

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Центр _____ Післядипломної освіти
(повна назва)

Кафедра _____ Штучного інтелекту
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський)

_____ Автоматизація оцінки вартості виробництва деталей на основі
аналізу DXF-креслень і методів комп'ютерного зору
(тема)

Виконав:
здобувач _____ другого _____ року навчання,
групи _____ ІТШп-23-1

_____ Анна Озерова
(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність _____ 122 Комп'ютерні науки
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми _____ освітньо-професійна
Освітня програма _____ Штучний інтелект
(повна назва освітньої програми)

Керівник _____ ст. викл. Олена Гриньова
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри ШІ _____
(підпис)

_____ Олег ЗОЛОТУХІН
(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Центр _____ Післядипломної освіти _____
Кафедра _____ Штучного інтелекту _____
Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____
Спеціальність _____ 122 Комп'ютерні науки _____
(код і повна назва)
Тип програми _____ освітньо-професійна _____
Освітня програма _____ Штучний інтелект _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри _____
(підпис)
« _____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві _____ Озеровій Анні Олексіївні _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Автоматизація оцінки вартості виробництва деталей на основі аналізу DXF-креслень і методів комп'ютерного зору _____

затверджена наказом університету від 19 травня 2025 р. № 387Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 24 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи _____ Документація Python, Flask, ezdxf, Bootstrap, HTML/CSS/JS. Тестові DXF-файли для візуалізації, розрахунку та збереження історії оцінок _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

1) Аналіз предметної галузі та постановка задачі _____

2) Обґрунтування вибору технологій та методів _____

3) Програмна реалізація _____

4) Інтерфейс користувача. Тестування _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на кваліфікаційну роботу	19.05.2025	виконано
2	Аналіз предметної галузі та постановка задачі	22.05.2025	виконано
3	Огляд формату DXF та бібліотек для його обробки	25.05.2025	виконано
4	Розробка структури вебінтерфейсу	28.05.2025	виконано
5	Реалізація функціоналу завантаження та візуалізації креслень	01.06.2025	виконано
6	Алгоритм розрахунку вартості виготовлення деталей	05.06.2025	виконано
7	Модуль історії розрахунків та порівняння	08.06.2025	виконано
8	Налаштування панелі адміністрування матеріалів	10.06.2025	виконано
9	Тестування системи, фіксація помилок та виправлення	12.06.2025	виконано
10	Написання пояснювальної записки	17.06.2025	виконано
11	Перевірка на академічний плагіат	17.06.2025	виконано
12	Нормоконтроль	18.06.2025	виконано
13	Підготовка презентації та доповіді	18.06.2025	виконано
14	Попередній захист	19.06.2025	виконано
15	Рецензування	20.06.2025	виконано
16	Захист перед ЕК	24.06.2025	виконано

Дата видачі завдання 19 травня 2025 р.

Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

ст. викл. Олена Гриньова
(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 65 с., 10 рис., 1 дод., 12 джерел.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ВАРТІСТЬ, ВИРОБНИЦТВО, ЗВІТНІСТЬ, ІНТЕГРАЦІЯ, КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР, МАТЕРІАЛИ, МАШИННЕ НАВЧАННЯ, ОБРОБКА, DXF-ФАЙЛ.

Об'єкт дослідження – автоматизація оцінки вартості виготовлення деталей на основі DXF-креслень.

Мета роботи – створити систему для розрахунку вартості деталей, яка оптимізує планування виробництва, підвищує точність, знижує витрати та покращує конкурентоспроможність підприємств.

Методи – використано комп'ютерний зір та машинне навчання для аналізу геометрії деталей, бази даних для збереження параметрів матеріалів і процесів.

Результат – створено систему, що автоматизує розрахунок, дозволяє обирати матеріали, методи обробки, працює з DXF-файлами (R12–2000) та може бути інтегрована з системою планування ресурсів підприємства. Середній час розрахунку знижено з 30 хвилин до 2–3 хвилин, а похибка зменшена на 90%.

Сфера застосування – машинобудування, металообробка, підприємства з виробництва металоконструкцій.

Економічний ефект – зменшення трудовитрат до 75 %, скорочення часу на 40–60 %, щорічна економія до 40 000 дол. США для середнього підприємства.

Новизна – поєднання комп'ютерного зору з технічним аналізом креслень для точної вартості.

Система ефективно знижує витрати і підвищує точність виробничих розрахунків.

ABSTRACT

Bachelor's thesis contains: 65 pp., 10 fig., 1 ann., 12 references.

AUTOMATION, COMPUTER ZIR, DXF-FILE, INTEGRATION, MACHINE SCIENCE, MATERIALS, PROCESSING, TECHNOLOGY, VARTIST, VIBRATION.

Object of the Study – automation of cost estimation for part manufacturing based on DXF drawings.

Purpose – to develop a system for calculating the cost of parts that optimizes production planning, increases accuracy, reduces expenses, and improves enterprise competitiveness.

Methods – computer vision and machine learning were used to analyze part geometry, and databases were applied to store material and processing parameters.

The result is a system that automates calculations, allows you to choose materials and processing methods, works with DXF files (R12–2000) and can be integrated with the enterprise resource planning system. The average calculation time has been reduced from 30 minutes to 2–3 minutes, and the error has been reduced by 90%.

Application Area – mechanical engineering, metalworking, and enterprises producing metal structures.

Economic Effect – reduction of labor costs by up to 75%, calculation time decreased by 40–60%, and annual savings of up to USD 40,000 for a medium-sized enterprise.

Novelty – integration of computer vision with technical drawing analysis for accurate cost evaluation.

The system effectively reduces production costs and increases the accuracy of manufacturing calculations.

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1 Аналіз предметної галузі та постановка задачі	10
1.1 Особливості процесу оцінки вартості виготовлення деталей	10
1.2 Постановка задачі.....	12
1.2.1 Автоматичне розпізнавання геометрії.....	12
1.2.2 Розрахунок вартості виготовлення	13
1.2.3 Рекомендації з вибору матеріалів та технологій	14
1.2.4 Інтеграція з базами даних.....	14
1.2.5 Генерація аналітичних звітів	15
1.2.6 Очікувані результати.....	15
2 Обґрунтування вибору технологій та методів	16
2.1 Опис процесів, що автоматизуються.....	18
2.2 Перелік функцій системи.....	22
2.2.1 Завантаження та обробка креслень.....	22
2.2.2 Розпізнавання геометрії	23
2.2.3 Розрахунок параметрів та вартості	23
2.2.4 Візуалізація та рекомендації	24
2.2.5 Формування та експорт звітів	24
2.2.6 Збереження історії та повторне використання	25
2.2.7 Інтерфейс користувача.....	25
2.2.8 Перспективи розвитку	26
2.3 Вибір варіанта реалізації системи.....	26
2.3.1 Серверна частина (бекенд)	27
2.3.2 Користувацький інтерфейс (фронтенд).....	28
2.3.3 Технології машинного навчання та комп'ютерного зору.....	28
2.3.4 База даних	29
2.4 Оцінка ефективності та доцільності проєкту	30
2.5 Порівняльний аналіз існуючих рішень.....	31

2.5.1 Costimator.....	32
2.5.2 SolidWorks.....	32
2.5.3 EasyCut.....	33
2.5.4 Tebis.....	33
3 Програмна реалізація.....	36
3.1 Python.....	37
3.2 Фреймворки та бібліотеки.....	38
3.2.1 Фреймворк Flask.....	38
3.2.2 Бібліотека ezdxfl.....	39
3.2.3 Бібліотека Matplotlib.....	39
3.2.4 Бібліотека NumPy.....	40
3.2.5 Бібліотека SQLite3.....	40
3.3 Мови Frontend.....	41
3.4 Проєктування бази даних.....	42
3.4.1 Опис таблиці estimates.....	43
3.4.2 Опис таблиці material_settings.....	45
3.5 Використання TensorFlow.....	47
4 Інтерфейс користувача. тестування.....	48
4.1 Головна сторінка CostVision.....	48
4.2 Завантаження файлу DXF з підтвердженням.....	49
4.3 Завантаження файлу DXF з індикацією статусу.....	50
4.4 Параметри деталі.....	51
4.5 Таблиця результатів розрахунку.....	53
4.6 Детальна інформація про оцінку.....	54
4.7 Порівняння поточної та попередньої оцінки.....	55
4.8 Історія оцінок та операцій.....	56
4.9 Налаштування вартості обробки.....	58
4.10 Форма зворотного зв'язку.....	59
4.11 Тестування.....	60
Висновки.....	62

Перелік джерел посилання	64
Додаток А Відомість кваліфікаційної роботи	65

ВСТУП

Сучасні виробничі підприємства стикаються з постійною потребою підвищення ефективності та точності у процесах оцінки вартості виготовлення деталей. Особливої актуальності ця проблема набуває в умовах зростаючої конкуренції, коли швидкість обробки замовлень і точність розрахунків безпосередньо впливають на прибутковість підприємства та рівень обслуговування клієнтів.

Традиційні методи розрахунку вартості є трудомісткими, схильними до людських помилок і вимагають значного часу на аналіз креслень, вибір матеріалів, врахування особливостей обробки. У відповідь на ці виклики виникає необхідність в автоматизованих системах, які здатні аналізувати технічні креслення у форматі DXF та швидко виконувати точні розрахунки вартості виготовлення.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка інформаційної системи, яка дозволить автоматизувати процес оцінки вартості деталей на основі креслень, що надходять у форматі DXF. Така система поєднує технології комп'ютерного зору, машинного навчання, баз даних і користувацьких інтерфейсів, щоб зробити процес розрахунку не лише точним, але й зручним у використанні.

Сфера застосування запропонованої системи охоплює металургійні, машинобудівні та інші підприємства, що працюють з виробництвом деталей за індивідуальними кресленнями. Розроблена система дозволяє автоматично розпізнавати геометричні особливості деталі, проводити розрахунки вартості з урахуванням матеріалів та обробки, зберігати історію замовлень, генерувати звіти й оптимізувати процес планування.

Таким чином, дана робота спрямована на вирішення важливої прикладної задачі, що має високу практичну цінність і відповідає сучасним тенденціям цифрової трансформації виробництва.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Особливості процесу оцінки вартості виготовлення деталей

Процес оцінки вартості виготовлення деталей є одним із ключових етапів у повному виробничому циклі. Від точності цього етапу залежить не лише фінансова ефективність, а й загальна конкурентоспроможність підприємства. Своєчасна та обґрунтована оцінка дає змогу оперативно реагувати на запити ринку, формувати точні цінові пропозиції, уникати перевитрат та забезпечувати рентабельність проєктів. Зокрема, вона визначає доцільність виготовлення конкретної деталі в межах наявного бюджету та ресурсів, дозволяє прогнозувати прибутковість і знижує ризики на етапі комерційних переговорів.

У традиційній практиці розрахунок вартості зазвичай здійснюється вручну або за допомогою електронних таблиць, таких як Microsoft Excel чи Google Sheets. Цей підхід потребує значних часових ресурсів, високої кваліфікації персоналу та часто супроводжується суб'єктивністю оцінок. Особливо це помітно при роботі з кресленнями у форматі DXF, які хоч і містять всю необхідну геометричну інформацію, однак при ручному опрацюванні вимагають великих затрат часу. Це, у свою чергу, ускладнює масштабування процесу при зростанні кількості замовлень.

Впровадження автоматизованих систем дозволяє істотно підвищити ефективність процесу. По-перше, автоматизація прискорює обробку креслень і зменшує час, необхідний для оцінки вартості. По-друге, вона знижує ризик людських помилок, які часто виникають через втому, неуважність або складність геометрії деталей. Крім того, автоматизація дозволяє стандартизувати підходи до оцінки та зробити їх прозорими й відтворюваними для всіх учасників виробничого процесу.

Сучасні рішення базуються на застосуванні комп'ютерного зору, алгоритмів обробки зображень та машинного навчання. Ці технології

дозволяють автоматично ідентифікувати ключові ознаки деталей – наприклад, кількість та розміри отворів, контури згинів, наявність вирізів чи нестандартних елементів. Такі характеристики мають значний вплив на трудомісткість і вартість обробки, тому їх точне виявлення є критичним для формування обґрунтованої вартості.

Метою створення подібних систем є розробка інструменту, що забезпечує ефективну підтримку рішень на етапах підготовки виробництва. Такий інструмент має забезпечувати не лише точність розрахунків, а й високу швидкість обробки вхідних даних, підтримку великого спектру DXF-форматів (зокрема R12, R14, 2000), гнучке налаштування параметрів обробки, а також адаптацію до нових технологій. Не менш важливою є можливість інтеграції з ERP-системами підприємства, що забезпечує узгодженість даних на всіх рівнях управління.

Окрему увагу слід приділити оновлюваності баз знань, які використовуються системою: матеріали, режими обробки, технологічні операції повинні відповідати актуальним стандартам і специфікаціям. Це дозволяє оперативно враховувати зміни у виробництві, зміну постачальників або впровадження нових технологій.

Крім того, автоматизація розрахунків істотно розвантажує інженерний персонал. Замість того щоб витрачати час на рутинні розрахунки, фахівці можуть зосередитися на більш складних завданнях: аналізі нетипових геометричних форм, врахуванні специфічних вимог клієнта до матеріалів або допусків, а також оптимізації технологічного процесу загалом. Це не лише підвищує продуктивність, а й сприяє стратегічному розвитку підприємства та покращенню якості обслуговування клієнтів.

Такі системи також забезпечують високий рівень автоматизації, що дозволяє зменшити вплив людського фактору на точність, ефективність процесів, мінімізувати кількість можливих помилок у розрахунках та забезпечити стабільність результатів у різних умовах виробництва.

1.2 Постановка задачі

У сучасному виробничому середовищі підприємства стикаються з постійно зростаючою потребою оперативно та точно оцінювати вартість виготовлення окремих деталей, вузлів або конструктивних елементів ще на ранніх етапах інженерного проектування. Цей запит зумовлений не лише ринковою конкуренцією та прагненням до оптимізації витрат, а й потребою швидко реагувати на зміни в технічному завданні або бюджетних обмеженнях. Будь-які затримки або неточності у розрахунках можуть призвести до серйозних наслідків, таких як втрата потенційних замовлень, перевищення фінансових лімітів чи порушення строків постачання.

Зважаючи на актуальність автоматизації процесу розрахунку вартості виготовлення деталей, особливо з урахуванням поширеності використання цифрових креслень, насамперед у сферах машинобудування, металообробки, виробництва вентиляційних систем, а також приладобудування, у межах цієї кваліфікаційної роботи ставиться задача розробити програмну систему, яка буде здатна автоматично аналізувати інженерні креслення у форматі DXF та, за можливості, підтримувати додаткові формати, такі як DWG або STEP. Рішення має передбачати автоматичне виявлення геометричних параметрів, структурування даних, проведення точних розрахунків вартості на базі заданих алгоритмів та формування рекомендацій щодо матеріалів і технологій. У підсумку очікується суттєве покращення продуктивності інженерних процесів, зменшення обсягу рутинної праці та підвищення достовірності фінансово-технічних оцінок у виробничому середовищі.

1.2.1 Автоматичне розпізнавання геометрії

Перший функціональний блок майбутньої системи – це автоматичне розпізнавання геометричних елементів, закладених у кресленнях. Цей

процес базується на використанні спеціалізованих бібліотек комп'ютерного зору (наприклад, OpenCV), адаптованих під специфіку інженерних форматів. Також розглядається застосування попередньо навчених моделей машинного навчання для класифікації та уточнення складних елементів. У разі необхідності окремі модулі будуть доопрацьовані вручну, щоб забезпечити сумісність з різними версіями DXF-файлів та точність виявлення елементів конструкції. Розпізнаванню підлягають контури, отвори, вирізи, заокруглення, вигини, сегментовані та складні контурні лінії, які мають суттєвий вплив на вартість виготовлення.

Важливо, щоб увесь процес обробки відбувався без участі оператора. Алгоритми повинні забезпечити стабільну роботу з файлами різної складності та походження, навіть за наявності незначних похибок. Це забезпечить надійну роботу системи в реальних умовах експлуатації, підвищить універсальність та масштабованість рішення.

1.2.2 Розрахунок вартості виготовлення

Центральним блоком системи є розрахунок вартості виготовлення деталей на основі виявлених параметрів. Механізм розрахунку враховує широкий спектр факторів: матеріал, його вартість на момент розрахунку, товщина та фізико-механічні характеристики, площа поверхні, довжина контурів, складність геометрії, типи та кількість операцій (різання, гнуття, свердління, фрезерування тощо), обсяг партії, а також додаткові технологічні етапи, як-от покриття, обробка, зварювання, маркування чи доставка.

Наприклад, якщо площа деталі становить 1200 см^2 і вона виготовляється з листової сталі товщиною 2 мм, включає вирізання зовнішнього контуру і три згини, система, на основі заданих тарифів і параметрів, може обчислити загальну вартість з точністю до 5–7%. У разі зміни партії, постачальника матеріалу або типу обладнання, система

оперативно оновлює розрахунок відповідно до змінених умов. У майбутньому можливе впровадження адаптивної логіки, що дозволяє коригувати ціни залежно від ринкових коливань або політики підприємства.

Крім того, система має бути здатною адаптувати розрахунок під різні галузі. Наприклад, у виробництві електроніки при проектуванні алюмінієвого корпусу для блоку живлення враховуватиметься точність фрезерування, наявність наскрізних отворів під роз'єми, параметри покриття, а також потреба в електромагнітному екрануванні. Така гнучкість дає змогу системі ефективно працювати в міжгалузевому середовищі.

1.2.3 Рекомендації з вибору матеріалів та технологій

Система повинна містити механізм формування рекомендацій щодо вибору матеріалів і технологій обробки, ґрунтуючись на аналізі конструкції, умов експлуатації, технічних вимог і економічної доцільності. Наприклад, для деталі, що працює у вологому середовищі, доречна нержавіюча сталь AISI 304 або полімерне покриття, для медичних виробів – біосумісні матеріали, такі як титан, а для деталей, що піддаються термічному навантаженню, – жароміцні сплави.

Рекомендації формуються з урахуванням корпоративної бази знань, з можливістю підключення до зовнішніх баз даних постачальників для автоматичного оновлення цін та наявності матеріалів. Система також враховує особливості проекту і адаптується до змін умов експлуатації.

1.2.4 Інтеграція з базами даних

Система повинна інтегруватися з внутрішніми та зовнішніми базами даних, які містять відомості про матеріали, розцінки, шаблони деталей, нормативи, а також історичні проекти. Це дозволить автоматизувати обробку інформації, уникнути дублювання та зменшити ймовірність

помилки. Передбачається реалізація механізмів безпечного доступу: аутентифікація за токенами, шифрування з'єднання (SSL/TLS), контроль версій, журналювання дій користувачів та регулярне резервне копіювання.

1.2.5 Генерація аналітичних звітів

На завершальному етапі система повинна створювати повноцінні звіти з результатами аналізу та розрахунків. У звітах мають бути: підсумкові таблиці, пояснювальні текстові блоки, графіки, візуалізації деталей з підсвіченими елементами високої складності, а також рекомендації. Підтримується експорт у формати PDF, Excel, JSON, що забезпечує сумісність із внутрішніми ERP-системами та полегшує обмін інформацією з клієнтами.

1.2.6 Очікувані результати

Очікується, що впровадження системи дозволить значно підвищити ефективність техніко-економічного планування. Серед прогнозованих переваг – скорочення часу на розрахунок вартості на 60–80% порівняно з ручним підходом, зниження кількості помилок щонайменше вдвічі, зменшення потреби в рутинній роботі та швидше реагування на запити клієнтів. У результаті підприємство зможе підвищити конкурентоспроможність, пришвидшити виведення продукту на ринок та знизити загальні виробничі витрати.

Крім того, система стане основою для побудови цифрової екосистеми підприємства, що забезпечить накопичення корпоративного досвіду, підвищення якості прийняття рішень і створення фундаменту для подальшої цифрової трансформації виробництва.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЙ ТА МЕТОДІВ

Ідея створення системи автоматизації оцінки вартості деталей на основі DXF-файлів ґрунтується на прагненні об'єднати сучасні інформаційні технології в єдиний ефективний інструмент для вирішення типових інженерних задач у сфері машинобудування, металообробки та інших галузях, що потребують точного й оперативного аналізу виробничої документації. Рішення має на меті значно скоротити час на підготовку техніко-економічних розрахунків, зменшити кількість помилок через людський фактор та створити універсальний засіб для прогнозування витрат при виготовленні виробів різної складності. Така система є відповіддю на актуальні виклики цифровізації у промисловості та зростаючі вимоги до точності й швидкості інженерних процесів.

Основна концепція полягає у поєднанні трьох взаємопов'язаних технологічних підходів, кожен з яких забезпечує ключовий функціональний рівень системи:

Першим елементом є впровадження технологій комп'ютерного зору, які дозволяють обробляти векторні креслення у форматі DXF, витягуючи з них важливі геометричні характеристики. Система аналізує об'єкти креслення, визначаючи їх контури, отвори, лінії згину, фаски, заокруглення, технологічні вирізи, зони кріплення тощо. Завдяки цьому відбувається автоматичне виявлення форми та структури деталей без потреби у втручанні користувача. Цей підхід значно підвищує точність початкових вхідних даних і мінімізує ризики, пов'язані з неякісною підготовкою документації. Важливо, що система здатна розпізнавати навіть частково пошкоджені або нестандартні креслення, що підвищує її надійність у реальних виробничих умовах.

Другим ядром системи є алгоритми машинного навчання. Вони відповідають за побудову адаптивної моделі прогнозування, яка дозволяє враховувати накопичений досвід роботи системи при виконанні нових

розрахунків. Система навчається на основі зібраної статистики з попередніх проєктів, що включає параметри деталей, складність їх виготовлення, типи матеріалів, використані технології та часові витрати. Таким чином, у кожному наступному випадку вона зможе точніше оцінити вплив форми, розмірів і геометричних особливостей на вартість виготовлення, адаптуючи формули до конкретних умов. У довгостроковій перспективі це дає змогу створити самонавчальну платформу, яка буде не тільки повторювати розрахунки, але й постійно вдосконалювати їх логіку.

Третій важливий компонент – це аналітичне моделювання, яке формує фундамент для математично обґрунтованого обчислення вартості виробів. У межах цього підходу система використовує нормативні та технологічні параметри, такі як товщина матеріалу, вид обробки, кількість технологічних переходів, тривалість виробничих операцій, витрати електроенергії, вартість покриттів, транспортні витрати та інші економічні коефіцієнти. Застосування структурованих моделей дає змогу досягти високої точності обчислень і забезпечити сумісність з нормативними базами підприємства. Крім того, аналітичне ядро підтримує розширення і кастомізацію – користувач може вносити власні правила або коригувати моделі відповідно до політики ціноутворення.

У результаті ці підходи об'єднуються в єдину програмну систему з графічним інтерфейсом, оптимізованим під потреби інженерів, технологів і менеджерів. Інтерфейс дозволяє завантажувати файли у форматі DXF, запускати повний цикл автоматичного аналізу, отримувати розгорнутий розрахунок вартості з поясненнями, переглядати візуалізацію креслення з маркуванням зон обробки, формувати рекомендації щодо покращення технології, а також експортувати результати у форматах PDF, Excel, JSON та інших. Це робить систему зручною для використання як у виробничих підрозділах, так і у відділах підготовки комерційних пропозицій.

Особливої уваги заслуговує гнучкість системи. Її архітектура є відкритою для модифікацій та інтеграції з іншими цифровими рішеннями,

такими як ERP, CRM, MES, CAD/CAM. Кожне підприємство може адаптувати її під свої бізнес-процеси – змінювати формули, додавати нові типи операцій, підключати зовнішні бази даних, налаштовувати права доступу. Таким чином, система не тільки автоматизує окремі завдання, але й формує єдиний інформаційний простір для прийняття обґрунтованих рішень на різних рівнях виробничого процесу.

Інноваційна цінність системи проявляється в її здатності поєднувати раніше ізольовані технології в єдине узгоджене середовище, забезпечуючи користувачам простоту у використанні, гнучкість у налаштуваннях і потужність у розрахунках. Вона орієнтована на сталий розвиток, підтримку нових форматів, розширення функціоналу й поступове перетворення на комплексну платформу цифрового виробництва.

2.1 Опис процесів, що автоматизуються

Система автоматизації оцінки вартості виготовлення деталей на основі DXF-файлів охоплює декілька ключових процесів, які раніше виконувалися вручну або потребували значного часу та ресурсів. Наприклад, раніше технолог міг витратити до 1–2 годин на детальний аналіз кожного креслення: потрібно було вручну визначити параметри, звірити з технічними вимогами, підібрати матеріал, виконати серію розрахунків і сформулювати техніко-економічне обґрунтування. У разі змін у геометрії або матеріалі – процес потрібно було повторювати з нуля. Нова система дозволяє автоматизувати ці етапи, скорочуючи загальний час розрахунку до кількох хвилин, що суттєво підвищує продуктивність інженерного персоналу та зменшує ймовірність помилок. Кожен з етапів є важливою складовою загального ланцюга обробки інженерних креслень, і разом вони забезпечують повну автоматизацію від завантаження файлу до отримання фінального звіту з результатами розрахунку.

Першим етапом є процес завантаження креслення у форматі DXF.

Користувач відкриває графічний інтерфейс системи, де через інтуїтивно зрозуміле меню вибирає відповідний файл із локального носія або хмарного сховища. Інтерфейс забезпечує зручну навігацію та дає змогу попередньо переглянути вміст файлу перед підтвердженням завантаження. Після передачі креслення на обробку система переходить до технічного аналізу даних.

На цьому етапі система автоматично виконує початкову перевірку структури DXF-файлу, оцінюючи його відповідність внутрішнім вимогам обробки. Якщо файл містить помилки або нестандартні елементи, користувач отримує відповідне повідомлення з можливістю внести виправлення. Далі запускаються алгоритми комп'ютерного зору, які ідентифікують геометричні об'єкти: контури, отвори, вирізи, фаски, згини та інші елементи. У цьому процесі використовуються попередньо навчені моделі машинного навчання, які враховують варіативність креслень і забезпечують високу точність розпізнавання. Результатом цього етапу є формування повноцінної цифрової моделі об'єкта з усіма технічно значущими характеристиками, необхідними для подальших обчислень.

Після того як креслення було успішно оброблено, система переходить до наступного етапу – визначення параметрів деталі. На цьому етапі автоматично розраховуються довжина, ширина, площа, загальний периметр різання, кількість і тип отворів, кількість згинів, складність контурів та інші характеристики, що впливають на виробничі витрати. Ці дані стають основою для формування моделі вартості.

Наступним ключовим процесом є розрахунок вартості виготовлення. Система враховує низку чинників, включаючи вибраний матеріал і його товщину, складність геометрії, кількість та тип операцій (зокрема різання, зварювання, згинання, фрезерування), а також наявність додаткових послуг, таких як нанесення покриття, маркування, упаковка чи транспортування. Усі ці параметри інтегруються у спеціалізовані формули, які базуються на нормативно-технологічних довідниках, а також можуть бути адаптовані до

умов конкретного виробництва. Система передбачає можливість налаштування коефіцієнтів для різних виробничих процесів, що забезпечує гнучкість та адаптивність до специфіки підприємства.

Для прикладу, на одному з металургійних підприємств процес ручного розрахунку однієї складної деталі займав у середньому 90 хвилин. Після впровадження системи цей час скоротився до 4–6 хвилин, включаючи перевірку вхідних даних, розрахунок, формування звіту та генерацію рекомендацій. Це не лише прискорило комерційні процеси, але й зменшило ймовірність помилок при множинних повторних прорахунках. Таким чином, система дозволяє з високою точністю та швидкістю оцінити повну собівартість виготовлення деталі, забезпечуючи значний економічний ефект для підприємства.

Одночасно з розрахунком вартості система виконує поглиблений аналіз можливих варіантів реалізації та формує персоналізовані рекомендації. Наприклад, якщо обраний матеріал є надто дорогим або має обмежену доступність, користувач отримує пропозицію щодо заміни його на альтернативний – з нижчою вартістю або з кращими технологічними властивостями для конкретного типу обробки. У випадку складної або надмірно детальної геометрії креслення, система може рекомендувати внести конструктивні спрощення, які зменшать кількість технологічних переходів, скоротять час обробки та знизять собівартість. Крім того, вона здатна запропонувати інший, більш ефективний або енергоощадний метод обробки, виходячи з технічних параметрів та доступного обладнання. Важливо, що при формуванні таких рекомендацій система враховує технічні обмеження виробництва: доступні потужності, межі обробки верстатів, допустимі матеріали та нормативи безпеки. Це підвищує практичну доцільність запропонованих рішень і дозволяє користувачу приймати обґрунтовані рішення з урахуванням реальних умов виробництва.

Після завершення основного аналізу система формує результати. Користувач отримує звіт з деталізованим описом усіх складових

розрахунку, включаючи вартості поетапно, перелік використаних параметрів, зазначення критичних точок. Також система генерує візуалізацію креслення з підсвіченими зонами обробки або складними елементами. Усі результати можна експортувати у форматах PDF, Excel або JSON для подальшого використання у внутрішній документації або комерційних пропозиціях.

Останнім компонентом автоматизованого процесу є збереження історії та управління розрахунками. Усі виконані аналізи зберігаються в централізованій базі даних, що дозволяє користувачам повертатися до попередніх проєктів, порівнювати параметри, створювати шаблони для повторного використання. Наприклад, користувач може легко знайти креслення, яке вже оброблялося, змінити лише один параметр (наприклад, матеріал або товщину) і швидко отримати оновлений розрахунок без повторного проходження всіх етапів. Це значно скорочує час при роботі з варіативними замовленнями.

Крім того, зібрані дані використовуються для подальшого навчання системи – на їх основі моделі машинного навчання постійно оновлюються, що підвищує точність прогнозів і рекомендацій у майбутніх розрахунках. Наприклад, система може з часом враховувати специфіку конкретного виробництва або реакцію на певні матеріали та геометричні особливості, щоб автоматично адаптувати коефіцієнти розрахунків.

Управління даними також передбачає можливість формування аналітичних звітів для керівництва, які можуть включати динаміку змін вартості виготовлення, частоту використання певних матеріалів або операцій, а також середній час розрахунку.

Крім того, реалізовано функції пошуку та сортування проєктів за ключовими параметрами: назвою, датою створення, типом матеріалу, технологічним методом тощо. Це забезпечує зручну навігацію серед великої кількості збережених даних. Також передбачається інтеграція з іншими інформаційними системами підприємства, що дозволяє

автоматично передавати результати до ERP-систем, бухгалтерських модулів або модулів планування виробництва.

2.2 Перелік функцій системи

Система автоматизації оцінки вартості виготовлення деталей на основі DXF-файлів є комплексним цифровим рішенням, яке забезпечує наскрізну інтеграцію інженерного аналізу, техніко-економічного обґрунтування та підготовки виробничих даних. Вона реалізує розширений набір функціональних можливостей, що охоплюють повний цикл обробки креслень – від моменту завантаження до формування звітності й аналітики. Застосування такої системи дозволяє знизити навантаження на інженерно-технологічний персонал, зменшити кількість помилок при оцінці собівартості, а також істотно прискорити етап формування пропозицій. Зокрема, орієнтовне скорочення часу підготовки комерційних розрахунків становить 60–80% у порівнянні з традиційними методами, згідно з попередніми тестуваннями системи на базі пілотних проєктів у сфері металообробки. Наприклад, при ручному розрахунку в середньому витрачалось від 40 до 60 хвилин на кожне креслення, тоді як автоматизована система дозволяла отримати результат менш ніж за 10–15 хвилин. Ці цифри можуть варіюватися залежно від складності деталі, однак демонструють суттєвий потенціал для підвищення продуктивності. у порівнянні з традиційними методами.

2.2.1 Завантаження та обробка креслень

Процес взаємодії з системою починається з завантаження креслення у форматі DXF через спеціалізований графічний інтерфейс. Він передбачає функціонал для навігації по файлах, попередній перегляд, перевірку сумісності версій та базову валідацію. Система підтримує найбільш

поширені версії DXF – R12, R14, 2000, 2004, 2010 та новіші, включаючи формати, які використовуються в більшості сучасних CAD-систем. Однак, деякі застарілі або рідковживані версії, а також файли з нестандартними елементами, можуть не підтримуватись повністю. Тому користувачам рекомендовано проводити попередню перевірку файлів у візуалізаторі перед розрахунком, особливо при роботі з архівними кресленнями або нестандартними програмами САПР., що забезпечує інтеграцію з більшістю CAD-середовищ і мінімізує ризик втрати даних при передачі креслень.

2.2.2 Розпізнавання геометрії

Після завантаження система запускає модулі комп'ютерного зору та машинного навчання для автоматичного аналізу креслення. Вона ідентифікує такі елементи, як контури, внутрішні отвори, вирізи, згини, фаски, заокруглення, технологічні отвори, лінії згину та монтажні зони. Особлива увага приділяється точності фіксації розмірних прив'язок, кутів та радіусів, навіть у випадках із частково пошкодженими або неуніфікованими файлами. Крім того, система перевіряє допустимість взаємного розташування елементів – це дозволяє виявляти потенційні конфлікти, пов'язані з технологічною обробкою, ще до початку розрахунків.

2.2.3 Розрахунок параметрів та вартості

На основі отриманої геометричної інформації система виконує автоматичне визначення площі, довжини контурів, габаритів, кількості отворів, складності геометрії. Ці параметри використовуються у вартості моделі, що базується на комбінованому підході: враховуються матеріали, їх поточна ринкова вартість, товщина та тип заготовки, складність технологічних операцій (від різання й свердління до зварювання та фрезерування), витрати на покриття, термообробку, логістику, а також

супутні адміністративні витрати. У модулі вартості передбачено підтримку різних тарифних моделей: за площу, за тип операції, за тривалість виробничого циклу або за інтегрованим показником. Користувач може налаштовувати пріоритети розрахунку залежно від типу підприємства чи специфіки замовлення.

2.2.4 Візуалізація та рекомендації

Після розрахунку система формує візуалізацію креслення з нанесенням кольорового маркування відповідно до операцій або зон обробки. Це дозволяє швидко ідентифікувати складні ділянки, критичні місця або відхилення від стандарту. У перспективі реалізується механізм рекомендацій, що базується на порівнянні з базою попередніх проєктів. Наприклад, система зможе автоматично пропонувати заміну матеріалу на дешевший або технологічно простіший, запропонувати зміну послідовності обробки, оптимізувати кількість переходів, зменшити кількість технологічних втручань. Механізм адаптивного навчання забезпечить поступове підвищення точності рекомендацій у процесі накопичення досвіду використання. Система зберігає та аналізує ключові параметри оброблених креслень – геометричні характеристики, вибрані матеріали, типи операцій, час виконання, частоту повторення певних конфігурацій. На основі цієї накопиченої інформації вдосконалюється логіка рекомендаційного модуля, що дозволяє згодом більш точно пропонувати оптимальні матеріали, способи обробки або технологічні маршрути для нових задач. Автоматичне збереження та застосування таких рекомендацій в наступних розрахунках буде впроваджено на подальшому етапі розробки.

2.2.5 Формування та експорт звітів

Після завершення аналізу користувач отримує можливість

сформувати звіт. Звітна документація включає деталізовані таблиці з усіма розрахунковими параметрами, пояснення до кожного з них, схеми креслень з позначками, графіки залежностей та короткий аналітичний підсумок. Експорт можливий у форматах PDF, Excel та JSON. У майбутньому передбачено розширення підтримки до САМ-орієнтованих форматів, що дозволить здійснювати прямий обмін з верстатним обладнанням.

2.2.6 Збереження історії та повторне використання

Усі створені проекти автоматично зберігаються в централізованій базі. Користувачі можуть здійснювати пошук за різними критеріями – назва, дата, тип креслення, автор, обсяг партії. Для зручності навігації реалізовано функціонал фільтрації результатів за кількома параметрами одночасно, а також можливість сортування за зростанням або спаданням значень.

Наприклад, користувач може швидко знайти всі креслення одного автора за певний період або відсортувати результати за обсягом партії, щоб виявити найбільші або найменші замовлення.

Це значно полегшує доступ до потрібної інформації та пришвидшує роботу з архівом розрахунків. Існує можливість копіювання старих розрахунків у нові проекти, порівняння вартості змінених деталей, формування шаблонів на основі найбільш вдалих рішень. Це значно знижує поріг входу для нових користувачів і сприяє уніфікації підходів до оцінки.

2.2.7 Інтерфейс користувача

Інтерфейс системи побудований з урахуванням вимог до UX-дизайну в інженерному середовищі: підтримуються темна та світла теми, динамічні підказки, автоматичні перевірки введених значень, повідомлення про успішні або помилкові дії.

Є механізм налаштування профілів для різних категорій користувачів-

менеджер, інженер, технолог, кожен із відповідним рівнем доступу.

2.2.8 Перспективи розвитку

У рамках подальшого розвитку заплановано впровадження мультимовного інтерфейсу, що забезпечить підтримку кількох мов інтерфейсу без зміни логіки системи. Також буде реалізована система підписки – користувачі зможуть здійснювати оплату онлайн відповідно до вибраного тарифу, з гнучкою системою обліку активних функцій і лімітом запитів, який визначатиметься на основі кількості проведених розрахунків, типу використаних функцій та активності користувача протягом певного періоду.

Особливо важливим кроком стане інтеграція з ERP-системами підприємств. Вона дозволить пов'язати проектування з наявністю матеріалів на складі, планами виробництва, фінансовим контролем. У майбутньому очікується й поява мобільної версії додатку для планшетів і смартфонів – для роботи безпосередньо в цеху, на складі або у клієнта.

Окремим напрямом є розробка модуля підбору технологічного маршруту – система зможе самостійно формувати послідовність операцій з урахуванням наявного обладнання, обмежень, черг та економічної ефективності. Передбачено також створення API, що дозволить інтегрувати систему з внутрішніми платформами підприємства: CRM, MES, PDM тощо.

Усі ці вдосконалення спрямовані на підвищення гнучкості, масштабованості та комерційної ефективності цифрового продукту в реальному виробничому середовищі.

2.3 Вибір варіанта реалізації системи

Загальний підхід. Система автоматизації оцінки вартості виготовлення деталей на основі DXF-файлів буде реалізована у вигляді

вебдодатку. Формат DXF обрано не випадково – він є одним із найпоширеніших у сфері інженерного проектування, оскільки забезпечує відкриту структуру, що легко піддається автоматичному аналізу. DXF-файли використовуються більшістю CAD-систем, тому їх застосування дозволяє інтегрувати систему в існуючі виробничі процеси без потреби конвертації або втрати даних. Цей формат обрано через його здатність забезпечити максимальну доступність і гнучкість: користувачі зможуть працювати із системою з будь-якого пристрою, що має доступ до інтернету, незалежно від операційної системи. Вебархітектура також дозволяє оновлювати функціональність централізовано на серверній стороні, без потреби в ручному втручанні користувача, що значно спрощує підтримку та модернізацію платформи.

Користувач взаємодіє із системою через інтуїтивно зрозумілий вебінтерфейс у браузері, де він може завантажувати DXF-файли креслень, переглядати результати технічного аналізу, отримувати автоматично сформовані розрахунки вартості та експортувати готові звіти. Усі дії користувача передаються у вигляді HTTP-запитів до серверної частини, яка обробляє креслення, проводить розрахунки й формує відповіді системи.

2.3.1 Серверна частина (бекенд)

Серверна логіка реалізована мовою програмування Python із використанням фреймворку Flask. Ця частина системи приймає запити від фронтенду, виконує перевірку структури DXF-файлів, аналізує геометричну структуру креслень, обчислює техніко-економічні показники та формує результати. Завдяки модульній архітектурі систему легко розширювати – нові модулі можна додавати без значних змін до існуючого коду.

2.3.2 Користувацький інтерфейс (фронтенд)

Фронтенд побудований з використанням HTML, CSS і JavaScript, а також сучасних фреймворків, таких як Bootstrap (для адаптивного дизайну) або React (для побудови інтерактивних компонентів). Інтерфейс забезпечує зручну навігацію та швидкий доступ до функцій як на стаціонарних пристроях, так і на мобільних – завдяки реалізації адаптивного дизайну, який дозволяє коректно відобразити елементи інтерфейсу на екранах різних розмірів. Це забезпечує користувачам повноцінну функціональність незалежно від типу пристрою та операційної системи, що підвищує загальну доступність і комфорт роботи з системою. Завантаження файлів, перегляд аналітики, управління проектами та візуалізація креслень. Особлива увага приділена інтерактивності й зручності користування. Інтерфейс включає реалізовані інтерактивні функції, які підвищують ефективність роботи користувача. Зокрема, передбачена можливість завантаження файлів за допомогою drag-and-drop, що значно спрощує додавання креслень. Крім того, реалізовано контекстні підказки, які з'являються при наведенні на елементи інтерфейсу та допомагають краще орієнтуватися в системі навіть новим користувачам. Завдяки таким елементам інтерфейс залишається не лише функціональним, але й інтуїтивно зрозумілим.

2.3.3 Технології машинного навчання та комп'ютерного зору

Для розпізнавання та аналізу DXF-файлів інтегровані бібліотеки OpenCV і фреймворки глибокого навчання, зокрема TensorFlow. Докладний опис API бібліотеки наведено в офіційній документації TensorFlow.

Вони дозволяють системі автоматично виявляти геометричні елементи креслення, класифікувати їх, оцінювати складність конструкції та визначати потенційні технологічні ризики. Це забезпечує високу точність і

ефективність, знижуючи потребу в ручному втручанні.

2.3.4 База даних

Для зберігання всієї критично важливої інформації застосовується реляційна база даних. На етапі прототипування використовується SQLite – проста та легка у використанні вбудована база даних, яка не потребує встановлення окремого серверного ПЗ. Вона дозволяє швидко розгорнути функціональний прототип без зовнішніх залежностей, що особливо важливо на ранніх стадіях розробки. Обрання саме цього інструменту зумовлене його мінімальними вимогами до середовища, а також можливістю зберігати локальні дані без ускладнень, характерних для повноцінних СУБД. – проста у налаштуванні вбудована БД. Для продуктивного середовища перевагу надається PostgreSQL, яка забезпечує масштабованість, підтримку транзакцій, надійність і інтеграцію з іншими корпоративними системами. База даних містить інформацію про матеріали, технічні характеристики, шаблони розрахунків, замовлення, а також повну історію взаємодії користувачів.

У підсумку, обрана архітектура та компоненти системи забезпечують гнучкість, стабільність і масштабованість. Такий підхід гарантує ефективну роботу як у рамках невеликого прототипу, так і в масштабованому середовищі, де передбачається подальше розширення функціоналу. Наприклад, система потенційно може бути інтегрована з ERP-платформами для автоматичного обміну даними про замовлення та матеріали або перенесена у хмарне середовище для забезпечення централізованого доступу й резервного копіювання. Це відкриває можливості для глибшої інтеграції в корпоративну IT-інфраструктуру й забезпечує довготривалу підтримку з боку IT-відділу. як у рамках невеликого прототипу, так і у виробничому середовищі з великою кількістю користувачів і складними технічними вимогами.

2.4 Оцінка ефективності та доцільності проєкту

Оцінка ефективності роботи «Автоматизація оцінки вартості деталей на основі DXF-файлів у вигляді веб-застосунку» підтверджує його доцільність та високу практичну цінність для впровадження на виробничих підприємствах. Реалізація системи у вигляді веб-додатку забезпечує зручний доступ, масштабованість та оперативну інтеграцію в існуючі бізнес-процеси.

Значний вплив на покращення виробництва та операцій система матиме через серію конкретних переваг.

Автоматичний розрахунок вартості деталей суттєво знижує ризик помилок, які часто виникали при ручному опрацюванні. Наприклад, раніше інженер повинен був вручну підраховувати загальну довжину різання, кількість отворів і згинів, орієнтуючись на креслення у CAD-системі. Цей процес міг займати до кількох годин і містив неточності через людський фактор. Завдяки автоматизації аналіз виконується за лічені хвилини із забезпеченням повторюваної точності, що скорочує час опрацювання заявки та робить результати уніфікованими.

Швидкий технічний аналіз також сприяє зменшенню навантаження на інженерів і дозволяє зберігати результати попередніх розрахунків у базі даних. Це забезпечує подальше їх використання для формування звітів, аналітики або повторного звернення до подібних замовлень. Вивільнений інженерний ресурс може бути спрямований на творчі завдання або оптимізацію технологічних процесів.

Завдяки веб-доступу команди з різних локацій можуть працювати з системою без необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення. Адаптивна верстка забезпечує комфортне використання на мобільних пристроях, що робить платформу зручною для широкого кола користувачів.

У майбутньому передбачено розширення можливостей за рахунок

хмарної інфраструктури. Зокрема, планується інтеграція із популярними ERP/CRM-системами, такими як SAP, Odoo або Microsoft Dynamics. Це дозволить реалізувати додаткові модулі для розрахунку логістичних витрат, автоматизованого відстеження статусів замовлень, формування фінансових звітів, а також взаємодії з клієнтськими базами. Таким чином, система зможе адаптуватися до зростаючих вимог бізнесу.

Проект також створює конкурентну перевагу. Наприклад, під час участі в тендерах або перемовинах із потенційними клієнтами можливість швидко надати точний розрахунок вартості виробу може стати вирішальним фактором. У випадку термінових запитів клієнтів, компанія, яка першою надає обґрунтовану комерційну пропозицію, демонструє професіоналізм і технологічну зрілість, що суттєво підвищує шанси на успішне укладення контракту.

У перспективі система може бути адаптована до інших сфер виробництва, таких як обробка дерева, пластику, композитів, де також використовується DXF-формат для креслень. DXF є широко прийнятим стандартом обміну технічними кресленнями, сумісним із більшістю CAD-систем, що робить його релевантним і ефективним для багатьох виробничих галузей. Таким чином, проєкт створює міцну основу для масштабування інновацій у різні сектори промисловості.

2.5 Порівняльний аналіз існуючих рішень

У цьому підрозділі здійснено розгорнутий порівняльний аналіз розробленої нами системи автоматизації оцінки вартості виготовлення деталей на основі DXF-файлів із наявними на ринку програмними рішеннями. Такий аналіз дозволяє детально окреслити інноваційність, функціональні переваги та унікальні особливості нашого підходу, а також зіставити їх із сильними та слабкими сторонами конкурентів, враховуючи поточні потреби виробничого сектору.

2.5.1 Costimator

Одним із поширених рішень є система Costimator – комерційне програмне забезпечення, яке спеціалізується на визначенні вартості виготовлення деталей з урахуванням широкого спектру виробничих технологій, включаючи різання, зварювання та механічну обробку. Вона інтегрується з САД-програмами та використовує бази даних матеріалів і операцій, що забезпечує високу точність розрахунків. Одним із прикладів застосування Costimator є його використання на підприємствах металообробної галузі США, де система допомагає стандартизувати комерційні пропозиції та зменшити розбіжності між розрахунками та фактичними витратами. Проте, її функціональність виявляється недостатньо гнучкою у роботі з кресленнями у форматі DXF, особливо зі складною геометрією. Відсутність повноцінного автоматичного розпізнавання таких креслень обмежує застосування Costimator у виробництвах з високою змінюваністю проєктів.

2.5.2 SolidWorks

Іншим прикладом є SolidWorks – потужне програмне середовище для 3D-моделювання, що підтримує широкий спектр інженерних завдань: створення складних геометричних моделей, проведення симуляцій, аналіз навантажень та моделювання механізмів. Незважаючи на свою універсальність і гнучкість, SolidWorks не є оптимальним вибором для автоматизованого розрахунку вартості виготовлення деталей, особливо у випадках, коли потрібна швидка оцінка за кресленням формату DXF. Основні недоліки – висока вартість повної ліцензії, складність у користуванні для нетехнічних фахівців, потреба у потужних апаратних ресурсах, а також відсутність вбудованих інструментів для прямого аналізу DXF-файлів без використання додаткових модулів. Хоча існують обмежені

або безкоштовні версії, такі як SolidWorks Student Edition або SolidWorks Viewer, вони не передбачають повного функціоналу для автоматизованого розрахунку вартості і не можуть розглядатись як повноцінна альтернатива у виробничому середовищі. У порівнянні з цим, наша система зосереджена саме на швидкому й точному прорахунку вартості з DXF-файлів, не потребує спеціальної технічної підготовки та значно доступніша для малого і середнього бізнесу.

2.5.3 EasyCut

Програма EasyCut є прикладом інструменту, орієнтованого на базовий розрахунок вартості операцій різання. Основні переваги цього програмного забезпечення – простота у використанні, висока швидкість виконання розрахунків та невибагливість до системних ресурсів. Водночас його функціональність досить обмежена: EasyCut підтримує лише певні типи матеріалів, зокрема листовий метал і пластик, тоді як інші, як-от композити чи тверді сплави, не входять до переліку оброблюваних. Також програма не здатна виконувати розширений аналіз креслень зі складною геометрією, що знижує її придатність для проєктів з високою варіативністю елементів. Крім того, EasyCut не має можливостей для інтеграції з сучасними ERP або CRM-системами, а також не підтримує роботу з централізованими базами даних. У цьому контексті наша система має суттєві переваги: вона дозволяє обробляти DXF-файли зі складною структурою, автоматично розпізнає типи геометрії та операцій (згинання, зварювання, свердління) і забезпечує безперебійну інтеграцію з внутрішніми інформаційними платформами підприємства.

2.5.4 Tebis

Ще одним прикладом є Tebis – програмне середовище для планування

виробництва, 3D-моделювання та САМ-програмування. Цей софт забезпечує точне моделювання та аналіз витрат і широко використовується на великих підприємствах із серійним виробництвом, зокрема в автомобільній промисловості та машинобудуванні. Його основні переваги – повна підтримка різноманітних виробничих процесів, можливість адаптації до складних технічних умов і висока точність. Проте Tebis має складну архітектуру, вимагає тривалого навчання користувачів і значних фінансових витрат на впровадження та підтримку. Натомість наша система орієнтована на швидке впровадження, має зручний веб-інтерфейс і дозволяє працювати з кресленнями у форматі DXF без необхідності глибокого 3D-моделювання. Це робить її особливо придатною для малих і середніх підприємств, яким важлива оперативність, простота у використанні та функціональна точність при мінімальних витратах на навчання та адаптацію.

На підставі проведеного аналізу можна виділити кілька ключових переваг нашої системи.

Автоматизація процесу розрахунку вартості виготовлення на основі креслень у форматі DXF дозволяє значно скоротити час, знизити кількість помилок і оптимізувати навантаження на інженерно-технічний персонал. Цей підхід дозволяє підприємствам знижувати виробничі витрати і підвищувати точність розрахунків, що особливо важливо в умовах швидко змінюваних технологічних вимог.

Гнучкість у роботі з різними матеріалами та типами операцій, зокрема різанням, згинанням, свердлінням, зварюванням, робить систему універсальною для підприємств із різним профілем виробництва. Це дає можливість легко адаптувати систему під специфічні вимоги кожного підприємства, що суттєво підвищує її ефективність і зручність використання в різних сферах промисловості.

Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що працює у веб-браузері, дозволяє використовувати систему навіть працівникам без інженерної освіти. Це

сприяє розширенню кола користувачів і пришвидшує навчання персоналу, знижуючи затрати на тренінги та підвищуючи швидкість адаптації нових співробітників до роботи з системою.

Можливість інтеграції з базами даних і ERP/CRM-системами, зокрема з SAP, Odoo та 1С:Підприємство. Інтеграція з якими наразі запланована як один із етапів подальшого розвитку системи дозволяє налаштувати безперервну роботу цифрового конвеєра – від отримання креслення до формування комерційної пропозиції, забезпечуючи безперервний потік даних та оперативну обробку запитів.

Таким чином, наша система поєднує переваги інтуїтивної простоти, гнучкості, функціональності та технічної ефективності. Вона є перспективною альтернативою складним і дорогим рішенням, орієнтованим на повне моделювання, і краще відповідає потребам малого та середнього бізнесу, що прагне до швидкої цифровізації виробничих процесів, оптимізуючи робочі процеси та знижуючи загальні витрати.

3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ

Для розробки системи автоматизації оцінки вартості виготовлення деталей на основі DXF-файлів необхідно здійснити обґрунтований вибір мов програмування, бібліотек і фреймворків, які будуть використані для створення клієнтської (frontend) та серверної (backend) частин. Обрані технології мають критичне значення для забезпечення стабільної роботи інтерфейсу, швидкої обробки даних і масштабованості системи.

Документування технічного завдання відбувається відповідно до вимог ГОСТ 19.201–78 [1], а також методичних рекомендацій з його застосування [2], [3].

Клієнтська частина (frontend) забезпечує інтерфейс, з яким користувачі безпосередньо взаємодіють. Основними її завданнями є візуалізація інформації, обробка введення даних та забезпечення зручного і швидкого доступу до функцій системи.

Інтерфейс повинен бути інтуїтивно зрозумілим, реагувати без затримок і коректно відображатись на пристроях з різними розмірами екранів. З цією метою застосовуються сучасні технології, які підтримують адаптивну верстку та інтерактивні елементи, такі як drag-and-drop, динамічні підказки.

Серверна частина (backend) відповідає за всю логіку роботи системи. Вона приймає запити від клієнтської частини, виконує розрахунки вартості виготовлення деталей, проводить аналіз геометрії DXF-файлів, звертається до бази даних і повертає результати. Крім того, backend забезпечує можливість інтеграції з зовнішніми сервісами або корпоративними системами, зокрема ERP або CRM, та керує користувацькими сесіями й авторизацією.

Особливості функціоналу цієї системи – зокрема, потреба в обробці креслень, застосуванні комп'ютерного зору, виконанні точних інженерних розрахунків – вимагають від обраних технологій високої ефективності,

стабільності та гнучкості. Для досягнення цілей важливо забезпечити високу швидкість обробки запитів, масштабованість та можливість безперервного розвитку системи в майбутньому (наприклад, шляхом додавання нових операцій, типів матеріалів або розширення API).

3.1 Python

Основою системи автоматизації оцінки вартості виготовлення деталей є мова програмування Python [4] – універсальна мова високого рівня, що дозволяє ефективно розробляти складні програмні рішення. Відмінність Python від інших мов полягає в його високому рівні абстракції, що дозволяє зосередитися на основній логіці програми, замість того, щоб занурюватися в низькорівневі деталі, такі як управління пам'яттю або взаємодія з операційною системою.

Універсальність Python дає можливість використовувати її для вирішення різноманітних завдань програмування. На відміну від мов, призначених для специфічних задач, Python дозволяє ефективно інтегрувати компоненти для обробки даних, створення веб-застосунків, аналізу даних та машинного навчання в одному проекті.

Це робить Python ідеальним вибором для створення систем, що включають різні технології, як-от обробка DXF-файлів, розрахунки вартості виготовлення, інтеграція з базами даних і генерація звітів.

Мова дозволяє інтегрувати такі компоненти, як штучний інтелект для розпізнавання геометрії деталей та обробка природної мови для генерації звітів, не вимагаючи вивчення численних спеціалізованих мов програмування для кожного аспекту системи.

Це спрощує процес розробки, підвищує ефективність роботи та дозволяє зосередитися на створенні цілісного і потужного програмного продукту.

3.2 Фреймворки та бібліотеки

Велика колекція бібліотек та фреймворків Python є важливою перевагою цієї мови. Готові компоненти пропонують широкий спектр функцій, які розробники можуть легко використовувати.

Це особливо важливо для систем, таких як наша, оскільки позбавляє від необхідності розробляти алгоритми з нуля. Використовуючи готові інструменти, ми змогли значно прискорити розробку.

3.2.1 Фреймворк Flask

Основою нашої системи є фреймворк Flask [5]. На відміну від інших великих фреймворків, які нав'язують жорсткі структури, Flask пропонує мінімалістичний підхід, що дає розробникам більший контроль над архітектурою програми. Однією з основних особливостей Flask є його система маршрутизації. Вона відповідає за перенаправлення запитів користувача до відповідних функцій додатка.

Кожен запит, який надходить до системи, має свою унікальну URL-адресу. Система маршрутизації Flask отримує цей запит і зіставляє його з функцією, визначеною в додатку. Ця функція виконує необхідні дії, обробляє дані та генерує відповідь, яку потім надсилає назад у веб-браузер користувача.

Flask також надає можливість використовувати шаблони, що дозволяє відокремити логіку програми від представлення користувачького інтерфейсу. Шаблони зазвичай пишуться за допомогою HTML і визначають загальний вигляд інтерфейсу.

Flask дозволяє динамічно вбудовувати дані з Python-функцій у ці шаблони, що підвищує гнучкість і ефективність розробки інтерфейсу.

3.2.2 Бібліотека ezdxf

Для обробки DXF-файлів ми використовуємо бібліотеку ezdxf [6], яка спеціалізується на читанні, записі та модифікації файлів формату DXF. Це потужний інструмент з відкритим вихідним кодом, що дозволяє працювати з основними геометричними елементами, такими як полілінії, кола та дуги, які є ключовими у процесі розрахунку вартості виготовлення деталей.

Бібліотека активно використовується у різноманітних професійних САД-додатках [7], завдяки своїй здатності точно зчитувати просторову інформацію та геометричні параметри об'єктів. Використовуючи можливості ezdxf, ми можемо ефективно отримувати з DXF-файлів дані про розміри, форму та кількість отворів, а також здійснювати базові обчислення: довжини контурів, площі та інші метрики, що необхідні для подальшої оцінки.

Особливістю ezdxf є підтримка роботи з просторовими моделями і можливість автоматичного виявлення ключових елементів – контурів, вирізів, внутрішніх та зовнішніх отворів [8]. Це спрощує інтеграцію бібліотеки у автоматизовані обчислювальні модулі.

У сучасній практиці також поширеним є використання ezdxf у зв'язці з іншими Python-інструментами, що дозволяє створювати скрипти для автоматизації обробки DXF-файлів [9], [10]. Це відкриває широкі можливості для масштабованих рішень в області обробки креслень та інженерної документації.

3.2.3 Бібліотека Matplotlib

Для візуалізації DXF-файлів та створення прев'ю використовуємо бібліотеку Matplotlib [11]. Це потужний інструмент для створення графіки та візуалізацій у Python. У нашій системі Matplotlib використовується для рендерингу плоских зображень з DXF-даних, таких як лінії, дуги та

контури, щоб наочно відобразити деталі та допомагати користувачам оцінювати їх візуально.

Зокрема, ми використовуємо Matplotlib для малювання контурів деталей і виділення ключових елементів, таких як зовнішній контур і внутрішні отвори, що можуть впливати на кінцеву вартість виготовлення.

3.2.4 Бібліотека NumPy

NumPy [12] – одна з найпоширеніших бібліотек для числових обчислень у Python, і ми використовуємо її для обробки масивів та виконання математичних операцій на координатах точок та геометричних елементах, що зчитуються з DXF-файлів. Вона дозволяє швидко та ефективно виконувати операції з масивами, що є необхідним для обчислень площі і довжин контурів.

NumPy також допомагає у виконанні операцій, таких як обчислення площі (формула Гаусса), перевірка точок всередині контурів та інші геометричні розрахунки, що є основою для визначення вартості виготовлення.

3.2.5 Бібліотека SQLite3

Для збереження та обробки даних ми використовуємо вбудовану бібліотеку SQLite3 [13]. Це зручне рішення для створення та роботи з реляційними базами даних у Python. Вона дозволяє зберігати дані про оцінки вартості виготовлення, матеріали, налаштування та історію користувачів у локальній базі даних.

SQLite3 надає всі необхідні функції для створення таблиць, вставки, оновлення і вибірки даних, що робить її ідеальним вибором для нашої системи, де потрібно працювати з даними на локальному рівні. Вона дозволяє зберігати історію розрахунків вартості, налаштування матеріалів

та інші важливі параметри, а також забезпечує швидкий доступ до цих даних для подальшої обробки.

3.3 Мови Frontend

Для розробки користувацького інтерфейсу нашої системи використовуються основні технології Frontend: HTML, CSS та JavaScript. Ці мови забезпечують створення інтерактивних і зручних веб-сторінок, з якими користувачі взаємодіють під час використання системи автоматизації оцінки вартості виготовлення деталей.

HTML (HyperText Markup Language) є основною мовою для створення структури веб-сторінок. За допомогою HTML визначається зміст і структура сторінок, включаючи текст, зображення, таблиці, форми та інші елементи. У нашій системі HTML використовується для створення шаблонів веб-сторінок, на яких розміщуються всі елементи інтерфейсу, такі як кнопки, поля для введення даних і таблиці з результатами розрахунків.

CSS (Cascading Style Sheets) – це мова стилів, яка використовується для оформлення зовнішнього вигляду веб-сторінок. CSS дозволяє задавати кольори, шрифти, відступи, розміри та розташування елементів на сторінці. У нашій системі CSS забезпечує візуальну привабливість і адаптивність інтерфейсу, що дозволяє зручно переглядати сторінки на різних пристроях, таких як комп'ютери, планшети та смартфони.

JavaScript є мовою програмування, яка дозволяє додавати інтерактивні елементи на веб-сторінки. Завдяки JavaScript наш інтерфейс стає динамічним – користувачі можуть взаємодіяти з елементами сторінки, не перезавантажуючи її повністю. У нашій системі JavaScript використовується для обробки введених користувачем даних, динамічного оновлення результатів розрахунків, а також для покращення взаємодії з користувачем, наприклад, при показі повідомлень про помилки чи успішне завершення операцій.

3.4 Проєктування бази даних

База даних відіграє вирішальну роль у багатьох програмних додатках, будучи центральним сховищем для зберігання, організації та управління даними. Вона функціонує як ретельно впорядкована картотека, що дозволяє ефективно зберігати, знаходити та маніпулювати інформацією, а також підтримує зв'язок між різними даними, що робить її важливою для цілісності процесів. Бази даних використовують структурований підхід, в якому заздалегідь визначена схема, що встановлює порядок організації даних у таблицях та стовпцях. Така структура забезпечує узгодженість даних і полегшує виконання ефективних запитів та аналізу інформації.

У контексті нашої системи автоматизації оцінки вартості виготовлення деталей, база даних є незамінною з кількох причин. По-перше, вона гарантує постійне зберігання важливих даних проєкту. На відміну від змінної пам'яті, яка втрачає дані після завершення роботи програми, база даних забезпечує збереження інформації навіть після її закриття. Це важливо для зберігання інформації про користувачів, історії оцінок та налаштувань матеріалів, які є необхідними для подальшого використання.

По-друге, база даних забезпечує ефективний пошук і доступ до даних. Це необхідно для таких функцій, як пошук історії розрахунків, отримання налаштувань матеріалів для різних користувачів і багато інших операцій, які вимагають швидкого доступу до даних.

Для реалізації функцій зберігання та пошуку даних у нашій системі ми використовуємо SQLite – систему управління базами даних (СУБД), яка є легким і ефективним рішенням для зберігання даних на локальному рівні. SQLite дозволяє працювати без окремого серверного процесу, що значно знижує складність налаштування та підтримки бази даних.

SQLite використовується для зберігання таких даних, як історія оцінок вартості виготовлення деталей, налаштування матеріалів для

кожного користувача, а також інформація про клієнтів і їхні параметри для розрахунків. Це дозволяє централізовано зберігати всі важливі дані, які необхідні для виконання точних розрахунків і подальшого аналізу.

Основними перевагами використання SQLite є її простота в інтеграції, зручність у використанні та підтримка реляційної структури даних, що дозволяє зберігати всі важливі параметри в чітко організованому вигляді, що в свою чергу забезпечує ефективне управління та обробку даних.

Система підтримує можливість створення, оновлення та видалення записів для кожного користувача, що дає змогу постійно актуалізувати дані і оперативно працювати з ними. Завдяки індексації та оптимізованим запитам, система забезпечує швидкий доступ до даних, що необхідно для виконання розрахунків та подальшої обробки.

Завдяки використанню SQLite, система може масштабуватись та адаптуватись до майбутніх потреб, забезпечуючи можливість розширення функціональності за рахунок додавання нових модулів або інтеграції з іншими системами.

Схема бази даних нашої системи складається з двох основних сутностей: оцінки та налаштувань матеріалів. Кожна сутність представлена у вигляді таблиць у базі даних: `estimates` (оцінки вартості виготовлення) і `material_settings` (налаштування матеріалів для користувачів). Ці таблиці дозволяють зберігати всю необхідну інформацію для подальших розрахунків і аналізу, а також забезпечують зручний доступ до даних для користувачів системи.

3.4.1 Опис таблиці `estimates`

Таблиця `estimates` відіграє важливу роль у зберіганні даних про оцінки вартості виготовлення деталей у системі. Кожен запис у цій таблиці має унікальний `id`, який служить основним ідентифікатором для кожної оцінки. Це поле має тип даних `integer` і є первинним ключем таблиці, що гарантує

унікальність кожної оцінки та дозволяє швидко ідентифікувати її серед інших записів. Унікальний ідентифікатор дозволяє відстежувати всі операції, пов'язані з конкретною оцінкою, а також допомагає при пошуку або редагуванні записів.

Поле `customer` містить ім'я замовника, для якого була проведена оцінка. Це текстове поле типу `text` дає змогу зберігати назву компанії або ім'я приватної особи, що замовила виготовлення деталі. Зберігання цієї інформації в таблиці дозволяє легко ідентифікувати замовника і працювати з ним у майбутньому для аналізу або генерації звітів.

Далі йде поле `filename`, яке містить назву DXF-файлу, на основі якого була проведена оцінка. Це також текстове поле з типом `text`. Це дозволяє системі зберігати важливу інформацію про креслення, на основі яких здійснювався розрахунок. Вказуючи ім'я файлу, можна швидко повернутися до конкретного креслення і перевірити, чи правильно було оброблено і проаналізовано дані.

Поле `material` вказує на матеріал, що використовується для виготовлення деталі. Це значення має тип `text`, оскільки в ньому зберігається назва матеріалу, наприклад, алюміній, сталь, пластик тощо. Це поле є важливим для коректного розрахунку вартості, оскільки різні матеріали мають різні ціни та вимоги до обробки, що безпосередньо впливає на загальну вартість виготовлення.

Також таблиця зберігає поле `date`, яке містить дату створення оцінки. Це поле типу `text`, при цьому дата зберігається у форматі `YYYY-MM-DD`. Завдяки цьому користувач може відстежувати час виконання розрахунків і мати чітке уявлення про тимчасову послідовність оцінок, що важливо для аналізу вартості з часом або для пошуку певних оцінок.

Поле `operations` містить список операцій, які були виконані при виготовленні деталі. Це серіалізоване значення типу `text`, що дозволяє зберігати деталі про кожну операцію, зокрема її назву, кількість і вартість. Така інформація є необхідною для оцінки складності виготовлення деталі і

точного розрахунку вартості. Наприклад, для кожної операції можуть зберігатися дані про її тип (різання, згинання, зварювання), кількість одиниць, які потребують виконання операції, а також вартість кожної одиниці.

Завершує таблицю поле `total_cost`, яке містить загальну вартість виготовлення деталі, розраховану на основі всіх операцій і параметрів, таких як тип матеріалу та інші змінні. Це поле має тип `real`, що дозволяє зберігати точну числову величину з можливістю відображення дробових значень. Загальна вартість є підсумковим результатом обчислень і дає користувачеві чітке уявлення про кінцеву вартість виготовлення деталі.

Така структура таблиці дозволяє ефективно зберігати всі необхідні дані для аналізу вартості виготовлення деталей і дає можливість системі автоматично здійснювати розрахунки на основі параметрів, збережених у базі даних. Всі ці дані є важливими для подальшого аналізу, порівняння попередніх оцінок, повторного використання введених даних або зміни параметрів для нових розрахунків.

3.4.2 Опис таблиці `material_settings`

Таблиця `material_settings` зберігає налаштування вартості для кожного матеріалу, що використовується у системі. Кожен запис у таблиці має унікальний `id`, що є первинним ключем для кожного запису налаштувань. Це поле має тип даних `integer`, і його головна мета – забезпечити унікальність налаштувань для кожного користувача та матеріалу. Поле `user_email` вказує на електронну адресу користувача, який створив ці налаштування. Це поле має тип `text` і є зовнішнім ключем, що забезпечує зв'язок налаштувань з конкретним користувачем. Завдяки цьому користувач може мати індивідуальні налаштування для різних матеріалів, а система здатна відслідковувати, хто саме вніс ці налаштування.

`Material` визначає тип матеріалу, для якого зберігаються

налаштування. Це текстове поле типу text. Наприклад, це може бути сталь, алюміній чи інший матеріал, для якого система буде використовувати вказану вартість обробки.

Далі йдуть поля для різних типів операцій, таких як cutting, bending, sandblasting, painting та hole_price. Усі ці поля мають тип real і вказують на вартість кожної операції за одиницю вимірювання. Наприклад, cutting вказує на вартість різання за одиницю об'єму наприклад, за кубічний дюйм, bending – на вартість згинання за одиницю, sandblasting – на вартість піскоструминної обробки, painting – на вартість фарбування, а hole_price – на вартість обробки одного отвору.

Також є спеціалізовані поля для точного визначення вартості операцій, що враховують одиниці вимірювання, як-от cutting_per_in3, sandblasting_per_in2 і painting_per_in2, які дозволяють визначати вартість різання, піскоструминної обробки і фарбування за кубічний дюйм або квадратний дюйм відповідно.

Особливість цієї таблиці полягає в тому, що вона має обмеження UNIQUE (user_email, material), яке гарантує, що кожен користувач може мати тільки одне налаштування для кожного матеріалу. Це забезпечує цілісність даних і уникнення дублювання налаштувань, що забезпечує точність і зручність роботи з даними.

Ця таблиця дозволяє ефективно зберігати налаштування для кожного матеріалу, що використовується в системі, і забезпечує швидкий доступ до цих даних при виконанні розрахунків.

Ці таблиці забезпечують ефективне зберігання та організацію даних про оцінки вартості виготовлення деталей і налаштування матеріалів для кожного користувача, що дозволяє системі легко здійснювати подальші обчислення, аналізувати дані та генерувати звіти. Завдяки такій структурі даних, користувачі можуть швидко отримувати доступ до необхідної інформації і використовувати її для подальших розрахунків або оптимізації виробничих процесів. Крім того, система автоматично оновлює дані у міру

внесення змін, що забезпечує актуальність і точність результатів. Така гнучкість дозволяє адаптувати систему під різні вимоги та умови роботи підприємства.

3.5 Використання TensorFlow

У процесі реалізації системи було впроваджено елементи машинного навчання для підвищення точності автоматичної інтерпретації креслень. Зокрема, бібліотека TensorFlow [14] використовується для розпізнавання та класифікації геометричних фрагментів DXF-файлів, таких як складні контури, нетипові вирізи або отвори з нестандартною формою. Це дозволяє системі не лише зчитувати геометричні параметри, а й адаптивно обробляти нові варіанти креслень, що значно підвищує її гнучкість при роботі з різними видами проектів.

Підхід до інтеграції TensorFlow ґрунтується на навчанні моделі на основі анотацій з попередньо оброблених креслень. Такий підхід описано у літературі з програмування штучного інтелекту із застосуванням TensorFlow [15]. Це дає змогу формувати більш точні оцінки вартості виготовлення на основі прогнозованих параметрів, навіть у випадках, коли креслення містить фрагменти, що не підлягають прямому геометричному аналізу. Таким чином, система здатна ефективно працювати з новими або нестандартними даними, значно знижуючи потребу у ручному втручанні.

4 ІНТЕРФЕЙС КОРИСТУВАЧА. ТЕСТУВАННЯ

Графічний інтерфейс користувача (GUI) системи CostVision був розроблений з основною метою забезпечення максимальної зручності у користуванні програмним забезпеченням. Інтерфейс побудований за допомогою сучасних веб-технологій, зокрема HTML, CSS і JavaScript, що дозволяє не лише створити візуально приємний вигляд, але й забезпечити адаптивність для різних пристроїв та розмірів екранів.

Для досягнення високого рівня адаптивності, а також сучасного і зручного вигляду сторінок використано популярні фреймворки Bootstrap та інші інструменти CSS, що дозволяють автоматично підлаштовувати інтерфейс під різні формати екранів. Це забезпечує зручність використання як на десктопах, так і на мобільних пристроях, дозволяючи користувачам з комфортом працювати з системою в будь-якому середовищі.

Завдяки цьому підходу система має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, який не потребує додаткових технічних знань для взаємодії, що робить її доступною для широкого кола користувачів, зокрема для тих, хто не має досвіду роботи з подібними програмами.

4.1 Головна сторінка CostVision

Після того, як користувач заходить на головну сторінку сайту, він потрапляє на інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, де на нього чекає кнопка «Почати», що є першою дією для старту процесу завантаження. Натискання на цю кнопку відкриває форму вибору файлу, яка дозволяє користувачеві вибрати необхідний DXF-файл для подальшої обробки та розрахунку вартості виготовлення деталі.

Коли файл обрано, система автоматично перевіряє його формат, аби гарантувати, що це справжній DXF-файл, який є необхідним для коректного виконання подальших операцій. Цей крок є надзвичайно важливим,

оскільки система здатна працювати лише з правильним форматом файлів, і будь-які інші типи можуть призвести до некоректних результатів або збоїв в обробці.

У разі, якщо файл має неправильний формат або якщо користувач не вибрав файл, система негайно відображає зрозуміле повідомлення про помилку. Це повідомлення детально пояснює, що сталося, і як виправити помилку, наприклад, «Будь ласка, виберіть файл формату DXF». Зазначене повідомлення є важливим для користувача, оскільки воно знижує рівень непорозумінь і допомагає швидко вирішити проблему.

Лише після того, як файл відповідає всім вимогам, система дозволяє продовжити процес – виконати розрахунки вартості виготовлення деталі. Користувач отримує підтвердження про успішне завантаження файлу і може перейти до наступних етапів роботи з системою (рисунок 4.1).

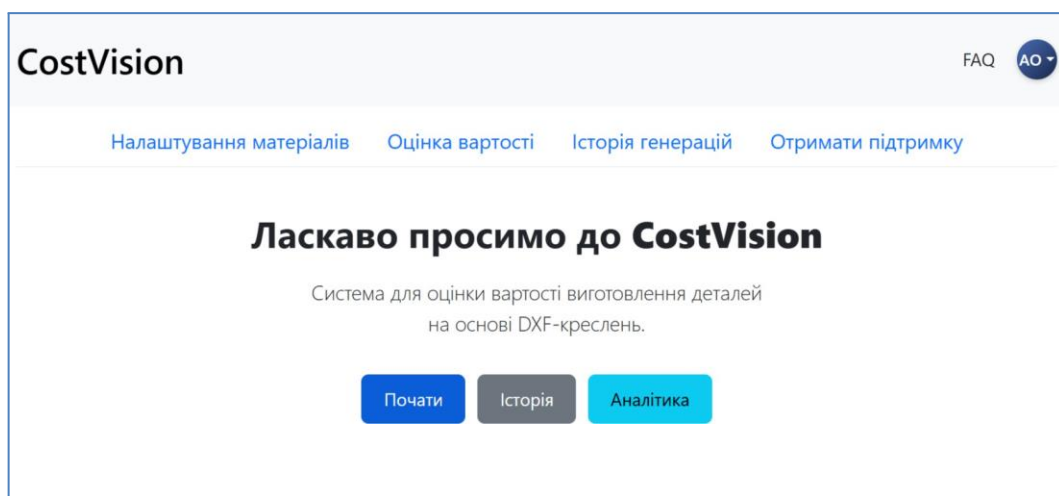


Рисунок 4.1 – Головна сторінка CostVision

4.2 Завантаження файлу DXF з підтвердженням

На рисунку 4.2 представлено інтерфейс модуля «Завантаження файлу DXF з підтвердженням», який дозволяє користувачам завантажувати файли в потрібному форматі та отримувати підтвердження після успішного

завантаження. Цей етап є важливим для забезпечення коректності введених даних. Інтерфейс містить елементи, які чітко вказують на необхідність вибору файлу, а також дають користувачеві зворотний зв'язок після того, як файл буде перевірено і прийнято системою.

На рисунку 4.2 можна побачити кнопку «Завантажити файл», що відкриває форму вибору, а також область для відображення статусу завантаження файлу. Після того, як файл успішно завантажено, користувач бачить повідомлення про успішну операцію, що підтверджує правильність формату файлу та готовність його до обробки.

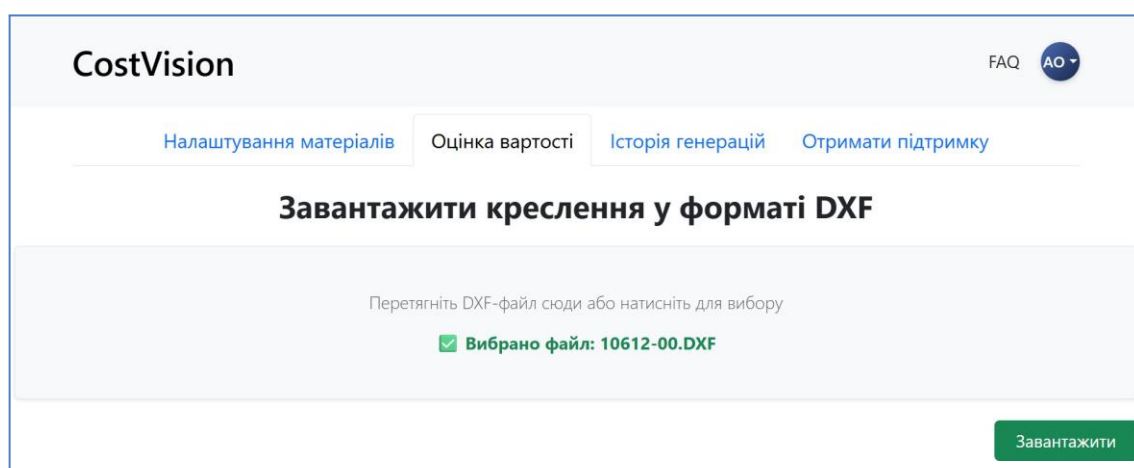


Рисунок 4.2 – Завантаження файлу DXF з підтвердженням

Цей модуль також демонструє, як система реагує на помилки при завантаженні, виводячи чітке повідомлення, якщо формат файлу неправильний або файл не вибрано. Завдяки цьому інтерфейсу користувач може швидко зрозуміти, що потрібно виправити для подальшої роботи.

4.3 Завантаження файлу DXF з індикацією статусу

Під час процесу завантаження файлу система перевіряє його формат та відповідність вимогам. Якщо файл не відповідає необхідним параметрам

або виникає інша помилка, система негайно сповіщає користувача про проблему. Це забезпечує ефективне управління помилками та запобігає некоректному функціонуванню програми.

У разі помилки, система відображає відповідне повідомлення, яке чітко пояснює суть проблеми і дає вказівки щодо її усунення, що дозволяє користувачеві швидко та без зайвих труднощів вирішити ситуацію. Наприклад, повідомлення може містити текст типу: «Невірний формат файлу. Будь ласка, виберіть файл у форматі DXF». Це робить систему зручною у використанні та знижує рівень непорозумінь.

На рисунку 4.3 представлений інтерфейс модуля «Завантаження файлу DXF з індикацією статусу». Інтерфейс містить графічні елементи, що відображають процес завантаження та його статус у реальному часі. Користувач може побачити індикацію того, чи успішно завантажено файл, або ж чи потрібно виправити помилку, якщо така виникла. Це забезпечує зручність і повний контроль над процесом завантаження.

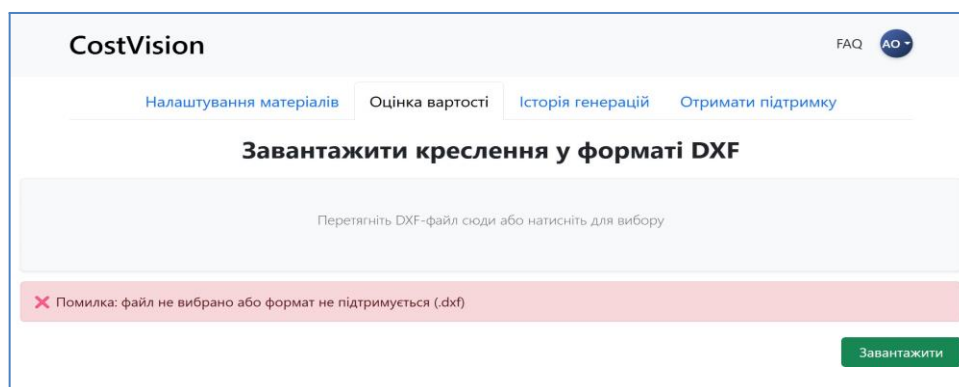
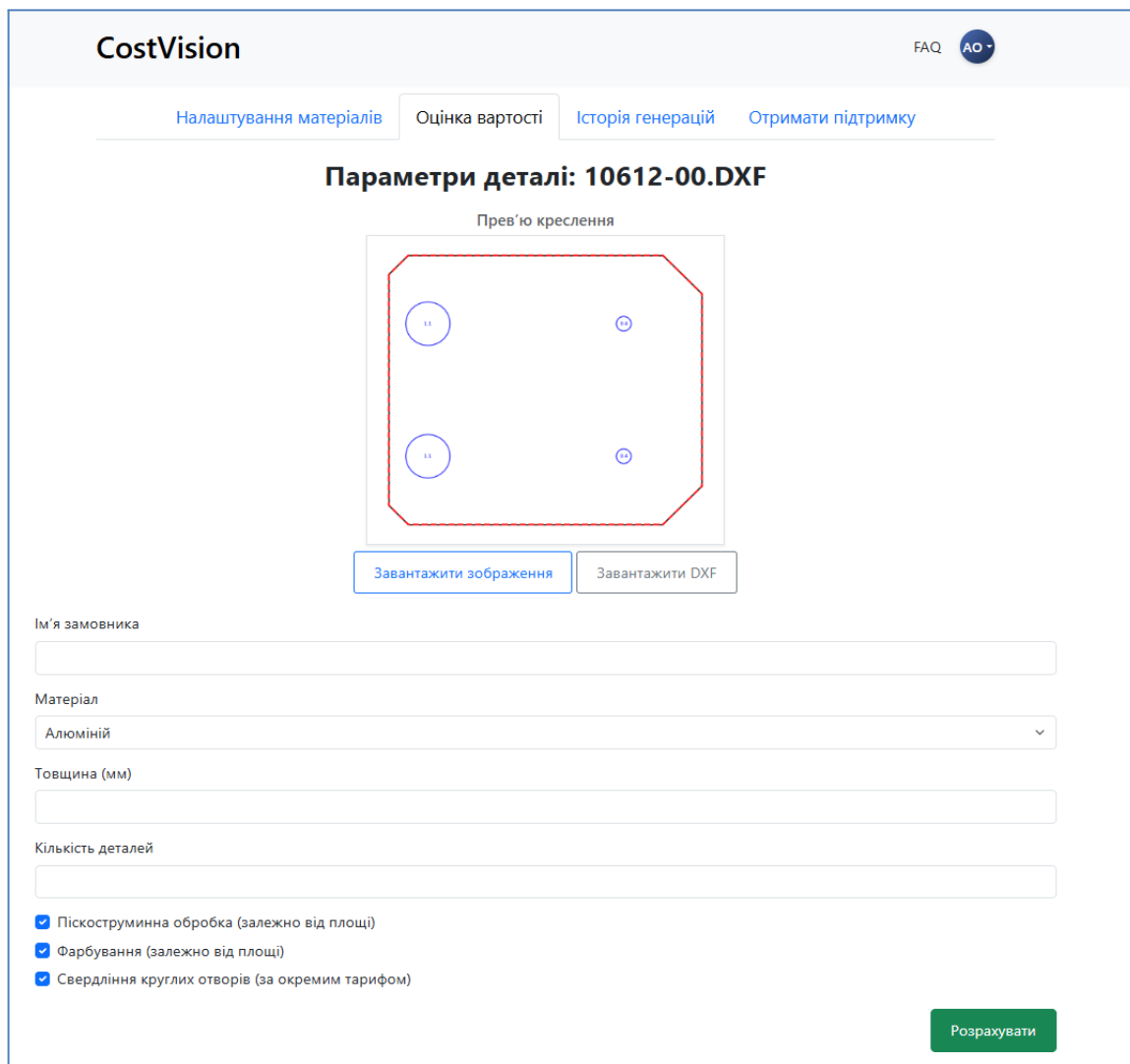


Рисунок 4.3 – Завантаження файлу DXF з індикацією статусу

4.4 Параметри деталі

Після того, як користувач успішно завантажує файл, система автоматично створює попередній перегляд креслення та відображає його на сторінці. Це дозволяє користувачеві швидко оцінити, чи правильно

завантажено файл, і переконатися, що всі елементи креслення відображаються коректно. Прев'ю креслення доступне в інтерактивному режимі, що дозволяє масштабувати зображення або переміщати його для кращого огляду (рисунок 4.4).



CostVision FAQ AO

[Налаштування матеріалів](#) [Оцінка вартості](#) [Історія генерацій](#) [Отримати підтримку](#)

Параметри деталі: 10612-00.DXF

Прев'ю креслення

[Завантажити зображення](#) [Завантажити DXF](#)

Ім'я замовника

Матеріал
Алюміній

Товщина (мм)

Кількість деталей

- Піскоструминна обробка (залежно від площі)
- Фарбування (залежно від площі)
- Свердління круглих отворів (за окремим тарифом)

[Розрахувати](#)

Рисунок 4.4 – Параметри деталі

Далі користувач повинен ввести всі необхідні параметри для розрахунку вартості виготовлення. Це включає такі дані, як товщина матеріалу, кількість одиниць виробу, вибір матеріалу для виготовлення деталі (метал, пластик, композити тощо). Ці параметри є ключовими для правильного обчислення вартості виготовлення, оскільки вони впливають

на загальні витрати, включаючи витрати на матеріали та обробку.

Після того як усі дані введені, користувач натискає кнопку «Розрахувати». Система автоматично виконує розрахунки вартості виготовлення деталі, враховуючи введені параметри та специфікації креслення. На основі цих даних система здійснює оцінку вартості з урахуванням всіх технологічних етапів і надає користувачеві результат у вигляді детального звіту.

4.5 Таблиця результатів розрахунку

Після того, як система успішно обробляє завантажений файл, вона надає користувачу детальну інформацію про розрахунок вартості виготовлення деталі. Це включає в себе кілька важливих компонентів, які допомагають користувачу повністю оцінити процес і результат.

Перелік операцій – система відображає всі технологічні операції, необхідні для виготовлення деталі, такі як різання, згинання, зварювання тощо. Для кожної операції вказується її вартість, що дозволяє користувачеві побачити, як кожен етап впливає на загальну вартість виготовлення.

Загальна сума – внизу таблиці відображається підсумкова вартість виготовлення деталі з урахуванням всіх операцій та матеріалів. Ця сума є остаточним розрахунком, який користувач може використати для комерційної пропозиції або оцінки витрат.

Прев'ю креслення – для зручності користувача поруч з таблицею розрахунків система надає попередній перегляд креслення деталі. Це дозволяє швидко перевірити, чи правильно система обробила файл і чи всі елементи деталі коректно відображаються в розрахунку.

Історія розрахунків – система зберігає історію всіх попередніх розрахунків для даної деталі. Користувач може переглядати попередні результати, порівнювати їх або повторно виконати розрахунок, якщо потрібно змінити параметри (наприклад, матеріал чи кількість одиниць).

Така таблиця дозволяє користувачам не тільки отримувати точну інформацію про розрахунок вартості, але й забезпечує зручний доступ до історії всіх виконаних оцінок, що робить систему корисною не тільки для поточних, але й для минулих проектів. Завдяки цьому можна значно підвищити ефективність роботи з документами та зробити процес оцінки більш прозорим і структурованим (рисунок 4.5).

CostVision FAQ

[Налаштування матеріалів](#) [Оцінка вартості](#) [Історія генерацій](#) [Отримати підтримку](#)

Результати розрахунку

Операція	Кількість	Вартість (грн)
Різання	82.12 in ³	1642.50
Круглі отвори (свердління)	2	20.00
Піскострумінна обробка	54.8 in ²	109.50
Фарбування	54.8 in ²	54.75
Загальна вартість		1826.75 грн

На головну Розрахувати ще

Рисунок 4.5 – Таблиця результатів розрахунку

4.6 Детальна інформація про оцінку

Після завершення розрахунку користувач отримує доступ до детального звіту, який містить всю необхідну інформацію про проведені операції. Звіт включає такі дані, як історія змін, що були внесені протягом розрахунку, унікальний ID для кожної оцінки, ім'я замовника, дата виконання оцінки та загальна вартість виготовлення деталі. Це дає змогу користувачеві чітко зрозуміти всі етапи, які проходить замовлення, і мати повний огляд виконаних операцій.

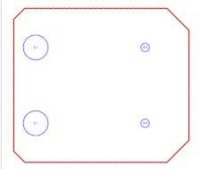
Крім того, користувач може порівняти поточний розрахунок з попередніми результатами, що дозволяє оцінити зміни в ціні або

розрахунках після внесення коригувань. Це підвищує зручність роботи з системою та надає додаткові можливості для аналізу та оптимізації виробничих витрат (рисунок 4.6).

CostVision
FAQ

Налаштування матеріалів
Оцінка вартості
Історія генерацій
Отримати підтримку

Деталі оцінки

ID	11	
Замовник	НУРЕ ХНУРЕ - Харьковський національний університет радіоелектроніки	
Дата	2025-05-23	
Файл	10612-00.DXF	
	<div style="border: 1px solid #555; padding: 2px 5px; display: inline-block;">Завантажити DXF</div>	
Операції	Операція	Вартість
	Різнання	1642.50 грн
	Круглі отвори (свердління)	20.00 грн
	Піскострумінна обробка	109.50 грн
	Фарбування	54.75 грн
Загальна сума	1826.75 грн	
Прев'ю		

← Повернутись до історії

↺ Повторити розрахунок

📊 Порівняти з попереднім

Історія розрахунків цієї деталі:

Дата	Операції	Сума
2025-05-23	<ul style="list-style-type: none"> • Різнання: 82.12 in³ шт, 1642.5грн грн • Круглі отвори (свердління): 2 шт, 20.0грн грн • Піскострумінна обробка: 54.8 in² шт, 109.5грн грн • Фарбування: 54.8 in² шт, 54.75грн грн 	1826.75 грн
2025-05-17	<ul style="list-style-type: none"> • Різнання: 54.75 in³ шт, 1095.0000000000002грн грн • Круглі отвори (свердління): 2 шт, 20.0грн грн • Піскострумінна обробка: 54.8 in² шт, 109.5грн грн • Фарбування: 54.8 in² шт, 54.75грн грн • Зварювання: 1 шт, 0.0грн грн 	1279.25 грн
2025-05-11	<ul style="list-style-type: none"> • Різнання: 32.85 in³ шт, 657.0грн грн • Круглі отвори (свердління): 2 шт, 20.0грн грн • Піскострумінна обробка: 54.8 in² шт, 109.5грн грн • Фарбування: 54.8 in² шт, 54.75грн грн • Зварювання: 1 шт, 0.0грн грн 	841.25 грн

Рисунок 4.6 – Детальна інформація про оцінку

4.7 Порівняння поточної та попередньої оцінки

Функція порівняння оцінок надає користувачу можливість аналізувати відмінності між поточним розрахунком вартості виготовлення деталі та попередніми оцінками. Система відображає ключові дані для

кожного випадку, зокрема дату оцінки та загальну суму, що дає користувачеві змогу швидко побачити, як змінились вартості з часом. Це зручний інструмент для відстеження динаміки змін в процесі розрахунків, особливо в умовах, коли необхідно врахувати коригування параметрів або зміну матеріалів.

Порівняння оцінок дозволяє користувачеві не тільки відстежувати, як змінюється ціна виготовлення, але й допомагає виявити потенційні відхилення або непередбачувані витрати. Цей інструмент є корисним для фінансових аналізів, планування бюджету або оптимізації витрат на виробництво. Завдяки порівнянню користувач має змогу приймати більш обґрунтовані рішення, засновані на фактичних даних про зміни вартості виготовлення деталі (рисунок 4.7).

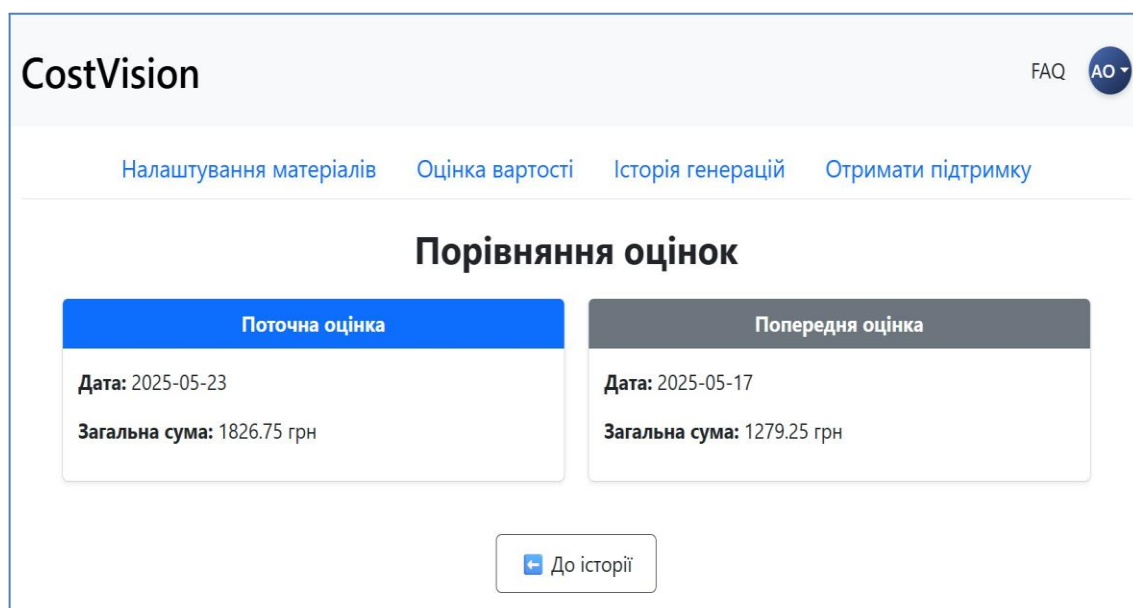


Рисунок 4.7 – Порівняння поточної та попередньої оцінки

4.8 Історія оцінок та операцій

Сторінка історії є важливим елементом системи, оскільки вона зберігає всі попередні оцінки вартості виготовлення деталей (рисунок 4.8).

Дата	Замовник	Файл	Операції	Сума
2025-05-23	НУРЕ ХНУРЕ - Харьковский национальный университет радиоэлектроники	10612-00.DXF	Детальніше	1826.75 грн
2025-05-17	Nure	10612-00.DXF	Детальніше	1279.25 грн
2025-05-11	sd	10612-00.DXF	Детальніше	841.25 грн

Рисунок 4.8 – Історія оцінок та операцій

Це дає користувачеві змогу зручно переглядати всі виконані розрахунки, щоб відстежити зміни або повторно використовувати раніше введені дані. Кожен запис в історії містить ключову інформацію, таку як дата проведення оцінки, ім'я замовника, назва файлу DXF, за яким була виконана оцінка, а також загальна сума виготовлення деталі. Це дозволяє користувачеві швидко знаходити необхідні дані та порівнювати їх з іншими попередніми розрахунками.

Окрім можливості переглядати старі оцінки, система також надає можливість видаляти їх, що особливо корисно для очищення бази даних від застарілої або непотрібної інформації. Це забезпечує гнучкість у використанні та зручність для користувача, особливо в разі, коли потрібно підтримувати актуальність даних в системі. Сторінка історії також надає посилання на деталі для кожної оцінки, що дозволяє користувачу швидко перейти до більш детальної інформації та зробити порівняння з іншими розрахунками.

4.9 Налаштування вартості обробки

Перед тим, як здійснити розрахунок вартості виготовлення деталі, користувач повинен налаштувати ціни на окремі технологічні операції відповідно до обраного матеріалу. Цей етап є обов'язковим, оскільки коректне налаштування вартостей забезпечує точність і надійність подальших розрахунків.

На сторінці налаштувань користувач має можливість вибрати тип матеріалу з випадаючого списку. Наприклад, це може бути алюміній, сталь або пластик.

Після вибору матеріалу, користувач задає значення вартості для кожної з операцій, що входять у процес виготовлення деталі. Це включає вартість різання, згинання, зварювання, піскоструминної обробки, фарбування та свердління круглих отворів.

Для кожної операції передбачена можливість введення вартості за певну одиницю вимірювання, що є важливим для точності розрахунку. Наприклад, вартість різання задається за одиницю об'єму (1 in^3), а вартість фарбування – за одиницю площі (1 in^2). Це дає змогу максимально точно врахувати специфіку кожної технологічної операції та матеріалу, що використовуються у виготовленні деталі.

Після того як усі значення введені, користувач повинен натиснути кнопку «Зберегти» для підтвердження налаштувань. Якщо з якихось причин потрібно скасувати внесені зміни, є можливість натискання кнопки

«Скинути», що поверне налаштування до їх попереднього стану, зберігаючи всі незмінні параметри (рисунок 4.9).

Важливо зауважити, що без попереднього налаштування вартості система не зможе здійснити точний розрахунок вартості виготовлення деталі. Це забезпечує, що всі розрахунки будуть виконані на основі актуальних і коректних даних.

CostVision FAQ

Налаштування матеріалів [Оцінка вартості](#) [Історія генерацій](#) [Отримати підтримку](#)

Налаштування вартості обробки

МАТЕРІАЛ МЕТАЛУ Алюміній

Назва операції	Ціна за 1 одиницю (грн)
Різання (за 1 in ³)	20,0
Згинання	3,0
Зварювання (фіксовано)	20,0
Піскоструминна обробка (за 1 in ²)	2,0
Фарбування (за 1 in ²)	1,0
Свердління круглих отворів (за 1 отвір)	10,0

Зберегти
Скинути
Закрити

Рисунок 4.9 – Налаштування вартості обробки для матеріалу

4.10 Форма зворотного зв'язку

Сторінка «Отримати підтримку» надає користувачеві можливість залишити повідомлення про будь-які проблеми або неполадки, що виникли під час використання системи. Це зручний інструмент для швидкого звернення до технічної підтримки або отримання допомоги у разі виникнення труднощів з роботою програми.

Інтерфейс цієї сторінки оформлений у дружньому та зрозумілому стилі, що сприяє зниженню рівня стресу користувача у випадках помилок або неполадок. Всі елементи форми інтуїтивно зрозумілі та прості у використанні, щоб кожен користувач, незалежно від рівня технічної підготовки, міг без труднощів заповнити форму і надіслати повідомлення.

Після заповнення форми користувач може вказати тип проблеми, додати деталі та, за потреби, прикріпити файли, що допоможуть службі підтримки точніше зрозуміти ситуацію. Це дозволяє швидко і ефективно

вирішувати проблеми, що виникають у процесі роботи з системою.

Форма також містить поле для вказівки контактних даних, щоб технічна підтримка могла зв'язатися з користувачем для надання додаткової допомоги або уточнення деталей проблеми (рисунок 4.10). Цей процес забезпечує високий рівень обслуговування користувачів і гарантує, що всі запити будуть оброблені швидко і ефективно.

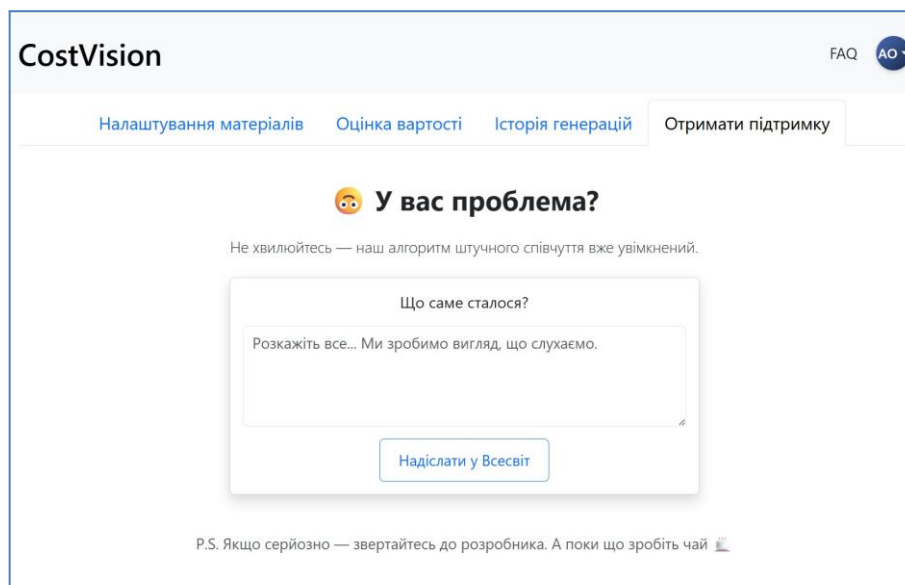


Рисунок 4.10 – Форма зворотного зв'язку

4.11 Тестування

Програма пройшла всебічне тестування з використанням реальних файлів креслень для того, щоб переконатися в її надійності та точності. Під час тестування було перевірено кілька критичних аспектів функціональності системи, щоб забезпечити її безперебійну роботу в умовах реального використання.

Перш за все, було протестовано валідацію введених даних. Це дозволило переконатися, що система коректно обробляє файли різних форматів і налаштування користувачів, а також забезпечує точність введення і правильну перевірку на етапі завантаження файлу.

Наступним етапом було тестування розрахунку вартості в залежності від параметрів. Це включало перевірку, чи система правильно виконує всі необхідні обчислення на основі вхідних даних, таких як товщина матеріалу, тип операцій, кількість одиниць тощо.

Також перевірялась функціональність збереження історії в базі даних, щоб переконатися, що всі попередні оцінки та налаштування зберігаються в системі, і користувач може з ними працювати, переглядати або порівнювати з іншими розрахунками.

Крім того, особливу увагу було приділено стабільності роботи програми при повторних запусках. Важливо, щоб система не втрачала дані та працювала стабільно навіть після кількох сеансів роботи або при великій кількості одночасних користувачів.

Ще одним важливим аспектом тестування було перевірка повної відповідності відображення інтерфейсу у різних браузерах (Chrome, Firefox, Edge). Це забезпечило сумісність системи з найпоширенішими браузерами, що дозволяє користувачам без проблем працювати в будь-якому з них.

Інтерфейс був розроблений таким чином, щоб бути інтуїтивно зрозумілим навіть для користувачів без технічної підготовки. Це забезпечує зручність використання та мінімізує потребу в навчанні або підтримці з боку технічних фахівців.

ВИСНОВКИ

Головною метою роботи було створення системи автоматизації оцінки вартості виготовлення деталей на основі DXF-файлів. Цей процес включав в себе кілька важливих етапів: обробку креслень, визначення геометричних параметрів деталей і, зокрема, розрахунок їх вартості. Крім того, важливим аспектом було вивчення та застосування сучасних технологій для ефективної обробки файлів, автоматизації розрахунків, а також інтеграції системи з базами даних.

Під час роботи було проведено ґрунтовний аналіз предметної галузі, а також існуючих методів для автоматизації процесів розрахунку вартості виготовлення. Особливу увагу було приділено технологіям машинного навчання та алгоритмам обробки даних, що дозволяють точно визначати параметри деталей та здійснювати коректні розрахунки вартості виготовлення.

У результаті розробки було створено систему, яка дозволяє автоматично обробляти DXF-файли, визначати геометрію деталей, виконувати розрахунок вартості виготовлення з урахуванням ключових параметрів, таких як матеріал, товщина, кількість одиниць тощо. Крім того, система зберігає історію розрахунків у базі даних, що дозволяє користувачам легко відстежувати зміни, аналізувати дані та повторно використовувати попередньо введену інформацію для нових розрахунків.

У процесі розробки була створена база даних для зберігання важливих даних користувачів, налаштувань матеріалів і історії розрахунків. Для реалізації backend-частини використовувалися потужні технології, зокрема Python, фреймворк Flask для веб-розробки та бібліотеки для роботи з даними, такі як SQLite3 та NumPy. Взаємодія з користувачем забезпечена через інтерфейс, розроблений з використанням HTML, CSS і JavaScript, що гарантує зручність і адаптивність.

Перспективи для подальшого розвитку системи є дуже багатообіцяючими. У майбутньому планується додавання нових функціональних можливостей, зокрема підтримка додаткових форматів креслень, інтеграція з іншими CAD-системами, удосконалення інтерфейсу користувача, а також покращення точності розрахунків шляхом інтеграції нових алгоритмів для обробки більш складних геометричних фігур та матеріалів.

Подальші дослідження та розробки можуть включати оптимізацію системи для роботи з великими обсягами даних, розширення її функціональності для різних галузей виробництва, а також покращення інтеграції з іншими програмними рішеннями, що дозволить значно підвищити ефективність та точність розрахунків вартості виготовлення деталей. Ці покращення забезпечать значні переваги для підприємств, спрощуючи процеси виробництва та зменшуючи витрати.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Python Software Foundation. Python 3 Documentation.
URL: <https://docs.python.org/3/> (дата звернення: 14.06.2025).
2. Pallets Projects. Flask Documentation.
URL: <https://flask.palletsprojects.com/> (дата звернення: 14.06.2025).
3. Mozg.org. ezdxf: A Python package to create and modify DXF files.
URL: <https://ezdxf.mozman.at/> (дата звернення: 14.06.2025).
4. Serral E., Gutierrez D., Sanchez A. Using Python for CAD and DXF file handling: An overview of libraries and applications // *Int. J. of Engineering and Technology*. 2019. № 8(4). С. 115–124.
5. Autodesk. DXF Documentation. DXF Reference by Autodesk.
URL: <https://www.autodesk.com/techpubs/autocad/acad2000/dxf/> (дата звернення: 14.06.2025).
6. Howse J. Python Scripts for CAD and 3D Modeling with DXF Files. Packt Publishing, 2020. 340 с.
7. Saleh O. Automating DXF Modifications with Python and ezdxf // *Real Python*. 2021. URL: <https://realpython.com/> (дата звернення: 14.06.2025).
8. Matplotlib Developers. Matplotlib Documentation.
URL: <https://matplotlib.org/stable/contents.html> (дата звернення: 14.06.2025).
9. NumPy Developers. NumPy Documentation.
URL: <https://numpy.org/doc/> (дата звернення: 14.06.2025).
10. SQLite Consortium. SQLite Documentation.
URL: <https://sqlite.org/docs.html> (дата звернення: 14.06.2025).
11. Керіш М., Девлін Д. Програмування штучного інтелекту. Підхід TensorFlow / пер. з англ. Київ: Наш Формат, 2019. 560 с.
12. TensorFlow. TensorFlow Documentation.
URL: https://www.tensorflow.org/api_docs (дата звернення: 14.06.2025).