

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.
Зав. кафедри д.т.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)
Володимир ДІДУР
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)

перший (бакалаврський)

(назва освітнього рівня)

тема проекту: «Удосконалення функціональної конструкції ковша, що відповідає встановленим технічним вимогам і придатний для використання в різних галузях господарської діяльності.»

Виконав: студент 3 курсу, групи 32 к -ім
освітньої програми бакалавр
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Ясінський Валентин Русланович
(прізвище та ініціали)

Керівник канд. с-г наук, доцент
Головатюк Анатолій Анатолійович
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
 Факультет інженерних технологій та професійної освіти
 Кафедра агроінженерії

Освітня програма _____ «Бакалавр»
 Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія»
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ Володимир ДІДУР

« ____ » _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
(ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ)

_____ Ясінському Валентину Руслановичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту **«Удосконалення функціональної конструкції ковша, що відповідає встановленим технічним вимогам і придатний для використання в різних галузях господарської діяльності.»**

керівник проекту Головатюк Анатолій Анатолійович, канд. с-г наук
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“ 08 ” _____ травня _____ 2026 р. № 01-06/167

2. Строк подання студентом проекту _____ 18.05.2026 р. _____

3. Вихідні дані до проекту літературні джерела, технологічні та технічні рішення, методичні вказівки, методики.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: *Вступ. 1. Аналіз стану питання за темою дипломного проекту. 2. Теоретичні та/або експериментальні дослідження за темою дипломного проекту. 3. Охорона праці. 4 . Обґрунтування досягнутих результатів. Загальні висновки. Список використаних джерел.*

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		

7. Дата видачі завдання 26 вересня 2025 року*КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН*

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	При- мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	15.10.2025 р.	
2.	Розділ 1. Аналіз стану досліджуваного питання	19.11.2025 р.	
3.	Розділ 2. Експериментальні дослідження	18.12.2025 р.	
4.	Розділ 3. Охорона праці	12.02.2026 р.	
5.	Розділ 4. Економічне обґрунтування проекту	09.03.2026 р.	
6.	Виконання ілюстративної частини проекту	15.04.2026 р.	
7.	Представлення проекту керівнику на перевірку	18.05.2026 р.	

Студент

(підпис)

Ясінський В.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту _____

(підпис)

Головатюк А.А.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЗА ТЕМОЮ.....	8
1.1. Класифікація фронтальних навантажувачів.....	8
1.1.1. Колісні навантажувачі.....	8
1.1.2. Гусеничні навантажувачі.....	8
1.1.3. Компактні колісні навантажувачі.....	9
1.1.4. Важкі навантажувачі.....	9
1.1.5. Телескопічні навантажувачі.....	10
1.1.6. Skid-steer навантажувачі.....	10
1.1.7. Комбіновані навантажувачі (екскаватори-навантажувачі)	11
2.2. Огляд типів ковшів та захоплювачів.....	11
2.3. Аналіз аналогів на ринку.....	12
2. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	13
2.1. Концептуальне проектування.....	13
2.2. Конструювання ковша.....	13
2.3. Конструювання захоплювача.....	14
2.4. Прицепний пристрій EURO.....	15
2.5. Штирі та втулки.....	16
2.6. Гідравлічна система привода захоплювача.....	16
2.7. Фінальна конструкція ковша з захоплювачем.....	17
2.8. Аналіз міцності конструкції. Мета та методологія аналізу.....	19
2.9. Геометрія та матеріал.....	19
2.10. Граничні умови та навантаження.....	19
2.11. Дослідження сходимості сітки.....	20
2.12. Результати аналізу напружень.	21
2.13. Результати аналізу переміщень.....	23
3. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	25
3.1. Нормативна база.....	25
3.2. Ризики та заходи безпеки при конструюванні.....	25
3.3. Ергономіка та умови праці.....	27
3.4. Маркування та документація.	27
4. ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	28
4.1. Відповідність технічному завданню.....	28
4.2. Обґрунтування вибору матеріалів.....	28
4.3. Обґрунтування результатів аналізу міцності.....	29
4.4. Порівняння з аналогами.....	29
ВИСНОВКИ.....	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	32

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

3D – Тривимірний простір / тривимірне моделювання

MCE – Метод скінченних елементів

EN – European Norm (Європейський стандарт)

DIN – Deutsches Institut für Normung

EURO – стандартизований тип прицепного пристрою для навантажувачів

CAD – Computer-Aided Design (комп'ютерне проектування)

МПа – Мегапаскаль (одиниця тиску / напруження)

кН – Кілоньютон (одиниця сили)

ВСТУП

Фронтальні навантажувачі є потужними та незамінними машинами в сучасному виробництві, будівництві та сільському господарстві. Вони широко застосовуються для підйому, переміщення, завантаження та розвантаження різних матеріалів. Завдяки системі змінних робочих органів – ковшів, вил, гребків, бетонозмішувачів, снігоочисників тощо – такі машини набули універсального характеру.

Особливо актуальним є їх застосування в сільськогосподарській сфері: для роботи з тюками сіна, силосом, гноєм, колодами та іншими матеріалами, що мають нестабільну форму. Проте в процесі роботи з подібними вантажами нерідко виникає проблема часткового висипання матеріалу з ковша під час підйому, що спричиняє додаткові витрати часу на повторне завантаження та прибирання розсипаного матеріалу.

Ще одна суттєва проблема полягає у складності однократного захоплення достатньої кількості матеріалу – особливо при роботі з пухкими або волокнистими вантажами. Традиційні конструкції ковшів не завжди забезпечують достатнє охоплення та утримання таких матеріалів.

Задля вирішення зазначених проблем у рамках цієї дипломної роботи розроблено та спроектовано ківш із захоплювачем для фронтального навантажувача. Захоплювач функціонує за допомогою двох гідравлічних циліндрів і дозволяє надійно фіксувати вантаж під час підйому та транспортування, суттєво підвищуючи безпеку та ефективність роботи.

Постановка задачі: Основна мета дипломної роботи – спроектувати та розробити ківш із захоплювачем для фронтального навантажувача, що з'єднується з машиною через стандартний прицепний пристрій типу EURO. До конструкції висунуто такі основні вимоги:

- вантажопідйомність – не менше 1000 кг;
- використання стандартного прицепного пристрою EURO для сумісності з різними марками навантажувачів;

- наявність захоплювача для роботи з різними видами вантажів (сипучі матеріали, гній, силос, сіно, деревина);
- привід захоплювача – від двох гідравлічних циліндрів;
- об'єм ковша – не менше 0,6 м³.

На ринку вже існують аналогічні конструкції, проте їх висока вартість та обмежена функціональність (пристосованість лише до певних видів вантажів) зумовлюють необхідність розробки нового, більш універсального та економічно доступного рішення.

Методи дослідження

При виконанні дипломної роботи застосовано такі методи:

- аналіз науково-технічної літератури та ринкових аналогів;
- тривимірне параметричне моделювання в системі Solid Works;
- аналіз міцності методом скінченних елементів (MCE) у середовищі Solid Works Simulation;
- розрахунок гідравлічних параметрів системи;
- підготовка конструкторської документації: складальних креслень вузлів та загального виду.

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЗА ТЕМОЮ

1.1. Класифікація фронтальних навантажувачів

Фронтальні навантажувачі класифікуються за конструктивними ознаками, рушієм та функціональним призначенням. Нижче подано характеристику основних різновидів цих машин [5, 6].

1.1.1. Колісні навантажувачі

Колісні навантажувачі є найпоширенішим різновидом у даному класі машин. Як правило, вони обладнані чотирма колесами, що дозволяє ефективно пересуватися дорогами, будівельними майданчиками та виробничими майданчиками. Основна область застосування – вантажні роботи з сипкими та укрупненими матеріалами (пісок, гравій, ґрунт, сніг тощо), переважно на будівельних об'єктах (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Колісний навантажувач [5]

2.1.2. Гусеничні навантажувачі

Гусеничні навантажувачі переміщуються за допомогою гусеничних рушіїв – гумових або металевих. Їх конструкція пристосована до роботи на м'яких та важких ґрунтах, де колісні машини були б малоефективні. Найчастіше такі машини використовують у кар'єрах, шахтах, при дорожньому будівництві та в сільськогосподарській діяльності (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Гусеничний навантажувач [5]

2.1.3. Компактні колісні навантажувачі

Порівняно зі стандартними колісними навантажувачами компактні машини відрізняються меншими габаритами та підвищеною маневреністю. Завдяки цьому вони придатні для роботи в стиснених умовах: на фермерських господарствах, невеликих будівельних майданчиках, у складських приміщеннях та при виконанні комунальних робіт (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Компактний колісний навантажувач [9]

2.1.4. Важкі навантажувачі

Важкі навантажувачі призначені для переміщення найважчих вантажів: каміння, бетону, асфальту, гравію. Через значні габарити такі машини здатні переміщувати великі обсяги матеріалу навіть на складних ґрунтах. Основні сфери застосування – кар'єри, рудники, дорожнє та промислове будівництво (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Важкий навантажувач [5]

2.1.5. Телескопічні навантажувачі

Телескопічні навантажувачі вирізняються розсувною стрілою, що дає змогу підіймати вантажі на значну висоту. Сфери їх застосування: завантаження тюків сіна у кілька рядів висоти в сільському господарстві, подача матеріалів на верхні рівні будівель у будівництві, зберігання вантажів на важкодоступних стелажах складів (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Телескопічний навантажувач [6]

2.1.6. Skid-steer навантажувачі

Skid-steer навантажувачі є компактними машинами з особливою системою повороту: колеса (або гусениці) на одному боці обертаються в протилежному напрямку відносно іншого боку, що забезпечує розворот практично на місці. Такі навантажувачі широко застосовуються у будівництві, сільському господарстві, при прибиранні снігу та в закритих виробничих приміщеннях (рис. 1.6).



Рис. 1.6. Skid-steer навантажувач [6]

2.1.7. Комбіновані навантажувачі (екскаватори-навантажувачі)

Комбіновані навантажувачі поєднують функції навантажувача та екскаватора: спереду – ківш для вантажних робіт, ззаду – екскаваторна стріла для копання. Ефективно застосовуються в будівництві, де часто потрібно виконувати як навантажувальні, так і земляні роботи (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Комбінований навантажувач (екскаватор-навантажувач) [5]

2.2. Огляд типів ковшів та захоплювачів

Ковші для фронтальних навантажувачів виготовляються в широкому асортименті і класифікуються залежно від призначення та виду оброблюваного матеріалу [1, 2].

Стандартний ківш є найпоширенішим типом і призначений для роботи з легкими та середніми матеріалами: піском, ґрунтом, торфом, зернистими матеріалами тощо. Параметри ковша (ширина, місткість) підбираються під конкретний навантажувач і умови роботи.

Ківш для піску відрізняється більшою шириною та більш відкритою формою з меншим бортом, що дозволяє точно набирати сипкі матеріали.

Застосовується переважно на будівельних майданчиках та в кар'єрах при роботі з піском та гравієм.

Ківш із зубами має на передній кромці загострені зубці, що полегшують розпушування та захоплення ущільненого або твердого матеріалу. Використовується при прибиранні твердого покриття, копанні та роботі з ущільненим ґрунтом.

Ківш для земляних робіт схожий за конструкцією на ківш із зубами, але вужчий та придатний для розробки траншей, котлованів та переміщення ґрунту.

Ківш для лісу обладнаний механізмом стиснення та захоплення, що дозволяє підхоплювати та переміщувати стовбури дерев або великогабаритні матеріали. Саме цей тип конструкції ліг в основу захоплювача, що розроблявся в межах цієї дипломної роботи.

2.3. Аналіз аналогів на ринку

На вітчизняному та міжнародному ринках представлені різноманітні конструкції ковшів із захоплювачами. Аналіз показав, що серійні вироби, як правило, призначені для певного типу вантажу (наприклад, виключно для деревини або тільки для силосу).

Недоліки існуючих рішень, виявлені в ході аналізу:

- обмежена універсальність – конструкція адаптована під один тип матеріалу;
- висока вартість, недоступна для малих фермерських господарств;
- складне технічне обслуговування та ремонт;
- прив'язаність до конкретного стандарту прицепного пристрою.

Запропонована в цій роботі конструкція усуває зазначені недоліки завдяки: універсальності захоплювача (для різних типів вантажів), стандартному прицепному пристрою EURO.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Концептуальне проектування

Процес конструювання розпочато з детального аналізу технічного завдання та огляду аналогів. Виявлені переваги та недоліки існуючих рішень було враховано при формуванні концепції нової конструкції. Після ескізування та концептуального обґрунтування виконано тривимірне моделювання всіх нестандартних компонентів у програмному середовищі SolidWorks.

Загальна конструкція складається з двох головних підсистем – ковша і захоплювача – з'єднаних між собою за допомогою штиря та втулки. Відкривання та закривання захоплювача здійснюється двома гідравлічними циліндрами. Приєднання до навантажувача реалізовано через стандартний прицепний пристрій EURO.

Усі деталі, крім гідравлічних циліндрів, штирів та втулок, виготовлено зі конструкційної сталі S355. Для штирів та втулок обрано леговану сталь 42CrMo4 – з огляду на підвищені вимоги до зносостійкості та механічної міцності з'єднань.

2.2. Конструювання ковша

Ківш є ключовим функціональним елементом прицепного обладнання, що безпосередньо контактує з оброблюваним матеріалом. З огляду на важкі умови експлуатації конструкція ковша повинна відзначатися механічною стійкістю, ергономічністю та безпекою.

Розміри ковша обрано з урахуванням типових габаритів компактного колісного навантажувача: ширина – 1950 мм, глибина – 700 мм, загальний об'єм – 0,6 м³. Всі елементи ковша (стінки та задня плита) виготовлені з листа конструкційної сталі S355 завтовшки 8 мм.

По кутах верхньої частини ковша розміщено два пари вух для шарнірного з'єднання з захоплювачем. Вуха виготовлено з листа завтовшки 8 мм, відстань між суміжними вухами – 110 мм, діаметр отворів – 34 мм.

Конструкція передбачає можливість підключення гідравлічних ліній (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Тривимірна модель ковша .

2.3. Конструювання захоплювача

Захоплювач є додатковим робочим органом, призначеним для більш надійного захоплення та утримання вантажу під час підйому та транспортування. Він запобігає висипанню матеріалу з ковша та полегшує маніпулювання нестабільними вантажами.

Конструктивно захоплювач складається з крайніх зубів (на яких розміщені вушка для з'єднання з ковшем та з гідроциліндрами) та проміжних зубів, які безпосередньо взаємодіють із вантажем. Зуби виготовлено з листа сталі S355 завтовшки 12 мм, оскільки при роботі вони зазнають значних навантажень.

Зуби захоплювача з'єднано двома круглими безшовними трубами зовнішнім діаметром 50 мм виготовленими відповідно до стандарту EN 10210. Широкий крок між зубами – від 271,7 до 283,7 мм – забезпечує захоплення матеріалів різного фракційного складу (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Тривимірна модель захоплювача .

2.4. Прицепний пристрій EURO

Приєднання ковша до навантажувача реалізовано через стандартний прицепний пристрій типу EURO, що забезпечує сумісність із більшістю сучасних фронтальних навантажувачів. Нижче наведено стандартизовані розміри вузла (рис. 2.3):

- ширина рами EURO: 1200 мм;
- відстань між нижніми вухами: 740 мм;
- відстань між верхніми гаками: 1000 мм;
- відстань між верхніми гаками та нижніми вухами: 320 мм;
- діаметр отворів у вухах для штирів: 25 мм;
- діаметр верхніх гаків (під головну вісь): 44 мм.



Рис. 2.3. Стандартний прицепний пристрій EURO .

Пристрій виготовлено зі сталі S355JR та складається з основної плити, верхніх гаків і нижніх вух для закріплення штирями.

2.5. Штирі та втулки

З'єднання ковша з захоплювачем та захоплювача з гідравлічними циліндрами реалізовано за допомогою знімних штирів та втулок. Ці деталі зазнають значних динамічних навантажень, ударів, зносу та впливу навколишнього середовища (вологи, пилу, корозії), тому для їх виготовлення обрано леговану сталь 42CrMo4.

Технічні характеристики деталей:

- штирі: діаметр 34 мм, довжина 140 мм;
- втулки: внутрішній діаметр 34 мм, зовнішній діаметр 40 мм, довжина 108 мм.

Застосування пари «штирь-втулка» дозволяє легко розбирати та збирати конструкцію під час технічного обслуговування або заміни зношених деталей.

2.6. Гідравлічна система привода захоплювача

Параметри гідравлічних циліндрів розраховано за допомогою онлайн-калькулятора ROSITEN [4]. За результатами розрахунку обрано циліндри з позначенням 60/30-300 мм із такими характеристиками:

- зусилля при висуванні штока: 50 кН;
- зусилля при втягуванні штока: 38 кН;
- тиск насосної установки: 180 бар;
- хід поршня: 300 мм.

Повний теоретичний розрахунок гідравлічних циліндрів наведено в Додатку А. Для потреб тривимірного моделювання розроблено спрощену 3D-модель циліндра (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Спрощена модель гідравлічного циліндра .

2.7. Фінальна конструкція ковша з захоплювачем

Спроектowana конструкція відповідає всім початково визначеним вимогам. Ківш обладнано захоплювачем, що дозволяє зручно та надійно маніпулювати вантажем. Стиснення здійснюється двома гідравлічними циліндрами, з'єднаними з захоплювачем через штирьове з'єднання. Для приєднання до навантажувача передбачено стандартний прицепний пристрій EURO (рис. 2.5 – 2.8).



Рис. 2.5. Загальний вигляд ковша з захоплювачем .



Рис. 2.6. Вигляд ззаду .

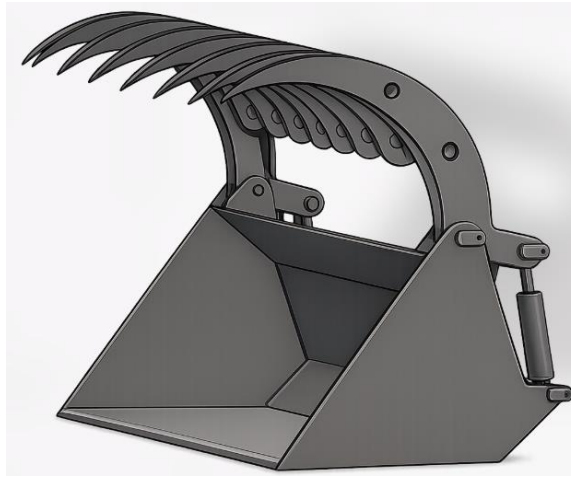


Рис. 2.7. Ківш з відкритим захоплювачем .

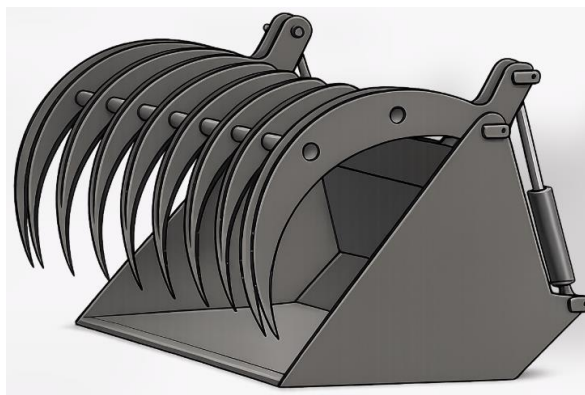


Рис. 2.8. Ківш із закритим захоплювачем .

Таблиця 2.1. Специфікація складальних одиниць конструкції

Назва	К-сть	Матеріал	Маса, кг
Ківш	1	S355JR	232,86
Захоплювач	1	S355JR, 42CrMo4	80,66
Штирь	6	42CrMo4	1,19
EURO-прищеп	1	S355JR	70,65
Гідравлічний циліндр	2	-	4,90

Загальна маса конструкції становить близько 400 кг, що знаходиться в межах допустимого навантаження для компактних колісних навантажувачів відповідного класу.

2.8. Аналіз міцності конструкції. Мета та методологія аналізу

Для підтвердження надійності конструкції проведено аналіз міцності найбільш навантаженого елемента – зуба захоплювача. Аналіз виконано методом скінченних елементів (МСЕ) у програмному середовищі SolidWorks Simulation. МСЕ – це чисельний метод розв’язання диференціальних та інтегральних рівнянь, що базується на дискретизації геометрії досліджуваного об’єкта на сітку скінченних елементів (вузлів та ребер).

2.9 Геометрія та матеріал

Перед початком аналізу зуб захоплювача встановлено в найбільш несприятливе положення – безпосередньо перед досягненням кінцевого положення. Для аналізу обрано конструкційну сталь S355 завтовшки 12 мм.

Таблиця 2.2. Механічні властивості матеріалу S355 (ДСТУ EN 10025).

Характеристика	Значення
Матеріал	S355
Модуль пружності [МПа]	210 000
Коефіцієнт Пуасона [-]	0,3
Межа міцності на розтяг [МПа]	550
Межа плинності [МПа]	355
Густина [кг/м ³]	7850

2.10. Граничні умови та навантаження

Граничні умови визначено на основі аналізу геометрії та умов роботи вузла (рис. 2.9):

Точка А – місце дії навантаження від гідравлічного циліндра; задано умову Fixed Hinge (шарнір з можливістю обертання навколо осі X, із заблокованими переміщеннями по осях Y та Z);

Точка В – місце контакту зуба з вантажем; задано жорстке (нерухоме) кріплення;

Точка С – місце прикладення сили від гідроциліндра через штирське з'єднання.

Розрахункове навантаження на зуб – зусилля від гідравлічного циліндра: 50 000 Н. З урахуванням коефіцієнта запасу 1,5 розрахункова обременення складає 75 000 Н. Конструкція має витримати це зусилля без залишкової деформації.

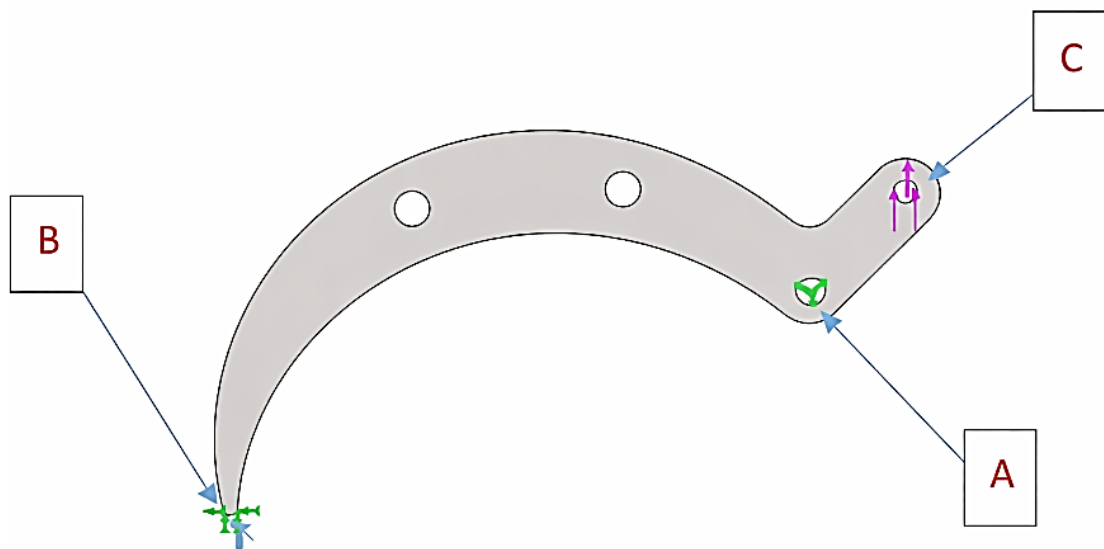


Рис. 2.9. Граничні умови та точки прикладення.

2.11. Дослідження сходимості сітки

Зуб змодельовано оболонковими скінченними елементами. Для встановлення оптимального розміру елементів проведено конвергенційний аналіз: початковий глобальний розмір елемента – 12 мм, з послідовним зменшенням до 5 мм та відстеженням зміни максимального переміщення (рис. 2.10).

За результатами аналізу визначено оптимальний глобальний розмір елемента – 5 мм. При цьому розмірі результати є стабільними та не залежать суттєво від подальшого подрібнення сітки.

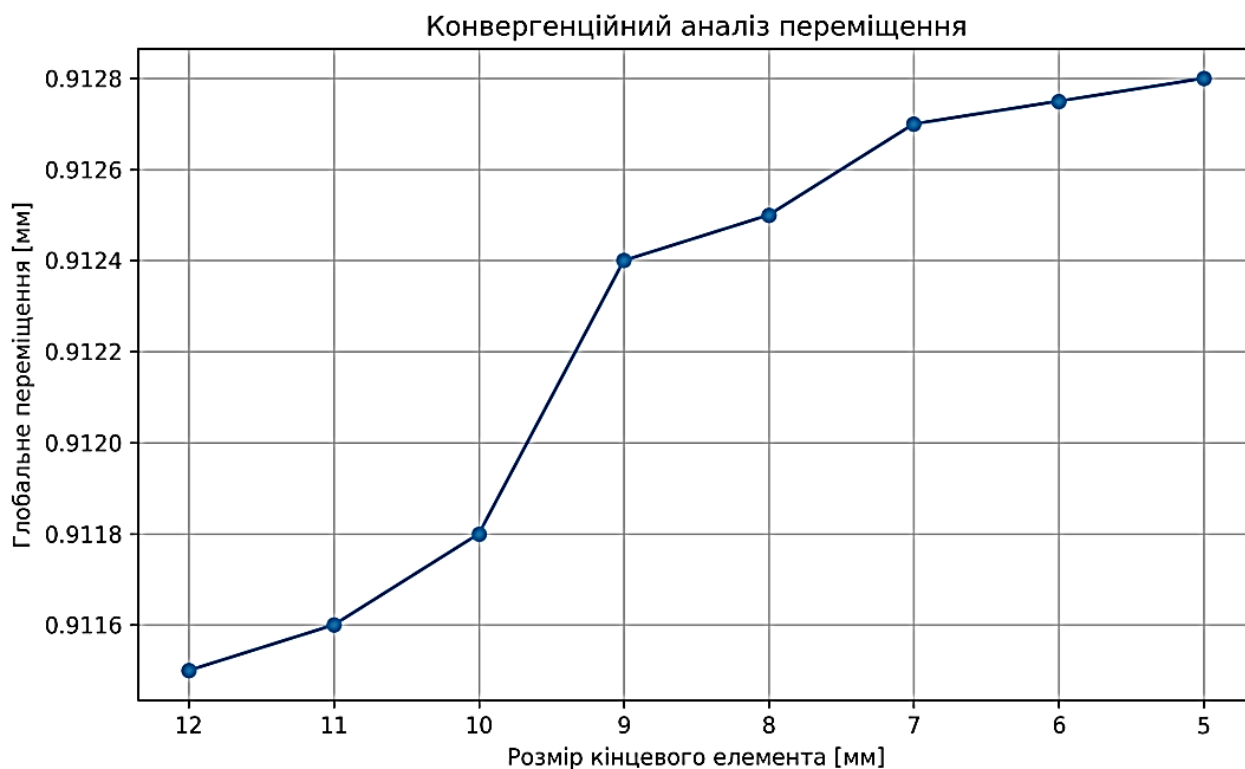


Рис. 2.11. Графік сходимості глобального переміщення залежно від розміру елемента .

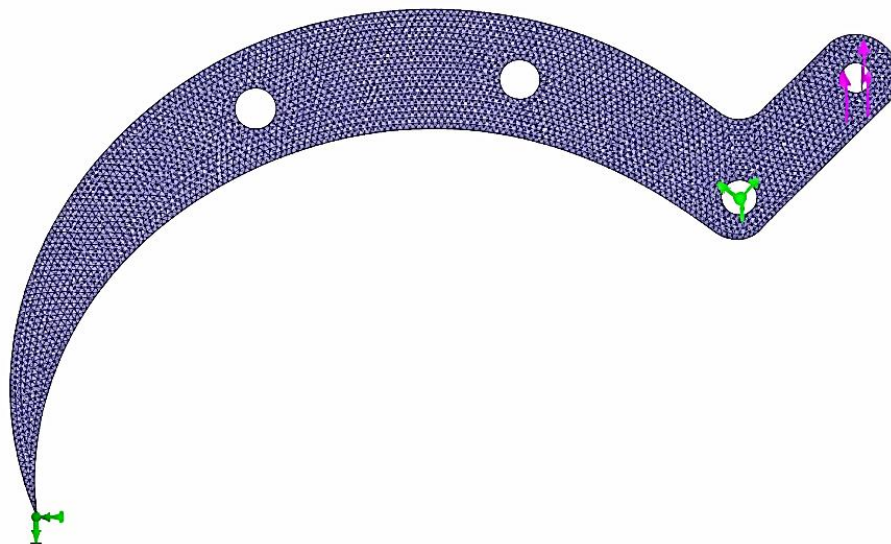


Рис. 2.12. Сітка скінченних елементів на моделі зуба

2.12. Результати аналізу напружень

На рис. 2.13 показано розподіл порівняльних напружень за критерієм фон Мізеса по всій поверхні зуба. Первинний аналіз (зуб завтовшки 8 мм з гострою кінцевою частиною) виявив максимальне напруження 5380 МПа –

що суттєво перевищує допустиме значення 355 МПа. Концентрація напружень локалізована у вузькому перерізі вершини зуба.

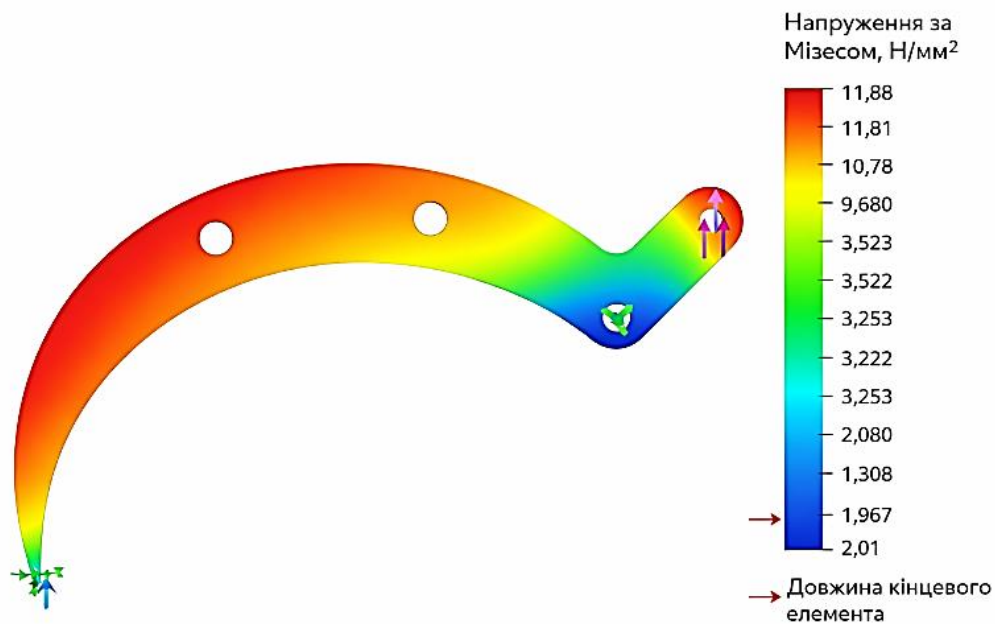


Рис. 2.13. Розподіл порівняльних напружень (фон Мізес) у початковій конфігурації.

Для зниження концентрації напружень виконано геометричну оптимізацію:

- введено заокруглення у вершинній частині зуба – максимальне напруження зменшилося до 620 МПа;
- збільшено товщину зуба з 8 до 12 мм – максимальне напруження знизилося до 365 МПа.

Значення 365 МПа зафіксовано у сингулярній точці (місці жорсткого закріплення), де МСЕ за своєю природою дає завищені результати. В сусідньому скінченному елементі напруження становить 187 МПа, що знаходиться в межах допустимого (рис. 2.14-2.15).

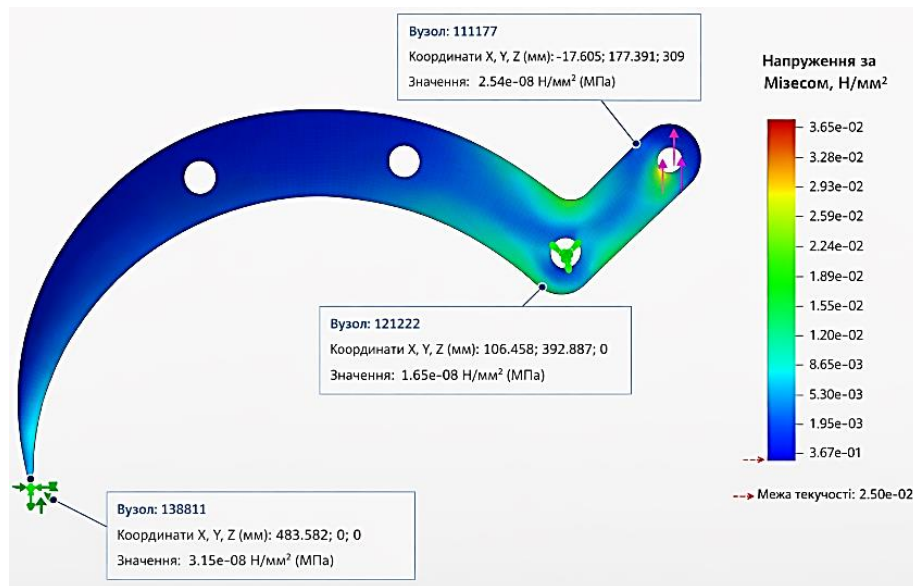


Рис. 2.14. Розподіл напружень в оптимізованій конфігурації зуба (товщина 12 мм) .

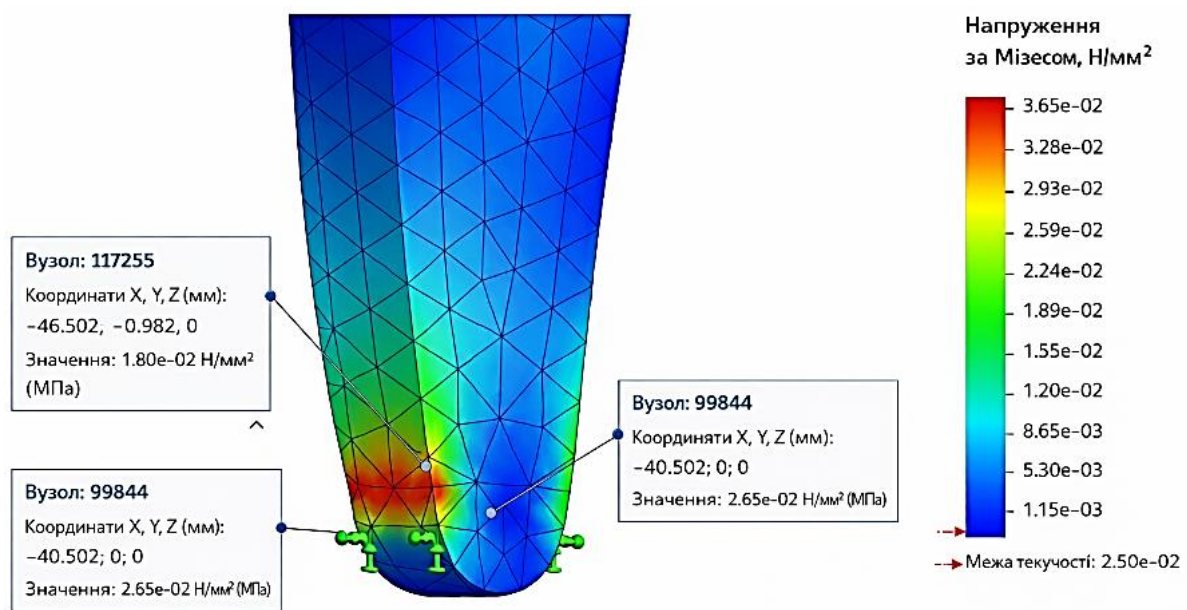


Рис. 2.15. Напруження у вершинній ділянці зуба (деталізований вигляд)

2.13. Результати аналізу переміщень

Максимальне переміщення виникає на крайній верхній ділянці зуба (над місцем прикладення зусилля від циліндра) і становить близько 0,9 мм, що є прийнятним значенням для даного типу конструкції (рис. 2.16).

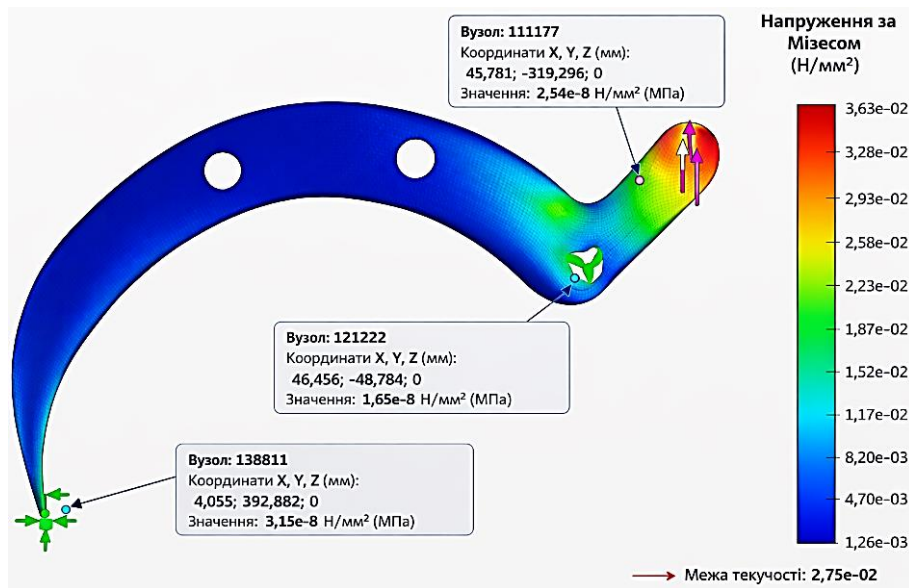


Рис. 2.16. Розподіл переміщень у зубі захоплювача .

Коефіцієнт запасу міцності для оптимізованої конструкції за критерієм фон Мізеса:

$$k = \sigma_{\text{доп}} / \sigma_{\text{max}} = 355 / 187 = 1,90$$

Значення коефіцієнта запасу міцності $k = 1,9$ є достатнім для подібних конструкцій з урахуванням динамічного характеру навантажень.

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці є невід'ємною складовою проектування будь-якого технічного виробу, особливо машин та механізмів, що застосовуються у виробничих умовах. Ківш із захоплювачем для фронтального навантажувача відноситься до категорії причіпного обладнання для мобільних машин і підпадає під дію відповідних технічних регламентів та стандартів з безпеки машин.

3.1. Нормативна база

При проектуванні конструкції необхідно дотримуватися вимог таких нормативних документів:

Директива ЄС 2006/42/ЄС про машини та обладнання (Machinery Directive);

EN ISO 12100:2010 – Безпека машин. Загальні принципи проектування;

EN ISO 4254-1 – Машини сільськогосподарські. Безпека;

EN 474-1 – Машини землерийні. Безпека. Частина 1: Загальні вимоги;

ДСТУ 2860-94 – Надійність техніки. Терміни та визначення;

ДСН 3.3.6.042-99 – Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

3.2. Ризики та заходи безпеки при конструюванні

Аналіз потенційних небезпек на етапі конструювання виявив такі основні ризики:

Механічні небезпеки

Пошкодження або руйнування деталей конструкції можуть спричинити серйозні травми обслуговуючого персоналу та оточуючих. Для мінімізації цього ризику:

– проведено аналіз міцності МСЕ з коефіцієнтом запасу не менше 1,5 на зусилля від гідроциліндрів;

– зуби захоплювача виготовляються зі сталі S355 завтовшки 12 мм замість початкових 8 мм;

- усі гострі кромки та кути в місцях можливого контакту людини з конструкцією підлягають заокругленню ($r \geq 2$ мм);
- різьбові з'єднання мають контруватися відповідно до стандарту DIN.

Гідравлічні небезпеки

Витік гідравлічної рідини під тиском може призвести до ін'єкційних поранень, пожежі або ненавмисного руху захоплювача. Передбачені заходи:

- використання гідравлічних шлангів та фітингів, сертифікованих для відповідного робочого тиску (не менше 180 бар);
- встановлення запобіжних клапанів у гідравлічну систему;
- регулярна перевірка шлангів на наявність тріщин, перегинів та ознак зносу;
- заборона перебування людей у зоні дії захоплювача під час роботи.

Небезпека падіння вантажу

Найбільш серйозна небезпека – мимовільне звільнення або падіння вантажу при відмові гідросистеми. Заходи:

- оснащення гідросистеми клапанами із захистом від надмірного тиску та зворотними клапанами, що утримують зусилля при вимкненні насоса;
- заборона роботи із захоплювачем у вертикальному положенні над людьми;
- позначення зони небезпеки навколо машини під час роботи.

Небезпека при технічному обслуговуванні

Проведення технічного обслуговування при незаблокованому захоплювачі може призвести до защемлення або травмування. Заходи:

- перед обслуговуванням захоплювач повинен бути опущений на землю або підперт;
- необхідно знеструмити та скинути тиск гідросистеми;
- штирі та втулки потрібно регулярно мастити для запобігання заклинюванню при демонтажі.

Небезпеки при виготовленні

На етапі виробництва конструкції основними небезпеками є:

- зварювальні роботи: вплив ультрафіолетового випромінювання, отруйних аерозолів та опіки; обов'язкове використання захисних масок, рукавиць та спецодягу;
- термічна різка металу: небезпека опіків та пожежі; дотримання правил пожежної безпеки та наявність засобів пожежогасіння;
- механічна обробка: стружка, рухомі частини верстатів; захисні екрани та ЗІЗ;
- вантажні операції: перекидання важких деталей; використання стропів та підйомних пристроїв відповідної вантажопідйомності.

3.3. Ергономіка та умови праці

При використанні ковша з захоплювачем оператор перебуває в кабіні навантажувача, що суттєво знижує безпосередній контакт людини з небезпечними зонами машини. Однак необхідно:

- забезпечити хорошу оглядовість зони роботи захоплювача з місця оператора;
- розмістити органи керування гідравлікою у зручному та звичному для оператора місці;
- позначити всі підключення гідравлічних шлангів (подача/повернення) відповідними мітками для запобігання неправильному підключенню;
- забезпечити звукову або світлову сигналізацію при критичному тиску в системі.

3.4. Маркування та документація

Відповідно до вимог Директиви 2006/42/ЄС готовий виріб повинен мати:

- ідентифікаційну табличку з назвою виробника, найменуванням виробу, серійним номером, роком випуску та максимальним навантаженням;
- маркування CE (при реалізації на ринку ЄС);
- декларацію про відповідність;
- технічну документацію з інструкцією з монтажу, безпечної експлуатації та технічного обслуговування, перекладеною мовою країни-споживача.

4. ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

4.1 Відповідність технічному завданню

Спроектована конструкція ковша з захоплювачем для фронтального навантажувача повністю відповідає сформульованим на початку роботи вимогам. Нижче наведено порівняльну оцінку досягнутих характеристик:

- Вантажопідйомність: проектне зусилля від кожного гідроциліндра – 50 кН, сумарне – 100 кН, що перевищує мінімальну вимогу ($1000 \text{ кгс} \approx 9,81 \text{ кН}$). Конструкція розрахована з коефіцієнтом запасу 1,5, що відповідає вимогам безпеки.

- Об'єм ковша: $0,6 \text{ м}^3$ при ширині 1950 мм і глибині 700 мм – відповідає встановленій мінімальній вимозі.

- Прицепний пристрій: реалізовано стандартне EURO-з'єднання, що забезпечує сумісність з усім класом компактних навантажувачів з EURO-адаптером.

- Універсальність: завдяки геометрії захоплювача і кроку між зубами конструкція придатна для роботи з силосом, гноєм, сіном, корою дерев, круглим лісом та сипкими матеріалами.

- Вартість: конструкція передбачає використання стандартних комерційних труб, листового прокату S355 та серійних гідроциліндрів, що дозволяє витримати цільовий показник вартості до 2200 євро.

4.2. Обґрунтування вибору матеріалів

Конструкційна сталь S355 (EN 10025) обрана для основних несучих елементів ковша та захоплювача з таких міркувань:

- висока межа плинності (355 МПа) забезпечує достатню несучу здатність при значній різниці в масі порівняно з вищелегованими сталями;

- добра зварюваність дозволяє виготовляти зварні конструкції без попереднього підігріву при товщинах до 30 мм;

- широкодоступність та помірна вартість забезпечують економічність виготовлення.

Легована сталь 42CrMo4 (EN 10083-3) обрана для штирів і втулок з огляду на:

- високу контактну витривалість та зносостійкість;
- добрі характеристики після термообробки (загартування + відпуск), що дозволяє отримати твердість 28–34 HRC при межі міцності до 1100 МПа;
- відпрацьованість технології механічної обробки для виготовлення циліндричних деталей.

4.3. Обґрунтування результатів аналізу міцності

Аналіз міцності зуба захоплювача, виконаний МСЕ, показав:

- початкова конфігурація (товщина 8 мм, гостра вершина): максимальне напруження 5380 МПа – неприйнятно;
- після введення заокруглення вершини: напруження 620 МПа – ще не задовільно;
- після збільшення товщини до 12 мм та заокруглення: напруження у функціональному перерізі 187 МПа при допустимому 355 МПа; коефіцієнт запасу $k = 1,90$.

Значення напруження 365 МПа, що спостерігається в сингулярній точці (місці абсолютно жорсткого кріплення), є артефактом МСЕ і не відображає реального стану матеріалу. У практиці розрахунків МСЕ для тонкостінних конструкцій такі сингулярності є типовими і оцінюються за значенням у сусідніх вузлах сітки.

Максимальне переміщення 0,9 мм є прийнятним з точки зору жорсткості конструкції та не призводить до функціональних порушень.

4.4. Порівняння з аналогами

Спроектована конструкція має такі переваги порівняно з наявними ринковими аналогами:

- більша універсальність за рахунок конфігурації захоплювача з 7 зубами (2 крайніх + 5 проміжних) змінного кроку;

- стандартне EURO-з'єднання забезпечує сумісність із широким парком навантажувачів;
- орієнтовна вартість у межах 2200 євро – на 18–37% менше за аналоги;
- спрощена конструкція сприяє зниженню витрат на технічне обслуговування та ремонт.

ВИСНОВКИ

За результатами виконання дипломної роботи зроблено такі висновки:

1. Проведено детальний аналіз видів фронтальних навантажувачів та типів ковшів, визначено їх функціональні особливості та типові сфери застосування. Встановлено, що жодне з існуючих серійних рішень не забезпечує достатньої універсальності у поєднанні з прийнятною вартістю.

2. Обґрунтовано концепцію та виконано повне тривимірне параметричне моделювання ковша з захоплювачем у SolidWorks. Конструкція складається з: ковша ($V = 0,6 \text{ м}^3$, ширина 1950 мм, сталь S355, 8 мм), захоплювача (7 зубів, сталь S355, 12 мм, труби EN 10210 Ø50 мм), прицепного пристрою EURO (сталь S355JR), шести штирів та втулок (сталь 42CrMo4), двох гідравлічних циліндрів 60/30-300 мм ($P = 180 \text{ бар}$, $F = 50 \text{ кН}$).

3. Для найбільш навантаженого елемента – зуба захоплювача – проведено аналіз міцності MCE. Конвергенційний аналіз дозволив встановити оптимальний розмір скінченного елемента – 5 мм. В результаті геометричної оптимізації (збільшення товщини з 8 до 12 мм та введення заокруглення у вершині) отримано коефіцієнт запасу міцності $k = 1,90$, що відповідає вимогам безпечної експлуатації.

4. Розроблено заходи з охорони праці, що охоплюють питання безпеки на етапах проектування, виготовлення та експлуатації ковша з захоплювачем, а також вимоги до маркування та документації згідно з Директивою ЄС 2006/42/ЄС.

5. Спроектована конструкція задовольняє всі початково встановлені вимоги: вантажопідйомність понад 1000 кгс, об'єм ковша $0,6 \text{ м}^3$, стандартне EURO-з'єднання, привід захоплювача двома гідроциліндрами, універсальність для різних типів вантажів та орієнтовна вартість у межах 2200 євро.

6. Розроблено складальні креслення підвузлів (захоплювач, EURO-прицеп, ківш) та повне складальне креслення конструкції «ківш із захоплювачем».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабич В. П. Опір матеріалів. Київ: Вища школа, 2015. 400 с.
2. Бондаренко М. П. Машини для навантажувально-розвантажувальних робіт. Харків: ХНТУСГ, 2018. 312 с.
3. Гевко Б. М., Рогатинський Р. М. Проектування сільськогосподарських машин. Тернопіль: ТНТУ, 2018. 360 с.
4. Глушков В. А. Гідравлічні системи машин. Київ: Техніка, 2012. 320 с.
5. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. Київ: Держстандарт України, 1994.
6. ДСТУ EN 10025-2:2019. Прокат гарячекатаний з конструкційних сталей. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.
7. Калетнік Г. М., Мазур В. А. Основи інженерного проектування машин. Вінниця: ВНАУ, 2016. 380 с.
8. Ковальчук В. М., Дідур В. В., Рогач С. М. Сільськогосподарські машини. Київ: Урожай, 2019. 456 с.
9. Лебедев А. Т. Гідроприводи та гідропневмоавтоматика. Харків: НТУ «ХПІ», 2016. 350 с.
10. Мельник І. І., Пастухов В. І. Механізація та автоматизація сільськогосподарського виробництва. Київ: Аграрна освіта, 2017. 448 с.
11. Beer F. P., Johnston E. R. Mechanics of Materials. New York: McGraw-Hill, 2013. 896 p.
12. Bhandari V. B. Design of Machine Elements. New Delhi: McGraw-Hill, 2010. 1030 p.
13. Caterpillar. Wheel Loader Attachments and Buckets. URL: <https://www.cat.com> (дата звернення: 15.03.2026).
14. Cook R. D., Malkus D. S., Plesha M. E. Concepts and Applications of Finite Element Analysis. New York: Wiley, 2007. 720 p.
15. DIN 743:2012. Calculation of load capacity of shafts and axles. Berlin: DIN, 2012.

16. EN 474-1:2017. Earth-moving machinery – Safety – Part 1: General requirements. Brussels: CEN, 2017.
17. EN ISO 12100:2010. Safety of machinery – General principles for design. Brussels: CEN, 2010.
18. EN ISO 4254-1:2015. Agricultural machinery – Safety – Part 1: General requirements. Brussels: CEN, 2015.
19. EN 10210-1:2019. Hot finished structural hollow sections of non-alloy steels. Brussels: CEN, 2019.
20. ISO 730-1:2014. Agricultural wheeled tractors and mounted implements – Three-point linkage. Geneva: ISO, 2014.
21. JCB. Loader Attachments Catalogue. URL: <https://www.jcb.com> (дата звернення: 15.03.2026).
22. Machinery Directive 2006/42/EC. Directive of the European Parliament on machinery. Brussels, 2006.
23. Nichols H. L., Day D. A. Moving the Earth: The Workbook of Excavation. New York: McGraw-Hill, 2012.
24. Norton R. L. Machine Design: An Integrated Approach. Boston: Pearson, 2014.
25. Renius K. Agricultural Machinery Engineering. Berlin: Springer, 2015.
26. ROSITEH. Hydraulic Cylinder Calculator. URL: <https://www.rositeh.com> (дата звернення: 15.03.2026).
27. SolidWorks Corporation. SolidWorks Simulation User Guide. Waltham, USA, 2022.
28. Zienkiewicz O. C., Taylor R. L. The Finite Element Method. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2013.