

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
ДИЗАЙНУ

Факультет мехатроніки та комп'ютерних технологій

Кафедра прикладної механіки та машин

Дипломна магістерська робота

на тему «Удосконалення та дослідження пресового обладнання
для вирубкування деталей взуття»

Виконав: студент групи МгПМ-20
спеціальності 131 Прикладна механіка
освітньої програми Мехатроніка та
робототехніка

Михайло ЩЕРБАНЬ

Керівник к.т.н., доц. Микола РУБАНКА

Рецензент к.т.н., доц. Юрій КОВАЛЬОВ

Київ 2021

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
ДИЗАЙНУ

Факультет мехатроніки та комп'ютерних технологій


Кафедра прикладної механіки та машин

Спеціальність 131 Прикладна механіка,

Освітня програма Мехатроніка та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри прикладної механіки
та машин

 Олександр МАНОЙЛЕНКО

“ _____ ” _____ 2021 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТНУ

Щербаню Михайлу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення та дослідження пресового обладнання для виробування деталей взуття

Науковий керівник роботи Рубанка Микола Миколайович, к.т.н., доц.,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти «04» 10 2021 року № 286

2. Строк подання студентом роботи: грудень 2021 року

3. Вихідні дані до роботи: Технічні характеристики і типові схеми пресів для виробування деталей взуття.

4. Зміст дипломної роботи (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. Розділ 1. Аналітичний огляд за темою досліджень. Розділ 2. Аналітичне дослідження процесу виконання технологічної операції виробування на електрогідравлічному пресовому обладнанні. Розділ 3. Практичне застосування результатів досліджень. Загальні висновки. Список використаних джерел.

6. Консультанти розділів дипломної магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Вступ	Микола РУБАНКА, к.т.н., доц		
Розділ 1	Микола РУБАНКА, к.т.н., доц		
Розділ 2	Микола РУБАНКА, к.т.н., доц		
Розділ 3	Микола РУБАНКА, к.т.н., доц		
Висновки	Микола РУБАНКА, к.т.н., доц		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної магістерської роботи	Терміни виконання етапів	Примітка про виконання
1	Вступ	15.09.2021	
2	Розділ 1. Аналітичний огляд за темою досліджень	10.10.2021	
3	Розділ 2. Аналітичне дослідження процесу виконання технологічної операції вирубання на електрогідравлічному пресовому обладнанні	20.10.2021	
4	Розділ 3. Практичне застосування результатів досліджень	25.11.2021	
5	Висновки	27.11.2021	
6	Оформлення дипломної магістерської роботи (чистовий варіант)	2.12.2021	
7	Здача дипломного магістерського проекту на кафедру для рецензування (за 14 днів до захисту)	2.12.2021	
8	Перевірка дипломної магістерської роботи на наявність ознак плагіату (за 10 днів до захисту)	7.12.2021 15.12.2021	5% - 11%
9	Подання дипломної магістерської роботи на затвердження завідувачу кафедри (з 7 днів до захисту)	10.12.2021	

Студент

(підпис)

Михайло ЩЕРБАНЬ

Науковий керівник роботи

(підпис)

Микола РУБАНКА

Директор НМЦУПФ

(підпис)

Олена ГРИГОРЕВСЬКА

АНОТАЦІЯ

Щербань М.В. Удосконалення та дослідження пресового обладнання для вирубування деталей взуття. – Рукопис.

Дипломна магістерська робота за спеціальністю 131 Прикладна механіка, освітня програма "Мехатроніка та робототехніка" – Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2021 рік.

В магістерській роботі запропоновано удосконалення конструкції пресового обладнання для вирубування деталей взуття. Завданням роботи є визначення ефективних способів спрямованих на вдосконалення вирубних пресів легкої промисловості.

Метою досліджень є вдосконалення пресів для вирубування деталей виробів легкої промисловості.

Об'єктом дослідження є електрогідравлічне пресове обладнання для виконання технологічних операцій легкої промисловості.

Предметом дослідження є вдосконалення пресів для вирубування деталей виробів легкої промисловості.

Завдання, що поставлені в даній роботі, вирішувалися на основі сучасних математичних методів з використанням класичних положень теорії механіки, фізики, електротехніки, експериментальних методів дослідження енергетичних і силових показників електрогідравлічного пресового обладнання. Деякі операції математичного моделювання, а також обчислення і обробка результатів експериментів виконані в середовищах Mathcad і Excel.

Ключові слова: деталі взуття, вирубування, зусилля, гідравлічний прес, привод, моделювання, електродвигун, маховик.

SUMMARY

Shcherban M.V. Improvement and research of press equipment for cutting shoe parts. - Manuscript.

Diploma master's degree work after speciality 131 Applied Mechanics, educational program "Mechatronics and Robotics" - Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, 2021.

In master's degree work proposes to improve the design of press equipment for cutting shoe parts. The task of the work is to determine effective ways to improve cutting presses of light industry.

The aim of the research is to improve presses for cutting parts of light industry products.

The object of research is electrohydraulic press equipment for light industry technological operations.

The subject of the study is the improvement of presses for cutting parts of light industry products.

The tasks set in this paper were solved on the basis of modern mathematical methods using the classical provisions of the theory of mechanics, physics, electrical engineering, experimental methods of research of energy and power indicators of electrohydraulic press equipment. Some operations of mathematical modeling, as well as calculation and processing of experimental results are performed in Mathcad and Excel.

Key words: shoe details, felling, efforts, hydraulic press, drive, modeling, electric motor, flywheel.

АННОТАЦИЯ

Щербань М.В. Совершенствование и исследование прессового оборудования для вырубki деталей обуви. – Рукопись.

Дипломная магистерская работа по специальности 131 Прикладная механика, образовательная программа "Мехатроника и робототехника" – Киевский национальный университет технологий и дизайна, Киев, 2021 год.

В магистерской работе предложено усовершенствование конструкции прессового оборудования для вырубki деталей обуви. Задачей работы является определение эффективных способов направленных на усовершенствование вырубных прессов легкой промышленности.

Целью исследований является усовершенствование прессов для вырубki деталей изделий легкой промышленности.

Объектом исследования является гидравлическое прессовое оборудование для выполнения технологических операций легкой промышленности.

Предметом исследования является усовершенствование прессов для вырубki деталей изделий легкой промышленности.

Поставленные в данной работе задачи решались на основе современных математических методов с использованием классических положений теории механики, физики, электротехники, экспериментальных методов исследования энергетических и силовых показателей электрогидравлического прессового оборудования. Некоторые операции математического моделирования, а также вычисление и обработка результатов экспериментов выполнены в средах MathCad и Excel.

Ключевые слова: детали обуви, вырубка, усилия, гидравлический пресс, привод, моделирование, электродвигатель, маховик.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	10
1.1. Аналіз пресового обладнання, що використовується для виконання технологічних операцій легкої промисловості	10
1.2. Опис конструкції і принципу роботи пресу ПВГ-8.....	13
1.3. Основні недоліки електрогідравлічного пресового обладнання.....	20
1.4. Аналіз робіт по дослідженню технологічної операції вирубування в легкій промисловості.....	21
Висновки по розділу 1.....	26
РОЗДІЛ 2. АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОПЕРАЦІЇ ВИРУБУВАННЯ НА ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОМУ ПРЕСОВОМУ ОБЛАДНАННІ.....	27
2.1. Перетворення енергії в електрогідравлічних пресах.....	27
2.2. . Фізична модель процесу вирубування на електрогідравлічному пресовому обладнанні.....	28
2.3. Математична модель процесу вирубування на електрогідравлічному пресовому обладнанні.....	30
Висновки по розділу 2.....	38
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	39
3.1. Визначення енергії, яку необхідно витратити для процесу пуску привода з маховиком преса ПВГ – 8	39
3.2. Визначення енергії, яку необхідно витратити для процесу вирубування	42
3.3. Визначення залежності зменшення швидкості маховика при витраті ним енергії на вирубування	43
3.4. Розрахунок механічної характеристики асинхронного двигуна преса з маховиком.....	45
3.5. Визначення максимального моменту інерції обертових мас преса ПВГ-8 при пуску електродвигуна з маховиком	49
3.6. Розрахунок геометричних параметрів маховика.....	50
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53
ДОДАТОК А.....	58
ДОДАТОК Б.....	59
ДОДАТОК В.....	60
ДОДАТОК Г.....	62

ВСТУП

Актуальність теми. Розвиток легкої промисловості в цілому не можливий без вдосконалення її складових, однією з яких є різноманітне обладнання, серед якого вагоме місце займають вирубні преси.

Технологічна операція вирубування деталей одягу та взуття відіграє значну роль в технологічному процесі виготовлення виробів легкої промисловості, а також суттєво впливає на якість та собівартість цих виробів.

Вказана операція виконуються в основному на електрогідравлічному пресовому обладнанні. Незважаючи на те, що дане обладнання вже багато років досить успішно використовується на підприємствах легкої промисловості, сучасні ринкові та енергетичні умови вимагають його вдосконалення з точки зору покращення якості виконання операцій та зменшення енергетичних витрат на їх виконання, підвищення коефіцієнта корисної дії та надійності обладнання.

З практики відомо цілий ряд недоліків вище вказаного обладнання в розрізі зазначених проблем. Сучасні методи експериментальних досліджень дозволяють проводити досить точні вимірювання кінематичних, динамічних та енергетичних параметрів обладнання, що дозволяє встановити причини недоліків його роботи.

Дані дослідження дозволять визначити ефективні способи усунення знайдених недоліків, що є актуальним завданням, спрямованим на вдосконалення вирубних пресів легкої промисловості.

Мета і задачі досліджень. Метою досліджень є вдосконалення пресів для вирубування деталей виробів легкої промисловості.

Для досягнення поставленої мети були визначені і вирішені наступні завдання:

- встановити тенденції розвитку електрогідравлічного пресового обладнання в різних галузях промисловості;
- розробити математичну модель технологічного процесу

вирубування на електрогідравлічному пресовому обладнанні;

- виявити шляхи покращення техніко-економічних показників електрогідравлічного пресового обладнання таких як: підвищення коефіцієнта корисної дії, надійності роботи, зменшення енерговитрат;

- розробити метод вибору раціональних енергетичних параметрів вирубних пресів.

Об’єкт дослідження – електрогідравлічне пресове обладнання для виконання технологічних операцій легкої промисловості.

Предмет дослідження – вдосконалення пресів для вирубування деталей виробів легкої промисловості.

Методи досліджень. Завдання, що поставлені в даній роботі, вирішувалися на основі сучасних математичних методів з використанням класичних положень теорії механіки, фізики, електротехніки, експериментальних методів дослідження енергетичних і силових показників електрогідравлічного пресового обладнання. Деякі операції математичного моделювання, а також обчислення і обробка результатів експериментів виконані в середовищах MathCAD і Excel.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

- встановлено тенденції розвитку вирубних пресів в легкій промисловості і перевірено їх ефективність використання;

- розроблено математичну модель технологічного процесу вирубування на електрогідравлічному пресовому обладнанні консольного типу;

- отримано аналітичні залежності зміни спожитої потужності від периметрів різача для різних видів матеріалу і моментів інерцій маховика.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що визначено раціональні енергетичні показники приводу електрогідравлічного пресового обладнання під час виконання вирубування.

Апробація результатів дослідження. Результати дипломної магістерської роботи доповідались на:

- науковому семінарі кафедри Прикладної механіки та машин КНУТД (м. Київ, 2021 р.);

- 54-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов (г. Витебск, 2021 г.).

Публікації. Основний зміст і результати дипломної магістерської роботи подані для опублікування у статті: Удосконалення приводів з маховиками машин легкої промисловості / М.В. Щербань, О.В. Місяць, М.М. Рубанка, В.П. Місяць, О.С. Поліщук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2021 рік.

- К расчету надежности носочных автоматов / Л. Н. Березин, Н. Н. Рубанка, Б. О. Сауляк, М. В. Щербань // Тезисы докладов 54-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, г. Витебск, 28 апреля 2021 года. – Витебск : УО "ВГТУ", 2021. – С. 299-300. (Додаток А).

- Рубанка М. М. Шляхи удосконалення випробувальних машин лабораторії опору матеріалів / М. М. Рубанка, В. П. Місяць, М. В. Щербань // Технічна творчість : збірник наукових праць. – 2021. – № 4. – С. 35-36. (Додаток Б).

Структура роботи. Дана дипломна магістерська робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 32 найменувань на 4 сторінках і додатків. Основний текст викладено на 56 сторінках. Повний обсяг дипломної магістерської роботи 63 сторінки.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз пресового обладнання, що використовується для виконання технологічних операцій легкої промисловості

В легкій промисловості в якості приводу пресового обладнання найбільше поширення отримали механічні, електромеханічні, пневматичні та електрогідравлічні приводи [1].

Найпершим із приводів, який застосовувався у вирубних пресах, був механічний [2]. До його недоліків можна віднести: громіздкість, шумність роботи та невеликий коефіцієнт корисної дії.

Електромеханічний привод використовується переважно в силових машинах ударної дії, які призначені для вставки фурнітури, клеймування деталей, забивання закріплювачів та інших операцій [2, 3].

За простотою, надійністю, економічністю і точністю переміщення робочих органів пресів електромеханічний привод досить ефективний. Легкість управління і гнучкість електромеханічного приводу дозволяють вирішувати різноманітні технічні завдання [3]. Однак він має і ряд суттєвих недоліків: довгі кінематичні ланки з великою кількістю проміжних ланок; потреба в частому змащуванні; невігідний режим роботи двигуна із змінним навантаженням, що обумовлює його низькі енергетичні показники.

Пневматичний привод через обмеженість силових можливостей в основному застосовується в машинах, які створюють незначні технологічні зусилля (до 30 кН). Обмеження силових можливостей пневмоприводу викликане тим, що для створення значних зусиль потрібно збільшувати габаритні розміри силових пристроїв, що призводить до ускладнення конструкцій машин (громіздкі та незручні в експлуатації). Тому використання даного приводу в силових машинах є недоцільним [4, 5].

В легкій промисловості електрогідравлічний привод використовується

в силових машинах ударної дії, призначених для вирубування, перфорації, тиснення, формування деталей із штучних і натуральних шкір та інших операцій [6]. Основними перевагами електрогідравлічного приводу є: можливість отримання великих ходів повзуна; створення значних зусиль; забезпечення плавності руху робочих органів машини; забезпечення безступеневого регулювання швидкості в широкому діапазоні; спрощене керування режимами роботи приводу під час руху виконавчих механізмів; простота реверсування; легкість включення, переключення і управління; стандартність і типовість пристроїв; безшумність роботи; нечутливість до перевантажень [6].

Проаналізувавши механічний, електромеханічний, пневматичний і електрогідравлічний приводи, можна зробити висновок про те, що незважаючи на ряд недоліків найбільш оптимальним для використання в якості приводу вирубних пресів є саме електрогідравлічний привод.

Електрогідравлічне пресове обладнання, що використовується в легкій промисловості в таких галузях, як взуттєва, швейна та шкіргалантерейна, застосовується для вирубування деталей різакон на нерухомій опорі. Конструктивно преси розрізняють за типом переміщення робочого органу [2]: траверсні, кареточні, консольні без повороту ударника, консольні з поворотом ударника (рис. 1.1).

Кожен вид пресу має свою базову конструкцію, апробовану багатолітньою експлуатацією, яка вдосконалюється у відповідності з рівнем розвитку технології та техніки. В результаті створюються нові модифікації, більш кращі за своїми технічними характеристиками, а також розширюються їхні технологічні можливості. Наприклад, вирубний прес ПВГ-8-0 з ударником консольного типу після вдосконалення (створення конструкції з автоматичним поворотом ударника) отримав маркування ПВГ-8-1-0, а після заміни зворотної пружини ударника акумульованою енергією стиснутого повітря, яким наповнюється верхня порожнина скалки, – ПВГ-8-2-0. При вдосконаленні консольних пресів з метою підвищення зусилля вирубування і

продуктивності (з 80 кН до 100...120 кН) з'явилися наступні модифікації – преси ПКП-10-0 і ПТГ-12-0. Таким же чином вдосконалювалися преси траверсного типу [7].

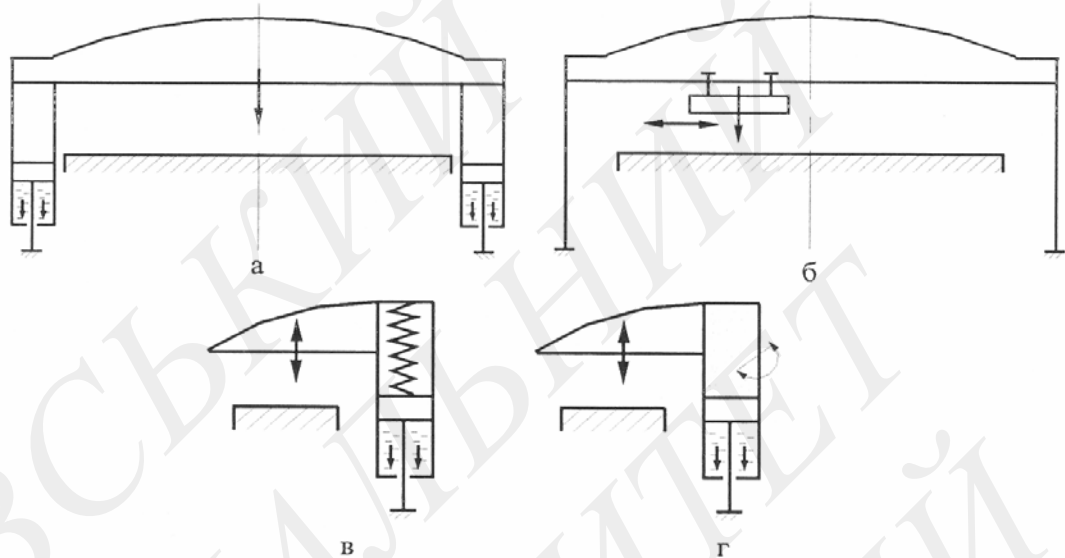


Рис. 1.1. Основні типи вирубних пресів легкої промисловості:

а – траверсні; б – кареткові; в – консольні без повороту ударника;

г – консольні з поворотом ударника

Серед європейських виробників електрогідравлічного пресового обладнання найвідомішими є: Atom (Італія), Compart (Німеччина), Schoen&Sandt (Німеччина) [8].

На сьогодні на підприємствах легкої промисловості України найбільш поширеними електрогідравлічними пресами консольного типу є ПВГ-8-2-0, S120 С італійської фірми “Atom” і C06.01 німецької фірми “Compart”. Вказані преси відрізняються між собою за масогабаритними показниками, зусиллям вирубання, продуктивністю, потужністю електродвигуна привода [8].

Основними технічними показниками, які характеризують вирубні преси консольного типу є (додаток А, табл. А.5) вид привода (механічний, гідравлічний), максимальне зусилля вирубання, проліт преса, габаритні розміри та максимальна маса.

Враховуючи вказані переваги для досліджень обрано електрогідравлічні преси консольного типу.

1.2. Опис конструкції і принципу роботи пресу ПВГ-8

Прес взуттєвий вирубний електрогідравлічний консольний з поворотним ударником для вирубування деталей верху взуття та шкіргалантерейних виробів.

Прес електрогідравлічний, з ручним поворотом ударника, через що незручний у роботі. Ручний поворот ударника – основна відмінність цього преса від моделі – ПВГ-8-2-0, в якому ударник повертається автоматично.

Інша відмінність – вихідне положення ударника встановлюється вручну, тоді як ПВГ-8-2-0 цей процес механізований і здійснюється за допомогою спеціального реверсивного двигуна. Електричне управління зібрано на пускачах, а ПВГ-8-2-0, ПКП-10 та інших сучасніших пресах застосовуються напівпровідникові схеми на тиристорах.

Взуттєвий прес ПВГ-8 призначений для вирубування деталей верху взуття зі шкіри та штучних шкір на сталевій плиті різакми з притупленими лезами, а також гострими різакми на неметалевій плиті або на алюмінієвій плиті з ізолюючою плівкою.

Матеріал розстилають на вирубній плиті і ставлять на нього різак. Правою рукою встановлюють ударник над різаком, а лівою натискають на кнопку долоні включення. При цьому прес включається, робить один удар (вирубку) і автоматично вимикається, а ударник повертається у верхнє положення. Правою рукою ударник відводять убік, прибирають вирубану деталь та різак та повторюють робочий цикл.

Технічна характеристика преса ПВГ-8:

- продуктивність, пара деталей на годину..... 250;
- максимальне зусилля прорубування, кН (кгс)... 78,4 (8000);
- хід ударника (регульований), мм..... 0 – 30;

- виліт ударника, мм..... 715;
- розміри робочої площі ударника, мм. 350X450;
- відстань між площинами ударника та столу, мм 80-180;
- найбільший периметр деталей, що вирубуються, мм.... 1100;
- потужність електродвигуна гідроприводу, кВт ... 1,1;
- розмір по фронту, мм 1100;
- глибина, мм 900;
- висота, мм 1440;
- маса, кг..... 1000.

Прес складається з станини з механізмом ударника, гідравлічного приводу та електрообладнання.

Станина 1 (рис. 1.2) та стіл преса становлять одне ціле. На столі лежить ізолююча прокладка 2, на якій міститься сталева вирубна плита 3, підключена через контакт 4 та електричний провід 5 до електромережі управління пресом.

При розрубванні матеріалу гострими різакми на столі замість сталеві плити 3 встановлюють неметалеву вирубну плиту або алюмінієву плиту з ізолюючою плівкою. Усередині станини розміщені механізми гідроприводу 6, а з правого боку в ніші – панель 7. Знімний передній щит 8 і правий щит 9 служать для огороження гідроприводу і панелі. На станині є кронштейн 10 з кнопкою долонею 11 і сигнальною лампочкою 12 для сигналізації готовності преса до роботи. Там розміщена кнопкова станція 13, два знімних допоміжних столика 14, кронштейн 15 для навішування шкір і болт для заземлення станини преса. Кронштейн 10, що несе долонну кнопку 11, можна повертати щодо вертикальної осі. Це дає можливість встановлювати долонну кнопку у положення, зручне для робітника. Для повороту кронштейна 10 звільняють накидну гайку та після установки кронштейна її знову затягують.

Під ударником знаходиться кінцевий технологічний контакт (кінцевий вимикач) 16 положення якого по висоті регулюють гвинтом 17 і гайкою 18.

Обмежувач 1 (рис. 1.2), що складається з планки, пластинчастої пружини та гумової прокладки, прикріпленої болтами 2 до ребра всередині станини, є амортизатором, що обмежує рух ударника при відведенні його з робочої зони вправо і пом'якшує удар шпонки 3, жорстко закріпленої на 4.

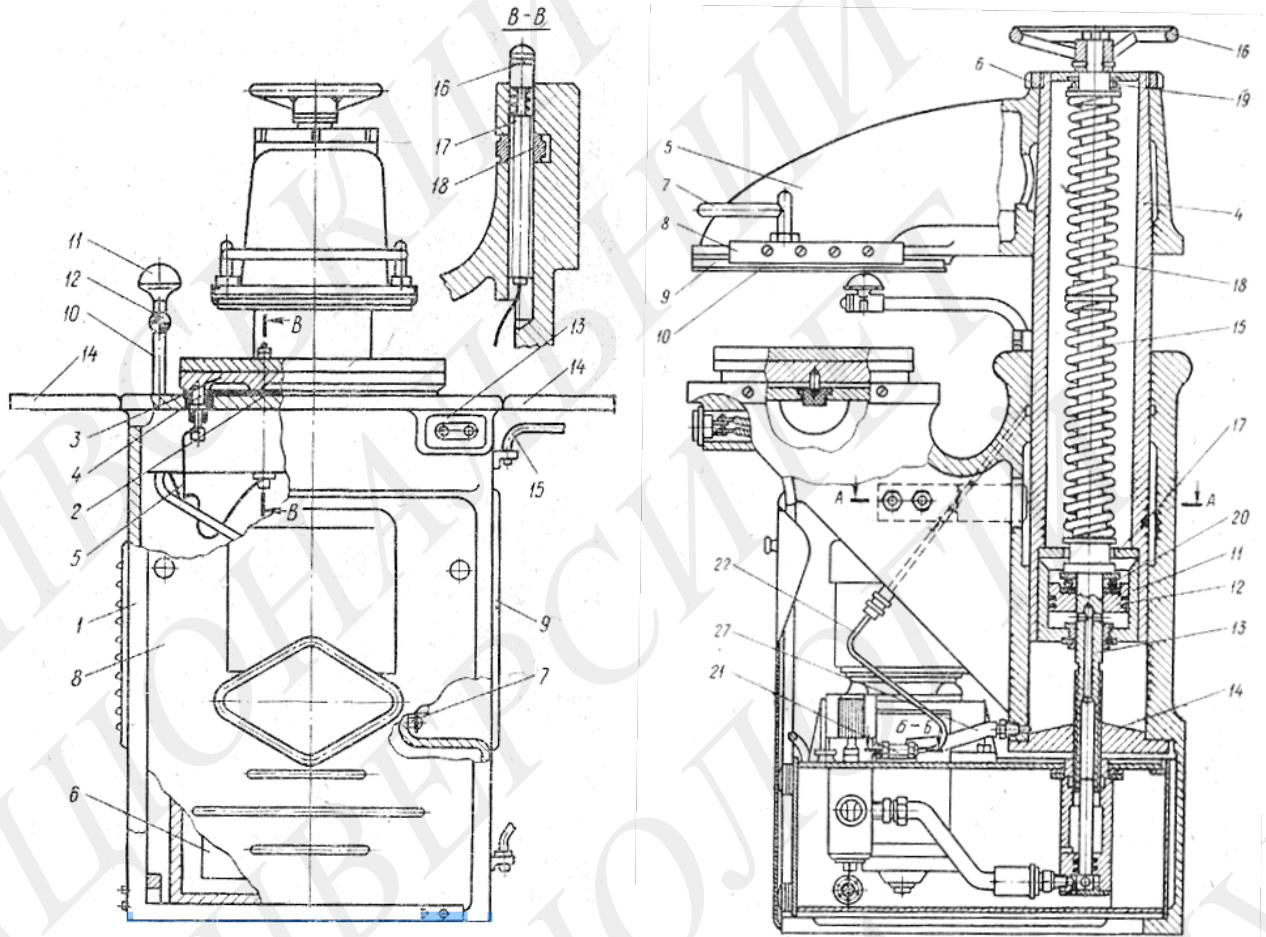


Рис. 1.2. Конструкція пресу ПВГ-8

Гідравлічний привід складається з лопатевого насоса 1 (рис. 1.3), робочого золотника для відкриття і закриття відповідних отворів гідросистеми, керованого електромагнітом 2, запобіжного клапана 3 для захисту гідросистеми і деталей пресу від перевантаження. Механізми гідроприводу розміщені на панелі 4, що являється кришкою маслобака 5. Для зручності монтажу насос кріпиться до панелі через перехідний фланець 6 болтами 7. Насос приводиться в обертання електродвигуном 8, який кріпиться до плити 9, а остання болтами 10 прикріплена до кришки 4 маслобака 5.

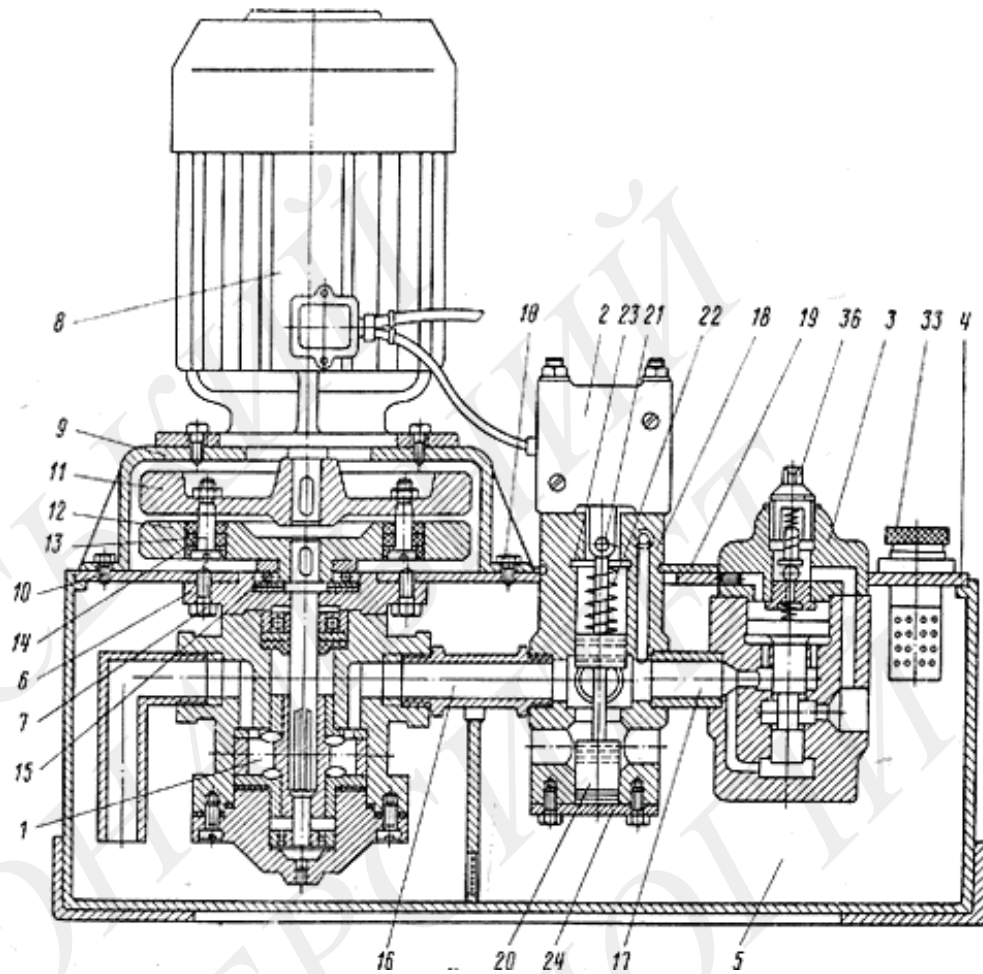


Рис. 1.3. Гідравлічний привід пресу ПВГ-8

Крутний момент від валу електродвигуна валу насоса 1 передається через втулково-пальцеву муфту, розміщену під плитою 9. Муфта складається з двох напівмуфт 11 і 12, сполучених між собою пальцями 13 з гумовими кільцями 14. Шарикопідшипник 15, переймаючи на себе навантаження від ваги напівмуфт 11 і 12, розвантажує вали електродвигуна і насоса.

Робота пресу

При натисненні на кнопку КП (рис. 1.4) магнітний пускач П через контакти П2 включає електродвигун ЕД і підключає до мережі знижувальний трансформатор Тр. Електрична і гідравлічна схеми пресу ПВГ- 8 приведені нижче. Електродвигун приводить в обертання насос НЛ, який по маслопроводу I, - III через відкритий зливний отвір золотника ЗР перекачує

олію без тиску з однієї порожнини маслобака БМ в іншу. Тиск в гідросистемі відсутній. Вирубвання деталей на металевій плиті може відбуватися в режимі "без уповільнення" і "з уповільненням". Різниця між цими режимами полягає в перемиканні пресу на поворотний хід ударника.

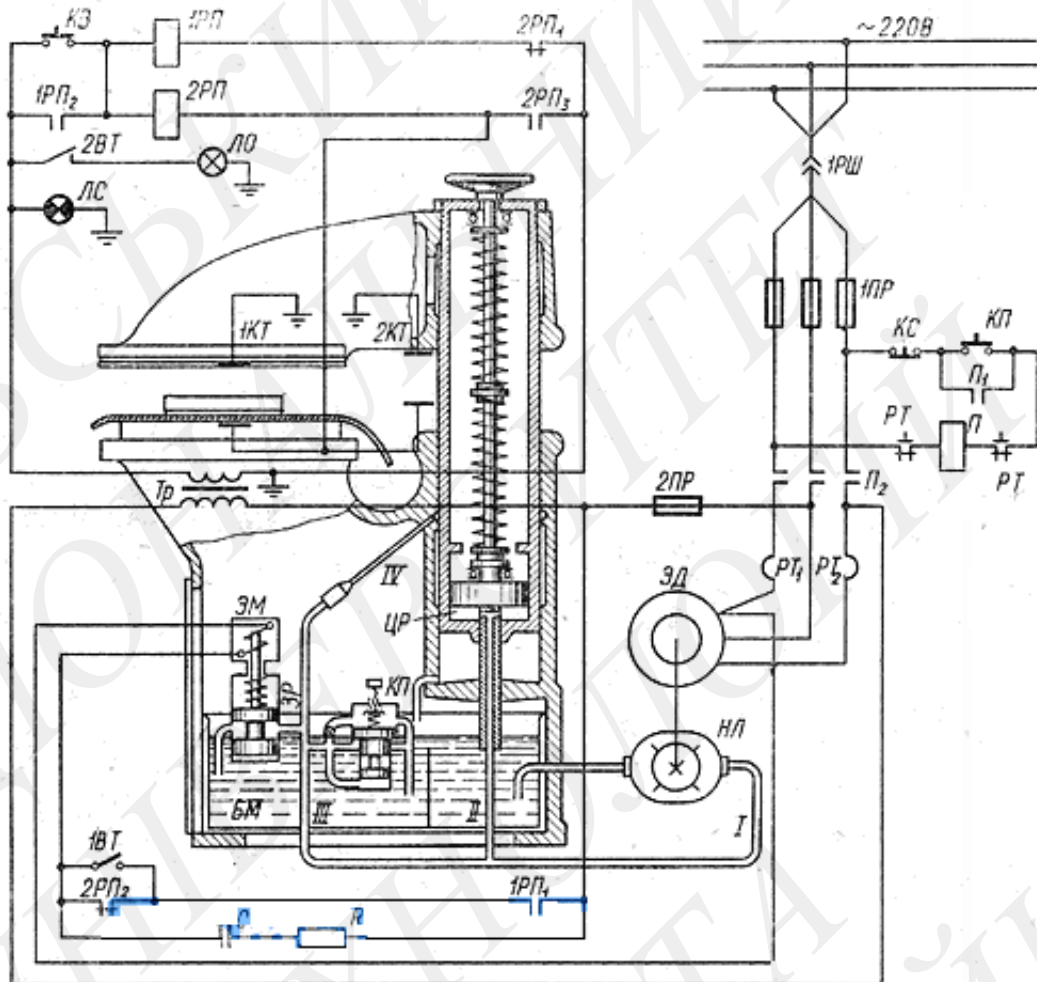


Рис. 1.4. Схема комбінована пресу ПВГ-8

При натисненні на долонну кнопку КВ включається реле 1РП і своїм замикаючим контактом 1РП1 замикає ланцюг електромагніту ЭМ, який переміщає шток робочого золотника ЗР вгору. Шток перекриває зливний отвір, і олію по маслопроводу I - II поступає в робочий циліндр ЦР, переміщаючи його разом з качалкою і ударником вниз. По трубці IV олія подається для мастила тих, що направляють качалки.

Одночасно реле 1РП контактами 1РП2 шунтирует кнопку Кв. При

цьому реле і електромагніт залишаються включеними на увесь час руху ударника вниз, незалежно від того, чи буде кнопка КВ утримуватися у включеному положенні або ні. Після вирубування матеріалу, у момент зіткнення леза різачка з вирубною плитою, технологічний контакт 1КТ замикається і подається живлення проміжному реле 2РП. Реле 2РП своїми розмикальними контактами 2РП1 і 2РП2 розриває ланцюги реле 1РП і електромагніту ЕМ, котушка якого знеструмлюється, і шток золотника ЗР пружиною повертається в початкове положення, відкриваючи вільний прохід олії від насоса ІЛ і робочого циліндра ЦР на злив. Встановлені усередині качалки пружини, стислі при русі ударника вниз, звільняються і переміщують качалку з ударником і циліндром вгору до упору.

Замикаючі контакти 2РП3 при включенні реле 2РП замикаються і забезпечують включення реле 2РП2, а отже, відключене положення електромагніту ЕМ і реле 1РП, якщо контакти долонної кнопки КВ після повернення ударника в початкове положення будуть замкнуті. Це унеможливує мимовільне повторне включення пресу.

Щоб підготувати електроапаратуру управління пресом до наступного циклу, необхідно відпустити кнопку КВ і тим самим знеструмити реле 2РП. Для оберігання гідроапаратури і деталей пресу від перевантаження до гідросистеми підключений запобіжний клапан КП. Робота пресу на металевій плиті в режимі "з уповільненням" і перемикання його на поворотний хід ударника відрізняються від роботи в режимі "без уповільнення" послідовністю спрацьовування елементів електричної схеми після вирубування матеріалу. При цьому режимі прес устигає розвинути велике зусилля, внаслідок чого покращується якість вирубування деталей з матеріалів підвищеної вологості і малої щільності. Але одночасно збільшуються навантаження на різак, амортизаційну і вирубну плиту, ударник і інші деталі пресу.

В цьому випадку перед пуском пресу перекидний перемикач 1ВТ встановлюється в положення "з уповільненням", при якому його контакти

замкнуті. Реле 2РП, одержує електричний імпульс при замиканні технологічного контакту 1КТ, не може безпосередньо розірвати ланцюг електромагніту ЕМ, а своїми розмикальними контактами розмикає ланцюг реле 1РП, яке, вимикаючись, своїми замикаючими контактами 1РП1 відключає електромагніт. Оскільки електромагніт після замикання технологічного контакту через різак відключається із запізненням, рівним часу відпуску одного проміжного реле, то прес устигає за цей час розвинути більше зусилля і пройти більший шлях. При вирубуванні деталей взуття на неметалічній плиті (колоді) перекидний перемикач 1ВТ встановлюється в положення "без уповільнення".

Послідовність спрацьовування елементів електричної і гідравлічної систем при вирубуванні деталей на неметалічній плиті (колоді) та ж, що і на металевій плиті в режимі "без уповільнення", але перемикач пресу на поворотний хід ударника після вирубування матеріалу здійснюється технологічним контактом 2КТ, винесеним за межі вирубною плити (колоди). При вирубуванні матеріалу на неметалічній плиті різак в комплекті мають бути однакової висоти.

Наладка пресу. При вирубуванні деталей на металевій плиті ударний механізм регулюється таким чином. На металеву плиту встановлюють різак і крутнем (див. рис. 1.3) опускають ударник вниз до зіткнення контактної пластини з різак. Технологічний контакт 16 обертанням гайки 18 встановлюють так, щоб проміжок між контактом 16 і нижньою площиною ударника дорівнював 3-4 мм, після чого гвинт 17 закріплюють стопорним гвинтом. Потім крутнем піднімають ударник на 10- 12 мм і натисненням на долонну кнопку 11 роблять декілька пробних включень пресу з різак і без нього. У першому випадку ударник повинен повернутися в початкове положення після зіткнення контактної пластини з різак, в другому - піднятися після його зіткнення з технологічним контактом 16.

Якщо деталі вирубують на неметалічній плиті, то амортизаційну плиту і контактну пластину замінюють алюмінієвою плитою завтовшки 10-12 мм і

встановлюють новий упор, яким забезпечується останов ударника в такому положенні, щоб відстань від алюмінієвої плити до колоди складала 15 мм. Крутнем ударник піднімають і фіксують на такій висоті, щоб проміжок між різакком, встановленим на колоді, і алюмінієвою плитою складав 4-5 мм. Гайкою 18 переміщують технологічний контакт 16 до зіткнення з ударником. Потім піднімають ударник на 10-12 мм, роблять декілька пробних вирубувань деталей і при цьому додатково регулюють висоту технологічного контакту 16 так, щоб деталь вирубувалася по усьому периметру, а лезо різакка врізалось в колоду не більше ніж на 0,5 мм.

Після закінчення регулювання висоти ударника гвинт 17 стопорять. Якщо нормальне вирубування деталей не виходить, перевіряють тиск в гідросистемі. Другий технологічний контакт 2КТ (див. рис. 1.4) при розрубі матеріалу на металевій плиті використовується як аварійний кінцевий вимикач, що обмежує рух ударника вниз у тому випадку, якщо прес буде включений без встановленого на вирубній плиті різакка. Механічний упор обмежує рух ударника вниз, якщо через несправність електричної або гідравлічної системи технологічний контакт 2КТ не спрацює. Електрична схема пресу складена так, що низьковольтна напруга підводиться до відкритих технологічних контактів тільки при включеній долонній кнопці. Це унеможливує проходження електричного струму через тіло робітника при випадковому замиканні рукою технологічного контакту.

1.3. Основні недоліки електрогідравлічного пресового обладнання

З практики відомо цілий ряд недоліків електрогідравлічного пресового обладнання.

Важливим фактором, який впливає на величину перевантаження електрогідравлічних вирубних пресів є жорсткість системи прес-ударник-різак-плита [10]. Внаслідок інерційності такої системи відбувається пружна деформація гідроапаратури: штока, силового гідроциліндра, трубопроводів,

станини з ударником та робочої рідини, що спричиняє значне перевантаження і підвищення максимального робочого тиску та зусилля вирубування [10]. Для запобігання або зменшення таких перевантажень потрібно використовувати пружні ланцюги-компенсатори, в якості яких застосовують короткі ділянки розширювального трубопроводу, циліндри з повітряною подушкою чи підпружиненим поршнем (акумулятор), трубопроводи з еластичними стінками та інші пристрої [11].

При вирубуванні на електрогідравлічних пресах під дією великих зусиль прорубування і сил інерції відбувається деформація системи стіл-вирубна плита-різак-ударник-шток..

Аналіз недоліків електрогідравлічного пресового обладнання вказує на можливість його подальшого вдосконалення з точки зору підвищення надійності роботи за рахунок зменшення перевантажень, маси, габаритів, енерговитрат, покращення економічної ефективності через збільшення тривалості роботи електродвигуна.

Вказані недоліки потребують усунення при використанні нових технологій, методів вимірювання та сучасної елементної бази.

1.4. Аналіз робіт по дослідженню технологічної операції вирубування в легкій промисловості

Характерною особливістю вирубування є різке зростання технологічного зусилля під час занурення різака в матеріал – від моменту входження різака в матеріал до появи випереджаючої тріщини та подальшого його розриву [4].

Схема технологічної операції та характер зміни технологічного зусилля в матеріалі при її виконанні представлені на рис. 1.5 [13].

Взаємодію різака з матеріалом розглядають, як взаємодію двох тіл, за умови, що різак має твердість, яка значно перевищує твердість матеріалу, завдяки чому відбувається занурення леза в матеріал.

Операція вирубання деталей взуття є різновидом операції різання, її частковим випадком [13]. Основні аспекти теорії різання, а також результати експериментальних досліджень викладені в роботах Сидорова Д.М., Толочко В.І., Корнілова В.П., Базюка Г.П., Зибіна В.П., Зибіна Ю.П., Капустіна І.І., Платунова К.М.

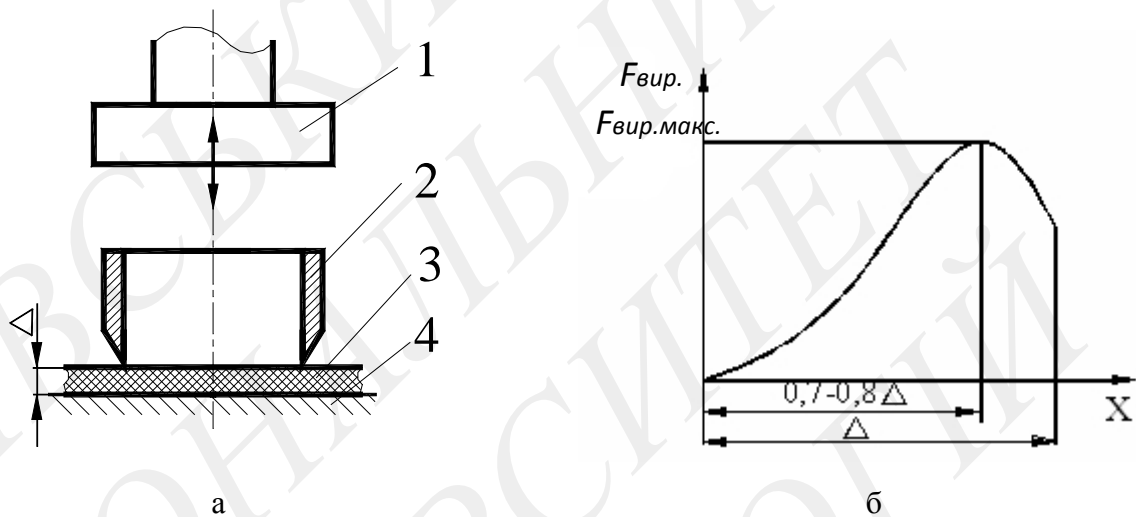


Рис. 1.5. Схема технологічної операції вирубання деталей взуття (а) та характер зміни зусилля $F_{вир}$ від переміщення різачка x (б): Δ – товщина матеріалу; 1 – ударник; 2 – різак; 3 – матеріал, що вирубється; 4 – плита

Згідно [14] лінійна залежність для визначення динамічного зусилля вирубання описується наступною формулою:

$$F_{дин.макс.} = \frac{A_{ст}(1 + k_v \cdot V)}{h \cdot C_{дин}}, \quad (1.1)$$

де $A_{ст}$ – статична робота, що витрачається на виконання технологічної операції вирубання, Дж; V – швидкість вирубання, м/с; h – товщина матеріалу, мм; $C_{дин}$ – коефіцієнт заповнення площі діаграми зусиль різання в залежності від глибини занурення різачка.

Досліджено взаємодію інструмента з матеріалом за допомогою діаграм зміни зусиль, які відповідають зануренню різачка в матеріал (рис. 1.6) [14].

При цьому не враховано ступінь впливу пресового обладнання на

характер зміни зусиль під час вирубування [14].

В основному процес вирубування моделюється як занурення різачка в багат шаровий матеріал [15]. При цьому область поширення деформації залежить від структури і властивостей матеріалу, режиму різання та інструмента. Занурення різачка в матеріал відбувається поступово – від утворення невеликих заглиблень в зразку до виникнення розривної тріщини і завершення процесу вирубування.

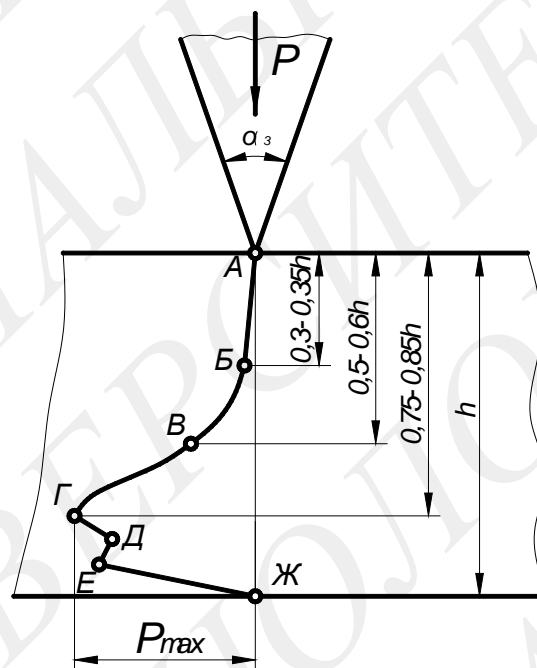


Рис. 1.6. Схема взаємодії різачка з матеріалом: P – сила вирубування; α_z – кут загострення леза різачка; P_{max} – максимальна сила вирубування; h – товщина матеріалу; А – початок занурення різачка в матеріал; В, В, Г, Д, Е – характерні стадії деформації матеріалу; Ж – завершення вирубування

Встановлено [15], що зусилля процесу вирубування залежить від параметрів різального інструмента – кута загострення різачка і відстані леза від краю. Але при цьому експериментально доведено, що існує деформація різального інструмента при односторонньому загострюванні, а також ковзання жорсткої шкіри по опорі з одночасним розтягуванням матеріалу. Тому, запропоновано використання різаків двостороннього загострення, яке зменшує

міжмодельні втрати матеріалу [15].

Найбільш реальна, на наш погляд, математична модель для визначення технологічного зусилля вирубання деталей виробів легкої промисловості представлена в [13]. В ній враховано, що технологічне зусилля вирубання $F_{вир}$ деталей залежить від властивостей матеріалу, геометричних параметрів різального інструмента, фізико-механічних властивостей матеріалу вирубної плити, ступеня зношення вістря леза різачка і швидкості його занурення.

Сила вирубання $F_{вир}$ визначається за формулою [13]:

$$F_{вир} = k_v \cdot L \cdot [P_{он} \cdot k_3 + 2 \cdot t \cdot \sigma_{см} \cdot (f + tg \beta)], \quad (1.2)$$

де k_v – коефіцієнт динамічності; $P_{он}$ – погонна сила пружного опору матеріалу, яка залежить від пружних властивостей матеріалу, радіуса заокруглення вістря леза різачка, величини зношення різачка, а також нерівностей його поверхні, Н/мм; k_3 – коефіцієнт, який враховує величину зношення вістря леза різачка в процесі експлуатації; t – глибина занурення різачка в матеріал, мм; $\sigma_{см}$ – розподілене навантаження на грані леза різачка, яке дорівнює тимчасовому опору матеріалу на стискання, Н/мм²; f – коефіцієнт тертя між вістря леза різачка і матеріалом; β – кут загострення різачка.

Визначено і проаналізовано залежності динамічних характеристик привода взуттєвих електрогідравлічних пресів від виду навантаження при різних періодичних режимах роботи [16]. Динамічна характеристика електроприводу не враховує впливу обертових мас маховика, муфти і ротора електродвигуна [16]. Це суттєво впливає не тільки на роботу преса, а й на весь процес вирубання.

Варто зазначити, що особливістю взуттєвих електрогідравлічних пресів є динамічний режим їхньої роботи, що дуже часто призводить до значного перевантаження всіх систем.

Питанню дослідження динамічних характеристик електрогідравлічних пресів присвячені роботи Піскорського Г.А., Марголіна В.Є., Баканова Н.І.,

Комісарова А.І. [12, 13, 16].

Досліджено [3] вирубання деталей на пресі ПВГ-8-2-0 та на пресовому обладнанні з лінійним електромагнітним двигуном (ЛЕМД). В результаті експериментальних досліджень встановлено, що при швидкісному вирубванні на пресовому обладнанні з ЛЕМД поверхня вирубання отримується рівною і гладкою і різак прорізає матеріал на всю довжину. При вирубванні на пресі ПВГ-8-2-0 спостерігається поява випереджаючої тріщини і поверхня розриву стає шорсткою. Зроблено висновок про те, що при збільшенні швидкості вирубання покращується якість поверхні розриву.

В результаті аналізу науково-технічної літератури встановлено, що питання вдосконалення електрогідравлічних пресів легкої промисловості не достатньо досліджене з точки зору зменшення споживання електроенергії. Рациональне співвідношення основних робочих характеристик пресового обладнання дозволить підвищити продуктивність, довговічність, енергоефективність та частково покращити якість процесу вирубання, особливо враховуючи тенденції енергозбереження в сучасній промисловості взагалі і легкої – зокрема, що підтверджує актуальність даного завдання.

Висновки по розділу 1

1. Встановлено, що найбільш оптимальним для використання в якості приводу вирубних пресів легкої промисловості є електрогідравлічний привод.

2. Аналіз сучасного обладнання для вирубування дозволив встановити основні тенденції розвитку електрогідравлічних пресів в легкій промисловості.

3. Встановлено, що питання вдосконалення вирубних пресів легкої промисловості не достатньо досліджене з точки зору зменшення споживання електроенергії.

4. Виявлено, що при наявності між насосом і електродвигуном маховика існує можливість зменшення встановленої потужності останнього та енерговитрат пресового обладнання в цілому за рахунок врахування дійсної форми піка навантаження приводу.

5. В роботі були поставлені наступні завдання:

– розробити математичну модель технологічного процесу вирубування на електрогідравлічному пресовому обладнанні;

– виявити шляхи покращення техніко-економічних показників електрогідравлічного пресового обладнання таких як: підвищення коефіцієнта корисної дії, надійності роботи, зменшення енерговитрат;

– розробити практичні рекомендації щодо вдосконалення електрогідравлічного пресового обладнання легкої промисловості.

РОЗДІЛ 2
АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОПЕРАЦІЇ ВИРУБУВАННЯ НА
ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОМУ ПРЕСОВОМУ ОБЛАДНАННІ

2.1. Перетворення енергії в електрогідрравлічних пресах

Послідовність перетворення енергії в електрогідрравлічних пресах представлено структурною схемою на рис. 2.1.

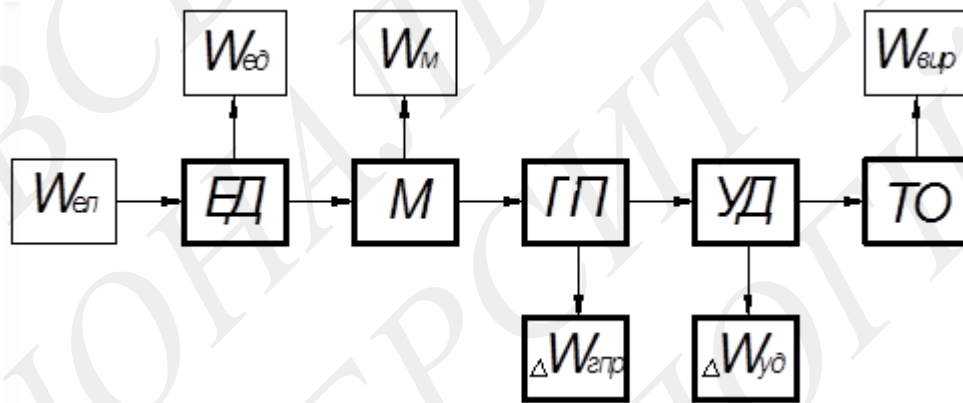


Рис. 2.1. Структурна схема перетворення енергії в електрогідрравлічних пресах: ЕД – електродвигун; М – маховик; ГП – гідропривод; УД – ударник; ТО – технологічна операція; $W_{ел}$ – електрична енергія; $W_{ед}$ – енергія електродвигуна; $W_{м}$ – енергія маховика; $\Delta W_{гпр}$ – втрати енергії в гідроприводі (в гідронасосі, трубопроводах та гідроапаратурі); $\Delta W_{уд}$ – втрати енергії в ударнику (при повороті, під час опускання-піднімання та на тертя); $W_{вир}$ – енергія вирубування

Як видно з рисунка 2.1, перетворення енергії в електрогідрравлічних пресах відбувається наступним чином: електрична енергія, яка споживається з мережі перетворюється в механічну енергію двигуна; за рахунок накопичення кінетичної енергії маховиком енергія електропривода дорівнює сумі енергій двигуна і маховика; енергія електропривода перетворюється в

енергію тиску масла і далі – в кінетичну енергію ударника; енергія ударника витрачається на виконання технологічної операції.

Необхідно розробити математичну модель процесу вирубування на електрогідравлічному пресовому обладнанні з врахуванням всіх перелічених вище втрат, енергоперетворення в пресі та системи двигун-маховик-насос.

Враховуючи те, що вмикання преса здійснюється всього декілька разів за зміну, доцільно не враховувати пускові стрибки потужності, оскільки вони суттєво не впливають на енергетичний баланс пресового обладнання, порівняно із загальною кількістю циклів вирубування.

2.2. Фізична модель процесу вирубування на електрогідравлічному пресовому обладнанні

Основним виконавчим механізмом електрогідравлічного вирубного преса консольного типу є скалка з ударником. Тому моделювання процесу руху скалки з ударником є досить важливим завданням. Нижче проаналізовано сили, що виникають в системі пресове обладнання-різак-матеріал-плита під час виконання технологічної операції вирубування (рис. 2.2).

Усі сили умовно поділено на дві групи. До першої групи віднесено сили, які забезпечують рух скалки з ударником під час виконання операції вирубування. До другої групи віднесено сили, які перешкоджають руху ударника.

Рушійними силами є сила тиску масла на дно гідроциліндра скалки F_p , а також вага скалки з ударником та інших, пов'язаних з ними рухомих мас G .

До сил, які перешкоджають руху ударника належать: сила опору повітря F_{on} , яке закачується під тиском через ніпель у порожнину скалки над поршнем і призначене для підйому ударника після завершення технологічної операції вирубування; сил тертя F_{mp} , які виникають в направляючих скалки та ущільненнях поршня.

Сила інерції F_{in} на ділянці руху ударника до контакту з різаком до точки x_2 є силою опору і має від'ємне значення. Після контакту з різаком, коли починається виконання технологічної операції вирубання, сила F_{in} стає рушійною силою до точки x_3 .

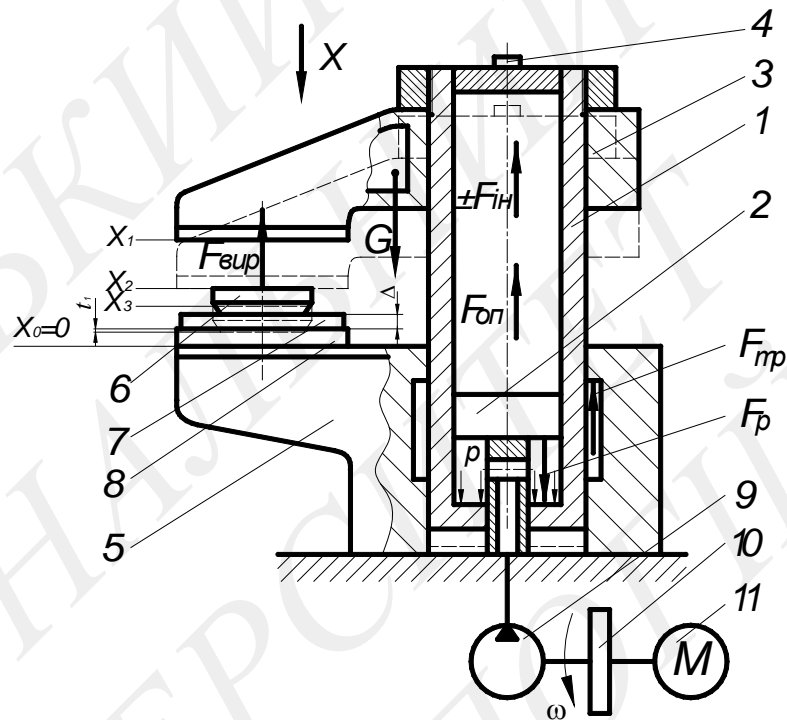


Рис. 2.2. Схема дії сил, що виникають в електрогідравлічному пресовому обладнанні під час виконання технологічної операції вирубання: Δ – товщина матеріалу; t_1 – глибина занурення різака в вирубну плиту; X – координата миттєвого положення ударника; x_0 – початок координат; x_1 – координата початку руху ударника; x_2 – координата початку вирубання; x_3 – координата завершення вирубання; ω – кутова швидкість маховика; F_{vir} – сила вирубання; G – вага ударника; F_{in} – сила інерції; $F_{оп}$ – сила опору повітря; F_p – рушійна сила; $F_{тр}$ – сили тертя; p – тиск, що діє на дно гідроциліндра скалки; 1 – скалка; 2 – поршень; 3 – ударник; 4 – повітряний клапан; 5 – станина преса; 6 – різак; 7 – матеріал; 8 – вирубна плита; 9 – насос; 10 – маховик; 11 – електродвигун

Сила вирубування $F_{вир}$, яка виникає під час виконання даної технологічної операції є корисною силою опору [1].

2.3. Математична модель процесу вирубування на електрогідравлічному пресовому обладнанні

Повна робота привода в процесі виконання технологічної операції вирубування має вигляд:

$$A_n = A_{об} + A_m, \quad (2.1)$$

де A_n – повна робота привода; $A_{об}$ – робота, яку виконує електродвигун; A_m – робота, яку виконує маховик.

Роботу, яку виконує електродвигун запишемо наступним чином:

$$A_{об} = \int_0^{\varphi} M \cdot d\varphi, \quad (2.2)$$

де M – обертовий момент електродвигуна; φ – кут повороту вала електродвигуна.

Запас енергії маховика можна записати наступним чином [5]:

$$A_m = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2, \quad (2.3)$$

де J – момент інерції маховика; ω – кутова швидкість до початку робочого циклу.

Підставивши рівняння (2.2) і (2.3) в рівняння (2.1) отримано остаточний вираз для визначення повної роботи привода:

$$A_n = \int_0^{\varphi} M \cdot d\varphi + \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2. \quad (2.4)$$

Зусилля, яке створює гідропривод преса є рушійною силою F_p , що виникає в гідроциліндрі скалки. Рушійна сила, яка створюється тиском масла в порожнині скалки, розширює її і опускає скалку разом з ударником вниз. Вона повинна бути такою, щоб подолати такі сили: вирубування $F_{вир}$, опору

повітря F_{on} , інерції F_{in} та сили тертя $F_{тер}$. Відомо [13], що рушійна сила F_p , яка створюється тиском масла на дно гідроциліндра скалки вирубного преса, визначається за наступною формулою:

$$F_p = k_g \cdot p \cdot S_1, \quad (2.5)$$

де k_g – узагальнений коефіцієнт втрат в гідроприводі ($k_g = 0,5 \dots 0,9$); p – тиск, що діє на дно гідроциліндра скалки; S_1 – робоча площа поршня:

$$S_1 = \frac{\pi \cdot (d_{ce}^2 - d_{um}^2)}{4}, \quad (2.6)$$

де d_{ce} – внутрішній діаметр гідроциліндра скалки; d_{um} – діаметр штока.

Запишемо рівняння (2.23), враховуючи рівняння (2.6) і одержимо:

$$F_p = k_g \cdot p \cdot \frac{\pi \cdot (d_{ce}^2 - d_{um}^2)}{4}. \quad (2.7)$$

Тоді робота рушійної сили $A_{p.c.}$ запишеться наступним чином:

$$A_{p.c.} = \int k_g \cdot p \cdot \frac{\pi \cdot (d_{ce}^2 - d_{um}^2)}{4} \cdot dx. \quad (2.8)$$

Як відомо [13], вирубування під час робочого ходу здійснюється одночасною дією кінетичної енергії ударника і енергією гідроприводу:

$$A_{y\delta} = E + A_{p.c.}, \quad (2.9)$$

де $A_{y\delta}$ – робота ударника; E – кінетична енергія ударника.

Кінетичну енергію ударника E визначимо за наступною формулою [13]:

$$E = \frac{m \cdot V^2}{2}, \quad (2.10)$$

де V – середня швидкість руху ударника.

Запишемо рівняння (2.9) з врахуванням (2.8) і (2.10). Одержимо вираз для визначення роботи ударника:

$$A_{y\delta} = \frac{m \cdot V^2}{2} + \int k_g \cdot p \cdot \frac{\pi \cdot (d_{ce}^2 - d_{um}^2)}{4} \cdot dx. \quad (2.11)$$

Існує рівняння (1.2), для визначення сили вирубування $F_{вир}$ в залежності від технологічних параметрів процесу вирубування, та

динамічних процесів, що виникають в системі різак-матеріал-плита [13]. Корисна робота під час виконання операції вирубування визначається наступним чином [13]:

$$W_{кор} = \frac{1}{2} \cdot F_{вир} \cdot \Delta, \quad (2.12)$$

де Δ – товщина матеріалу.

В кінці вирубування глибина занурення різака в матеріал t (рівняння (1.2)) буде дорівнювати сумі товщини матеріалу Δ та глибини занурення різака в вирубну плиту t_1 . Тому, враховуючи рівняння (1.2) та (2.12) отримаємо остаточний вираз для визначення корисної роботи, яка витрачається на вирубування:

$$A_{вир} = \frac{1}{2} \cdot k_v \cdot L \cdot [P_{он} \cdot k_3 + 2 \cdot (\Delta + t_1) \cdot \sigma_{см} \cdot (f + tg \beta)]. \quad (2.13)$$

Енергетичний баланс привода в загальному вигляді запишеться наступним виразом:

$$\int_0^{\varphi} M \cdot d\varphi + \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2 = A_{нов} + A_{уд} + A_{мп} + A_{ваги} + A_{ін} + A_{он} + A_{вир}. \quad (2.14)$$

Тоді враховуючи координати руху ударника:

1. На ділянці $x_1 x_2$ до контакту ударника з різакком:

$$\int_0^{\varphi_1} M \cdot d\varphi + \frac{1}{2} \cdot J \cdot (\omega^2 - \omega_1^2) = p_{нов} \cdot \frac{\pi \cdot d_{мц}^2}{4} \cdot s_{ум} + \int_{x_1}^{x_2} (F_{мп1} + F_{мп2}) \cdot dx + \int_{x_1}^{x_2} m \cdot g \cdot dx + \int_{x_1}^{x_2} \frac{p_1 \cdot x_1 \cdot S}{x_1 - x_3} \cdot dx + \int_{x_1}^{x_2} k_e \cdot p \cdot \frac{\pi \cdot (d_{св}^2 - d_{ум}^2)}{4} \cdot dx + \frac{m \cdot V^2}{2}, \quad (2.15)$$

де ω_1 – кутова швидкість в момент початку вирубування ($\omega = \omega_1$); φ_1 – кут повороту вала електродвигуна на ділянці $x_1 x_2$.

Момент торкання ударника з різакком (точка x_2) – початок вирубування.

В цей момент, завдяки опору матеріалу різко падає швидкість ударника, а значить і робочого гідроциліндра. Насос закачує масло в робочу порожнину гідроциліндра, тиск в цій порожнині різко зростає. В результаті

різко зростає потенційна енергія пружних елементів гідросистеми (масла, гідроциліндрів, трубопроводів).

Для побудови математичної моделі на цьому етапі необхідно зробити наступні допущення:

Завдяки різкому падінню швидкості ударника, умовно вважаємо, що ударник зупинився протягом часу T .

$$\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M \cdot d\varphi + \frac{1}{2} \cdot J \cdot (\omega^2 - \omega_2^2) = p_2 \cdot Q \cdot T, \quad (2.16)$$

де T – час від моменту торкання ударником різачка, до початку руху ударника (визначається експериментально); ω_2 – кутова швидкість маховика в момент T ; φ_2 – кут повороту вала електродвигуна за час T ; p_2 – максимальний тиск в робочому гідроциліндрі; Q – витрати насоса.

Тоді:

$$p_2 = \frac{\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \dot{I} \cdot d\varphi + \frac{1}{2} \cdot J \cdot (\omega^2 - \omega_2^2)}{Q \cdot T}. \quad (2.17)$$

На ділянці x_2x_3 від початку до кінця вирубування.

Після того, як рушійна сила внаслідок зростання тиску збільшиться до величини, більшої за сили опору, починається рух ударника на ділянці x_2x_3 і процес вирубування. Тобто, потенційна енергія гідроприводу перетворюється в кінетичну енергію ударника, яка разом з кінетичною енергією сил інерції виконує роботу по вирубуванню деталей. В цей період зменшується кутова швидкість обертання вала двигуна і насоса ω_2 (до 20%) і маховик віддає частину своєї кінетичної енергії для виконання операції.

Це можна записати наступним чином:

$$\int_{x_2}^{x_3} k_6 \cdot p_2 \cdot \frac{\pi \cdot (d_{cs}^2 - d_{um}^2)}{4} \cdot dx + \frac{m \cdot V^2}{2} = \int_{x_2}^{x_3} (F_{mp1} + F_{mp2}) \cdot dx + \int_{x_2}^{x_3} m \cdot g \cdot dx + \int_{x_2}^{x_3} \frac{p_1 \cdot x_1 \cdot S}{x_1 - x_3} \cdot dx + \int_{x_2}^{x_3} \frac{1}{2} \cdot k_v \cdot L \cdot [P_{on} \cdot k_3 + 2 \cdot (\Delta + t_1) \cdot \sigma_{cm} \cdot (f + tg\beta)] \cdot dx, \quad (2.18)$$

Тоді повна робота привода на ділянках x_1x_2 і x_2x_3 з врахуванням рівнянь (2.15), (2.17) та (2.18) запишеться двома рівняннями енергетичного балансу привода на двох етапах:

$$\left\{ \begin{array}{l} \int_0^{\varphi_1} M \cdot d\varphi + \frac{1}{2} \cdot J \cdot (\omega^2 - \omega_1^2) = p_{нов} \cdot \frac{\pi \cdot d_{nu}^2}{4} \cdot s_{um} + \int_{x_1}^{x_2} (F_{mp1} + F_{mp2}) \cdot dx + \\ + \int_{x_1}^{x_2} m \cdot g \cdot dx + \int_{x_1}^{x_2} \frac{p_1 \cdot x_1 \cdot S}{x_1 - x_3} \cdot dx + \int_{x_1}^{x_2} k_6 \cdot p \cdot \frac{\pi \cdot (d_{cs}^2 - d_{um}^2)}{4} \cdot dx + \frac{m \cdot V^2}{2}; \\ \int_{x_2}^{x_3} k_6 \cdot \frac{\int_0^{\varphi_2} M \cdot d\varphi + \frac{1}{2} \cdot J \cdot (\omega^2 - \omega_2^2)}{Q \cdot T} \cdot \frac{\pi \cdot (d_{cs}^2 - d_{um}^2)}{4} \cdot dx + \frac{m \cdot V^2}{2} = \\ \int_{x_2}^{x_3} (F_{mp1} + F_{mp2}) \cdot dx + \int_{x_2}^{x_3} m \cdot g \cdot dx + \int_{x_2}^{x_3} \frac{p_1 \cdot x_1 \cdot S}{x_1 - x_3} \cdot dx + \\ + L \cdot [P_{on} \cdot k_3 + 2 \cdot (\Delta + t_1) \cdot \sigma_{cm} \cdot (f + tg\beta)] \cdot dx \end{array} \right. \quad (2.19)$$

Після інтегрування лівої і правої частин рівнянь (2.19) отримано:

$$\left\{ \begin{array}{l} M \cdot \varphi_1 + \frac{1}{2} \cdot J \cdot (\omega^2 - \omega_1^2) = \frac{p_{нов} \cdot \pi \cdot d_{nu}^2 \cdot s_{um}}{4} + (F_{mp1} + F_{mp2} + m \cdot g + \\ + \frac{p_1 \cdot x_1 \cdot S}{x_1 - x_3} + \frac{k_6 \cdot p \cdot \pi \cdot (d_{cs}^2 - d_{um}^2)}{4}) \cdot (x_1 - x_2) + \frac{m \cdot V^2}{2}; \\ \frac{1}{4 \cdot Q \cdot T} \cdot \left(M \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) + \frac{1}{2} \cdot J \cdot (\omega_1^2 - \omega_2^2) \right) \cdot k_6 \cdot \pi \cdot (d_{cs}^2 - d_{um}^2) \cdot (x_2 - x_3) =, \\ = (F_{mp1} + F_{mp2} + m \cdot g + \frac{p_1 \cdot x_1 \cdot S}{x_1 - x_3} + \frac{1}{2} \cdot k_v \cdot L \cdot [P_{on} \cdot k_3 + 2 \cdot (\Delta + t_1) \cdot \sigma_{cm} \cdot \\ \cdot (f + tg\beta)]) \cdot (x_2 - x_3) - \frac{m \cdot V^2}{2} \end{array} \right. \quad (2.20)$$

Отримана система рівнянь (2.20) є математичною моделлю процесу вирубання на електрогідравлічному пресовому обладнанні. Вона враховує

властивості матеріалу, що вирубується, параметри інструмента, енергетичні та силові показники електрогідравлічного пресового обладнання, а також дозволяє аналітично описати процеси, які відбуваються в системі пресове обладнання-різак-матеріал-плита. Система рівнянь (2.20) розв'язується при відомих величинах факторів, які визначають конструктивні та енергетичні параметри пресового обладнання, технологічні параметри різака і матеріалу, швидкість руху ударника.

Для дослідження математичної моделі всі фактори поділені на постійні і змінні.

Постійні фактори – це геометричні та фізичні параметри електрогідравлічного пресового обладнання, яке використовується для проведення досліджень та перевірки адекватності математичної моделі:

– $p_{нов}$ – тиск в поворотному циліндрі при завершенні повороту ударника, Па;

– $d_{ну}$ – діаметр поворотного циліндра, м;

– $s_{умт}$ – переміщення штока циліндра повороту ударника, м;

– $F_{мп1}$ – сила тертя скалки об ущільнення поршня, Н;

– $F_{мп2}$ – сила тертя об направляючу станини, Н;

– m – маса рухомих частин пресового обладнання, кг;

– g – прискорення вільного падіння, м/с²;

– p_1 – тиск закачаного повітря, Па;

– S – робоча площа поршня гідроциліндра скалки, м²;

– k_g – узагальнений коефіцієнт гідравлічних витрат;

– $d_{св}$ – внутрішній діаметр гідроциліндра скалки, м²;

– $d_{умт}$ – діаметр штока, м².

Змінні фактори:

– M – обертовий момент електродвигуна, Н·м;

– φ_1 – кут повороту вала електродвигуна до контакту з різакком, град;

- φ_2 – кут повороту вала електродвигуна після контакту з різаком до завершення вирубування, град;
- J – момент інерції маховика, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;
- ω – кутова швидкість до початку робочого циклу, с^{-1} ;
- ω_1 – кутова швидкість в момент початку вирубування, с^{-1} ;
- ω_2 – кутова швидкість в кінці робочого ходу, с^{-1} ;
- p – тиск, що діє на дно гідроциліндра скалки, Па;
- x_1 – координата початку руху ударника, м;
- x_2 – координата початку вирубування, м;
- x_3 – координата завершення вирубування, м;
- V – швидкість руху ударника, м/с;
- k_v – коефіцієнт динамічності, що враховує залежність зусилля вирубування від швидкості вирубування (визначається в залежності від матеріалу, що вирубується);
- L – периметр різака, м;
- P_{on} – погонна сила пружного опору матеріалу, яка залежить від пружних властивостей матеріалу, радіуса заокруглення вістря леза різака, величини зношення різака, а також нерівностей його поверхні, Н/мм;
- Δ – товщина матеріалу, м;
- t_1 – глибина занурення різака в вирубну плиту, м;
- β – кут загострення різака, град;
- σ_{cm} – розподілене навантаження на грані леза різака, яке дорівнює тимчасовому опору матеріалу на стискання;
- f – коефіцієнт тертя між вістрям леза різака і матеріалом;
- k_3 – коефіцієнт, який враховує величину зношення вістря леза різака в процесі експлуатації.

З вказаних змінних факторів J , L , x_1 , x_2 , x_3 , t_1 є такими, якими можна управляти в процесі дослідження.

Перше рівняння енергетичного балансу привода розв'язувалось за умови $\omega = \omega_1$. В кожному з рівнянь використано відомі значення змінних параметрів.

Розв'язок математичної моделі (2.20) дозволяє отримати графічні залежності зміни енергії E , яку споживає електрогидравлічне пресове обладнання від периметра різака L при різних величинах моменту інерції маховика J (рис. 2.5). З цією метою була складена програма на ПК в середовищі MathCAD (додаток Б).

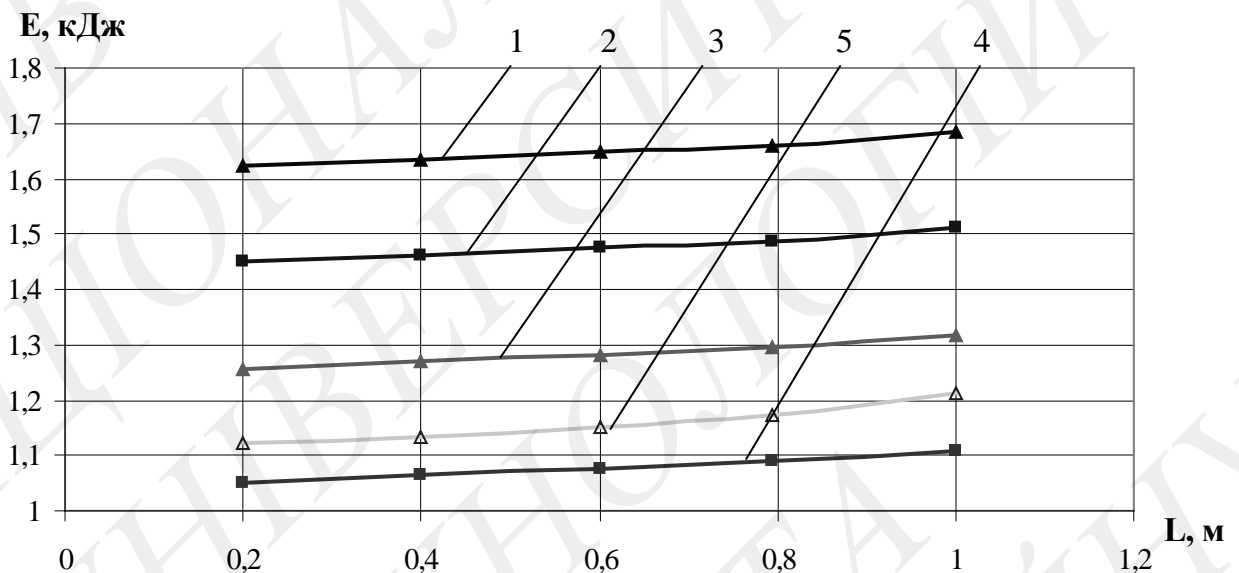


Рис. 2.5 Графічна залежність енергії, яку споживає прес від периметра різака в залежності від моменту інерції обертових мас привода при $\Delta=1$ мм: 1

– $J_{пр} = 0,180$ кг·м²; 2 – $J_{пр} = 0,260$ кг·м²; 3 – $J_{пр} = 0,351$ кг·м²; 4 –

$J_{пр} = 0,446$ кг·м²; 5 – $J_{пр} = 0,621$ кг·м²;

Дані закономірності вказують на той факт, що за умови, коли маховик накопичує недостатньо енергії, необхідної для згладжування пікових стрибків потужності під час вирубування, а саме – від моменту контакту ударника з різакон до заглиблення різака в вирубну плиту, відбувається

різке підвищення споживання енергії, а отже і перевантаження преса за рахунок порушення жорсткості системи ударник-різак-матеріал-плита і погіршення енергетичного балансу привода. Так як енергія, яку створює насос постійної продуктивності більша за сумарну енергію електродвигуна і маховика, тобто існує недостача, то відбувається перевантаження привода і як наслідок, підвищення енергоспоживання.

Висновки по розділу 2

1. Аналітичне дослідження процесу вирубування на електрогідравлічному пресовому обладнанні дозволило побудувати математичну модель (2.20), яка враховує властивості матеріалу, параметри інструмента, енергетичні та силові показники вирубних пресів, а також дозволяє аналітично описати процеси, які відбуваються в системі пресове обладнання-різак-матеріал-плита.

2. Математична модель дозволяє розраховувати периметри деталей, які вирубуються на електрогідравлічному пресовому обладнанні в залежності від величини потужності, що споживається і моменту інерції маховика.

3. Аналіз отриманих графічних залежностей (рис. 2.5) вказує на можливість вдосконалення пресового обладнання з точки зору підвищення енергоефективності за умови раціонального використання накопиченої енергії маховика і оптимального співвідношення потужностей електродвигуна та насоса.

РОЗДІЛ 3

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Визначення енергії, яку необхідно витратити для процесу пуску привода з маховиком пресу ПВГ – 8

В роботі [19] представлено результати досліджень енергетичних параметрів пресу ПВГ-8-2-О де отримано якісні характеристики значень напруги U , струму I , а також потужності, що споживається N . Встановлено [19], що потужність, яка споживається пресом під час пуску складає в середньому 13...15 кВт. Такий стрибок відбувається в інтервалі часу 0,04 с. Наступний стрибок потужності відбувається під час виконання технологічної операції вирубування [19]. Після повернення ударника в робоче положення відбувається подальше його опускання вниз до контакту з різакком. Після прорубування різакком матеріалу аж до контакту з вирубною плитою спостерігаються суттєві навантаження на пресове обладнання та значний стрибок по потужності при тривалості самого процесу вирубування $t = 0,01$ с.

За результатами експериментальних досліджень [19] побудовано графічні залежності зміни потужності N , яку споживає електрогідравлічне пресове обладнання на базі преса ПВГ-8 від часу роботи t (рис. 3.1).

Аналіз отриманих графічних залежностей вказує на складну закономірність зміни потужності від часу роботи з характерними динамічними стрибками.

Враховуючи те, що вмикання преса здійснюється всього декілька разів за зміну, а кількість циклів вирубування за зміну n становить 3000...3200 циклів, тому при дослідженнях доцільно не враховувати пускові стрибки потужності (струмів та напруг), оскільки вони суттєво не впливають на енергетичний баланс пресового обладнання в цілому, порівняно із загальною кількістю циклів вирубування. Отже, в подальших дослідженнях

електрогідравлічного пресового обладнання буде розглянуто найбільш динамічний етап роботи – виконання технологічної операції вирубання.

N , кВт

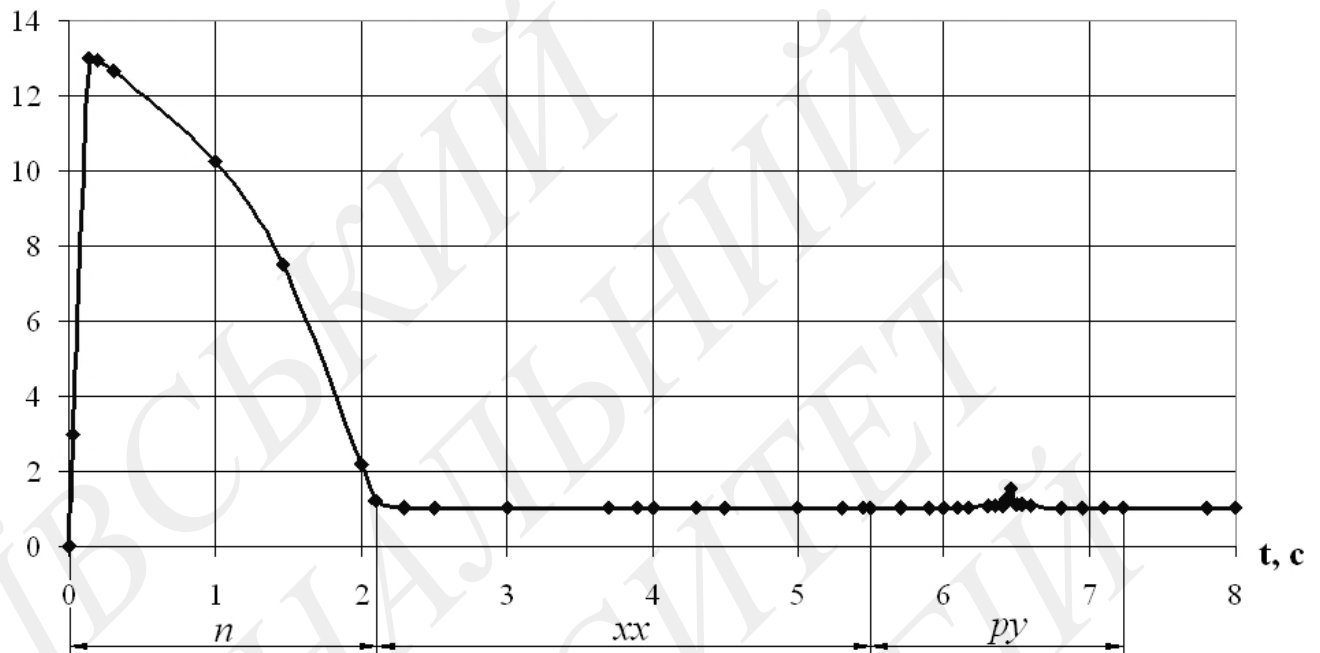


Рис. 3.1. Графічна залежність зміни спожитої потужності від часу роботи під час пуску і вирубання: n – пуск преса; xx – холостий хід (вистій ударника); py – рух ударника

Як видно з отриманої графічної залежності (рис. 3.1), найбільше споживання потужності відбувається під час пуску преса та становить 13 кВт (ділянка n) [19]. Різде зменшення споживання потужності відбувається в інтервалі часу 2...2,2 с після пуску, що зумовлено стабілізацією обертів валу електродвигуна та розкручуванням маховика і привода до номінальних обертів.

Безпосередньо при виконанні процесу вирубання (ділянка py) споживання потужності електродвигуном незначне [19]. На рис. 3.2 представлено осцилограму струму електродвигуна при вирубванні шкіри натуральної, товщиною 1 мм [19].

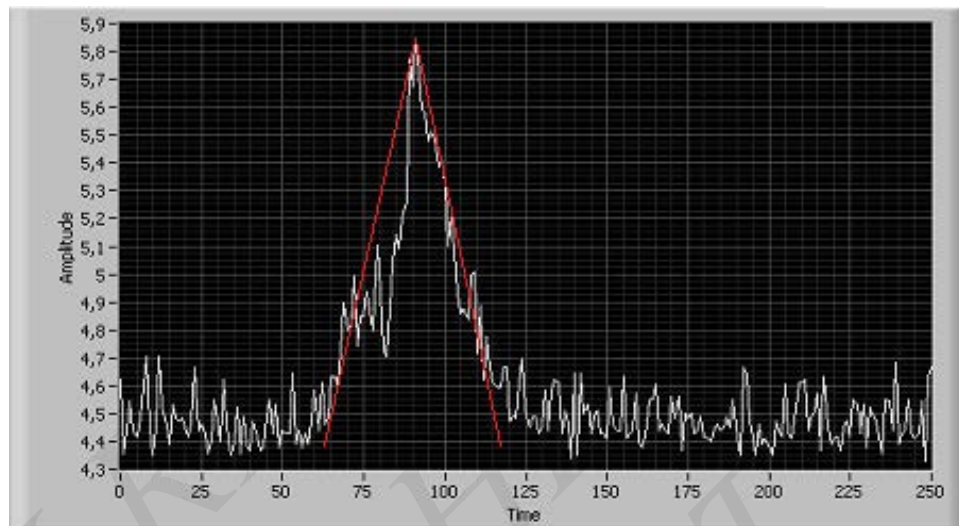
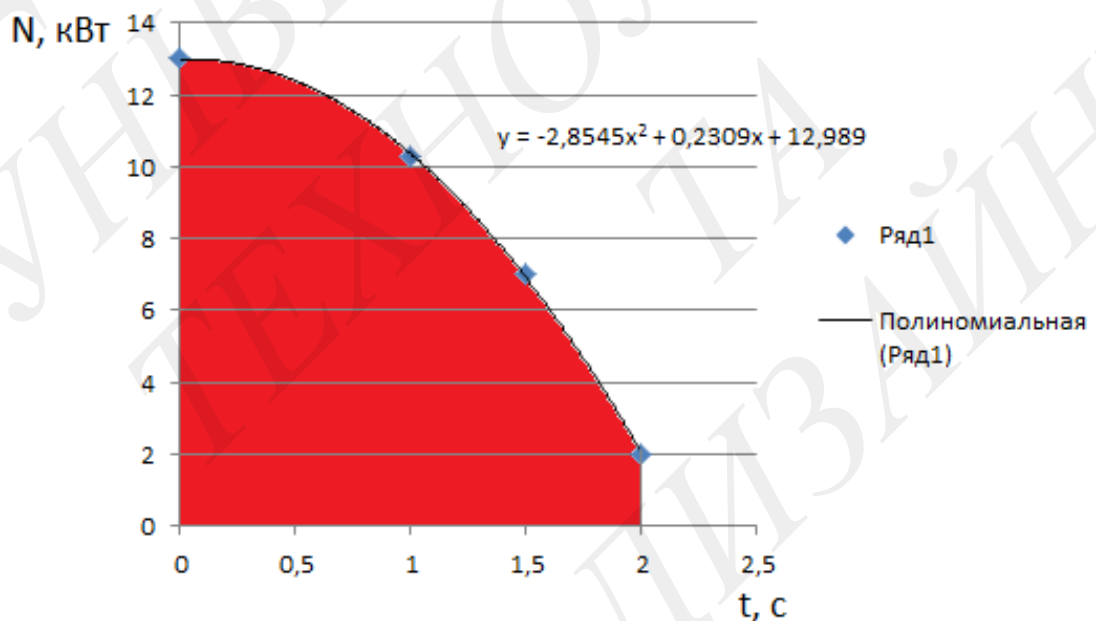


Рис. 3.2. Осцилограма струму електродвигуна при вирубуванні шкіри натуральної, товщиною 1 мм [19]

Скористаємось експериментально отриманою залежністю потужності, що споживається електродвигуном преса [19], яка представлена на рис. 3.1

За допомогою Excel виконано апроксимацію частини кривої, що відповідає часу розгону приводу від 0 до 2 с (рис. 3.2).



ис. 3.3. Графік зміни потужності, споживаної електродвигуном преса після обробки в Excel

Таким чином отримане рівняння функції:

$$y = -2,8545 \cdot x^2 + 0,2309 \cdot x + 12,989. \quad (3.1)$$

Це рівняння після заміни позначення змінних і розмірності потужності приймає вигляд:

$$N_{\text{пуск}} = -2854,5 \cdot t^2 + 230,9 \cdot t + 12989 \quad (3.2)$$

Площа під кривою розгону фізично визначає кількість енергії, що витрачена під час пуску електродвигуна.

Ця енергія може бути визначена інтегруванням рівняння (3.2) в межах, що визначаються часом розгону приводу:

$$E_{\text{пуск}} = \int_0^{t_p} (-2854,5 \cdot t^2 + 230,9 \cdot t + 12989) dt. \quad (3.3)$$

Після інтегрування отримуємо:

$$E_{\text{пуск}} = -\frac{2854,5 \cdot t^3}{3} + \frac{230,9 \cdot t^2}{2} + 12989 \cdot t \Big|_0^2. \quad (3.4)$$

$$E_{\text{пуск}} = -\frac{2854,5 \cdot 2^3}{3} + \frac{230,9 \cdot 2^2}{2} + 12989 \cdot 2 = 18828 \text{ Дж.}$$

3.2. Визначення енергії, яку необхідно витратити для процесу вирубування

Представимо схематично осцилограму (рис. 3.2), як це показано на рис. 3.3.

Як видно з графіка на рис 3.2 енергію, що витрачається на процес вирубування можна обчислити як площу, що обмежена графіком за допомогою виразу:

$$E_{\text{вир}} = \int_0^{x_1} P_1(x) dx + \int_{x_1}^{x_k} P_2(x) dx, \quad (3.5)$$

де $P_1(x)$, $P_2(x)$ - функції змінення навантаження на різак;

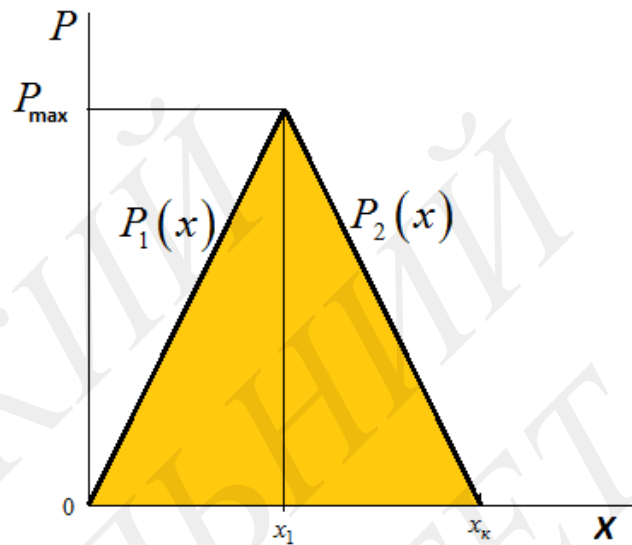


Рис. 3.4. Схематичний графік змінення зусилля при вирубуванні шкіри
 Робимо припущенням, що функції $P_1(x)$, $P_2(x)$ лінійні, тоді вираз ()
 приймає вигляд:

$$E_{\text{вир}} = \frac{P_{\text{max}} \cdot x_1}{2} + \frac{P_{\text{max}} \cdot x_2}{2} = \frac{P_{\text{max}} \cdot (x_1 + x_2)}{2} = \frac{P_{\text{max}} \cdot x_k}{2}. \quad (3.6)$$

Розрахуємо енергію, що витрачається на вирубування для максимально
 можливим зусилля, яке розвиває прес ПВГ-8 $P_{\text{max}} = 8$ т при товщині матеріалу
 1 мм:

$$E_{\text{вир}} = \frac{8 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3}}{2} = 39,24 \text{ Дж.}$$

3.3. Визначення залежності зменшення швидкості маховика при витраті ним енергії на вирубування

Енергія маховика, що може бути витрачена на процес вирубування без
 витрат енергії, що поступає від електродвигуна може бути знайдена за
 формулою:

$$E_M = E_{\text{вир}} = \frac{J \cdot (\omega_n^2 - \omega_k^2)}{2}, \quad (3.7)$$

де J - момент інерції маховика; ω_n - номінальна кутова швидкість обертання

двигуна; ω_{κ} - швидкості обертання, до якої зменшиться швидкість маховика від ω_{κ} , при втраті ним енергії $E_{\text{вир}}$.

З формули (3.7) можна отримати залежність ω_{κ} від J і $E_{\text{вир}}$:

$$\omega_{\kappa} = \sqrt{\omega_n^2 - \frac{2E_{\text{вир}}}{J}}. \quad (3.8)$$

На рис. 3.5 показано графіки залежності швидкості обертання ω_{κ} від J і $E_{\text{вир}}$, отримані за формулою (3.8) (використано програмне забезпечення «Mathcad»).

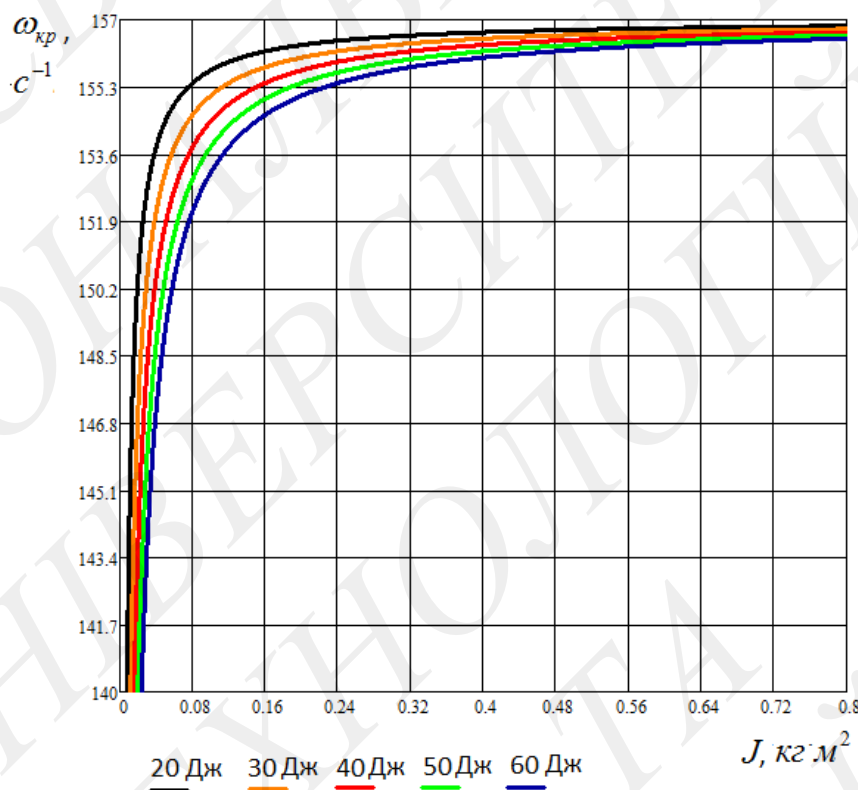


Рис. 3.5. Графіки залежності швидкості обертання, до якої зменшиться швидкість маховика, при втраті ним енергії вирубання

З графіків на рис. (3.5) видно, що при змінненні енергії вирубання від 20 до 60 Дж (приблизно для товщини шкіри від 0,7 до 2 мм) швидкість маховика зменшується в незначній мірі, якщо його момент інерції більший за 0,15...0,3 $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

3.4. Розрахунок механічної характеристики асинхронного двигуна преса з маховиком

Усі асинхронні двигуни повинні самостійно пускатися в хід, тобто розганятися від нерухомого стану ($n=0$, $s=1$) до номінальної частоти обертання ($n=n_{\text{ном}}$, $s=s_{\text{ном}}$), долаючи при цьому момент опору навантаження. Розгін двигуна повинен відбуватися досить швидко, щоб втрати, що виділяються в ньому при пуску, не призводили до неприпустимо великого перегріву обмоток (у зоні ковзання від 1 до $s_{\text{кр}}$ по обмотках двигуна проходять струми, суттєво більші за номінальний).

Таким чином, чим більший момент розвиває асинхронний двигун при пуску, тим менший час пуску, що виділяється під час пуску енергія втрат в обмотках і відповідно перегрів обмоток.

Якщо момент опору (навантаження) більший за момент, що розвивається двигуном, то пуск асинхронного двигуна взагалі виявляється неможливим.

Побудова природньої механічної характеристики асинхронного двигуна

Для побудови робочої ділянки механічної характеристики двигуна необхідно знати координати трьох точок [18]:

$$\begin{aligned} \omega_0, M = 0; \\ \omega_n, M_n; \\ s_k, M_k. \end{aligned} \quad (3.9)$$

Кутова швидкість ідеального холостого ходу [18]:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot n_0; \quad (3.10)$$

Номінальна кутова швидкість [18]:

$$\omega_n = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot n_n; \quad (3.11)$$

Номінальне ковзання двигуна [18]:

$$s_n = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0}; \quad (3.12)$$

Номінальний момент [18]:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}. \quad (3.13)$$

Критичні значення моменту і ковзання [18]:

$$M_k = \lambda \cdot M_n, \quad (3.14)$$

$$s_k = s_n \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}). \quad (3.15)$$

Таблиця 3.1.

Технічні дані асинхронних електродвигунів

h , мм	P_2 , кВт	Тип	m , кг	n_2	η , %	$\cos\phi$	I_1 , А	$\frac{I_{II}}{I_n}$	$\frac{M_{II}}{M_n}$	$\frac{M_M}{M_n}$	J , кг·м ²
1500 об/хв (4 полюса)											
71	0,55	A71A4	8,4	1400	72,0	0,80	1,4	5,5	2,5	2,6	0,0010
71	0,75	A71B4	10	1400	75,0	0,75	2	5,5	2,3	2,8	0,0015
80	1,1	A80A4	14	1420	77,0	0,80	2,7	5,5	2,3	2,6	0,0028
80	1,5	A80B4	16	1420	78,5	0,80	3,6	5,5	2,3	2,8	0,0034
90	2,2	A90L4	17	1390	78,0	0,82	5,2	5,0	2,2	2,6	0,0056
100	3,0	A100S4	21	1395	78,0	0,80	7,3	5,5	2,7	3,0	0,0100
100	4,0	A100L4	37	1435	83,0	0,78	9	6,6	2,8	6,6	0,0130
112	5,5	A112M4	45	1450	87,0	0,85	11,3	7,0	2,4	3,0	0,0236

Розрахуємо показники двигуна преса ПВГ-8 потужністю 1,1 кВт за його даними (табл. 3,1):

- кутова швидкість ідеального холостого ходу:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14}{60} \cdot 1500 = 157 \text{ с}^{-1};$$

- номінальна кутова швидкість:

$$\omega_n = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot 1420 = 148,6 \text{ с}^{-1};$$

- номінальне ковзання двигуна:

$$s_n = \frac{157 - 148,6}{157} = 0,0535;$$

- номінальний момент:

$$M_n = \frac{1100}{1500} = 7,33 \text{ Н·м};$$

- критичні значення моменту і ковзання:

$$M_k = 2,6 \cdot 7,33 = 19 \text{ Н·м};$$

$$s_k = 0,0535 \cdot \left(2,6 + \sqrt{2,6^2 - 1}\right) = 0,268.$$

Задаючись значеннями ковзання можна побудувати іншу частину характеристики за допомогою формули Клоса [18]:

$$M = \frac{2 \cdot M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}, \quad (3.16)$$

де s - поточне значення ковзання.

На рис. 3.6 представлено залежність моменту на валу електродвигуна преса ПВГ-8 від ковзання, яка отримана за (3.16) з використанням «Mathcad».

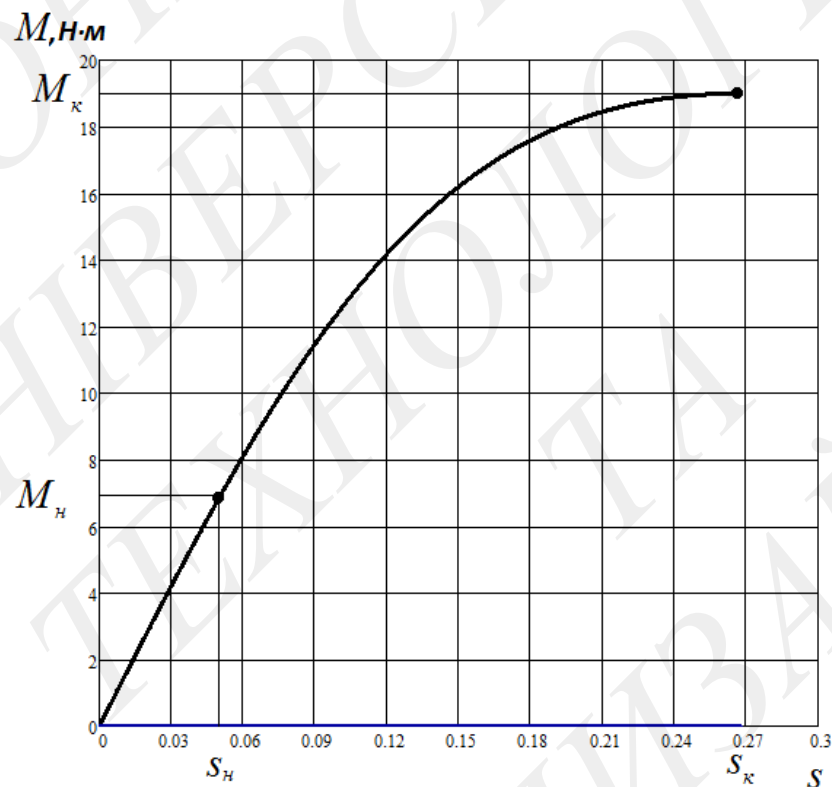


Рис. 3.6. Залежність моменту на валу електродвигуна преса ПВГ-8 від ковзання

Зробимо в (3.16) заміну:

$$s = 1 - \frac{\omega}{\omega_0}. \quad (3.17)$$

Отримуємо:

$$M = \frac{2 \cdot M_{\kappa}}{1 - \frac{\omega}{\omega_0} + \frac{s_{\kappa}}{1 - \frac{\omega}{\omega_0}}}. \quad (3.18)$$

На рис. 3.7 представлено залежність моменту на валу електродвигуна преса ПВГ-8 від кутової швидкості, яка отримана за (3.18) з використанням «Mathcad».

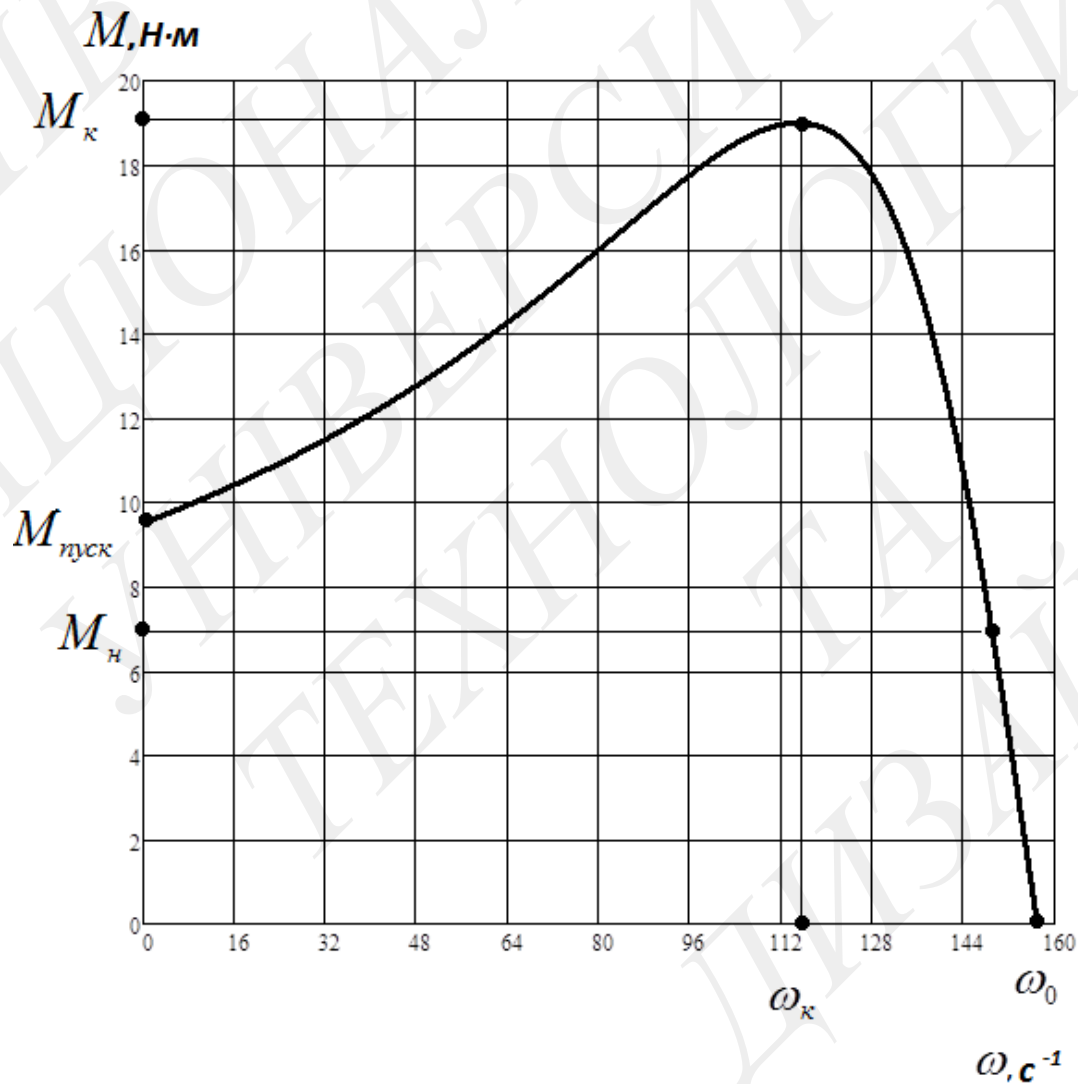


Рис. 3.7. Залежність моменту на валу електродвигуна преса ПВГ-8 від кутової швидкості

Критична кутова швидкість електродвигуна преса ПВГ-8 становить:

$$\omega_k = (1 - 0,268)157 = 114,9 \text{ с}^{-1}.$$

3.5. Визначення максимального моменту інерції обертових мас преса ПВГ-8 при пуску електродвигуна з маховиком

Точне визначення часу розгону асинхронного двигуна у зв'язку з не лінійністю характеристики є складним. Якщо ж обмежитись лише оцінкою цього часу, то задача спрощується і може бути вирішена наступним чином.

Реальна механічна характеристика двигуна замінюється прямокутною. Середній момент приймається постійним протягом пуску:

$$M_{сер} = \frac{M_{пуск} + M_k}{2}. \quad (3.19)$$

Час пуску можна визначити з рівняння руху привода:

$$t_{пуск} = J \cdot \frac{\omega_k - \omega_{поч}}{M - M_{он}} = J \cdot \frac{\omega_0}{M_{сер}}. \quad (3.20)$$

З (3.20) отримуємо вираз максимального моменту інерції обертових мас від часу пуску двигуна:

$$J = \frac{t_{пуск} \cdot M_{сер}}{\omega_0}. \quad (3.21)$$

Для двигуна потужністю 1,1 кВт з (3.18)

$$M_{пуск} = 9,7 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad M_k = 19 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Тоді

$$M_{сер} = \frac{9,7 + 19}{2} = 14,35 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Максимальний момент інерції обертових мас (враховуючи ротор двигуна), за умови, що розгін приводу не може перевищувати 2 с [32] становитиме:

$$J = \frac{2 \cdot 14,35}{157} = 0,182 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Якщо $J = 0,45 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, як це прийнято «оптимальним» в роботі [19], то

час розгону приводу преса з двигуном 1,1 кВт мав би становити:

$$t_{\text{пуск}} = J \cdot \frac{\omega_0}{M_{\text{сер}}} = 0,45 \frac{157}{14,35} = 4,9 \text{ с!!!!!!}$$

А якщо врахувати, що ми в своїх розрахунках не враховували статичний момент опору обертанню двигуна (від насоса на холостому ходу), то стає незрозумілим – як в них (тобто в роботі [19]) прес взагалі вмикався!

3.6. Розрахунок геометричних параметрів маховика

Для диска або циліндра при будь-якому співвідношенні R до l (рис. 105) момент інерції відносно осі дорівнює [32]:

$$J = \frac{m \cdot R^2}{2}, \quad (3.22)$$

де m - маса маховика.

$$m = \pi \cdot R^2 \cdot b \cdot \rho, \quad (3.23)$$

З (3.22), враховуючи (3.23) отримуємо:

$$J = \frac{\pi \cdot R^4 \cdot b \cdot \rho}{2}. \quad (3.24)$$

З (3.24) маємо:

$$b = \frac{2 \cdot J}{\pi \cdot R^4 \cdot \rho}. \quad (3.25)$$

$$R = \sqrt[4]{\frac{2 \cdot J}{\pi \cdot b \cdot \rho}}. \quad (3.26)$$

Використовуючи (3.26) з використанням «Mathcad» отримано графіки, що виражають співвідношення радіусу і товщини диска маховика при різних значеннях його моменту інерції .

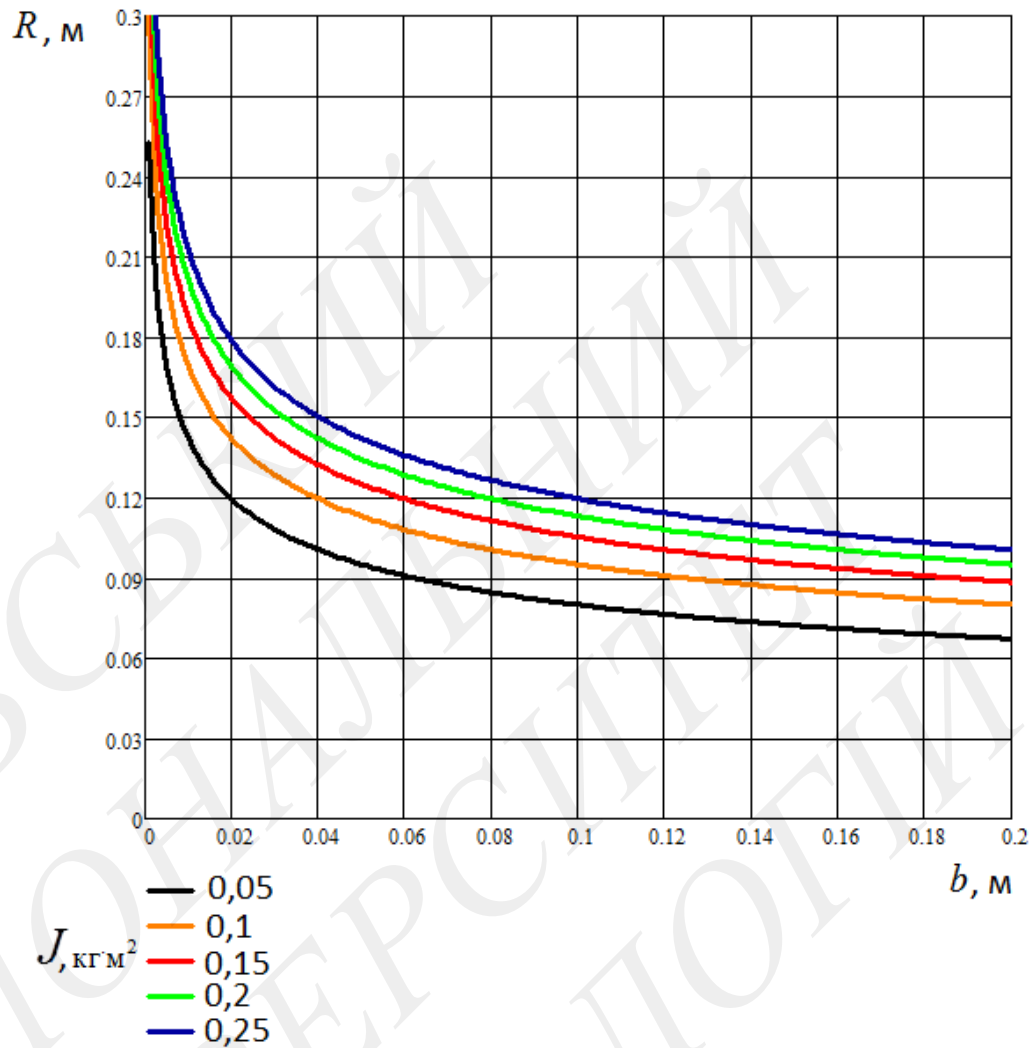


Рис. 3.8. Графіки, що показують співвідношення радіусу і товщини диска маховика при різних значеннях його моменту інерції

З рис.3.8 видно, що всіх маховиків з моментом інерції від 0,05 до 0,25 кг·м² товщину диска доцільно приймати не менше 30 мм. Подальше збільшення практично не впливає на його радіус і тільки призведе до зростання габаритів приводу.

Для двигуна 1,1 кВт, при товщині маховика 30 мм його радіус становитиме:

$$R = \sqrt[4]{\frac{2 \cdot 0,182}{3,14 \cdot 0,03 \cdot 7800}} = 0,149 \text{ м.}$$

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено тенденції розвитку електрогідравлічного пресового обладнання в легкій промисловості, виявлено ряд недоліків його експлуатації, а також запропоновано напрямки вдосконалення вказаного обладнання.

2. Розроблено математичну модель процесу вирубання на електрогідравлічному пресовому обладнанні, яка враховує технологічні параметри вирубання, втрати в пресі та енергетичний баланс приводу з урахуванням системи електродвигун-маховик-гідронасос.

3. Розроблено метод вибору раціональних енергетичних параметрів вирубних пресів, використання якого дозволяє зменшити часові витрати на вибір раціональних робочих показників електрогідравлічного пресового обладнання з частковим підвищенням якості виконання вирубання.

4. Встановлено, що енергія, спожита пресами за один цикл вирубання, становить для преса ПВГ-8-2-0 1,31 кДж для вдосконаленого пресового обладнання на базі ПВГ-8 - 0, 39 кДж.

5. Встановлено, що найбільш повно використовується встановлена потужність електродвигуна саме в удосконаленого пресового обладнання, що вказує на його високу енергоефективність. Коефіцієнт використання встановленої потужності електродвигуна найвищий серед усіх пресів, що досліджувалися і становить 0,85.

6. Визначено раціональні параметри маховика приводу, момент інерції повинен становити $0,186 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, при радіусі диска 149 мм і товщині 30 мм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Колосков В.И. Оборудование раскройных цехов обувных фабрик : [учеб. для кадров массовых профессий] / Колосков В.И. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Легпромбытиздат, 1988. – 192 с.
2. Ценова Л.В. Машины и аппараты обувного производства / Ценова Л.В., Сивченко Н.А., Скатерной В.А. – К. : Выща шк., 1991. – 318 с.
3. Поліщук О.С. Підвищення ефективності застосування пресового обладнання в легкій промисловості : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.10 «машини легкої промисловості» / О.С. Поліщук. – К. : КНУТД, 2001. – 155 с.
4. Набалов Т.А. Оборудование обувного производства / Набалов Т.А. – М. : Легпромбытиздат, 1990. – 464 с.
5. Бочаров Ю.А. Кузнечно-штамповочное оборудование : [учебник для студ. высш. учеб. Заведений] / Бочаров Ю.А. – М. : Издательский центр “Академия”, 2008. – 480 с.
6. Поліщук О.С. Аналітичний огляд існуючих методів і засобів вирубування деталей на підприємствах легкої промисловості / О.С. Поліщук, А.К. Кармаліта // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 2. – С. 85–90.
7. Коновал В. П. Універсальний довідник взуттєвика: навчальний посібник / В. П.Коновал, С. С.Гаркавенко, Л. Т. Свістунова. – Київ: Лібра, 2005. – 720 с.
8. ПромЭлектроАвтомат. URL:
<https://www.promelectroavtomat.ru/category/raskroinyi-ceh> (дата звернення 05.11.2021).
9. Прибега Д.В. Удосконалення технології розкроювання та перфорування деталей верху взуття : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.19.06. «технологія взуттєвих та шкіряних виробів» / Д.В. Прибега. – Хмельницький : Хмельницький національний університет,

2006. – 155 с.

10. Сивченко Н.А. Расчет величины забросов давления в прессах для вырубки деталей верха обуви / Н.А. Сивченко, Л.В. Сидорец, И.В. Панасюк // Технология легкой промышленности. Известия ВУЗов. – К., 1984. – № 2. – С. 104–107.

11. Пискорский Г.А. Исследование деформации системы стол-ударник вырубных прессов консольного типа / Г.А. Пискорский, В.И. Толочко // Технология легкой промышленности. Известия ВУЗов. – К., 1981. – № 1. Сообщ. 1. – С. 116–120.

12. Галай А.В. Исследование деформации системы стол-ударник вырубных прессов консольного типа / А.В. Галай, Г.А. Пискорский, В.И. Толочко // Технология легкой промышленности. Известия ВУЗов. – К., 1981. – № 2. Сообщ. 2. – С. 121–124.

13. Кармаліта А.К. Методика математичного моделювання технології та механізмів легкої промисловості : [навч. посібник] / Кармаліта А.К., Піскорський Г.А., Скиба М.Є. – К. : ІЗМН, 1997. – 184 с.

14. Лебедев В.С. Технологические процессы машин и аппаратов в производствах бытового обслуживания : [учеб. для вузов] / Лебедев В.С. – [2-е изд.]. – М. : Легпромбытиздат, 1991. – 336 с.

15. Капустин И.И. Резание и режущие инструменты в кожевенно-обувном производстве / Капустин И.И. – М. : Гизлегпром, 1960. – 171 с.

16. Снижение перегрузок гидравлического вырубного пресса, возникающих после вырубания / Н.И. Баканов, В.А. Пудов, Д.Р. Амирханов, Г.А. Пискорский // Изв. ВУЗов. Технология легкой промышленности. – 1972. – № 5. – С. 147–148.

17. Скиба М.Є. Методика розрахунку механізмів з гідравлічним приводом машин легкої промисловості / Скиба М.Є. – Хмельницький : ТУП, 1998. – 127 с.

18. Чиликин М.Г. Общий курс электропривода : [учеб. для вузов] / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер. – [6-е изд., доп. и перераб.]. – М. : Энергоиздат, 1981.

– 576 с.

19. Якимчук Д.М. Вдосконалення пресів для вирубання деталей виробів легкої промисловості [Текст] : автореферат дис. . канд. техн. наук : 05.05.10 / Д. М. Якимчук ; Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. - К., 2011. – 20 с. 10.01.12

20. Справочник по электрическим машинам : в 2 т. Т. 2 / [под общ. ред. Копылова И.П., Клокова Б.К.]. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 688 с.

21. Якимчук Д.М. Перспективи вдосконалення електрогідравлічних пресів в легкій промисловості / Д.М. Якимчук, А.К. Кармаліта, Д.В. Прибега // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 2. – С. 105–107.

22. Якимчук Д.М. Аналіз методів вимірювання крутних моментів в приводах електрогідравлічних пресів легкої промисловості / Д.М. Якимчук, А.К. Кармаліта // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 6. – С. 35–37.

23. Якимчук Д.М. Можливості застосування сучасних методів вимірювання параметрів електрогідравлічного пресового обладнання легкої промисловості / Д.М. Якимчук // Актуальні проблеми комп'ютерних технологій : зб. наук. праць. – Хмельницький : ХНУ, 2008. – Т. 2. – С. 174–177.

24. Кармаліта А.К. Математическая модель движения поршня электрогидравлического вырубного пресса / А.К. Кармаліта, Д.М. Якимчук // Новое в технике и технологи текстильной и легкой промышленности : матер. междунар. науч. конф. – Витебск : УО “ВГТУ”, 2009. – Ч. 2. – С. 120–123.

25. Пат. № 43005 UA, A43D. Електрогідравлічний вирубувальний прес з поворотним ударником / Якимчук Д.М., Кармаліта А.К. – № u200902653 ; заявл. 23.03.2009 ; опубл. 27.07.2009, Бюл. № 14.

26. Кармаліта А.К. Математична модель електрогідравлічного вирубувального преса консольного типу / А.К. Кармаліта, Д.М. Якимчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 5. – С.98–

103.

27. Karmalita A.K. Investigation of energetic parameters of electro-hydraulic press equipment / A.K. Karmalita, D.M. Yakymchuk // Вісник Чернігівського Державного технологічного університету. – Чернігів : ЧДТУ, 2010. – № 42. – С. 265–269.

28. Кармаліта А.К. Вплив енергетичних та силових показників пресового обладнання на динаміку його роботи / А.К. Кармаліта, Д.М. Якимчук // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2010. – №2. Т 1. – С. 31–34.

29. Гулиа Н. В. Маховичные двигатели / Гулиа Н.В. – М. : Машиностроение, 1976. – 276 с.

30. Гулиа Н.В. Накопители энергии / Гулиа Н.В. – М. : Наука, 1980. – 312 с.

31. Кармаліта А.К. Методика вибору оптимальних енергетичних параметрів електрогідравлічного пресового обладнання / А.К. Кармаліта, Д.М. Якимчук // Восточно-европейский журнал передових технологій. – 2010. – №6. – С. 10–15.

32. Ключев В. И. Ограничение динамических нагрузок электропривода / В. И. Ключев. – М. : Энергия, 1971. – 320 с.

Д О Д А Т К И

ДОДАТОК А

Таблиця А.1

Технічні показники сучасних електрогідравлічних вирубувальних пресів консольного типу

Виробник, країна	Завод ім. Мєдведєва, Росія	Atom, Італія	Chiesa Artonge, Італія			Compart, Німеччина	Schoen, Німеччина			Cherfeng, Тайвань										
			STE-9	STE-10	S-Super		STE-12	1008	1028	EHS-8	EHS 25 T	CF-405A	CF-405B	CF-405B-1	CF-405C					
Марка пресу	ПКП-10P	S120 C				S06.01														
Матеріали, що вирубуються																				
Синтетичні та натуральні шкіри, картон, настільні тканини, текстиль та ін.																				
Максимальне зусилля вирубування, кН	100	200	200	250	250	180	220	200	80	250	150	200	200	200	200	230				
Хід ударника, мм	0-119	0-35	0-100	0-100	0-100	-	0-220	0-120	0-50	8-100	5-80	5-80	5-80	5-80	5-80					
Габаритні розміри в мм:																				
- довжина	1185	900	1000	1000	1200	900	900	900	700	900	1000	1000	1000	1000	1000	1000				
- ширина	850	430	900	1000	1000	450	900	900	350	450	950	950	950	950	950	950				
- висота	1550	-	1370	1370	1370	-	1600	1600	-	930	1270	1270	1270	1270	1270	1270				
Потужність електродвигуна кВт	1,1	0,75	1,5	2	2	1,3	2,2	1,1	1,0	1,5	1,8	2,5	2,5	2,5	2,5	4				
Кількість масла, л	-	25	-	-	-	70	40	50	-	20	70	70	70	70	70	70				
Маса, кг	750	615	780	840	900	730	1000	1000	340	700	1112	1124	1124	1138	1140	1140				



Рис. Б.1. Сучасні вирубувальні преси консольного типу: а – S120C, Atom; б – BHS25T, Schoen;

в – ПКП-10Р, завод ім. Медведєва; г – S-Super, Chiesa Artoige; д – C06.01, Compart;

ДОДАТОК В

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

54-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зубчанинов, В.Г. Процессы сложного нагружения конструкционной стали по пятизвенной кусочно-ломаной траектории деформирования / В.Г. Зубчанинов, А.А. Алексеев, В.И. Гулятьев, Е.Г. Алексеева // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2019. – № 61. С. 32–44.
2. Алексеев, А.А. Экспериментальное и теоретическое исследование процессов сложного упругопластического деформирования материалов по некоторым многозвенным траекториям / А.А. Алексеев, В.Г. Зубчанинов, В.И. Гулятьев // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева Серия: Механика предельного состояния. 2020. – № 3 (45). – С. 64–71
3. Zubchaninov, V.G., Modeling of elastoplastic deformation of structural steel by a trajectory containing three circles touching internally / V.G. Zubchaninov, A.A. Alekseev, V.I. Gultiaev, E.G. Alekseeva // Materials Physics and Mechanics. No 5, Vol. 42, 2019. – P. 528-534.

УДК 677.055.621

К РАСЧЕТУ НАДЕЖНОСТИ НОСОЧНЫХ АВТОМАТОВ

Березин Л.Н., к.т.н., доц., Рубанка Н.Н., к.т.н., доц.,
Сауляк Б.О., студ., Щербань М.В., студ.

*Киевский национальный университет технологий и дизайна,
г. Киев, Украина*

Современное машиностроение характеризуется быстрой адаптацией к инновациям на основе изменения технико-технологических требований и разнообразия конструктивных вариантов. Объектом исследований выбран базовый одноцилиндровый носочный автомат (НА) серии ОЗДС, представляющий множество последовательно соединенных механизмов, когда отказ любого из них приводит к отказу НА. Надежность НА имеет важное значение, поскольку в ближайшей перспективе процесс вязания представляется непрерывным и без привлечения обслуживающего персонала. Кроме того, оценка влияния на надежность НА кардинальных изменений его механизмов, особенно при ограничении сроков и бюджета, представляется актуальной. Предлагается методология оперативного анализа влияния на надежность НА инновационных решений по отдельным механизмам. Исследуемым параметром выбрана средняя наработка на отказ T_{cp} . Использовалась эксплуатационная информация об отказах.

Структура автомата обусловлена технологией вязания изделий, когда заданные операции выполняются набором определенных механизмов циклического действия. Для каждого i -го механизма вычисляли количество отказов $[k_i]$ за фиксированное время T_{max} как наибольшее целое от значения

$$k_i = T_{max} / T_i,$$

где T_{max} – максимальное значение в вариационном ряду средних наработок механизмов T_i .

Тогда общее количество отказов НА за время T_{max} составит

$$v = \sum_{i=1}^n [k_i].$$

Для вычисления T_{cp} автомата как совокупности механизмов, необходима информация о времени появления отказов. Для этого используем совмещения данных о наработках всех механизмов НА и составляем обобщающую матрицу моментов отказов вида $n \times [k_i] [1]$, а именно

$$T = |T_{ij}|_{n \times [k_i]}$$

где $T_{i[k_i]}$ – момент времени появления $[k_i]$ -го отказа механизма 1 (например, подачи нитей);

T_{ni} – момент времени первого отказа n -ого механизма.

Таким образом, в обозначении T_{ij} имеем: i и j – номера механизмов и их отказов соответственно.

При экспоненциальном законе распределения для вычисления средней наработки используется формула вида

$$T_{cp} = \sum_{i=1}^v (T_{i+1} - T_i) / v.$$

В случае инновационных решений по уменьшению отказов, например для 2-го механизма, строка T_{2j} матрицы включает $[k'_2]$ отказов за время T_{max} при

$$k'_2 = T_{max} / T'_2$$

и принимает следующий вид: $[T'_2 - 2 \times T'_2 - 3 \times T'_2 \dots [k'_n] \times T'_2]$, вносящий изменения для средней наработки T'_{cp} автомата. Установлено, что увеличение долговечности игл в 2,4 раза повышает T'_{cp} НА с инновационным вязальным механизмом до 1,24 ч.

Таким образом, достаточно вносить в расчеты изменения по надежности только предложенного механизма, а не исследовать автомат в целом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – Москва : Наука, 1974. – 832 с.

ДОДАТОК Г

Технічна творчість №4 2021

УДК 621:62-1/9

Проблеми матеріалознавства

ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ВИПРОБУВАЛЬНИХ МАШИН
ЛАБОРАТОРІЇ ОПОРУ МАТЕРІАЛІВРубанка М.М.,
Місяць В.П.,
Щербань М.В.

Київський національний університет технологій та дизайну

Опір матеріалів - це наука про інженерні методи розрахунків на міцність, жорсткість і стійкість елементів конструкцій різних споруд та механізмів. Опір матеріалів ґрунтується на теоретичних і дослідних даних. Тому, при вивченні обов'язкової дисципліни «Опір матеріалів» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, студенти галузі знань 13 Механічна інженерія, спеціальності 131 Прикладна механіка, 133 Галузеве машинобудування денної та заочної форм навчання, виконують лабораторні роботи, які є обов'язковою частиною навчального процесу. Лабораторні роботи сприяють розвитку навичок самостійної роботи та більш глибокому розкриттю фізичної суті теорії опору матеріалів. Вони направлені на вивчення механічних властивостей різних матеріалів та експериментальну перевірку теоретичних висновків і формул, а також на ознайомлення з сучасними методами дослідження напружено-деформованого стану твердого тіла. Лабораторні роботи з опору матеріалів можна розділити на дві основні групи:

- випробування різних матеріалів з метою визначення їх механічних характеристик;
- вивчення напружено-деформованого стану найпростіших елементів конструкцій.

Достовірність будь-якого натурального експерименту, в першу чергу, залежить від технічного стану обладнання, точності вимірювальних приладів, засобів фіксації та обробки отриманих експериментальних даних тощо.

Для проведення випробувань конструкційних матеріалів на розтяг і стискання застосовують спеціальні пристрої (універсальні розривні машини, випробувальні преси тощо) [1-6]. Розривна машина має спеціальні захоплювачі, в яких закріплюється випробуваний зразок, що піддається дії поступово зростаючого навантаження, а також пристрої для вимірювання діючого на зразок зусилля та величини деформації.

Випробувальні машини оснащуються приводом. Це може бути ручний, електромеханічний (електродвигун – механічна передача) та електродігравлічний. Найбільш розповсюджені машини з електромеханічним приводом, тоді як електродігравлічний застосовують в обладнанні для випробувань матеріалів при значно більших робочих навантаженнях.

Для проведення випробувань конструкційних матеріалів на розтяг, стиск, зріз в лабораторії опору матеріалів кафедри прикладної механіки та машин Київського національного університету технологій та дизайну, використовується універсальна випробувальна розривна машина УММ-5 (рис. 1), що побудована за принципом розривних машин з механічним навантаженням зразка і з важільно-маятниковим вимірювачем зусилля.

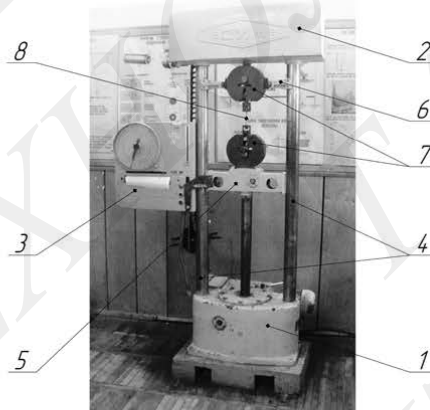


Рис. 1. Зовнішній вигляд універсальної випробувальної розривної машини УММ-5:
1 – силова частина, 2 – силосиліметрична частина, 3 – механізм самоплицця, 4 – колони, 5 – нижня рухома траверса,
6 – верхня нерухома траверса, 7 – захоплювачі, 8 – випробувальний зразок

Для проведення випробувань конструкційних матеріалів на кручення в лабораторії опору матеріалів використовується машина КМ-50-1, зовнішній вигляд якої представлено на рис. 2. Для вимірювання створюваних крутних моментів машина забезпечена важільно-маятниковим механічним вимірювачем крутного моменту.

Статті

Машини КМ-50-1 відносяться до типу машин з механічним навантаженням вертикально розташованого зразка. Випробувальна машина обладнана спеціальними захоплювачами, в яких закріплюється випробуваний зразок, що піддається дії поступово зростаючого крутного моменту, що фіксується важільно-маятниковим механічним вимірювачем та пристроєм для вимірювання кута закручування та кількості повних обертів.

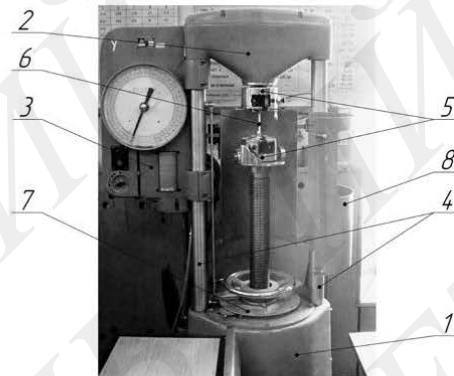


Рис. 2. Зовнішній вигляд випробувальної машини на кручення КМ-50-1:
1 – силова частина, 2 – моментовимірювальна частина, 3 – механізм самописця, 4 – колони, 5 – захоплювачі, 6 – випробувальний зразок, 7 – механізм фіксації кута закручування випробувального зразка, 8 – захисний кожух

Дане обладнання відноситься до випробувальних машин морально застарілого типу та потребує модернізації, метою якої є доведення метрологічних характеристик до відповідності вимогам стандартів ASTM, ISO, DIN, GB і дооснащення необхідними пристроями вимірювання.

На сьогоднішній час морально застарілі випробувальні машини можуть бути удосконалені в різному ступені глибини модернізації. Авторами пропонується наступний варіант модернізації даного обладнання, що передбачає встановлення електронного реєстратора. Регулювання швидкості навантаження залишається без зміни (виключно за рахунок механічної коробки передач). Електронний реєстратор встановлюється на випробувальні машини в комплекті з:

- мікропроцесорний блок зі спеціальним програмним забезпеченням (ПЗ);
- датчик зусилля (один або два);
- датчик переміщення (для випробувальної машини УММ-5);
- датчик кута повороту (для випробувальної машини КМ-50-1);
- персональний комп'ютер (ПК);
- принтер.

Цей варіант модернізації дозволить: проводити всі види випробувань в межах технічних можливостей машин; реєструвати графіки випробувань та відображати всі поточні значення вимірюваних величин на дисплеї в режимі реального часу; аналізувати отримані дані серії випробувань з накладенням кривих; автоматично обробляти отримані результати та представляти їх у вигляді графіків і протоколів з можливістю роздрукування; при необхідності експортувати отримані дані в програмне забезпечення «Microsoft Office Excel 2007» та «Microsoft Office Word 2007», «Adobe Acrobat XI Pro»; працювати з бібліотеками методів випробувань згідно нормативної документації; створювати короткі і розширені звіти по результатам випробувань; автоматично зупиняти процес випробування при руйнуванні зразка або виконанні заданих умов.

Перелік посилань

1. Ванкевич П.І. Лабораторний практикум з опору матеріалів : навчальний посібник / П.І. Ванкевич. – Львів : Магнолія 2006, 2019. – 224 с.
2. Вольмир А.С. Лабораторний практикум по сопротивлению материалов / А.С. Вольмир. – М.: МАИ, 1997. – 352 с.
3. Цурпал И.А. Сопротивление материалов. Лабораторные работы / И.А. Цурпал, Н.П. Барабан, В.М. Швайко. –К. : Виц. шк., 1988. –247 с.
4. Афанасьев В.А. Лабораторный практикум по сопротивлению материалов / В.А. Афанасьев, В.А. Марьян. – М. : Наука, 1975. –287 с.
5. Испытательные машины [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://asma.com.ua/content/ispitatelnye-mashiny>
6. Машини випробувальні [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ukrintech.com.ua/ua/mashyny-vyprobuvalni/>