
Максимальне зусилля пресування, кН	441	980
Максимальний тиск в гідросистемі, МПа	6,4	12,5
Розміри каретки, мм		
довжина	300	400
ширина	300	350
Число насосів	2	1
Потужність, кВт		
електродвигуна	3	4
нагрівачів	1,8	2
Габарити, мм		
довжина	1020	1040
ширина	885	900
висота	1366	1575
Маса, кг	1260	1300

Окрему увагу заслуговує гідравлічний прес моделі Schon 22ES (рис. 1.7), що виробляється компанією Schoen (Німеччина). Конструктивно дана модель є аналогом пресів серії ПГТП, зокрема ПГТП–45–О, як за компонованням основних вузлів, так і за функціональним призначенням. Прес також призначений для здійснення перфорування, вирубування, тиснення та інших операцій холодного об'ємного формування у шкірі та шкірзамінниках.

Основні технічні характеристики преса Schon 22ES [12] наведені в табл.1.3, згідно з джерелом [3], і включають ключові параметри, що визначають його ефективність у виробничих умовах.

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.7 – Прес Schon 22ES

Такий підхід до уніфікації конструкцій дозволяє підприємствам легкої промисловості адаптувати наявне обладнання під різні технологічні операції та знижувати витрати на технічне обслуговування та навчання персоналу. Упровадження енергозберігаючих компонентів і розширення функціональності через встановлення ЧПК-модулів або гідроелектронних систем керування додатково підвищує техніко-економічну ефективність зазначених пресів.

Таблиця 1.3 – Технічна характеристика преса Schon 22ES [12]

Найменування параметру	Schon 22ES
Продуктивність, пар за годину при тисненні	155
при перфоруванні	287
Максимальне зусилля пресування, кН	980
Максимальний тиск в гідросистемі, МПа	30
Розміри каретки, мм	360 x 350
Число насосів	2
Потужність, кВт електродвигуна	4
нагрівачів	1,95
Габарити, мм	1000 x 820 x 1600
Маса, кг	1150

Серед сучасного високотехнологічного обладнання для перфорування та оздоблювальних операцій на деталях верху взуття особливе місце займають автоматизовані машини, що забезпечують комплексну обробку матеріалів. До таких належить автоматична машина серії PLT для нанесення перфорації та тиснення, яка забезпечує високу продуктивність, стабільну якість обробки та мінімальне втручання оператора у процес [13].

Машини цієї серії, вироблені компанією Atom (Італія), входять до універсальної лінійки багатофункціонального перфораційного обладнання, яке дозволяє виконувати декілька технологічних операцій в межах одного виробничого циклу [14]. Залежно від модифікації, такі установки можуть застосовуватись для:

- перфорування заготовок;
- нанесення друкованих елементів або логотипів на шкіру;
- тиснення декоративних та інформаційних елементів;
- контурного або прямолінійного розкроювання матеріалу.

Ключовою особливістю обладнання Atom є його модульна конструкція та високий ступінь автоматизації [14]. Багато моделей комплектуються двома робочими столами, що дозволяє виконувати паралельну обробку двох заготовок, значно скорочуючи час на переналадку й підвищуючи продуктивність лінії. Це забезпечує гнучкість технологічного процесу і дозволяє легко адаптувати обладнання до потреб серійного або індивідуального виробництва взуття.

Завдяки інтеграції кількох функцій в одному обладнанні (перфорація + тиснення + друк + різка), машини серії PLT можуть ефективно замінити кілька одиниць традиційного обладнання, зменшуючи потребу в просторі, числі операторів та обслуговуючого персоналу. Крім того, можливість цифрового керування параметрами процесу (глибина тиснення, інтенсивність друку, розмір отворів, траєкторія інструмента) забезпечує високу точність та відтворюваність результатів.

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, застосування машин серії PLT у взуттєвому виробництві дозволяє реалізувати енергоефективне, багатфункціональне та автоматизоване рішення для обробки деталей верху, яке повністю відповідає сучасним вимогам до дизайну, якості та продуктивності.

Серед сучасних автоматизованих рішень для взуттєвої та шкіряно-галантерейної промисловості важливе місце займає автоматична машина PLT1251 (рис. 1.8), яка призначена для нанесення перфорації та гарячого тиснення на деталях верху взуття, сумках, гаманцях, ременях та інших виробках зі шкіри й шкірзамінників. Технічні характеристики машин марки PL наведено в табл. 1.4.

Машина PLT1251 є високотехнологічним комплексом, конструкція якого включає [15]:

- верхню та нижню плити, між якими відбувається обробка матеріалу;
- рухому каретку, що забезпечує точне позиціонування заготовки;
- нагрівальну пластину, яка реалізує функцію гарячого тиснення при температурному впливі;
- автоматизовану систему переміщення лотка, яка забезпечує циклічність і безперервність подачі матеріалу в зону обробки.

З лівого боку машини розташована панель керування, яка забезпечує точне налаштування всіх основних параметрів технологічного процесу. Оператор може встановлювати:

- температуру нагріву для тиснення залежно від типу матеріалу;
- час витримки у робочій зоні, що важливо для контролю чіткості та глибини відтиску;
- положення верхньої та нижньої плит для адаптації до товщини заготовки та типу оздоблення.

Для забезпечення високої точності глибини перфорації і тиснення, машина обладнана механічним упором і системою контролю ходу поршня. Це дозволяє гарантувати стабільність якості обробки, запобігаючи деформаціям матеріалу чи неповному формуванню візерунків.

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики пресів марки PL

Найменування параметру	Модель						
	PL2000	PL1251	PL1250	PL1001	PL1000	PL501	PL500
Розміри робочого стола, мм							
ширина	750	600	600	500	500	350	350
довжина	600	500	500	400	400	300	300
Зусилля вирубки, тонн	180	120	120	90	90	45	45
Температура нагріву, °С	до 150	до 150	до 150	до 150	до 150	до 150	до 150
Потужність електродвигуна, кВт	5,5	4	4	3	3	2,5	2,5
Загальна споживана потужність, кВт	8,5	5,7	5,7	4,6	4,6	3,25	3,25
Висота ходу плити	105	90	90	80	80	75	75
Робочий просвіт, мм	100	75	75	80	80	75	75
Габарити машини, мм							
ширина	1400	1150	1150	1000	1000	800	800
довжина	1700	1500	1500	1400	1400	1100	1100
висота	1600	1560	1560	1450	1450	1400	1400

БРМА25.00.00.000ПЗ

Арк.

26

Змн.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

Завдяки компактній, але потужній конструкції, PLT1251 ідеально підходить як для дрібносерійного, так і для великосерійного виробництва, забезпечуючи поєднання високої продуктивності, енергоефективності та багатофункціональності. Обладнання такого класу значно підвищує рівень автоматизації на підприємствах легкої промисловості та дозволяє реалізувати дизайнерські рішення з високою точністю й повторюваністю.



Рисунок 1.8 – Автоматична машина для виконання перфорації та тиснення PLT1251 [15]

Автоматична машина PLT1251 (рис.1.8) вирізняється високим ступенем механізації та універсальністю в операціях перфорування і тиснення, що робить її ефективним рішенням для серійного виробництва взуття та шкіргалантерейних виробів. Конструкція машини побудована на жорсткому сталевому зварному корпусі 1, у середині якого розміщено гідравлічний блок із закритим гідробаком та насосною системою, керованою електродвигуном, що виступає з тильної частини корпусу.

Робоча зона, розташована у верхній частині машини, складається з нерухомої верхньої плити 2, що виконує функцію матриці для тиснення або

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перфорування. Усередині неї вмонтовані нагрівальні елементи (ТЕНи), які забезпечують необхідну температуру для гарячого тиснення. Із цієї нерухомої плити переміщується рухомий пуансон, приводжений у дію гідроциліндром, який створює зусилля притиснення.

До конструкції машини також входить автоматизований лоток 3, який у робочому циклі переміщується по горизонталі з внутрішньої зони машини до передньої частини, де розміщується оператор. Лоток включає нижню частину 4, на яку укладається заготовка, та верхню рухому частину 5 для безпосереднього тиснення. Ці частини з'єднані шарніром 6, який уможливорює автоматичне опускання й піднімання верхньої частини під час висування та втягування лотка.

Для виконання перфорування верхня частина тиснення може бути замінена опорою утримувача пуансона, з'єднаною з верхньою плитою. Машина також оснащена високоточним механізмом "сталь до сталі" з регульованою каліброваною муфтою, що діє на рухомий пуансон. Це дозволяє реалізовувати прецизійне перфорування з контролем глибини, а також унеможливорює пошкодження робочого інструмента.

Усі налаштування здійснюються через панель керування 7, встановлену збоку на електрошафі, що кріпиться до основної рами. Елементи керування винесені на фронтальну панель, що забезпечує легкий доступ для оператора.

Особливістю PLT1251 є повністю автоматизований робочий цикл, що включає послідовні фази: введення лотка, закриття, притиснення, нагрів і вивільнення. Технічні характеристики машини наведено у таблиці 1.4, що дозволяє об'єктивно оцінити її потенціал при проектуванні виробничих ділянок.

Окрім машин класу PLT, у великосерійному взуттєвому виробництві широко застосовуються перфораційні машини серії MB фірми Sagitta [16], які розроблені з урахуванням простоти, надійності та низької вартості експлуатації. Завдяки міцній конструкції та мінімізації складних вузлів, ці машини забезпечують стабільну роботу в умовах масового виробництва.

Серія MB представлена у двох версіях:

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

МВ 10 - оснащена електродвигуном із фрикційною муфтою, що дозволяє регулювати хід каретки, тому дана модель є універсальною та підходить для більшості видів перфорування;

МВ S - спрощена модифікація з електродвигуном потужністю 0,37 кВт, що працює на фіксованій швидкості та має механізм автоматичної зупинки пробійника після завершення циклу.

Зазначене обладнання призначене для перфорування деталей верху взуття, причому подача заготовки здійснюється вручну оператором. Відтак, якість і точність перфорації безпосередньо залежать від кваліфікації працівника, що є важливим фактором при плануванні технологічного процесу.

Машина МВ 10 (рис.1.9) має наступну конструкцію:

- робоча головка оригінальної конструкції 1;
- промисловий стіл 2 для монтажу робочих вузлів;
- електродвигун із фрикційною муфтою 3;
- панель керування 4 з базовими органами запуску й аварійної зупинки;
- система видалення відходів 5, що забезпечує чистоту робочої зони.



Рисунок 1.9 – Машина МВ 10

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Технічні параметри обладнання [16]:

- для моделей MB10 S та MB10 передбачено плавне регулювання швидкості обертання у діапазоні від 0 до 650 об/хв або від 0 до 900 об/хв відповідно;
- модель MB S працює на стабільній постійній швидкості - 570 обертів за хвилину;
- глибина подачі інструмента налаштовується в межах від 1,5 до 16 мм;
- обладнання оснащено лапкою прямолінійної дії, що забезпечує рівномірне пересування матеріалу під час перфорування;
- точне налаштування параметрів подачі здійснюється за допомогою міліметрового регулювального гвинта;
- максимальна потужність споживання складає 0,5 кВт;
- електроживлення: трифазна мережа 400 В, частотою 50/60 Гц;
- габаритні розміри верстата (Д×Ш×В): 1100 × 550 × 1100 мм.

З метою дослідження характеристик та робочих параметрів електромагнітного приводу, інтегрованого в конструкцію пристрою для встановлення металевої фурнітури у виробках легкої промисловості, на кафедрі «Машин та апаратів, електромеханічних та енергетичних систем» було розроблено експериментально-дослідний стенд. Цей стенд призначений для вивчення динаміки руху робочого органу, силових характеристик приводу та впливу технологічних параметрів на якість операції встановлення фурнітури.

Конструктивно стенд складається з кількох основних функціональних блоків:

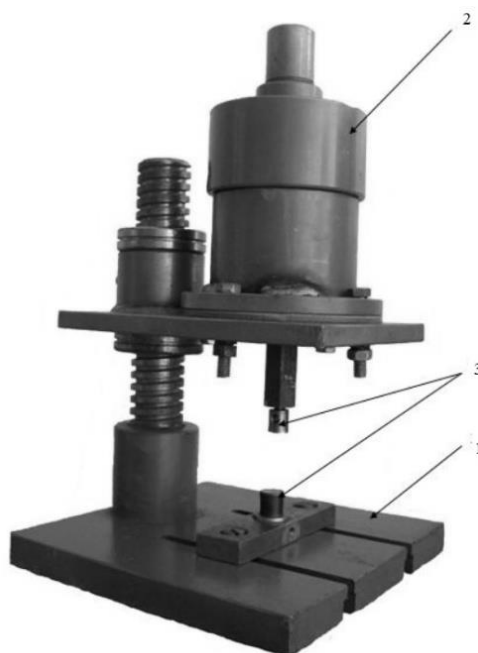
- робочого пристрою для встановлення металевої фурнітури (рис. 1.10), що є виконавчим механізмом і реалізує безпосередній контакт інструмента з оброблюваним матеріалом;
- пристрою живлення та управління (ПЖУ), який забезпечує стабільне живлення електромагнітного приводу, а також формує сигнали керування відповідно до обраного режиму роботи;

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- вимірювального блоку, що включає апаратуру для реєстрації параметрів струму, напруги, переміщення та зусилля під час виконання технологічної операції. Це дозволяє в режимі реального часу контролювати та аналізувати ефективність роботи приводу;

- технологічного оснащення, призначеного для пробивання отворів у матеріалі під установку фурнітури та надійного її закріплення в конструкції виробу. Оснащення може включати змінні штампи, пуансони, матриці й фіксатори.

Розроблений стенд дозволяє моделювати реальні виробничі умови, здійснювати експериментальні дослідження енергоефективності, точності спрацьовування приводу та повторюваності операції, а також використовувати його як навчально-дослідний модуль для підготовки фахівців у сфері мехатроніки та технологій легкої промисловості [7].



1 – станина; 2 – лінійний електромагнітний двигун (ЛЕД);

3 – технологічне оснащення

Рисунок 1.10 – Вигляд загальний пристрою з електромагнітним приводом для виконання операції встановлення металевої фурнітури:

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Експериментальний стенд дозволяє:

- вимірювати механічні, електричні та енергетичні параметри обладнання з електромагнітним приводом, що призначене для виконання операції встановлення металевої фурнітури;
- досліджувати процес встановлення металевої фурнітури у виробі легкої промисловості за допомогою пристрою з ЛЕМД.

#### 1.4 Огляд конструкцій систем двокоординатного переміщення матеріалу

У сучасному серійному виробництві, яке охоплює до 80% загального обсягу продукції, спостерігається висока частка трудовитрат, пов'язаних із виконанням допоміжних операцій. Зниження цих витрат є ключовим напрямом підвищення ефективності виробництва. Одним із найперспективніших рішень у цьому напрямі є автоматизація технологічних процесів, зокрема за рахунок впровадження верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК).

Використання верстатів з ЧПК забезпечує: – високий рівень автоматизації процесів обробки, мінімізуючи ручне втручання; – оперативне переналаштування обладнання для виготовлення різноманітних деталей в межах технічних характеристик; – підвищення точності та уніфікації геометричних параметрів заготовок; – багатократне зростання продуктивності праці порівняно з традиційними методами; – суттєве зниження собівартості обробки за рахунок зменшення часу та відходів; – зменшення потреби у висококваліфікованих верстатниках, оскільки роботу виконує автоматизована система керування.

Одним із прикладів сучасного обладнання, яке поєднує автоматизовану точну обробку і гнучкість у використанні, є вишивальна приставка Delta Professional [17]. Вона розроблена для автоматичного виконання вишивок на широкому спектрі матеріалів: текстиль, шкіра, штучні матеріали, а також готові вироби. Приставка сумісна з промисловими прямострчковими швейними

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

машинами фірми Golden Wheel, що дозволяє інтегрувати її у виробничі лінії легкої промисловості без додаткової модернізації основного обладнання [18].

Delta Professional характеризується: – високою продуктивністю при низькому рівні споживання енергії; – великим об’ємом пам’яті стібків, що дає змогу виконувати складні багатокольорові композиції; – універсальністю — вона займає проміжну позицію між побутовими й повноцінними промисловими вишивальними автоматами, поєднуючи доступність із професійними характеристиками.

Основні технічні параметри вишивальної приставки Delta Professional наведено в таблиці 1.5, яка містить інформацію про кількість керованих осей, швидкість вишивання, типи стібків, розміри п’ялець та інші критичні характеристики [17].

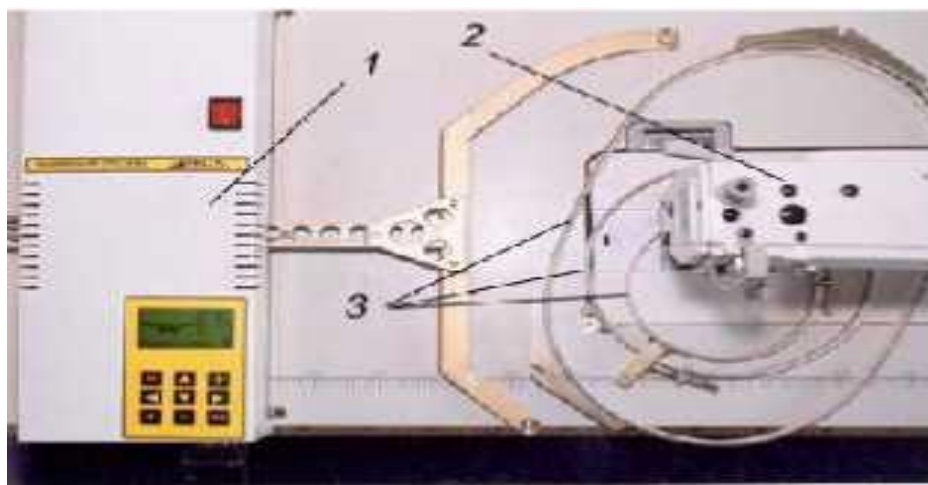
Таблиця 1.5 – Технічні характеристики вишивальної приставки Delta Professional

Елемент характеристики	Величина
Швидкість вишивки при довжині стібка 2 мм, ст/хв	800
Швидкість вишивки при довжині стібка 12 мм, ст/хв	400
Об’єм пам’яті, стібків	32000
Об’єм додаткової пам’яті, стібків	512000
Поле вишивки, мм	250x350
Допустиме відхилення напруги живлення, В	180-250
Потужність, що споживається, Вт	40
Габаритні розміри, мм	175x500x90
Маса не більше, кг	6

Ключовим функціональним елементом пристрою є механізм п’ялецетримача, зображений на рисунках 1.11 та 1.12 [17]. Цей механізм забезпечує координатне переміщення п’ялець у горизонтальній площині у чотирьох напрямках відносно активної голки. Переміщення виконується

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

покроково згідно з програмою вишивки, завантаженою в систему керування. Завдяки цьому забезпечується висока точність виконання стібків і можливість створення складних графічних візерунків.



1 – приставка; 2 – швейна головка; 3 – п'ялець

Рисунок 1.11 – Приставка і набір п'ялець:

У процесі роботи вишивальна система виконує човникові стібки заданої довжини у певній послідовності та напрямку, що визначається алгоритмом керування. За узгоджену роботу всіх компонентів відповідає електронна схема керування, яка синхронізує рухи п'ялецетримача з моментом проколу голкою, забезпечуючи високу якість та повторюваність вишивки незалежно від складності шаблону [17].



1 – п'ялецетримач; 2 – з'єднувальна пластина; 3 – планка

Рисунок 1.12 – Механізм кріплення п'ялець:

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000ПЗ

Арк.

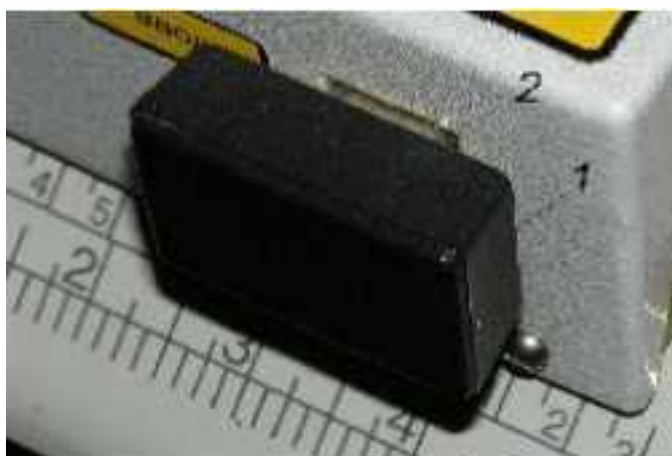
34

Таким чином, застосування автоматизованого вишивального обладнання типу Delta Professional дозволяє значно розширити можливості декорування виробів, підвищити якість виконання оздоблювальних операцій і знизити трудомісткість ручної праці в умовах серійного виробництва.

Водночас конструкція вишивального пристрою має ряд технічних недоліків, які обмежують його універсальність та впливають на ефективність експлуатації в умовах серійного виробництва. Зокрема, при зміні площі або геометрії вишивального поля виникає необхідність використовувати п'яльця різних розмірів, що ускладнює переналагодження та вимагає наявності широкого набору змінного оснащення.

Система кріплення заготовки, яка базується на зв'язці п'яльця – п'яльцетримач – планка, з'єднаних через монтажну пластину, не забезпечує достатньої жорсткості фіксації. Це може призводити до мікрорзвів тканини або шкіри під час процесу вишивання, особливо при високих швидкостях або значній щільності стібків, що негативно позначається на точності виконання візерунка.

Крім того, кінематична схема механізму переміщення п'ялець (рис. 1.9), реалізована за допомогою зубчастої рейки, є технологічно складною у виготовленні та регулюванні [17]. Така конструкція потребує високої точності складання та регулярного технічного обслуговування для запобігання люфтам і зносу, що впливає на стабільність переміщення вишивального вузла.



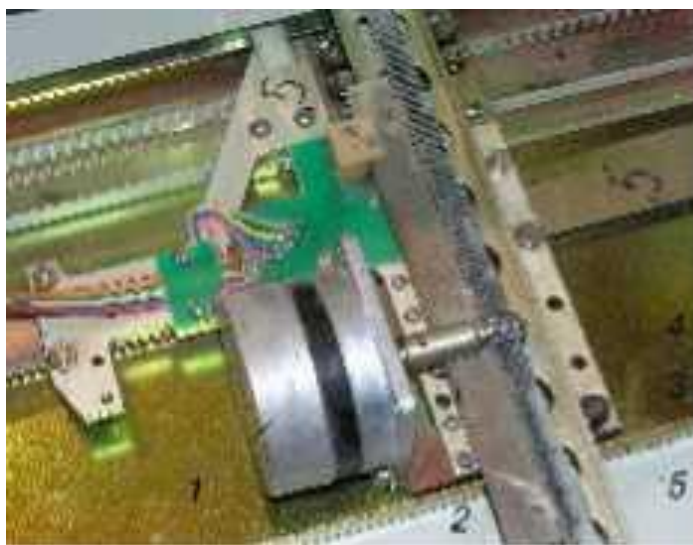
1 – картридж; 2 – роз'єм

Рисунок 1.9 – Картридж для запису та зберігання вишивок:

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ще одним суттєвим обмеженням є необхідність постійного перезапису картриджа з програмою вишивки (рис. 1.10), що особливо критично у разі частого переходу на нові шаблони або при виконанні малосерійних замовлень. Така операція потребує додаткового часу і знижує загальну продуктивність, а також створює ризик втрати даних при некоректному зчитуванні або записі інформації.

Таким чином, подальше вдосконалення конструкції вишивальної приставки має бути спрямоване на універсалізацію п'ялець, підвищення жорсткості кріплення заготовки, спрощення приводу переміщення та інтеграцію сучасних цифрових інтерфейсів для обміну даними, що дозволить покращити ергономіку, точність та ефективність вишивального процесу.



1 – кроковий двигун; 2 – проміжний вал; 3 – зубчате колесо; 4 – зубчата рейка; 5 – направляючий ролик

Рисунок 1.10 – Механізм переміщення п'ялець вздовж промислового столу:

Фрезерні верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК) призначені для високоточного оброблення плоских та просторових поверхонь, зокрема складних за геометрією деталей, які вимагають багатоосьової обробки з повторюваною точністю [19]. Застосування таких верстатів забезпечує високу

продуктивність, стабільну якість та гнучкість при переході на інші види обробки без необхідності механічного переналаштування.

Конструктивно фрезерні верстати з ЧПК багато в чому нагадують традиційні фрезерні машини, однак їх ключова відмінність полягає в повній або частковій автоматизації процесів керування рухомими елементами. Координатні переміщення виконавчих органів верстата здійснюються згідно із закладеною у програму траєкторією, що забезпечує високу точність формоутворення.

Класифікація фрезерних верстатів з ЧПК базується на таких основних критеріях:

- кількість координатних осей, за якими можливе переміщення столу або фрезерної бабки (від трьох до п'яти і більше);
- орієнтація шпинделя – горизонтальне або вертикальне розташування, що визначає тип обробки;
- тип інструментального оснащення – одноінструментальні верстати та багатофункціональні машини з автоматичним інструментальним магазином;
- спосіб встановлення інструменту у шпиндель – вручну або автоматично (автоматичний змінник інструментів).

За компоувальною схемою фрезерні верстати з ЧПК поділяються на чотири основні групи:

Консольно-фрезерні верстати – конструкція, у якій стіл переміщується у трьох координатах (X, Y, Z), а фрезерна бабка залишається нерухомою. Це забезпечує високу гнучкість при обробці складних заготовок.

Поздовжньо-фрезерні верстати – варіанти з рухомими або нерухомими поперечками. При русі поперечки по одній осі, шпиндельна бабка переміщується по другій, а стіл – по третій осі. У моделях із нерухомою поперечкою переміщення здійснюється столом по одній осі, а бабкою — по інших двох.

Вертикально-фрезерні верстати з хрестовим столом – характеризуються переміщенням столу в горизонтальних напрямках (поздовжньо і поперечно), а

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фрезерної бабки – у вертикальному напрямку. Такі верстати є найпоширенішими у дрібносерійному виробництві.

Широкоуніверсальні інструментальні фрезерні верстати – забезпечують переміщення столу у двох координатах, а фрезерної бабки – по третій осі. Вони призначені для комплексної обробки деталей із великою кількістю змін інструмента.

У цьому контексті доцільно детально розглянути конструкцію поздовжньо-фрезерного верстата з нерухомою поперечкою моделі CNC–0303, зображену на рис. 1.11 [20]. Дана модель відноситься до багатофункціонального верстатного обладнання, призначеного для обробки складних деталей з високою точністю на основі тривимірної траєкторії. Завдяки своїй конструкції та системі ЧПК верстат дозволяє виконувати контурну, фасонну та кінцеву обробку матеріалів на основі програмованих алгоритмів переміщення, забезпечуючи точну відповідність геометричним параметрам виробу.

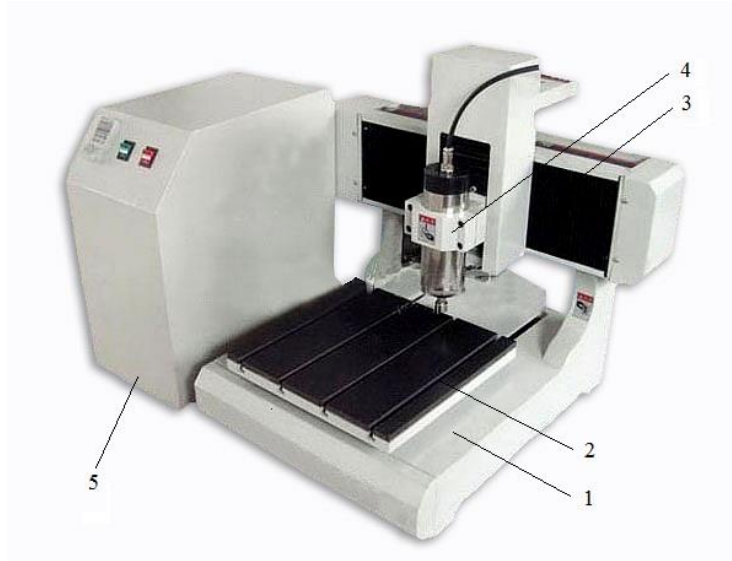


Рисунок 1.11 – Верстат для 3D-обробки малих форм в ювелірній справі CNC – 0303 [20]

Верстат CNC–0303 має жорстку та компактну конструкцію, що забезпечує його точність, стабільність і універсальність в умовах мало- та середньосерійного виробництва. Конструктивно він складається з таких основних елементів:

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- станина 1 – базовий несучий елемент конструкції, виготовлений зі звареної сталі або чавуну, що забезпечує високу жорсткість та точність позиціонування усіх вузлів;
- робочий стіл 2 – призначений для закріплення заготовки; здійснює переміщення у поздовжньому напрямку (вісь X);
- нерухома поперечка 3 – слугує основою для переміщення шпиндельної бабки у вертикальній площині (вісь Z);
- шпиндельна бабка 4 – забезпечує обертання інструмента та переміщується поперечною віссю (вісь Y);
- блок живлення 5 – відповідає за енергоживлення приводів, системи ЧПК та інших виконавчих механізмів.

Завдяки точному приводному позиціонуванню та можливості обробки в трьох координатах, верстат CNC-0303 успішно застосовується для виготовлення малогабаритних високоточних виробів з модельного воску, пластиків, кольорових металів (алюмінію, латуні), а також деревини.

Область застосування даного обладнання включає:

- ювелірну промисловість – для обробки воскових моделей та прототипів;
- гальванопластику – при виготовленні форм і електропровідних матриць;
- виробництво блістерних упаковок – для обробки форм з ABS-пластику або композитів;
- виготовлення прес-форм для термоформування пластикових оболонок;
- сувенірну продукцію – різьблення, рельєфна обробка, створення декоративних вставок.

Завдяки високій точності, простоті експлуатації та універсальності, верстат CNC-0303 є ефективним рішенням для підприємств, які працюють у сфері обробки м'яких і середньо твердих матеріалів, а також для дослідних лабораторій, навчальних закладів і творчих майстерень.

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.5 Висновки до першого розділу

Отже, на основі проведеного аналізу конструкцій машин для виконання операції перфорування, встановлено, що найпоширенішим типом приводу в таких технологічних установках є гідравлічний привод. Попри високу потужність і стабільність зусилля, він характеризується значними енергетичними витратами, підвищеним рівнем шуму, необхідністю обслуговування гідросистеми та низькою економічною доцільністю в умовах мало- або середньосерійного виробництва.

З огляду на потребу оптимізації енерговитрат, підвищення енергоефективності та зменшення експлуатаційних витрат, для розробки нової конструкції машини для перфорування було прийнято рішення використати електромагнітний тип приводу. Такий привод забезпечує швидке спрацьовування, точне дозування зусилля та зменшене споживання електроенергії, а також краще піддається інтеграції з цифровими системами керування.

Щодо конструктивної основи механізму двокоординатного переміщення, за результатами аналізу обрано схему поздовжньо-фрезерного верстата з нерухомою поперечкою. Основними перевагами цього варіанту є висока жорсткість конструкції, простота кінематики та надійність системи кріплення заготовки до робочого столу 2 (рис. 1.11). Такий підхід забезпечує стабільність позиціонування, легкість повторного закріплення деталей та можливість виконання операцій з високою точністю при мінімальному впливі вібрацій і люфтів.

Таким чином, поєднання електромагнітного приводу з кінематичною схемою поздовжньо-фрезерного верстата з нерухомою поперечкою є доцільним технічним рішенням для створення енергоефективної, точної та економічно обґрунтованої машини для перфорування деталей верху взуття.

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ПЕРФОРУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ВЕРХУ ВЗУТТЯ

### 2.1 Розробка структурної схеми пристрою для перфорування деталей верху взуття

Для розробки мікроконтролерної системи керування електроприводом устаткування, призначеного для виконання операції перфорування, першочергово необхідно розробити структурну схему машини з двокоординатною системою переміщення. Ця схема є основою для побудови логічної структури керування і дозволяє визначити взаємозв'язок між основними функціональними вузлами, виконавчими механізмами та системою керування.

Структурна схема, наведена на рисунку 2.1 (лист [БРМА25.00.00.000С1]), демонструє принципову побудову машини, включаючи механізми приводу переміщення по осях X і Y, робочий модуль для перфорування, блок живлення, а також вузли керування, взаємодія яких забезпечує послідовність виконання технологічного процесу.

Розробка цієї схеми дозволяє закласти основу для побудови ефективної та енергоощадної системи керування, що відповідає вимогам до точності позиціонування, швидкодії та стабільності виконання операції перфорування.

Структурна схема машини включає в себе основні функціональні блоки, необхідні для забезпечення двокоординатного переміщення та реалізації операції перфорування. До її складу входить:

- система координатного переміщення заготовки, яка реалізується за допомогою двох незалежних механізмів руху по осях X та Y;
- два крокові електродвигуни, що відповідають за точне позиціонування робочих органів у площині;

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- драйвери крокових двигунів (КД), які здійснюють формування керуючих імпульсів згідно з заданою програмою руху;
- пристрій живлення драйверів, що забезпечує стабільну подачу напруги та захист елементів приводу;
- лінійний електромагнітний двигун (ЛЕМД), який виконує функцію робочого виконавчого елемента для реалізації ударної дії в процесі перфорування;
- блок живлення та керування ЛЕМД, призначений для формування керуючих сигналів та енергозабезпечення двигуна;
- комп'ютер, що виконує функції центрального керуючого пристрою, формує алгоритм роботи, обробляє дані сенсорного зворотного зв'язку та координує роботу всіх вузлів системи.

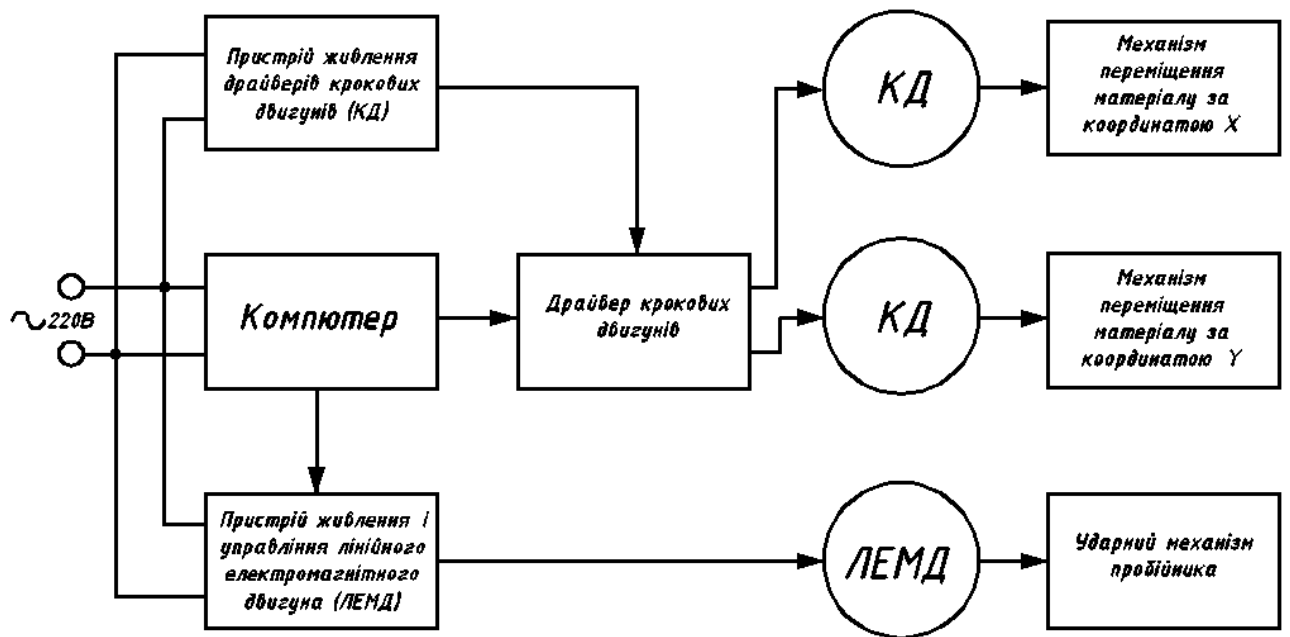


Рисунок 2.1 – Структурна схема машини з двох координатним переміщення для перфорування деталей

Така структура забезпечує узгоджену роботу всіх підсистем та дозволяє реалізувати точне, енергоефективне та автоматизоване виконання операції перфорування.

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

## 2.2 Система переміщення деталей

Механізм переміщення деталей по координатах X та Y.

Механізм переміщення заготовки по координатах X та Y реалізовано на основі класичної гвинтової передачі, що забезпечує точне поступальне переміщення. У його конструкції використано гвинти, підшипникові опори, а також спеціально виготовлені деталі з інтегрованими різьбовими гайками, які передають рух від приводів до рухомих частин робочого столу [21-24].

Ця конструкція забезпечує достатню жорсткість, точність позиціонування та плавність ходу, що є критично важливим для координатного розташування отворів під час перфорування. Основні компоненти системи переміщення наведено на рисунках 2.2 та 2.3, де схематично зображено їх розташування та взаємодію в межах двокоординатного механізму.

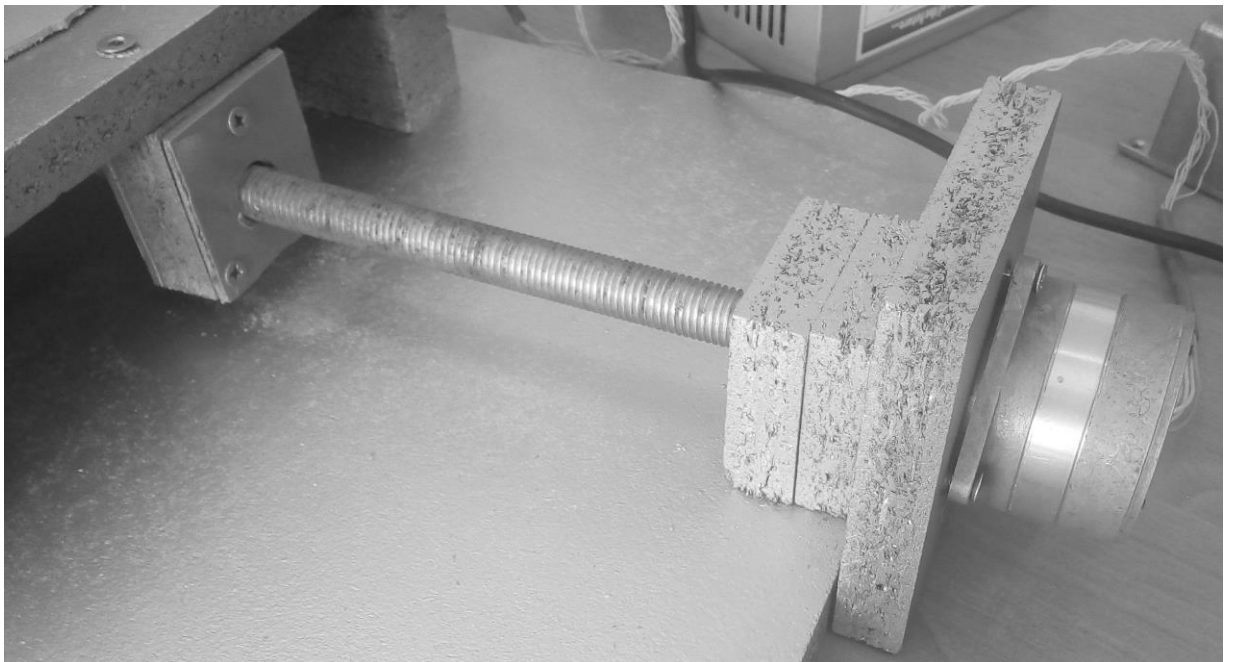


Рисунок 2.2 – Гвинтова пара в зборі

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

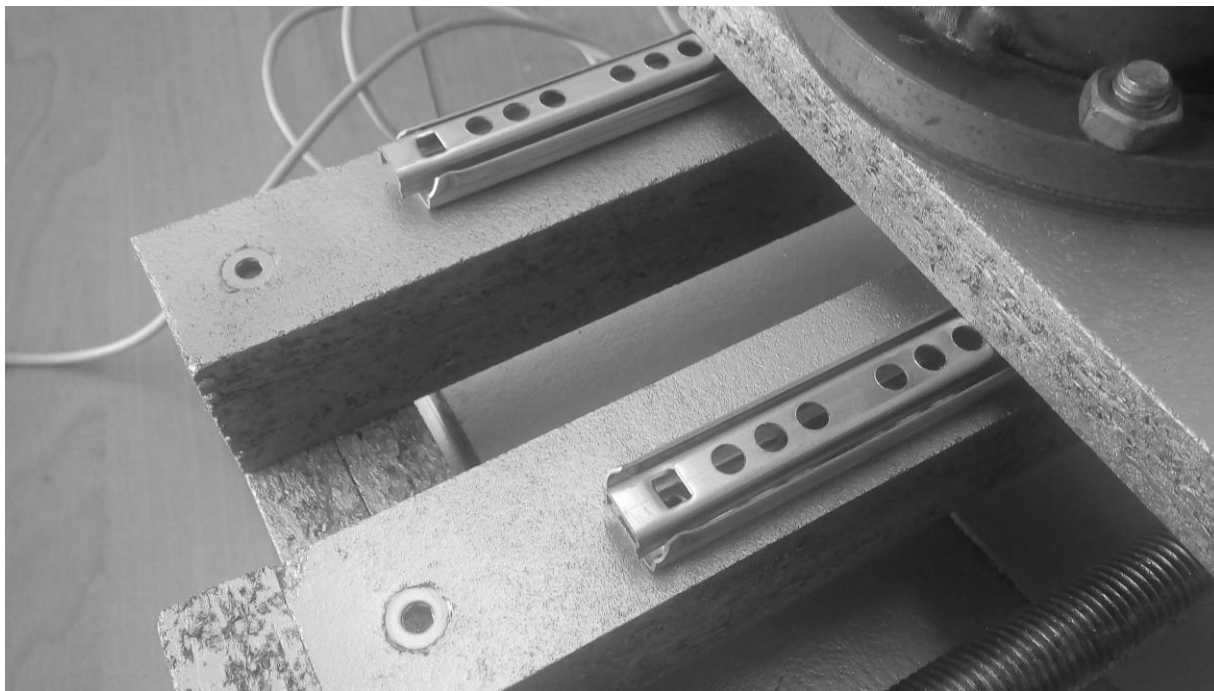


Рисунок 2.3 – Напрямна для переміщення лінійного електричного двигуна

### 2.3 Вибір конструкції лінійного електричного двигуна

Лінійний електричний двигун - це тип електричного приводу, в якому поступальний рух створюється безпосередньо, без використання обертових елементів і механічних передач. На відміну від класичних двигунів, у ЛЕД обмотки статора і рухома частина (якір) розташовані лінійно.

Розглянемо основні типи лінійних електричних двигунів, які відрізняються принципом дії, конструкцією та сферою застосування.

#### 1. Лінійний електромагнітний двигун (ЛЕМД).

Це імпульсний привід короткочасної дії, у якому поступальний рух створюється за рахунок магнітного поля, що утворюється навколо соленоїда. Основою є дія електромагніта на феромагнітне осердя (якір), який різко притягується всередину котушки.

Призначення: виконавчі механізми ударної або пробивної дії.

Переваги: висока швидкодія, простота, низька вартість.

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Недоліки: обмежена довжина ходу, складність у зворотному русі (потрібна пружина або другий соленоїд).

## 2. Лінійний індукційний двигун (ЛІД).

Аналог обертового асинхронного двигуна, але з розгорнутим статором і рухомим елементом (провідною плитою або ротором), у якому струми індуються полем змінного струму.

Принцип дії: індукційне ковзання.

Сфера застосування: транспортувальні системи, маглев-платформи, автоматизація.

Переваги: безконтактна передача зусилля, великий робочий хід.

Недоліки: ковзання, нагрів, менша ефективність порівняно з синхронними двигунами.

## 3. Лінійний електродинамічний двигун.

Працює на основі взаємодії змінного електричного струму з магнітним полем, у якому на провідник діє сила Лоренца. Часто використовуються постійні магніти і змінний струм у вторинному елементі.

Особливості: висока швидкість переміщення, можливість безконтактного переміщення об'єктів.

Застосування: транспорт (Hyperloop, японські маглеви), системи лінійного запуску.

Переваги: потужний імпульс, високий ККД.

Недоліки: складність керування, сильні електромагнітні завади.

## 4. Магнітоелектричний лінійний двигун

Заснований на перетворенні магнітного поля в електричний імпульс і навпаки. Найчастіше використовується у сенсорних і приводних пристроях мікромеханіки.

Принцип: взаємодія між постійним магнітом і провідником зі струмом.

Переваги: компактність, низьке енергоспоживання.

Недоліки: невелика потужність, обмежена сфера застосування.

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5. Індукційно-динамічний двигун

Комбінує індукційний принцип із динамічним ефектом, коли об'єднуються змінні струми та взаємодія з магнітними полями, включаючи самоіндукцію.

Призначення: високошвидкісні системи, лінійні пушки, маніпулятори.

Переваги: висока швидкість і потужність.

Недоліки: складна конструкція і керування.

## 6. Магніострикційний лінійний двигун

Заснований на магніострикційному ефекті – зміні розмірів феромагнітного матеріалу під дією магнітного поля. Цей ефект використовується для мікропереміщень.

Застосування: ультразвукові випромінювачі, точне позиціонування.

Переваги: надзвичайна точність.

Недоліки: малий хід, складність реалізації.

## 7. Електрострикційний лінійний двигун

Працює завдяки електрострикції – зміні розмірів діелектричного матеріалу при прикладенні електричного поля. Аналог п'єзоприводів.

Сфера використання: нанотехнології, оптика, мікропозиціонування.

Переваги: надточне переміщення.

Недоліки: дуже малий хід, висока напруга, чутливість до температур.

Для реалізації робочого ходу пробійника під час перфорування деталей верху взуття було вибрано лінійний електромагнітний двигун (ЛЕМД) завдяки таким перевагам:

- швидкодія. ЛЕМД забезпечує миттєвий імпульс руху з високою швидкістю, що є критичним для перфорування;
- простота конструкції. Відсутність передач і механічних з'єднань зменшує масу та інерційність системи;
- точність розміщення удару. ЛЕМД легко інтегрується з координатним приводом, що дозволяє здійснювати перфорацію за заданим візерунком;

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- надійність. Механізм не має обертових елементів, зменшуючи зношування і потребу в обслуговуванні;
- універсальність. Можливість регулювання сили удару зміною струму живлення.

Отже, використання ЛЕМД як виконавчого механізму в пристрої для перфорування взуттєвих деталей забезпечує поєднання швидкої реакції, точного позиціонування та компактної конструкції, що відповідає вимогам сучасних автоматизованих технологічних процесів.

В пристрої, що розробляється для реалізації робочого ходу пробійника при перфоруванні деталей верху взуття було вибрано саме лінійний електромагнітний двигун, який виконує функцію виконавчого механізму ударної дії. Загальний вигляд двигуна представлено на аркуші [БРМА25.00.00.000ВЗ]).

Двигун закріплюється на станині машини, що забезпечує його фіксоване положення під час роботи та точне спрямування зусилля у напрямку пробивання. Принцип дії двигуна базується на створенні електромагнітної сили в котушці після подачі короткочасного електричного імпульсу з блоку живлення та керування.

У момент надходження імпульсу у котушці формується електромагнітне поле, яке втягує якір, жорстко з'єднаний з пробійником, у внутрішню частину корпусу двигуна. При цьому відбувається стиснення пружини, яка згодом виконує функцію повернення механізму у вихідне положення. Ударне зусилля, створене при втягуванні якоря, передається на пробійник, який пробиває матеріал у заданій точці.

Після завершення дії імпульсу напруга знімається, і під дією пружини рухома частина двигуна разом із пробійником повертається у початкове положення, готуючи систему до наступного робочого циклу. Така конструкція забезпечує високу швидкодію, точність та надійність, що є необхідним для стабільної роботи в умовах серійного перфорування.

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.4 Загальний вигляд лінійного електричного двигуна

На основі виконаних інженерних розрахунків конструктивних елементів лінійного електромагнітного двигуна було здійснено його технологічне виготовлення. Усі деталі приводу виготовлено з вуглецевої конструкційної сталі марки 45, що забезпечує достатню міцність, зносостійкість і технологічність при обробці.

Загальний вигляд зібраного ЛЕМД представлено на рисунку 2.4, де відображено його зовнішню компоновку та основні конструктивні вузли.

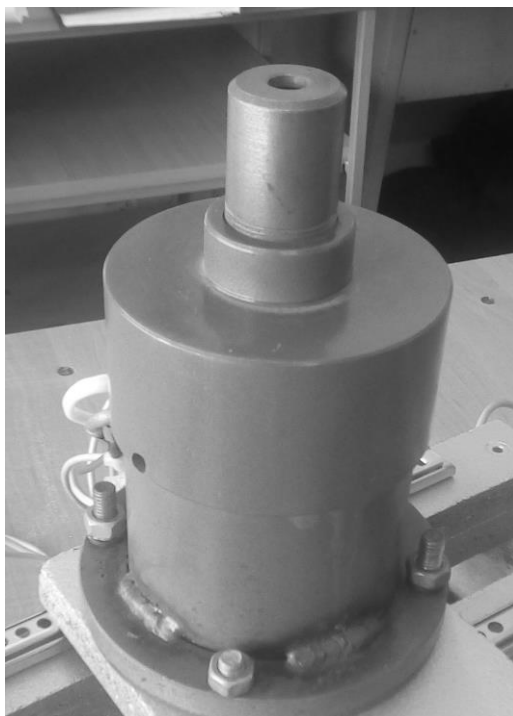


Рисунок 2.4 – Загальний вигляд лінійного електричного двигуна

## 2.5 Блок живлення та керування роботою лінійного електричного двигуна

Для живлення та керування ЛЕМД було використано спеціалізований блок живлення та керування, електрична схема якого наведена на рисунку 2.5 [7].

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48



знаходиться в діапазоні 0,3–10 мілісекунд, що забезпечує високу швидкодію системи.

Підключення пристрою до мережі здійснюється через роз'єм X1, куди подається змінна напруга 220 В, а також підключається сам ЛЕМД. Для запуску процесу перфорування передбачено підключення педалі керування через роз'єм X2. При натисканні педалі на вихід 2 мікроконтролера DD1 подається від'ємний постійний струм, після чого мікроконтролер формує сигнал для відкриття польового транзистора VT1, який у свою чергу керує відкриттям тиристора VS1, ініціюючи робочий цикл ЛЕМД.

Для забезпечення гальванічної розв'язки між блоєм живлення та керування (БЖУ) і електронно-обчислювальною машиною (ЕОМ) при реалізації програмного керування додано в електричну схему оптрон U1 (рисунок 2.6, лист [БРМА25.00.00.000Е2]). Оптод виконує функцію електричної ізоляції між високовольтною та низьковольтною частинами системи та дублює дію педалі шляхом подачі керуючого сигналу на вхід управління.

На рисунку 2.6 представлено фото блоку живлення та керування ЛЕД.

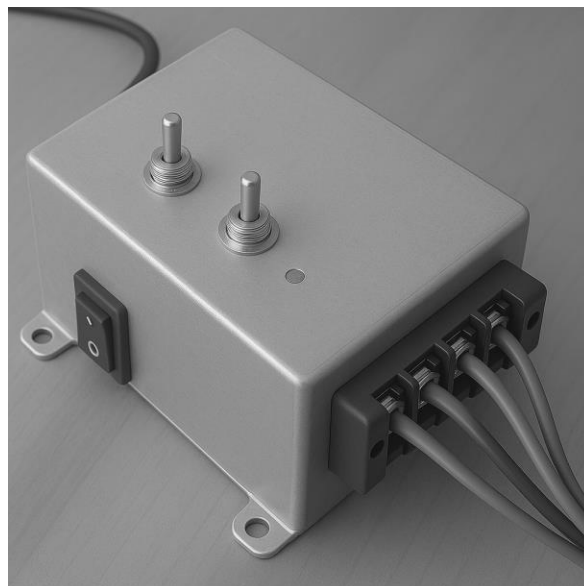


Рисунок 2.6 – Фото блоку живлення та керування лінійним електричним двигуном

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.6 Підбір пробійників для виконання операції перфорування деталей верху взуття

Для забезпечення ефективного виконання технологічної операції перфорування деталей верху взуття в складі запропонованої машини доцільно застосовувати спеціалізоване технологічне оснащення, яке включає пробійники та вирубну плиту [27].

У ролі робочого інструмента доцільно використовувати круглі пробійники з ріжучим лезом замкнутого контуру, діаметром 2, 3, 4, 5, 6 або 8 мм, залежно від заданої конфігурації отворів. Дані пробійники виготовляються з інструментальної сталі марки У7А, яка має високу твердість, стійкість до зношування та добру здатність до термообробки. Їх ріжуча кромка має оптимальний кут загострення  $25^\circ$  без притуплення, що забезпечує чисте різання матеріалу без деформації країв отвору, навіть у м'яких або багат шарових матеріалах.

Важливо зазначити, що саме замкнутий контур ріжучої кромки дозволяє реалізувати рівномірне навантаження по всьому периметру пробійника, що подовжує його ресурс і зменшує ризик поломки під час багаторазового використання. Такі інструменти часто застосовуються для пробивання отворів у шкірі, штучній шкірі, технічних текстилях, а також у багат шарових композиційних матеріалах, які використовуються у взуттєвому виробництві.

Рисунок 2.7 ілюструє вигляд та типорозміри таких пробійників, надаючи візуальне уявлення про їх конструкцію та геометрію.

У парі з пробійником використовується вирубна плита, яка виконує роль опорної поверхні для матеріалу під час пробивання. Для виготовлення вирубної плити застосовується полівінілхлорид (ПВХ) - термопластичний полімер, що поєднує достатню твердість, пружність і зносостійкість. Плити з ПВХ мають високу ударостійкість і добре поглинають енергію пробивання, зберігаючи при цьому форму й цілісність навіть після багаторазових циклів.

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.9 - Пробійники для перфорування отворів у деталях

Цей матеріал широко використовується в устаткуванні електрогідравлічних пресів, де має доведену ефективність у вирубванні та перфоруванні шкіряних і текстильних заготовок. Завдяки рівномірній структурі та стійкості до зминання ПВХ-плити дозволяють зберігати стабільну якість перфорації при серійному виробництві.

Загалом, поєднання правильно підібраних пробійників і вирубної плити дозволяє забезпечити високу якість перфорації, довговічність інструменту та узгодженість з кінематикою машини. Це - критичний фактор для стабільної роботи системи перфорування у складі запропонованого обладнання.

## 2.7 Загальний вигляд пристрою для перфорування деталей верху взуття

Загальний вигляд машини з двокоординатною системою переміщення, призначеної для перфорування деталей, а також системи керування нею представлено на листі [БРМА25.00.00.000ДІ]).

Конструктивно машина складається з кількох основних функціональних блоків: – пристрою для виконання двокоординатного переміщення деталі, який

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

включає рухомий робочий стіл із закріпленим на ньому електромагнітом для нанесення перфораційних отворів;

– системи керування кроковими двигунами, яка забезпечує точне координатне позиціонування заготовки відносно інструмента;

– пристрою живлення драйверів крокових двигунів, що стабілізує енергопостачання і підтримує задані режими роботи переміщуючих механізмів;

– пристрою живлення та керування лінійним електромагнітним двигуном (ЛЕМД), який забезпечує імпульсне переміщення пробійника для створення отворів.

Принцип роботи розробленої машини реалізується наступним чином:

На початковому етапі деталь встановлюється на робочий стіл машини та фіксується. Попередньо за допомогою спеціально розробленого програмного забезпечення формується цифрова програма перфорування, яка визначає траєкторію руху пробійника і точки нанесення отворів.

Після запуску системи керування машина автоматично виконує переміщення заготовки у двох координатах згідно з програмним завданням. У визначених точках електромагнітний пробійник активується і здійснює ударне пробивання отворів у матеріалі. Таким чином забезпечується точне та автоматизоване нанесення перфораційних візерунків відповідно до заданої конфігурації.

Розроблена конструкція дозволяє отримати високу якість перфорування, точність розташування отворів та забезпечує енергоефективну роботу системи, що особливо важливо при виконанні серійних або малосерійних виробничих завдань.

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.6 Висновки до другого розділу

У даному розділі представлено технічне обґрунтування та структурну побудову установки з двокоординатною системою переміщення, призначеної для виконання операцій перфорування деталей у взуттєвому виробництві.

Розділ містить аналіз структурної схеми машини, що визначає взаємозв'язок основних функціональних вузлів, а також описує конструктивне виконання системи координатного переміщення за осями X та Y. Така система забезпечує точне позиціонування робочого інструмента в площині, необхідне для формування перфораційного візерунка з високою повторюваністю.

Окрему увагу приділено вибору типу лінійного електричного двигуна, який виконує функцію виконавчого органу ударної дії. Детально описано принцип дії вибраного лінійного електромагнітного двигуна, його робочий цикл, кінематику рухомих частин та елементи живлення і керування.

Описано електричну схему блоку живлення та керування роботою лінійного електричного двигуна.

Розглянуто технологічне оснащення, яке використовується у процесі перфорування. Зокрема, подано опис круглих пробійників різного діаметра, виготовлених зі сталі У7А. Зазначено параметри інструментів та матеріали, що забезпечують якісну й надійну роботу обладнання в умовах серійного виробництва.

Описано загальний вигляд пристрою з двохкоординатною системою переміщення робочого органу.

Таким чином, розділ комплексно охоплює всі ключові компоненти установки, необхідні для реалізації точної, стабільної та енергоефективної операції перфорування.

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

### 3 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ПЕРФОРУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ВЕРХУ ВЗУТТЯ

#### 3.1 Розрахунок пружини лінійного електричного двигуна

В однообмоткових лінійних електромагнітних двигунах, що застосовуються як приводи у складі пресового або ударного обладнання, робочий хід якоря (разом із закріпленим інструментом) здійснюється під дією електромагнітної сили, яка виникає при подачі напругового імпульсу в обмотку двигуна. Зворотній хід, тобто повернення якоря у вихідне положення після виконання робочої операції, здійснюється за рахунок циліндричної гвинтової пружини стиску, яка встановлюється в осьовій частині конструкції (рисунок 3.1).

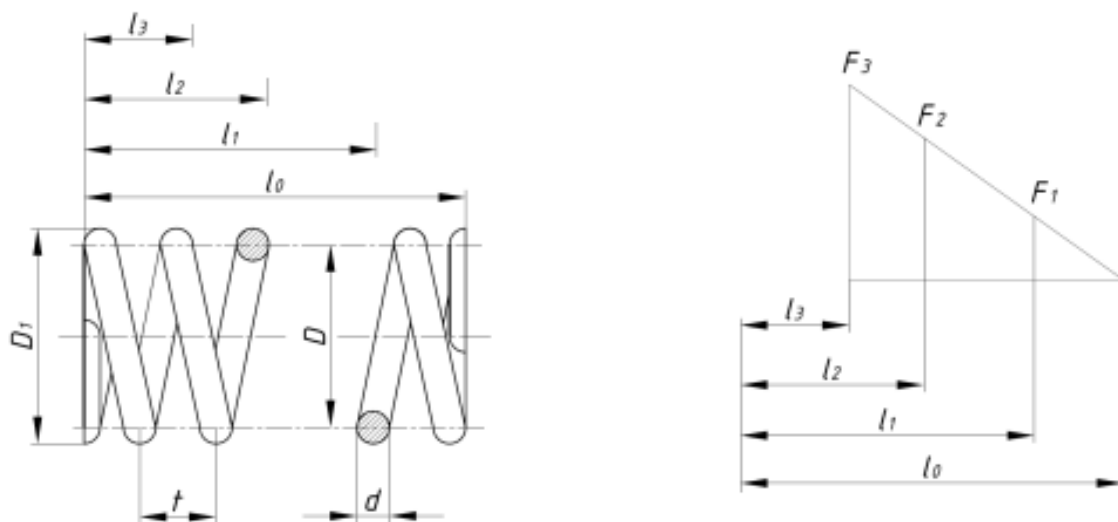


Рисунок 3.1 – Зворотна пружина лінійного електричного двигуна

Функціонування двигуна вимагає точного підбору характеристик зворотної пружини, оскільки саме вона визначає час повернення рухомих частин у вихідне положення і, відповідно, впливає на максимально досягну

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

частоту циклів роботи пристрою. Це критично важливо для забезпечення безперебійної дії приводу у високошвидкісному режимі.

Для виконання розрахунку зворотної пружини, яка забезпечуватиме стабільний холостий хід якоря, необхідно врахувати такі вихідні параметри:

– максимальну частоту ходів  $n$ , тобто кількість робочих циклів за одиницю часу;

– маса  $m$  рухомих елементів ЛЕМД і технологічного оснащення, які створюють інерційне навантаження на систему;

– робочий хід якоря  $h$ , який визначає амплітуду переміщення та впливає на рівень накопиченої потенціальної енергії пружини.

Правильно спроектована пружина дозволяє забезпечити ефективне повернення якоря, мінімізувати час холостого ходу та зберегти ритмічність роботи ЛЕМД у складі автоматизованої машини для перфорування.

Вихідні дані:  $n = 90$  ход/хв.;  $m = 0,82$  кг;  $h = 15$  мм;  $V_0 = 5,5$  м/с;  $D = 9,63$  мм  $\approx 10$  мм. Двигун встановлюється вертикально.

1. Визначення часу повернення якоря ЛЕМД:

$$T_b = (0,02 \dots 0,04)(60/n) \quad (3.1)$$

де  $n$  – частота ходів ЛЕМД,  $n = 40$ ;

$$t_b = 0,025 \cdot (60/40) = 0,017 \text{ с.}$$

2. Встановлення величини відносного інерційного зазору пружини стискання [26]:

$$\delta = 0,05 \dots 0,25$$

3. Розрахунок сили пружини  $P_1$  при попередній деформації, що викликається вагою рухомих частин:

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_1 = mg \cos \alpha \quad (3.2)$$

де  $m=0,82$  кг – маса рухомих частин лінійного електромагнітного двигуна;

$\alpha$  – кут нахилу лінійного електромагнітного двигуна до вертикалі;

$g$  – прискорення вільного падіння.

Так як в нашому випадку  $\alpha=0$ , то:

$$P_1 = mg = 0,82 \cdot 9,8 = 8,036 \text{ Н.}$$

4. Розрахунок сили пружини при робочій деформації:

$$P_2 = (mh / t_e^2) + P_1, \quad (3.3)$$

де  $h$  – максимальне переміщення кінця пружини,

$$P_2 = \frac{0,82 \cdot 0,015}{0,017^2} + 8,036 = 50,6 \text{ Н.}$$

5. Розрахунок сили пружини для крайніх значень  $\delta$  при максимальній деформації [26]:

$$\delta = 1 - \frac{P_1}{P_3}. \quad (3.4)$$

Виходячи з цього впливає:

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_3 = \frac{P_2}{1 - \delta}, \quad (3.5)$$

Підставивши значення було отримано:

$$P_3 = \frac{50,6}{1 - (0,05 \dots 0,25)} = 53,26 \dots 67,47 \text{ Н.}$$

Для забезпечення максимально можливої критичної частоти спрацьовування зворотного ходу якоря в конструкції лінійного електромагнітного двигуна, на основі заданого зовнішнього діаметра пружини  $D=10$  мм, було обрано пружину з оптимальними характеристиками. Відповідно до [26], підібрана пружина №283, яка відповідає вимогам за геометрією та механічними властивостями.

Основні технічні параметри вибраної пружини такі:

- розрахункове навантаження (пружність)  $P_3 = 75$  Н;
- діаметр дроту  $d = 1,2$  мм;
- зовнішній діаметр пружини  $D = 10$  мм;
- жорсткість одного витка  $z_1 = 29,820$  Н/м, що визначає опір деформації при стисканні;
- максимально допустимий прогин одного витка  $s_3 = 2,515$  мм.

Такий вибір пружини дозволяє забезпечити стійку та швидку роботу системи зворотного ходу якоря, що є критичним для досягнення заданої частоти циклів перфорування без перевищення допустимих деформацій і втрати енергоефективності.

6. Визначення дотичного максимального напруження при крученні:

$$\tau_3 \approx 0,5\sigma_B, \quad (3.6)$$

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $\sigma_B=2350 \text{ Н/мм}^2$ ;

Підставивши значення отримано:

$$\tau_3 \approx 0,5 \cdot 2350 = 1175 \text{ Н/мм}^2.$$

7. Розрахунок критичної швидкості:

$$V_{кр} = \frac{\tau_3 \left(1 - \frac{P_2}{P_3}\right)}{\sqrt{2G\rho}}, \quad (3.7)$$

де  $G=7,85 \cdot 10^4 \text{ кгс/мм}^2$  – модуль зсуву,

$\rho=8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  – густина матеріалу для пружинної сталі.

Підставивши значення отримано:

$$V_{кр} = \frac{1175 \cdot \left(1 - \frac{50,6}{67,47}\right)}{\sqrt{2 \cdot 7,85 \cdot 10^4 \cdot 8 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3}}} = 8,3 \text{ м/с.}$$

Визначення відношення:

$$\frac{V_0}{V_{кр}} = \frac{5,5}{8,3} = 0,66 < 1.$$

Таким чином, пружина працює в режимі без зіткнення витків, що виключає локальні напруження та тертя між витками, а отже, підвищує її довговічність і циклічну витривалість в умовах багаторазового стискання.

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Визначення жорсткості пружини:

$$z = (P_2 - P_1) / n, \quad (3.8)$$

Підставивши значення отримано:

$$z = \frac{(50,6 - 8,036)}{15} = 2,84 \text{ Н/мм.}$$

9. Визначення числа витків пружини:

$$n_1 = \frac{z_1}{z}, \quad (3.9)$$

Підставивши значення отримано:

$$n_1 = \frac{29,82}{2,84} = 10,5.$$

Прийнято  $n_1=11$ .

10. Розрахунок уточненого значення жорсткості здійснюється за формулою:

$$z' = \frac{z_1}{n_1}, \quad (3.10)$$

Підставивши значення отримано:

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$z' = \frac{29,82}{11} = 2,71 \text{ Н/мм.}$$

11 Розрахунок повного числа витків пружини здійснюється за наступною формулою:

$$n_1 = n + n_2, \quad (3.11)$$

де  $n_2$  – число неробочих витків,  $n_2=1,5$  [26],

$$n_1 = 10,5 + 1,5 = 12.$$

12. Розрахунок діаметра пружини проводиться за виразом:

$$D_0 = D - d, \quad (3.12)$$

$$D_0 = 10 - 1,2 = 8,8 \text{ мм.}$$

13. Визначення попередньої, робочої та максимальної деформації за формулою:

$$F_1 = \frac{P_1}{z}, \quad (3.13)$$

$$F_2 = \frac{P_2}{z}, \quad (3.14)$$

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_3 = \frac{P_3}{z}, \quad (3.15)$$

Підставивши значення було отримано:

$$F_1 = \frac{8,036}{2,71} = 2,97 \text{ мм},$$

$$F_2 = \frac{50,6}{2,71} = 18,7 \text{ мм},$$

$$F_3 = \frac{67,47}{2,71} = 24,9 \text{ мм}.$$

14. Визначення висоти пружини в вільному стані  $H_0$ , висоти пружини при попередній, робочій та максимальній деформації  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$ :

$$H_0 = H_3 + F_3, \quad (3.16)$$

$$H_1 = H_0 - F_1, \quad (3.17)$$

$$H_2 = H_0 - F_2, \quad (3.18)$$

$$H_3 = (n_1 + 1 - n_3)d, \quad (3.19)$$

де  $n_3=1,5$  – число зашліфованих витків [26].

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підставивши значення отримано:

$$H_3 = (12 + 1 - 1,5) \cdot 1,2 = 13,8 \text{ мм},$$

$$H_0 = 13,8 + 24,9 = 38,7 \text{ мм},$$

$$H_2 = 38,7 - 18,7 = 20 \text{ мм},$$

$$H_1 = 38,7 - 2,97 = 35,73 \text{ мм}.$$

15 Визначення кроку пружини здійснюється за формулою:

$$t_{II} = f_3 + d, \tag{3.20}$$

Підставивши значення отримано:

$$t_{II} = 2,515 + 1,2 = 3,715 \text{ мм}.$$

### 3.2 Висновки до третього розділу

У третьому розділі було виконано розрахунок параметрів зворотної пружини, що забезпечує стабільний і швидкий зворотний хід якоря в конструкції лінійного електромагнітного двигуна.

Виходячи із заданих параметрів частоти руху, маси рухомих частин та ходу якоря, було визначено необхідні характеристики пружини. На основі

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

розрахунків обрано оптимальну пружину №283 із зовнішнім діаметром 10 мм, що відповідає вимогам щодо міцності, жорсткості та циклічної витривалості.

Було підтверджено, що обрана пружина працює в режимі без зіткнення витків, що підвищує її довговічність. Визначені основні механічні характеристики, такі як жорсткість пружини, кількість витків, попередня і робоча деформація, висота вільного та робочого станів.

Таким чином, розроблена пружина забезпечує надійне функціонування лінійного електромагнітного двигуна у складі машини для перфорування деталей і відповідає всім вимогам до високочастотного циклічного режиму роботи.

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

## ВИСНОВКИ

У першому розділі було проведено детальний аналіз конструктивних рішень машин для виконання операцій перфорування. На основі аналізу встановлено, що найпоширенішим типом приводу в існуючих промислових зразках є гідравлічний привод, який забезпечує високу потужність і стабільність робочих характеристик. Проте його основними недоліками є значні енергетичні витрати, високий рівень шуму, необхідність регулярного обслуговування гідросистеми, а також низька економічна ефективність у випадку мало- та середньосерійного виробництва. З метою оптимізації енергоспоживання та підвищення керованості машини було обґрунтовано доцільність застосування електромагнітного типу приводу, який забезпечує високу швидкість спрацювання, точне дозування зусиль і зручну інтеграцію із цифровими системами керування.

Як кінематичну базу для побудови машини обрано конструктивну схему поздовжньо-фрезерного верстата з нерухомою поперечкою, що забезпечує високу жорсткість системи, стабільність позиціонування деталей та мінімізацію вібрацій і люфтів під час роботи. Отримане технічне рішення є доцільним для створення енергоефективної, точної та надійної машини для перфорування деталей верху взуття.

У другому розділі розглянуто технічне обґрунтування побудови установки з двокоординатною системою переміщення для операцій перфорування. Було розроблено і проаналізовано структурну схему машини, в якій визначено взаємозв'язки між основними функціональними модулями, такими як система координатного переміщення за осями X і Y, блок електромагнітного ударного приводу, системи живлення і керування.

Особливу увагу приділено розробці конструкції лінійного електромагнітного двигуна (ЛЕМД), описано його кінематику, принцип дії та елементи електроживлення. На основі розробленої електричної схеми пристрою

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

живлення та управління забезпечено узгоджену роботу приводу з можливістю регулювання сили удару і частоти робочих циклів.

Також було розглянуто питання технологічного оснащення: підібрано робочі інструменти - круглі пробійники діаметром від 2 до 8 мм, виготовлені зі сталі У7А, та вирубну плиту з полівінілхлориду, яка забезпечує якісне пробивання отворів. Розділ комплексно охоплює розробку конструкції, яка забезпечує точне, стабільне та енергоефективне перфорування деталей із високою повторюваністю технологічного процесу.

У третьому розділі проведено розрахунок параметрів зворотної пружини, необхідної для забезпечення стабільної роботи лінійного електромагнітного двигуна у складі машини. Виходячи із заданих вхідних параметрів (частота циклів, маса рухомих частин, робочий хід якоря), визначено основні механічні характеристики пружини. На основі розрахунків обрано пружину №283 із зовнішнім діаметром 10 мм, яка відповідає вимогам щодо міцності, жорсткості та циклічної витривалості при багатократному навантаженні.

Було підтверджено, що обрана пружина працює в режимі без зіткнення витків, що забезпечує відсутність локальних напружень і тертя, підвищуючи тим самим її довговічність і надійність. Визначено жорсткість пружини, кількість робочих і повних витків, попередню і робочу деформацію, а також висоту пружини у вільному і робочому станах.

Таким чином, вибрана пружина повністю задовольняє вимоги для забезпечення надійного зворотного ходу якоря ЛЕМД при високочастотному режимі роботи та стабільній динаміці машини для перфорування.

Усі проведені дослідження і розробки були спрямовані на створення енергоефективного, високоточного та технологічно надійного пристрою для автоматизованого перфорування деталей вершу взуття.

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. А.К. Кармаліта, Є.Р. Пильник, Д.В. Прибега. Дослідження процесу перфорування деталей взуття. Вісник Хмельницького національного університету. №3. 2010. – С.95-98.

2. П.С. Майдан, Г.М. Драпак. Класифікація способів та методів попередньої фіксації плоских деталей верху взуття перед їх з'єднанням у заготовку. Вісник Хмельницького національного університету №3. 2010. - С.80-95.

3. Поліщук О.С., Антонюк А.П. Розробка машини із двохкоординатною системою переміщення матеріалу для перфорування деталей верху взуття. Технічна творчість. №1. 2016. С.35-37.

4. Універсальний довідник взуттєвика: навч. посібник / В. П. Коновалова [та ін.]. – К. : Лібра, 2005. – 720 с.

5. О.С. поліщук, А.К. Кармаліта. Плімерні матеріали для виробництва виробів легкої промисловості. Вісник Хмельницького національного університету №2. 2018. - С.134-140.

6. Головенко Т.М. Квалітологія виробів легкої промисловості: навчальний посібник / Т.М. Головенко, О.В. Пахолук, Л.Г. Бартків, О.В. Шовкомуд. – Луцьк: ЛНТУ, 2023. – 245 с.

7. Інноваційні, енерго- та ресурсозберігаючі технології галузі : методичні вказівки до вивчення дисципліни для здобувачів вищої освіти ОНР «доктор філософії» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / упоряд.: О.С. Поліщук, М.Є. Скиба, С.П. Лісевич, О.О. Коротич, В.О. Харжевський. Хмельницький : ХНУ, 2021. 212 с.

8. Паспорт та посібник з експлуатації преса ПГТП – 45, 1985. - 41 с.

9. Паспорт та посібник з експлуатації преса ПГТП – 100, 1985. - 41 с.

10. Преси гідравлічні інструментальні SCHOEN. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.machineseeker.com.ua/schoen-m/i->

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

771081?srsltid=AfmBOorKDhszP\_U39oT2PIB2-\_JJ\_-  
e9USzqQYnH\_T2cEef8P7PBor-v

11. Паспорт та посібник з експлуатації преса ПГТП–45–О, 1989. -36с.
12. Schön 22 ES [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://schuh-schell.com/Schoen-22-ES\\_1](https://schuh-schell.com/Schoen-22-ES_1).
13. Вирубні преси [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://shvejnik.com.ua/virubni-presi/brend-virobnik-atom>.
14. Обладнання для виробництва взуття [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://zotti.com.ua/ua/g21851957-oborudovanie-dlya-proizvodstva>
15. Atom High Tonnage Cut & Seal Embossing Presses [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://cutting-systems.co.uk/atom-high-tonnage-cut-seal-embossing-presses/>.
16. Macchine per calzature e pelletteria [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.sagitta.it/>.
17. Delta professional [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://sweika.com.ua/ua/168-delta-professional>
18. Виробник швейного обладнання Golden Wheel Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://sewtech.com.ua/uk/golden-wheel/?srsltid=AfmBOorPg4asrLVddYz5e\\_HuX\\_sij9S04wkjLe1jJZ7QIU8UJC89x](https://sewtech.com.ua/uk/golden-wheel/?srsltid=AfmBOorPg4asrLVddYz5e_HuX_sij9S04wkjLe1jJZ7QIU8UJC89x) ХО.
19. Фрезерні верстати з ЧПК [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://surl.li/escmqm>.
20. CNC-0303 - верстат для 3D обробки малих форм в ювелірній промисловості [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://tdk.2mcl.com/index/pagescnc0303.php>
21. Методи проектування технологічних процесів та обладнання: навчальний посібник / О.А. Науменко, С.І. Овсянніков, Т.О. Баньковська, М.М. Борис, С.А. Шевченко, Є.М. Чаплигін. - Харків: ТОВ «ЕДЕНА». 2010. –199 с.

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

22. Біліченко В.В., Крещенецький В.Л. Проектування та експлуатація технологічного обладнання: курсове проектування / В.В. Біліченко, В.Л. Крещенецький. – Вінниця: ВНТУ, 2010 – 104 с.

23. Закалов О.В. Дипломне проектування технологічного обладнання: навчальний посібник / О.В. Закалов, В.Я. Ворошук. – Видавництво ТНТУ ім.І. Пулюя, 2011.– 350 с.

24. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. - Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.

25. Інструменти для пробивання шкіри [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.ebuy7.com/uk/1-40mm-belt-punching-leather-punching-punch-puncher-cylindrical-punching-tool-metal-stainless-steel-punching-diy-hole-puncher.html>.

26. Роганов Л.Л., Карнаух С.Г. Навчальний посібник до курсового та дипломного проектування для студентів механічних спеціальностей. Розрахунок пружин, ресор та пружних амортизаторів. – Краматорськ: ДДМА, 2000. – 112 с.

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# ДОДАТОК А

					БРМА25.00.00.000ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		