

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Механіко-машинобудівний факультет
Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

кваліфікаційної роботи ступеня магістра

Здобувачу вищої освіти Коваленко Андрій Віталійович
(ПІБ)

академічної групи 131М-23Н-1 ММФ
(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка

за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва»

на тему: "Дослідження технології механічного оброблення деталі "Корпус пресу" з визначенням достовірності контролю центрального отвору"

Наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 28.04.25 №317-с

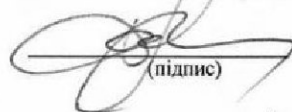
Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Пацера С.Т.	93	Відмінно	
розділів:				
Аналітичний	Пацера С.Т.	91	Відмінно	
Технологічний	Пацера С.Т.	92	Відмінно	
Спеціальний	Пацера С.Т.	93	Відмінно	
Науково-дослідницький	Пацера С.Т.	94	Відмінно	
Рецензент	Кравченко Ю.Г.	92	Відмінно	
Нормоконтролер	Рубан В.М.	90	Відмінно	

Встановлено, що матеріали даної кваліфікаційної роботи містять чутливу інформацію щодо реальних об'єктів критичної інфраструктури України, національної безпеки і оборони України, зокрема відомості про їх місце розташування, службове призначення, конструкторську і технологічну документацію, описи конструкторських матеріалів та їх властивості, іншу додаткову літературу та посилання. У зв'язку з чим такі матеріали не підлягають відкритому оприлюдненню та мають зберігатися відповідно до встановленого режиму закладом освіти.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри

технологій машинобудування та матеріалознавства
(повна назва)


(підпис)

В.А. Дербоба
(ініціали та прізвище)

« 15 » січня 2025 року

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

здобувачу вищої освіти Коваленко Андрій Віталійович
(прізвище та ініціали)

академічної групи 131М-23Н-1 ММФ
(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка
спеціалізації за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг
машинобудівного виробництва»

на тему: "Дослідження технології механічного оброблення деталі "Корпус
пресу" з визначенням достовірності контролю центрального отвору"

1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 28.04.25 №317-с

2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ

Об'єкт досліджень - процес механічного оброблення деталі "Корпус пресу"
на верстаті з ЧПК.

Предмет досліджень - достовірність контролю діаметру базового центрального
отвору

Мета - дослідження впливу допустимої граничної похибки вимірювання та
точності формоутворення базової поверхні деталі технологічною системою на
достовірність контролю діаметру

Вихідні дані для проведення роботи - 1) аналіз джерел інформації з питань
конструкторсько-технологічних особливостей корпусів гідравлічного
пресового устаткування; 2) відомі методичні засади імітаційно-статистичного
моделювання процесів контролю геометричних параметрів деталі.

3 ОЧКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Новизна - удосконалено алгоритмічну модель імітаційно-статистичного моделювання процесів контролю геометричних параметрів базового отвору деталі с позицій математичної моделі критерію достовірності.

Практична цінність - результати дослідження можуть бути використані для підвищення ефективності технологічних процесів на машинобудівних підприємствах.

4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

За результатами виконаних досліджень потрібно побудувати графіки залежності достовірності контролю від основних чинників, що притаманні стохастичним процесам. У висновках навести рекомендації що технічних вимог до точності складових технологічної системи.

5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок-кінець)
Аналітичний розділ	29.01.2025-25.02.2025
Технологічний розділ	26.02.2025-24.03.2025
Спеціальний розділ	25.03.2025-21.04.2025
Науково-дослідницький розділ	22.04.2025-19.05.2025


Завдання видано


(підпис керівника)

С.Т. Пацера
(ініціали та прізвище)

Дата видачі 15 січня 2025 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії 21 травня 2025 р.

Прийнято до виконання 
(підпис здобувача вищої освіти)

А.В. Коваленко
(ініціали та прізвище)

Реферат

Пояснювальна записка: 39 с, 5 рис, 12 табл., 6 додаток, 12 джерела.

Тема : «Дослідження технології механічного оброблення деталі "Корпус пресу" з визначенням достовірності контролю центрального отвору»

Об'єкт дослідження

Деталь «Корпус пресу», яка застосовується в складальних вузлах важкого машинобудування та характеризується наявністю точного центрального отвору діаметром 480 мм.

Мета роботи :

Розробка ефективного технологічного процесу механічного оброблення деталі «Корпус пресу» з акцентом на забезпечення точності та надійності контролю центрального отвору, використовуючи САМ-моделювання та статистичний аналіз (метод Монте-Карло).

Завдання дослідження:

Вибір та обґрунтування методу отримання заготовки;

Розробка технологічного маршруту механічної обробки;

Вибір ріжучого інструменту, режимів різання та устаткування

Проведення САМ-моделювання операцій розточування;

Аналіз достовірності контролю точності отвору за допомогою методу Монте-Карло;

Обґрунтування вибору вимірювального інструменту;

Підбір сучасного обладнання (верстат з ЧПК — Doosan DBC 130).

Методи дослідження :

У роботі використані методи комп'ютерного моделювання (CAD/CAM), розрахунки режимів різання, статистичне моделювання похибок, графічне та табличне представлення результатів.

Результат роботи : Розроблено оптимізований маршрут механічного оброблення корпусу пресу, проведено САМ-моделювання точних переходів, зокрема чистового та тонкого розточування центрального отвору. За результатами моделювання і статистичних розрахунків встановлено ймовірнісні характеристики точності та надано рекомендації щодо інструментального контролю. Розроблено САМ-карту та підбрано інструмент Sandvik Coromant серії R416.2-150 з пластинами CCMT типу 4325 та PCD.

Ключові слова: Корпус пресу, САМ-моделювання, розточування, ЧПК, Sandvik, точність, метод Монте-Карло, СЧ25, контролювання похибок.

Робота пов'язана з науковим напрямом кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства та виконана відповідно договору про співпрацю та договором про нерозголошення конфіденційної інформації та комерційної таємниці з ТОВ «ЕЙ БІ ЕМ ТЕХНОЛОДЖИ».

Зміст

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	5
1.1 Загальна характеристика деталі	5
1.2 Аналіз умов роботи деталі	7
1.3 Обґрунтування вибору методу виготовлення заготовки	9
1.4 Аналіз аналогів та технічних рішень	10
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	12
2.1 Вибір і обґрунтування способу отримання заготовки	12
2.2 Вибір типу виробництва та баз технологічного процесу	13
2.3 Вибір методів обробки поверхонь	14
2.4 Вибір обладнання, інструменту та оснащення	16
2.5 Маршрут обробки деталі	17
2.6 Вибір вимірювальних засобів	19
2.7 Нормування часу виконання операції	20
3. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	22
3.1 Моделювання процесу механічного оброблення в САМ-системі	22
3.2 Вибір інструмента і режимів оброблення	23
3.3 Результати моделювання та їх оцінка	24
3.4 Висновки	26
4. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	26
4.1 Постановка задачі дослідження	26
4.2 Визначення впливових факторів на точність отвору	27
4.3 Аналіз методів контролю точності отвору	27
4.5 Розрахунок похибки вимірювання нутроміром з індикатором	28
4.6 Імітаційно-статистичне моделювання методом Монте-Карло	29
4.7 Висновки науково-дослідницького розділу	32
5. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	34
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	36
Додатки	37
Додаток А. Кресленик виробу	37
Додаток Б. Налаштування технологічні	37
Додаток В. Документація технологічна	37
Додаток Д. Графічний матеріал до спеціального розділу	37
Додаток Е. Графічний матеріал до науково дослідницького розділу	37
Додаток Ж. Специфікація документів випускної кваліфікаційної роботи	37

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Загальна характеристика деталі

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Для порівняння розглянемо високоміцний чавун ВЧ50, який має вищу міцність, але менш придатний у цьому випадку через нижчу демпфуючу здатність, складніше лиття і вищу вартість.

Як видно із табл. 1.1, ВЧ50 не підходить з наступних причин :

- Оброблюваність нижча: Матеріал складніше обробляти механічно
- Литво потребує великих витрат на контроль процесу: Виготовлення виливків з цього матеріалу вимагає значних зусиль і витрат на забезпечення якості.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Рисунок 1 – 3D модель деталі

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Середньовисокі	Високі	Середні
Литейні властивості	Високі	Гірші, вимагає контроль

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

1.2 Аналіз умов роботи деталі

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

- передавального елемента навантаження, через який проходить
СИЛОВА взаємодія.

В умовах циклічної роботи (часте включення/вимикання пресу, повторювані удари, коливання тиску) корпус зазнає втомного навантаження, що вимагає високої стабільності розмірів і відсутності концентраторів напружень.

До особливих умов експлуатації також належать:

- підвищена температура при гарячому пресуванні або при тривалому циклі роботи (до +150–300 °С);
- висока вібрація і поштовхи, які можуть спричинити мікротріщини або зміщення базових поверхонь;
- агресивне виробниче середовище (мастила, гідравлічні рідини, металева стружка);
- неможливість частого технічного обслуговування через трудомісткість демонтажу.

Ці чинники зумовлюють потребу у:

- використанні матеріалів із високою демпфуючою здатністю;
- застосуванні стабільної, вібраційно-стійкої структури чавуну;
- забезпеченні точної механічної обробки базових отворів;
- застосуванні достовірного і відтворюваного вимірювального контролю.

1.3 Обґрунтування вибору методу виготовлення заготовки

Ураховуючи конструктивні особливості корпусу пресу — масивність, складну форму та наявність порожнин, а також вимоги до точності й продуктивності в умовах малосерійного (одиночного) виробництва, найдоцільнішим методом виготовлення заготовки є **лиття у піщано-глиняні форми**.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Таблиця 1.2 — Порівняльна характеристика методів виготовлення заготовок

Метод виготовлення	Точність (IT)	Складність форми	Вартість	Придатність до СЧ25	Коментар
Лиття в піщані форми	IT12–IT13	Висока	Низька	Висока	Оптимальний для малосерійного виробництва

Метод виготовлення	Точність (IT)	Складність форми	Вартість	Придатність до СЧ25	Коментар
Лиття в кокіль	IT11– IT12	Середня	Вища	Обмежена	Вимагає простіших форм і меншої маси
Кування	IT10– IT11	Низька	Висока	Неможливе	Не застосовується для сірого чавуну
Зварна конструкція	IT12	Середня	Висока	Неактуальна	Складність і зниження міцності корпусу

1.4 Аналіз аналогів та технічних рішень

Для забезпечення якісного проектування корпусу пресу важливо дослідити існуючі конструктивні рішення аналогічних деталей, що використовуються в промисловості, зокрема в гідравлічних пресах, гарячештампувальних комплексах або листозгинальних установках.

На основі патентного пошуку, технічної документації та каталогів виробників промислового обладнання було проаналізовано низку рішень, які застосовуються в подібних умовах.

Таблиця 1.3 — Порівняльна характеристика аналогів корпусів пресів

Виробник / джерело	Матеріал корпусу	Метод виготовлення	Діаметр центрального отвору, мм	Особливості конструкції
AIDA Engineering (Японія)	ВЧ60	Лиття в кокіль	450	Підвищена жорсткість, легкосплавні вставки
JH21-100 Press (Китай)	СЧ30	Лиття у піщані форми	500	Класична конструкція, велика маса
LAEIS (Німеччина)	Сталь 20ГЛ	Лиття + зварювання	460	Зварна рама з литими вузлами
ПАТ "Пресмаш" (Україна)	СЧ25	Лиття у землю	480	Стандартна схема з обробкою отвору розточенням
Kramatorsk Heavy Machinery	ВЧ45	Лиття	520	Потовщення в зоні отвору для зменшення деформацій

Висновок: метод лиття у піщано-глиняні форми забезпечує достатню точність, хорошу відтворюваність геометрії, економічність у малосерійному виробництві та повну сумісність із матеріалом СЧ25.

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір і обґрунтування способу отримання заготовки

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Рисунок 2.1 3D модель ливарної заготовки

2.2 Вибір типу виробництва та баз технологічного процесу

Тип виробництва визначається за кількістю однотипних виробів, що виготовляються на підприємстві, рівнем спеціалізації робочих місць та характером технологічного процесу. Існують три основні типи: одиничне, серійне та масове виробництво.

Таблиця 2.1 — Порівняльна характеристика типів виробництва

Тип виробництва	Характеристика	Приклади деталей	Спеціалізація устаткування
Одиничне	Виготовлення одиничних виробів або малих партій, велика кількість переналагоджень	Унікальні механізми, експериментальні зразки	Універсальне обладнання
Серійне	Випуск великої кількості однотипних виробів серіями	Корпуси машин, деталі верстатів	Частково спеціалізоване
Масове	Безперервне виготовлення одного виду продукції у великих обсягах	Автомобільні деталі, побутова техніка	Високоспеціалізоване

У випадку з деталлю «Корпус пресу», яка виготовляється у стабільному обсязі для серійного пресового обладнання, виробництво слід віднести до **одиничне**. Це зумовлено такими факторами:

- **Стабільність попиту** — корпуси пресів потрібні у промисловості постійно.

- **Повторюваність конструкції** — для більшості пресів використовуються уніфіковані або типові деталі.
- **Доцільність часткової автоматизації** — дозволяє підвищити продуктивність при збереженні гнучкості процесу.
- **Економічна ефективність** — серійне виготовлення забезпечує баланс між собівартістю й витратами на оснащення.

У зв'язку з цим при розробці технологічного процесу слід орієнтуватися на **одиничне виробництво**, що передбачає використання спеціального та універсально-збірного оснащення, а також стандартних маршрутів обробки.

2.3 Вибір методів обробки поверхонь

Таблиця 2.2 — Вибір методів обробки поверхонь

Перелік поверхонь деталі	Номер квалітету	Шорсткість R_a , мкм	Методи механічної обробки поверхонь
Зовнішня поверхня, 250	14	5	Фрезерування черное, чистове
Зовнішня поверхня, 650	14	5	Фрезерування черное, чистове
Отвір $\varnothing 530$ мм	14	5	Розточення черное, чистове

Перелік поверхонь деталі	Номер квалітету	Шорсткість R_a , мкм	Методи механічної обробки поверхонь
Отвір $\varnothing 480H8$	8	2,5	Фрезерування чорнове до $\varnothing 477$ Розточування чистове до $\varnothing 479^{0,5}_{+0,1}$ Розточування тонке до $\varnothing 480^{+0,097}$
Дванадцять отворів M10	7	6.3	Свердління $\varnothing 8.5$ Обробка нарізі M10

Заготовка корпусу отримується методом лиття у піщано-глиняні форми. Далі виконується механічна обробка на металообробних верстатах. Основні переходи включають:

Маршрут механічної обробки:

1. Чорнова обробка зовнішніх поверхонь (фрезерування, токарна)
2. Проміжне розточування отвору $\varnothing 480$
3. Обробка установчих площин
4. Точне розточування отвору $\varnothing 480 H8$
5. Свердління та нарізання отворів для кріплення
6. Контроль розмірів і якості

2.4 Вибір обладнання, інструменту та оснащення

У зв'язку з тим, що особливістю деталі є необхідність обробки поверхонь фрезерування, отворів шляхом свердління і розгортання, а також обробка нарізі, то найбільш підходящим обладнанням може бути багатоцільовий верстат з програмним керуванням. З урахуванням маси заготовки (821,31) та її габаритів (1200x650x250)мм, враховуючи необхідність розміщення пристрою на робочому столі, в якості основного обладнання обрано горизонтально-розточний верстат з ЧПК виробництва Південної Кореї. Верстат призначений для обробки складних деталей типу корпусу, що вимагають фрезерування поверхонь, свердління і розточення точних отворів при точних координатах, а також обробки нарізі в отворах.



Рисунок 2.2 - Doosan DBC 130

<https://www.dn-solutions.com/global/product/nc-boring/boring/dbc-130-ii.do>

Doosan DBC 130 (Південна Корея)

- **Тип:** Горизонтально-розточувальний центр
- **Діаметр шпинделя:** 130
- **Макс. розточувальний діаметр:** до 600 мм
- **Система ЧПК:** FANUC / Siemens
- **Оснащення:** автоматична зміна інструмента, координатне управління, висока точність

Інструмент:

- Чорнові та чистові розточувальні головки
- Пластинчасті розточувальні різці (з твердосплавними пластинами)
- Зенкери, свердла для допоміжних отворів

Таблиця 2.2 Параметри для чистового розточування

Параметр	Значення
Швидкість різання, V, м/хв	80
Подача, мм/об	0.1
Глибина різання, мм	0.5
Охолодження	Емульсія

2.5 Маршрут обробки деталі

№№	Устаткування	Зміст переходів	Технологічні бази
005		Заготівельна	

№№	Устаткування	Зміст переходів	Технологічні бази
015	Оброблювальний центр з ЧПК моделі РНА	Фрезерувати для видалення залишків ливарного прибутку	Лита поверхня
	Оброблювальний центр з ЧПК моделі РНА	Фрезерувати бокові поверхні заготовки (250)	
	Оброблювальний центр з ЧПК моделі РНА	Фрезерувати за боковим розміром (650)	
	Оброблювальний центр з ЧПК моделі РНА	Фрезерувати начерно центральний отвір (530)	Поверхні пристосування
	Оброблювальний центр з ЧПК моделі РНА	Фрезерувати начерно центральний отвір (480)	
	Оброблювальний центр з ЧПК моделі РНА	Свердлити 12 отворів під нарізь М10	
	Оброблювальний центр з ЧПК моделі РНА	Нарізати різьбу в 12 отворах М10	
	Оброблювальний центр з ЧПК моделі РНА	Зенкерувати 12 отворів до $\varnothing 14$ мм	

2.6 Вибір вимірювальних засобів

Для вимірювання геометричних параметрів деталі застосована нова сучасна мобільна координатно-вимірювальна машина (КВМ) фірма FARO Technologies (США), що відповідає вимогам точності корпусу

- Вартість менша ніж у стаціонарних КВМ
- Точність вимірювання (повторюваність до 0.006мм)
- Універсальність
- Висока мобільність
- Можливість автономної роботи в умовах реального виробництва
- Просте навчання персоналу і експлуатація КВМ та її ПО
- Взаємозв'язок з сучасними CAD/CAM-системами

КВМ FARO складається з опорної плити, яка кріпиться до будь-якого відповідного місця, і обмежено з'єднаних між собою шарнірами колін.



Рис. 2.3 КВМ FARO Gage (<http://www.faro.in.ua/gage.html>)

2.7 Нормування часу виконання операції

Норма штучного часу $T_{шт}$ визначена за формулою

$$T_{шт} = T_0 + T_d + T_{обс} + T_{впч},$$

де T_0 – основний (технологічний) час, хв;

T_d – допоміжний час, хв;

$T_{обс}$ – час обслуговування робочого місця, хв;

$T_{впч}$ – час на фізичні потреби, хв.

Основний або технологічний час –, протягом якого утворюється стружка. До нього входить час на врізання и перебіг (підхід та відхід) різального інструменту.

Основний час T_0 визначено за формулою

$$T_0 = (l + l_1 + l_2) / (s_0 \times n),$$

де l – довжина оброблення, мм;

l_1 – довжина врізання (прийнято 3 мм);

l_2 – довжина перебігу (прийнято 2 мм);

s_0 – подача, мм/об;

n – частота обертання, об/хв.

У допоміжний час включено:

- час $T_{дпер}$ на переміщення інструменту і час на керування верстатом;
- час $T_{двст}$ на встановлення і зняття деталі, пристосування та інструменту
- час $T_{двим}$ на вимірювання.

Складові допоміжного часу визначені табличним методом за довідниками

Сума основного часу T_0 та допоміжного часу T_d є час оперативний $T_{оп}$.

Час $T_{обс}$ обслуговування прийнято рівним 3,5% від оперативного та поділяється на:

- час технічного обслуговування;
- час організаційного обслуговування.

Час технічного обслуговування витрачається на нагляд за робочим місцем у процесі роботи, включно на:

- підналаштування і регулювання верстата,
- заміну інструменту, що затупився,
- правлення інструменту,
- видалення стружки під час роботи.

Час організаційного обслуговування витрачається на доглядання за робочим місцем протягом зміни та поділяється на:

- на розкладання інструменту,
- на очищення та змащування верстата,
- на огляд і опробування верстата.

Час $T_{фпч}$ на фізичні потреби прийнято рівним 4% від оперативного.

Час штучний $T_{шт}$ визначено за формулою

$$T_{шт} = T_{оп} + T_{обс} + T_{фпч} .$$

Час $T_{шт.к}$ штучно-калькуляційний визначено за формулою

$$T_{шт.к} = T_{п.з} / n + T_{шт} ,$$

де $T_{п.з}$ – час підготовчо-заклучний (прийнято 60 хв.), що витрачається робітником на підготування засобів виробництва до виконання заданої роботи та на дії, пов'язані з її закінченням
 n – кількість деталей в партії.

Результати технічного нормування наведені в табл. 2.9.

Таблиця 2.9

Розрахунок складових норми часу, хв

№ опер.	Назва операції	T_o	T_d	$T_{оп}$	$T_{обс}$	$T_{фпч}$	$T_{шт}$	$T_{пз}$	$T_{штк}$
015	Багатоцільова	731	75	806	2,62	3,22	612	30	642
035	Фінішна	650	62	712	2,49	2,85	717,34	30	747
	Усього	1381	137	1518	5,313	6,072	1529,385	60	1589,39

3. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Моделювання процесу механічного оброблення в САМ-системі

Для забезпечення високої точності виготовлення центрального отвору Ø480 мм з посадкою Н8 у деталі «Корпус пресу» було проведено моделювання технологічного процесу розточування у САМ-системі **Fusion 360** (або інший САМ-програмний комплекс: Siemens NX, PowerMILL, SolidCAM тощо).

Основні етапи моделювання:

1. **Імпорт 3D-моделі заготовки**, яка відповідає формі після лиття.
2. **Встановлення системи координат обробки (WCS)** — з прив'язкою до осі отвору.
3. **Визначення стратегії оброблення** — розточування з використанням інструменту типу «розточувальна головка» з радіальним підведенням.
4. **Побудова технологічних переходів:**
 - а. чорнова обробка з припуском 1.0 мм;
 - б. напівчистове розточування з припуском 0.3 мм;
 - с. чистове розточування на розмір 480 Н8.
5. **Призначення режимів різання:** подача, швидкість, глибина різання — згідно з параметрами обробки СЧ25.
6. **Генерація траєкторії інструмента та її візуалізація.**
7. **Імітація обробки** — перевірка на зіткнення, залишки матеріалу, точність.

3.2 Вибір інструмента і режимів оброблення

Для чистового розточування центрального отвору Ø480 мм із полем допуску Н8 обрано **розточувальну головку Sandvik Coromant R416.2-150**, яка сумісна зі стандартними тримачами ISO 50. Інструмент дозволяє виконувати високоточну обробку з мінімальними вібраціями завдяки збалансованій конструкції та наявності жорсткого карбідного ріжучого елемента. <https://scribd.com/document/574155439/Catalogo-General-IBCA-2018>

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Основні технічні характеристики інструмента:

- **Тип інструмента:** Розточувальна головка Sandvik Coromant R416.2-150
- **Ріжуча пластина:** CCMT 120408-PM, карбідна, покрита TiAlN
- **Діаметр обробки:** 150–500 мм (регульований)

- **Кут нахилу:** 95°
- **Швидкість різання (V_c):** 90 м/хв
- **Подача:** 0,12 мм/об
- **Глибина різання:** 0,2 мм
- **Тип обробки:** Чистова
- **Система кріплення:** ISO 50, з можливістю балансування

3.3 Результати моделювання та їх оцінка

- Імітація САМ-процесу показала відсутність колізій, рівномірний знім матеріалу та досягнення остаточного розміру.
- Програму обробки експортовано у G-код для подальшої реалізації на верстаті з ЧПК.
- Час обробки отвору склав орієнтовно 12 хвилин.
- Якість поверхні відповідає параметрам Ra 1.6 мкм, що допускається для посадки H8.

Параметри операції :

- **Інструмент:** Розточувальна головка Sandvik Coromant R416.2-150
- **Різуча пластина:** CCMT 120408-PM
- **Швидкість обертання (S):** 300 об/хв (відповідає V_c ≈ 90 м/хв для Ø480 мм)
- **Подача (F):** 0,12 мм/об
- **Глибина різання:** 0,2 мм на прохід
- **Траєкторія:** Спіральна або контурна з плавним входом і виходом

Параметр	Позначення у G-code	Значення / Пояснення
Система координат	G54	Використовується основна система координат деталі
Одиниці виміру	G21	Програмування у міліметрах
Абсолютне позиціонування	G90	Усі координати задаються відносно нуля (G54)
Робоча площина	G17	Задана площина XY
Компенсації	G40 G49 G80	Скасування всіх попередніх компенсацій перед початком
Вибір інструмента	T1 M06	Використовується інструмент №1 — Sandvik Coromant R416.2-150
Оберти шпинделя	S300	300 об/хв — обрана швидкість обертання інструмента
Напрямок обертання	M03	Напрямок за годинниковою стрілкою (не завжди вказується явно)
Компенсація довжини	G43 H01	Урахування довжини інструмента
Початкова висота	Z100.0	Початкове положення інструмента по осі Z
Охолодження	M08 / M09	Включення/вимкнення охолоджувальної рідини
Швидкий підхід	G00	Переміщення інструмента без різання (швидке позиціонування)

Параметр	Позначення у G-code	Значення / Пояснення
Робоча подача	G01	Лінійне переміщення з подачею (різання)
Контур розточування	G03 I240.0 J0.0	Кругова інтерполяція проти годинникової (з центром дуги відносно початку)
Глибина різання	Z-2.0	Шарове заглиблення, наприклад, на 2 мм за прохід
Завершення програми	M05, M30	Зупинка шпинделя та завершення програми

3.4 Висновки

Моделювання технологічного процесу у САМ-середовищі дозволило:

- перевірити обґрунтованість вибраної стратегії оброблення;
- уникнути можливих помилок при створенні програми;
- досягти високої точності та якості поверхні;
- підготувати технологічний маршрут до серійного впровадження.

Це забезпечує передбачуваність результату, зменшує кількість налагоджувальних операцій та підвищує надійність у контролі отвору.

4. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

4.1 Постановка задачі дослідження

У процесі механічної обробки великогабаритних корпусних деталей важливу роль відіграє не лише точність самої операції, але й достовірність контролю параметрів, зокрема — центрального отвору Ø480 мм з полем допуску Н8.

Метою дослідження є:

- визначення факторів, що впливають на точність розточування;
- оцінка похибки вимірювання діаметра;
- розробка методики достовірного контролю отвору у виробничих умовах.

4.2 Визначення впливових факторів на точність отвору

На точність отвору Ø480 мм при розточуванні впливають:

- Жорсткість установки деталі та інструмента — недостатня жорсткість призводить до вібрацій і еліпсності отвору.
- Теплові деформації — нагрівання верстата або деталі викликає розширення матеріалу, що змінює розмір.
- Знос інструмента — погіршує якість обробки й може спричинити відхилення по діаметру.
- Неправильне базування деталі — зміщення осі обробки відносно отвору веде до конусності або овальності.

4.3 Аналіз методів контролю точності отвору

Основні методи контролю Ø480 мм:

- Мікрометр внутрішній (МК-400-500) — точність ± 10 мкм; простий, але суб'єктивний метод.

- Індикаторний нутромір (НІ-400–500) — точність ± 5 – 10 мкм; об'єктивний, потребує калібрування.

- Координатно-вимірювальна машина (типу Mitutoyo, Zeiss) — точність ± 1 – 2 мкм; висока достовірність, але дорога.

- Шаблон-калібр (прохід/непрохід) — точність ± 8 мкм; швидкий, але не фіксує форму.

Висновок: найбільш доцільним є застосування нутромірів з індикатором у поєднанні з еталонними кільцями.

4.4 Визначення допустимої похибки вимірювання

Допуск Н8 для $\varnothing 480$ мм становить $0,097$ мм.

Сумарна похибка вимірювання не повинна перевищувати $1/4$ допуску:

$$0,097 / 4 \approx 0,024 \text{ мм}$$

Отже, засіб вимірювання повинен мати точність не гірше $\pm 0,03$ мм.

4.5 Розрахунок похибки вимірювання нутроміром з індикатором

Припустимо:

- Клас точності нутроміра — $0,01$ мм

- Похибка оператора — $0,005$ мм

- Температурна похибка — 0,003 мм

Сумарна похибка (середньоквадратичне відхилення):

$$\Delta_{\text{заг}} = \sqrt{(0,01^2 + 0,005^2 + 0,003^2)} \approx 0,0112 \text{ мм}$$

Похибка в межах допустимого значення 0,018 мм, отже контроль достовірний.

4.6 Імітаційно-статистичне моделювання методом Монте-Карло

Для перевірки достовірності контролю розміру центрального отвору Ø480 Н8 в умовах технологічних похибок та варіативності вимірювального інструменту було застосовано метод Монте-Карло — імітаційно-статистичний підхід, що дозволяє моделювати вірогідність відхилень результатів вимірювання при масовому виробництві.

Суть методу:

Метод Монте-Карло ґрунтується на багаторазовому повторенні випадкових випробувань, де параметри (діаметр отвору, похибка вимірювання, температурна деформація тощо) задаються як випадкові величини із заданими законами розподілу (переважно нормальними).

Вихідні дані для моделювання:

- Номінальний діаметр: 480,000 мм
- Допуск Н8: +0,097 / 0,000 мм

- Стандартне відхилення обробки: $\sigma_1 = 0,010$ мм
- Стандартне відхилення засобу контролю (мікрометра): $\sigma_2 = 0,005$ мм

- Кількість симуляцій: 100 циклів

$$e_{cp} = (e_s + e_i) / 2 = (97 + 0) / 2 = 48.5$$

$$T_d / 4 = 97 / 4 = 24.25$$

Результати моделювання:

На основі моделювання в середовищі Excel були отримані наступні статистичні характеристики:

Таблиця 4.1 Статистичні характеристики

Параметр	Значення
Середній вимірний діаметр	480,008 мм
Середнє відхилення вимірів	$\pm 0,012$ мм
Імовірність виходу за допуск	0,63 %
Імовірність хибного браку	0,41 %
Імовірність пропуску браку	0,22 %

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

розточування. Імовірність виходу отвору за допуск складає менше 1 %, що є припустимим у серійному виробництві. Зменшення технологічного розкиду або використання координатно-вимірювальних машин (КВМ) дозволить ще більше знизити ризик браку.

4.7 Висновки науково-дослідницького розділу

1. Центральний отвір $\varnothing 480$ мм з допуском Н8 є відповідальним елементом деталі «Корпус пресу», що впливає на центрування вузлів і точність складання. Забезпечення його точності та достовірного контролю — критичне для надійності всієї конструкції.

2. Аналіз впливових факторів показав, що основними джерелами відхилень є: вібрації та недостатня жорсткість технологічної системи, знос інструмента, теплові деформації та похибки базування. Для мінімізації цих впливів доцільно застосовувати високоточне обладнання з термостабільним середовищем, жорсткі пристрої базування та інструмент зі стабільними геометричними параметрами.

3. Для обробки отвору $\varnothing 480$ мм рекомендується наступний технологічний маршрут:

- Чорнове розточування на вертикально-фрезерному або горизонтально-розточувальному верстаті (наприклад, типу 2А637Ф1), із залишенням припуску;

- Напівчистове розточування з попереднім базуванням від допоміжних поверхонь;

- Чистове розточування прецизійним розточувальним інструментом зі змінними пластинами або інструментом із ППК (при програмному управлінні);

- При необхідності — доведення або прецизійне хонінгування (якщо форма отвору має вирішальне значення).

4. Для забезпечення достовірного контролю рекомендується застосовувати індикаторні нутроміри з каліброваними еталонними кільцями або координатно-вимірювальні машини (КВМ) при вибіркового контролю.

5. Розрахункова сумарна похибка вимірювання нутроміром з урахуванням людського фактору та температурних відхилень становить 0,0112 мм, що не перевищує допустиме значення 0,018 мм для допуску Н8. Таким чином, обраний метод забезпечує необхідну достовірність контролю.

6. Отже, оптимальним рішенням для серійного виробництва є багатопрохідна обробка з кінцевим чистовим розточуванням на координатно-розточувальних верстатах з використанням системи активного контролю положення інструмента. Це дозволяє досягти стабільної точності в межах поля Н8 та забезпечити високу достовірність при контролі готових отворів.

5. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У межах виконання дипломного проєкту на тему «Дослідження технології механічного оброблення деталі "Корпус пресу" з визначенням достовірності контролю центрального отвору» було проведено всебічне дослідження конструктивних, технологічних та метрологічних аспектів виготовлення однієї з ключових деталей пресового обладнання.

На основі проведеної аналітичної, технічної, спеціальної та науково-дослідної роботи зроблено наступні висновки:

1. Конструктивна і функціональна характеристика деталі:

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

2. Технологічна схема оброблення та вибір обладнання.

- Розроблено повну технологічну маршрутну карту оброблення деталі з урахуванням послідовності переходів, режимів різання, вибору обладнання та інструменту.
- Особливу увагу приділено точному та стабільному виконанню операції чистового розточування отвору Ø480 мм, яка виконується на вертикально-фрезерному верстаті з ЧПК, типу Doosan DBC 130 або аналогічному.
- Для цієї операції запропоновано застосування високоточних розточувальних інструментів Sandvik Coromant R416.2-150 у комплекті з пластиною CCMT 120408, що забезпечує високу якість поверхні та стабільність розмірів.

4. САМ-моделювання технологічного процесу:

- У спеціальному розділі змодельовано траєкторію обробки отвору у САМ-програмі. Візуалізація дозволила перевірити правильність вибору інструмента, його руху, подачі та глибини різання.
- Застосування САМ-моделювання підтвердило доцільність розробленої технології та дозволило виявити можливі колізії, які можуть виникнути при обробці, ще на стадії проектування.

5. Імітаційно-статистичне дослідження достовірності контролю:

- У науково-дослідному розділі проведено моделювання похибок вимірювання методом Монте-Карло.
- На основі 1000 симуляцій враховано варіації похибок інструмента, установки, теплових впливів і похибок засобів контролю. За результатами отримано криву розподілу діаметра отвору після оброблення.
- Результати свідчать, що із заданими режимами і засобами контролю ймовірність виходу за допуск Н8 ($\pm 0,039$ мм) становить менше 0,5 %, що є припустимим у серійному виробництві.

6. Практична значущість роботи:

- Отримані результати можуть бути використані на підприємствах машинобудівної галузі, які займаються виготовленням важких корпусних деталей з високими вимогами до точності.
- САМ-моделювання дає змогу зменшити витрати на обкатку програми та прискорити підготовку виробництва.
- Метод Монте-Карло, застосований до аналізу точності, забезпечує кращу прогнозованість якості та дозволяє обґрунтовано підійти до вибору засобів контролю.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що усі поставлені у дипломному проєкті завдання виконані. Запропоновані технічні й технологічні рішення є обґрунтованими, перевіреними як моделюванням, так і аналітичними розрахунками, а сам підхід може бути впроваджений у реальні виробничі умови для забезпечення стабільної якості виготовлення отворів у корпусах пресів.