Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Технічної механіки та сільськогосподарських машин
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр
(назва освітнього ступеня)

на тему: **Підвищення надійності коренезбиральної машини з удосконаленням приводу гідронасоса**

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МГ-41
спеціальності 208
Агроінженерія
(шифр і назва спеціальності)

_____ Чарковський Б.Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Олексюк А.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____ Сташків М.Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри _____ Бабій А.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра Технічної механіки та сільськогосподарських машин
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Бабій А.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 20___ р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 208 Агроінженерія
(шифр і назва спеціальності)
студенту Чарковському Богдану Ярославовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)
1. Тема роботи Підвищення надійності коренезбиральної машини з удосконаленням приводу гідронасоса

Керівник роботи Олексюк Василь Петрович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
Затверджені наказом ректора від «22» січня 2026 року № 4/9-56
2. Термін подання студентом завершеної роботи 25 червня 2026 року
3. Вихідні дані до роботи Коренезбиральна машина, базова конструкція приводу гідронасоса, продуктивність – 1,04 га/год, ширина захвату – 6 рядків, швидкість викопування – до 1,8 км/год.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Реферат. Вступ. 1. Оглядова частина. 2. Обґрунтування експлуатаційних характеристик коренезбиральної машини. 3. Проектна частина. 4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці. Загальні висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
1. Функціональна схема коренезбиральної машини.
2. Установка двигуна. Складальне креслення.
3. Привід гідронасоса базової конструкції. Складальне креслення
4. Привід гідронасоса вдосконаленої конструкції. Складальне креслення
5. Деталювання . 6. Дослідження НДС лонжерона рами двигуна.
7. Технології збирання цукрових буряків. 8. Огляд техніки для збирання цукрових буряків

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Лазарюк В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання 22.01.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Оглядова частина	02.02.2026 р.	
2	Обґрунтування експлуатаційних характеристик коренезбиральної машини	09.02.2026 р.	
3	Проектна частина.	15.05.2026 р.	
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	25.05.2026 р.	
5	Реферат. Вступ. Висновки.	05.06.2026 р.	
6	Ілюстративна частина. Додатки	15.06.2026 р.	

Студент _____ Чарковський Б.Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Олексюк В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Автор роботи – Чарковський Богдан Ярославович.

Тема роботи – «Підвищення надійності коренезбиральної машини з удосконаленням приводу гідронасоса».

Робота виконана на кафедрі технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Керівник роботи – Олексюк Василь Петрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин.

Актуальність теми роботи

У сільськогосподарських підприємствах в Україні залишається велике число коренезбиральних машин вітчизняного виробництва, які ще не зовсім використали свій ресурс, однак застосовуються обмежено через незадовільні показники надійності у роботі.

У процесі експлуатації коренезбиральних машин привід гідронасоса працює в умовах значних динамічних навантажень, вібрацій, нерівномірності обертання та змінного крутного моменту. Це призводить до підвищеного зношування деталей, виникнення несправностей, втрати герметичності, перевантаження вузлів та зниження загальної надійності машини. Для бурякозбиральних машин, які експлуатуються тривалий час і мають значний ступінь фізичного зношування дана проблема має особливе значення.

Тому пошук шляхів модернізації приводу вузла, що з'єднує колінчатий вал двигуна з гідронасосом є актуальною проблемою.

Мета роботи

Основна мета кваліфікаційної роботи бакалавра полягає в підвищенні надійності коренезбиральної машини шляхом удосконалення приводу гідронасоса.

Об'єкт, методи та джерела дослідження

Об'єкт дослідження. Технологічний процес роботи коренезбиральної

машини.

Предмет дослідження. Привід гідронасоса коренезбиральної машини та шляхи підвищення його надійності.

Методи дослідження. Економіко-статистичний, порівняльний, математичного моделювання, теоретико-емпіричний.

Отримані результати:

- проведено огляд сучасних технологій збирання цукрових буряків та їх порівняльний аналіз;
- зроблено детальний огляд техніки для збирання цукрових буряків та проаналізовано їх переваги і недоліки;
- здійснено обґрунтування експлуатаційних характеристик коренезбиральної машини;
- розглянуто будову і технологічний процес коренезбиральної машини;
- досліджено умови роботи та основні причини відмов приводу гідронасоса;
- запропоновано зміни у базову конструкцію приводу гідронасоса;
- проведено розрахунки технічної та економічної ефективності запропонованого удосконалення;
- проведено технологічні розрахунки коренезбиральної машини;
- здійснено обґрунтування конструкції приводу гідронасоса з усіма необхідними розрахунками;
- проведено розрахунки напружено-деформованого стану лонжерона рами двигуна;
- розглянуто вимоги охорони праці та заходи безпеки при експлуатації машини КС-6Б.

Практичне значення отриманих результатів.

Практичне значення роботи полягає у розробленні конструктивного удосконалення приводу гідронасоса, яке дозволить підвищити експлуатаційну надійність коренезбиральної машини, зменшити витрати на ремонт та технічне обслуговування, а також покращити ефективність виконання збиральних робіт.

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається

з вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань та додатків. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 55, додатки – 7 арк. формату А4, ілюстративний матеріал – 10 арк. формату А4.

Ключові слова: коренезбиральна машина, цукровий буряк, рама двигуна, привід гідронасоса, надійність.

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

Розділ 2:

$B_з$ – річне напрацювання комбайну, *га*;

$П_б$, $П_в$ – приведені витрати на одиницю напрацювання для базової і нової машин, *грн./га.*;

E' – економічний ефект від зміни витрат основних матеріалів, кількості та якості продукції, що отримується під час експлуатації нової машини, *грн.;*

И – прямі експлуатаційні витрати на одиницю напрацювання, *грн./га*;

К – капітальні вкладення на одиницю напрацювання, *грн./га*;

$E_н$ – коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

З – затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, *грн./га*;

Г – затрати на паливно-мастильні матеріали і електроенергію, *грн./га*;

Р – затрати на технічне обслуговування, поточний і капітальний ремонт, *грн./га*;

А – затрати на реновацію, *грн./га*;

Ф – інші прямі затрати на допоміжні матеріали, *грн./га;*

$П_{зм}$ – продуктивність за годину часу зміни, *га/год*;

r – норми відрахувань на поточний ремонт, *%;*

$t_р$ – нормативне річне завантаження, *год*;

а – норма відрахувань на амортизацію;

С – вартість основних матеріалів, грн.

Розділ 3:

$R_Т$ – значення тягового опору робочого органу, визначений розрахунковими способами або вибраний згідно результату проведених досліджень, Н;

$f_м$ – величина коефіцієнту опора перекочуванню комбайну, що вибирається з огляду на ходову частину машини;

$G_м$ – вага комбайну, кН;

V – значення робочої швидкості комбайну, км/год;

$\eta_{мех}$ – ККД силових передач від двигуна до ведучих коліс;

η_V – коефіцієнт, для врахування втрат на пробуксовування;

$\eta_{УМ}$ – коефіцієнт використання потужностей двигунів;

$N_{кр}$ – потужність, необхідна на привод робочого органу, Вт;

$\eta_{пр}$ – ККД передачі від двигуна до робочого органу;

$\eta_{об}$ – значення об'ємного ККД агрегатів;

α – значення кута піднімання, який може подолати комбайн, град;

λ – величина коефіцієнту навантаженості ведучих коліс;

φ_c – значення коефіцієнту зчеплення рушіїв з землею;

ξ – величина коефіцієнту, який враховуватиме внутрішні затрати в рушіях;

$P_{дв}$ – значення тягового зусилля, яке відповідає потужностям, що могли би розвивати двигуни враховуючи ККД, кН;

$V_К$ – величина лінійної швидкості поверхонь коліс, яка зазвичай рівна швидкостям комбайну, км/год;

$B_р$ – величина ширини захвату комбайну, м;

$v_р$ – величина робочої швидкості комбайну, км/год.;

$T_р$ – тривалість роботи, год;

$T_{зм}$ – тривалість зміни, год.;

τ – коефіцієнт, що враховує використання тривалість зміни;

$G_р$ – витрати пального при робочому ході, кг;

$G_{хп}$ – витрати пального при холостих переїздах, кг;

$G_з$ – витрати пального при зупинках, кг;

$T_Р$ – величина чистого робочого часу на протязі якого відбувається технологічна операція, год.;

$T_{хп}$ – час при холостих переїздах, год.;

$T_з$ – час при зупинках, год;

W – величина продуктивності комбайну, га/зм.

ЗМІСТ

Вступ ---------- 10

1. Оглядова частина ---------- 11

1.1. Технології збирання цукрових буряків---------- 11

1.2. Огляд техніки для збирання цукрових буряків---------- 15

1.3. Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи бакалавра---------- 19

2. Обґрунтування експлуатаційних характеристик коренезбиральної машини---------- 22

2.1. Будова і технологічний процес коренезбиральної машини---------- 22

2.2. Розрахунок економічної ефективності коренезбиральної машини-------- 26

3. Проектна частина---------- 30

3.1. Технологічні розрахунки коренезбиральної машини---------- 30

3.2. Обґрунтування конструкції приводу гідронасоса---------- 34

3.3. Розрахунок лонжерона рами двигуна---------- 38

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці ---------- 45

4.1. Організація робіт по техніці безпеки та охороні праці---------- 45

4.2. Вимоги техніки безпеки при експлуатації машини КСБ-6---------- 46

Загальні висновки---------- 51

Перелік посилань---------- 52

Додатки---------- 55

ВСТУП

Ефективність роботи бурякозбиральної техніки значною мірою залежить від технічного стану та надійності її основних систем і механізмів. Однією з найважливіших систем сучасних бурякозбиральних машин є гідравлічна система, яка забезпечує привід робочих органів, керування технологічними процесами, функціонування рульового керування та допоміжних механізмів. Надійність роботи гідросистеми безпосередньо впливає на продуктивність машини, якість збирання врожаю, витрати пального та загальну ефективність експлуатації техніки.

Одним із найбільш навантажених елементів гідросистеми є привід гідронасоса. У процесі експлуатації коренезбиральних машин привід гідронасоса працює в умовах значних динамічних навантажень, вібрацій, нерівномірності обертання та змінного крутного моменту. Це призводить до підвищеного зношування деталей, виникнення несправностей, втрати герметичності, перевантаження вузлів та зниження загальної надійності машини. Для бурякозбиральних машин, які експлуатуються тривалий час і мають значний ступінь фізичного зношування дана проблема є особливо актуальною.

Підвищення надійності приводу гідронасоса дозволяє: зменшити кількість відмов техніки; скоротити простої під час збиральної кампанії; підвищити довговічність вузлів гідросистеми; знизити експлуатаційні витрати; забезпечити стабільність технологічного процесу збирання буряків.

У сучасних умовах особливої актуальності набуває удосконалення конструкцій існуючих машин шляхом модернізації окремих вузлів та механізмів без значного збільшення вартості техніки. Одним із перспективних напрямів є вдосконалення конструкції приводу гідронасоса, спрямоване на зменшення динамічних навантажень, покращення умов роботи деталей та підвищення надійності передачі крутного моменту.

1. ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА

1.1. Технології збирання цукрових буряків

Цукрові буряки є однією з основних технічних культур, що забезпечують виробництво цукру та побічної продукції для харчової і кормової промисловості. Ефективність вирощування культури значною мірою залежить від своєчасного та якісного збирання, оскільки втрати коренеплодів і пошкодження при викопуванні безпосередньо впливають на урожайність і цукристість.

Рисунок 1.1 – Процес збирання цукрового буряку

Технологія збирання цукрових буряків являє собою комплекс взаємопов’язаних операцій, спрямованих на:

- видалення гички;
- викопування коренеплодів;
- очищення від ґрунту та рослинних домішок;
- транспортування;
- навантаження та зберігання.

Сучасні технології збирання цукрових буряків орієнтовані на мінімізацію втрат, зниження пошкодження коренеплодів, підвищення продуктивності, зменшення енергетичних витрат та автоматизацію процесів збирання.

До основних агротехнічних вимог до збирання цукрових буряків належать:

- повнота викопування коренеплодів - не менше 98 %;

- втрати коренеплодів - не більше 3–5 %;

- пошкодження коренеплодів - не більше 10 %;

- забрудненість вороху ґрунтом - не більше 8–10 %;

- висота зрізу гички повинна забезпечувати повне видалення листкової маси без значного зрізання головки коренеплоду;

- коренеплоди повинні бути придатними для тривалого зберігання та транспортування.

Якість виконання технологічного процесу залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту, вологості, густоти стояння рослин, вирівняності посівів та технічного стану збиральних машин.

У сучасному бурякозбиральному виробництві застосовують кілька основних технологій збирання цукрових буряків: роздільна, потокова, перевалочна і потоково-перевалочна технології та комбайнова технологія однофазного збирання.

Роздільна технологія збирання

Роздільна технологія передбачає окреме виконання операцій зрізування гички, викопування коренеплодів, очищення та навантаження.

Технологія була поширена при використанні комплексів машин - гичкозбиральних, коренезбиральних та навантажувачів.

Спочатку гичкозбиральна машина зрізує листкову масу та завантажує її у транспортні засоби або укладає у валок. Після цього коренезбиральна машина викопує буряки, очищає їх і складає у валки або купи.

Далі коренеплоди підбирають навантажувачами та транспортують до цукрових заводів.

Перевагами є можливість використання різних машин, менші одноразові капіталовкладення та простіша конструкція машин.

Недоліки: велика кількість проходів по полю, ущільнення ґрунту, значні втрати, висока трудомісткість та залежність від погодних умов.

Потокова технологія

Потокова технологія передбачає безперервне виконання всіх операцій із негайним транспортуванням коренеплодів від комбайна до місця переробки або зберігання.

Коренеплоди після викопування очищаються, накопичуються у бункері, перевантажуються у транспортні засоби і доставляються на завод без проміжного зберігання.

Переваги: мінімальні втрати врожаю, висока продуктивність, скорочення кількості операцій, менше механічних пошкоджень.

Недоліками є потреба у чіткій організації транспорту, висока вартість техніки та залежність від погодних умов та логістики.

Перевалочна технологія

При перевалочній технології коренеплоди тимчасово складають у польові кагати, після чого навантажують у транспортні засоби.

Основні операції: викопування та очищення буряків, формування кагатів, тимчасове зберігання, подальше навантаження та транспортування.

Перевагами такої технології вважається зменшення потреби у транспорті, можливість роботи при віддаленості заводів та гнучкість організації процесу.

Недоліками є додаткові втрати при перевантаженні, пошкодження коренеплодів та необхідність додаткової техніки.

Потоково-перевалочна технологія

Ця технологія поєднує елементи потокової та перевалочної систем.

Частина врожаю безпосередньо транспортується на завод, а частина закладається у кагати.

Такий підхід дозволяє оптимізувати логістику, зменшити простої комбайнів і забезпечити стабільне постачання сировини на переробку.

Однофазна комбайнова технологія

Найбільш поширеною нині є однофазна технологія збирання самохідними бурякозбиральними комбайнами.

Сучасний комбайн виконує зрізування гички, доочищення головок, викопування, очищення, транспортування вороху, накопичення у бункері та вивантаження.

Таблиця 1.1 - Порівняльний аналіз технологій збирання цукрового буряку

Технологія	Переваги	Недоліки
Роздільна	Простота, дешевші машини	Багато проходів, високі втрати
Потокова	Висока продуктивність	Потребує чіткої логістики
Перевалочна	Менша залежність від транспорту	Додаткові втрати
Потоково-перевалочна	Гнучкість роботи	Складність організації
Однофазна комбайнова	Максимальна механізація	Висока вартість техніки

Сучасні технології збирання цукрових буряків базуються на застосуванні високопродуктивних самохідних комбайнів, які забезпечують комплексне виконання всіх технологічних операцій за один прохід. Найбільш ефективною є однофазна потокова технологія, що дозволяє зменшити втрати врожаю, скоротити трудові витрати та підвищити продуктивність праці.

Водночас ефективність технологічного процесу значною мірою залежить від правильного вибору технології, стану ґрунту, погодних умов, технічного оснащення господарства і рівня організації транспортного забезпечення.

Перспективним напрямом розвитку є впровадження систем точного землеробства, автоматизації керування та інтелектуальних систем контролю роботи бурякозбиральної техніки.

1.2. Огляд техніки для збирання цукрових буряків

Сучасна бурякозбиральна техніка є високотехнологічним комплексом машин, призначених для механізованого виконання всіх операцій збирання цукрових буряків: видалення гички, викопування коренеплодів, очищення, накопичення, транспортування та вивантаження.

Основною тенденцією розвитку бурякозбиральних машин є перехід до високопродуктивних самохідних комбайнів однофазного збирання, оснащених автоматизованими системами керування, GPS-навігацією та електронним контролем технологічних процесів.

На сучасному ринку найбільше поширення отримали машини таких виробників: ROPA, HOLMER, GRIMME, Kleine, Vervaet.

Світовими лідерами у виробництві самохідних бурякозбиральних комбайнів вважаються компанії ROPA та HOLMER, які разом займають близько 85 % світового ринку техніки для збирання цукрових буряків.

Разом з тим, на полях України можна зустріти бурякозбиральну техніку вітчизняного виробництва (КС-6Б, РКС-6, КБ-6).

Причіпні бурякозбиральні машини

Причіпні машини застосовують переважно у невеликих і середніх господарствах. Вони мають простішу конструкцію, меншу вартість та нижчу продуктивність порівняно із самохідними комбайнами.

Основні переваги: менша ціна, простота експлуатації, нижчі витрати на обслуговування.

Недоліками є менша продуктивність, потреба у потужному тракторі, нижчий рівень автоматизації.

До поширених моделей належать: Kleine KR2; TIM; Becker; Stoll V202.

Рисунок 1.2 – Причіпний комбайн Stoll V202

Рисунок 1.3 – Причіпний 9-рядковий бурякозбиральний комбайн ROOTSTER 904 GRIMME

Самохідні бурякозбиральні комбайни

Самохідні комбайни є основою сучасної технології збирання буряків.

Вони виконують весь комплекс операцій за один прохід: зрізування гички, очищення головок, викопування, сепарацію ґрунту, накопичення у бункері, перевантаження у транспорт.

Сучасні машини оснащуються автоматичними системами ведення по рядках; електронним контролем глибини копання; системами точного землеробства; телеметрією; автоматичним регулюванням навантаження; централізованим змащуванням; бортовими комп'ютерами.

Бурякозбиральні комбайни ROPA

Компанія ROPA є одним із провідних світових виробників бурякозбиральної техніки. Найбільш відомими моделями є ROPA Euro-Tiger, ROPA Panther.

Машини характеризуються: високою продуктивністю, великою місткістю бункера, ефективною системою очищення, низьким ущільненням ґрунту.

Рисунок 1.4– Бурякозбиральні комбайни ROPA Panther 2S

В системі копання комбайнів використовуються індивідуальні копіювальні механізми для кожного рядка, що забезпечує точне підкопування

коренеплодів. ROPA застосовує багатоступеневу систему очищення: турбіни; очисні ролики; шнекові сепаратори.

В ходовій системі використовується система R-Soil Protect, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження, зниження тиску на ґрунт та підвищення стійкості машини.

Перевагами є висока продуктивність, якісне очищення буряків, висока автоматизація та комфорт оператора.

Недоліки - висока вартість та складність сервісного обслуговування.

Бурякозбиральні комбайни HOLMER

Компанія HOLMER є одним із найбільших виробників самохідних бурякозбиральних машин. Найбільш поширені моделі: HOLMER Terra Dos T4; HOLMER Terra Dos T5.

Рисунок 1.5– Бурякозбиральні комбайни HOLMER моделі Terra Dos T4

Комбайни HOLMER призначені для великих агропідприємств та характеризуються високою пропускною здатністю, потужними двигунами та високою надійністю.

Система EasyLift автоматично регулює глибину викопування залежно від розмірів коренеплоду, що дозволяє зменшити втрати, знизити витрати палива, зменшити зношування робочих органів. Система EcoPower забезпечує оптимізацію роботи двигуна та зменшення витрати пального.

Місткість бункера сучасних моделей перевищує 40 м³.

Переваги - дуже висока продуктивність, надійність, низькі втрати та ефективна робота у складних умовах. Недоліками є значна маса, висока ціна та потреба у кваліфікованому персоналі.

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика сучасних комбайнів

Модель	**Переваги**	**Недоліки**
ROPA Euro-Tiger	Висока продуктивність, якісне очищення	Висока ціна
HOLMER Terra Dos	Потужність, надійність	Велика маса
GRIMME Rexor	Якісна сепарація	Складність конструкції
Kleine SF	Простота та надійність	Менша продуктивність
Vervaet	Низький тиск на ґрунт	Висока вартість

Сучасна бурякозбиральна техніка характеризується високим рівнем автоматизації, продуктивності та технологічності. Найбільшого поширення набули самохідні комбайни однофазного збирання, які забезпечують мінімальні втрати врожаю та високу якість очищення коренеплодів.

1.3. Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи бакалавра

Збирання врожаю цукрових буряків в Україні на сучасному етапі здійснюється із застосуванням як закордонної бурякозбиральної техніки, так і вітчизняних машин, які раніше серійно випускалися промисловістю (БМ-6Б, ОГД-6А, КС-6Б, РКС-6, КБ-6).

Разом із тим значна частина сільськогосподарських підприємств не має фінансової можливості використовувати сучасні високопродуктивні бурякозбиральні комплекси провідних світових виробників через їх високу вартість та значні експлуатаційні витрати.

Бурякозбиральні комбайни іноземного виробництва, що були у використанні, переважно мають тривалий термін експлуатації та часто потребують відновлення і технічного обслуговування. При цьому ремонт таких машин супроводжується значними витратами через високу вартість комплектувальних елементів і запасних частин. Вітчизняна техніка характеризується нижчими витратами на ремонт і обслуговування, проте її експлуатаційна ефективність не завжди відповідає сучасним вимогам, особливо за складних виробничих умов.

У багатьох сільськогосподарських підприємствах України продовжує використовуватись значна кількість коренезбиральних машин вітчизняного виробництва, які ще зберігають залишковий технічний ресурс. Однак рівень їх використання залишається обмеженим через недостатні показники експлуатаційної надійності окремих вузлів і механізмів.

Попри моральне та фізичне старіння, бурякозбиральні машини типу КС-6Б і нині частково застосовуються в аграрному секторі України, переважно в умовах невеликих сільськогосподарських підприємств, де оновлення технічного парку сучасними високопродуктивними машинами є економічно ускладненим.

За оцінками фахівців аграрного сектору та ринку вживаної сільськогосподарської техніки, в експлуатації на території України може залишатися орієнтовно від кількох сотень до 1–2 тисяч бурякозбиральних комбайнів типу КС-6Б та їх модифікацій.

У зв’язку з цим удосконалення зазначених машин з метою підвищення якості та надійності збирання коренеплодів цукрових буряків залишається актуальним напрямом технічного розвитку.

Практика експлуатації вітчизняної бурякозбиральної техніки свідчить про

наявність проблем, пов’язаних із роботою вузла з’єднання колінчастого вала двигунів СМД-60 з гідронасосами Sauer. Пошкодження даного вузла нерідко призводить до виходу з ладу передніх підшипників валів гідронасосів, що негативно впливає на працездатність машини в цілому.

Оскільки передача крутного моменту потужністю близько 40 кВт відбувається через систему валів і зубчастих муфт, що з’єднують проміжні вали та привід гідронасосів, особливого значення набуває врахування технологічних особливостей виготовлення та складання вузлів приводу. Недотримання вимог до монтажу та точності взаємного розташування елементів може бути однією з причин передчасного виникнення несправностей.

Відомо, що забезпечення нормальної роботи зубчастих муфт вимагає високої точності співвісності валів двигуна та гідронасоса під час складання. Однак дотримання таких вимог ускладнює технологічний процес виготовлення і монтажу привідних вузлів.

У зв’язку з цим актуальним є дослідження можливості заміни приводу гідронасосів із використанням зубчастих муфт на конструктивне рішення із застосуванням карданного з’єднання. Такий підхід може сприяти спрощенню технології виготовлення та складання вузлів, підвищенню надійності функціонування гідронасосів і збільшенню терміну їх експлуатації.

Таким чином, основним завданням кваліфікаційної роботи є підвищення надійності коренезбиральних машин типу КС-6Б шляхом розроблення удосконаленого приводу гідронасоса та обґрунтування його основних конструктивних параметрів.

2. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРЕНЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ

2.1. Будова і технологічний процес коренезбиральної машини

Коренезбиральна машина КС-6Б призначена для викопування коренеплодів цукрових буряків, висіяних із міжряддям 45 см, з одночасним захопленням шести рядків за один прохід агрегату. Залежно від конструктивного виконання робочих органів машина випускалася у кількох модифікаціях: із ротаційно-вилчастими, дисковими та ротаційно-вилчастими, ротаційними, а також дисково-полозоподібними копачами.

До основних складальних одиниць коренезбиральної машини КС-6Б належать самохідне шасі та коренезбиральна частина, які забезпечують виконання технологічного процесу збирання коренеплодів. На самохідному шасі встановлено дизельний двигун СМД-60-02 потужністю 118 кВт, який забезпечує привод робочих органів та рух машини.

Рисунок 2.1 – Коренезбиральна машина КС-6Б

У передній частині шасі розміщено автоматичну систему керування,

призначену для спрямування робочих органів по осі рядків посіву, що сприяє підвищенню точності виконання технологічного процесу та зменшенню втрат коренеплодів під час збирання.

Коренезбиральна частина машини КС-6Б, обладнана дводисковими викопувальними пристроями, включає комплекс робочих органів, які забезпечують виконання технологічного процесу викопування, очищення та транспортування коренеплодів (рис. 2.2).

До складу коренезбиральної частини входять шість пар дискових копачів 21, бітер 20, два шнекові транспортери-очисники 18 і 19, проміжний бітер 16, поздовжній транспортер 8 та вивантажувальний елеватор 9.

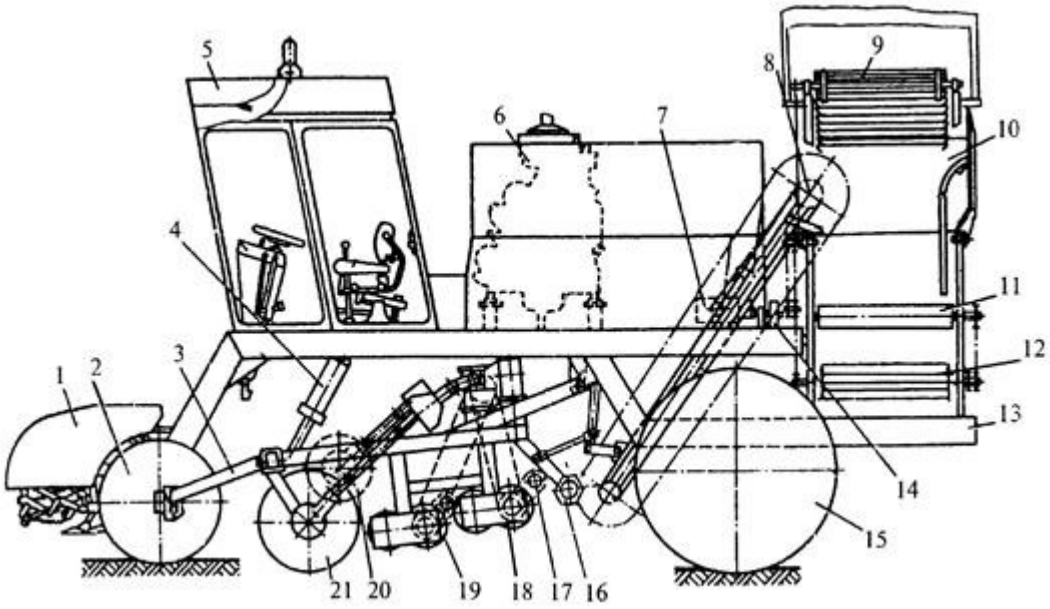


Рисунок 2.2 – Принципова схема коренезбиральних машин КС-6Б

Дисковий копач 21 конструктивно складається з двох робочих дисків — активного та пасивного. Диски встановлені під певними кутами до вертикальної площини та напрямку руху машини, що забезпечує ефективне підкопування і вилучення коренеплодів із ґрунту. Активний диск отримує привід від двигуна самохідного шасі через систему передавальних механізмів. Частота його обертання становить 92 хв$^{-1}$.

Кожний шнековий очисник включає два шнеки, які працюють із різною частотою обертання, а також перекидний валець. Така конструкція сприяє інтенсивнішому очищенню коренеплодів від ґрунтових домішок і рослинних залишків. Передній шнековий очисник забезпечує переміщення коренеплодів до периферійної частини робочої зони, тоді як задній виконує зворотне транспортування у центральну частину машини, забезпечуючи подальше їх переміщення технологічною лінією.

Робочий процес. Під час руху машини вздовж рядків дискові копачі 21 виконують підкопування коренеплодів цукрових буряків, порушують їх зв’язок із ґрунтом та, захоплюючи внутрішніми поверхнями дисків, здійснюють вилучення коренеплодів із ґрунтового шару. Після цього лопатевий бітер 20 підхоплює коренеплоди та подає їх на перший шнековий транспортер-очисник 19.

Перший очисник забезпечує переміщення коренеплодів у бокові напрямки та за допомогою перекидного вальця передає їх на другий шнековий очисник 18. У процесі проходження через очисники відбувається видалення ґрунтових домішок і рослинних залишків із поверхні коренеплодів.

Із другого очисника коренеплоди надходять на проміжний бітер 16, після чого транспортуються поздовжнім елеватором 8 до бункера, де потрапляють на стрічковий транспортер 11. Далі коренеплоди подаються на поперечний транспортер і надходять до вивантажувального елеватора 9, який забезпечує їх подачу в транспортні засоби, що рухаються поряд із машиною.

За незначної кількості ґрунтових домішок у воросі напрям руху стрічкового транспортера змінюють на протилежний, що дозволяє подавати коренеплоди безпосередньо на вивантажувальний елеватор, минаючи накопичення в бункері.

Під час заміни транспортних засобів без зупинки машини привід транспортера та вивантажувального елеватора тимчасово відключають на 20–30 с. У цей період коренеплоди накопичуються в бункері. Після завершення заміни транспортного засобу привід механізмів знову вмикається, і

технологічний процес відновлюється.

Робоча ширина захвату коренезбиральної машини становить 2,7 м. Робоча швидкість руху при використанні дискових копачів знаходиться в межах 5–11 км/год, а продуктивність машини становить 1,3–2,9 га/год.

До основних недоліків коренезбиральної машини КС-6Б належать значна конструктивна маса, підвищені витрати пального, необхідність попереднього видалення гички перед збиранням, відносно високий рівень пошкодження коренеплодів при роботі у важких ґрунтових умовах, а також зниження ефективності функціонування на перезволожених ґрунтах.

Коренезбиральна машина КС-6Б є однією з найбільш поширених вітчизняних бурякозбиральних машин, яка тривалий час використовувалася для механізованого збирання цукрових буряків за роздільною технологією. Конструктивне виконання машини забезпечує реалізацію основних технологічних операцій, зокрема викопування коренеплодів, їх очищення від домішок та подальше завантаження у транспортні засоби.

Застосування активних дискових копачів, шнекових очисників та автоматизованої системи водіння сприяло підвищенню продуктивності роботи та покращенню якості виконання технологічного процесу збирання цукрових буряків.

Незважаючи на широке впровадження сучасних самохідних бурякозбиральних комбайнів нового покоління, машини типу КС-6Б і надалі використовуються у багатьох сільськогосподарських підприємствах. Це обумовлено відносною простотою конструкції, достатнім рівнем ремонтопридатності та меншими витратами на експлуатацію порівняно із сучасною високопродуктивною технікою.

2.2. Розрахунок економічної ефективності коренезбиральної машини

Знайдемо річну економічну ефективність від експлуатації коренезбиральної машини КС-6Б.

Економічний ефект забезпечується за рахунок удосконалення конструкції приводу гідронасоса. Зокрема, привід із зубчастою муфтою замінено на привід із карданним з'єднанням.

Застосування приводу нової конструкції сприятиме підвищенню надійності даного вузла, зменшенню ймовірності відмов гідронасоса та покращенню експлуатаційної надійності коренезбиральної машини в цілому.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності проектного варіанту коренезбиральної машини КС-6Б

Назва і позначення показників	**Одиниці виміру**	**КС-6Б базовий**	**КС-6Б проектний**
Балансова ціна, $Ц_б$	*грн*	6000000	587500
Продуктивність машиги, $П_г$	*га/год*	1,1	1,1
Кількість обслуговуючого персоналу	*чол.*	1	1
Тарифна ставка, $t_{год}$	*грн./год*	160,84	160,84
Норми відрахувань: - на амортизацію, a - на поточний ремонт, r	 % %	 16 6,5	 16 6,5
Нормативне річне завантаження, $t_р$	*год*	300	300
Річне напрацювання машини, $B_з$	*га*	400	400
Коефіцієнти: - експлуатаційної надійності, $К_{е.н.}$ - використання часу зміни $К_{зм}$ - ефективності капіталовкладень $Е_н$	 - - -	 0,95 0,7 0,15	 0,95 0,7 0,15
Собівартість приводу гідронасосу	*грн.*	12000	11000

Річну економічну ефективність від експлуатації модернізованої машини знайдемо відповідно до розрахункових залежностей, наведених у джерелі [4].

$$E_р = B_з\left(П_б - П_в + E'\right). \tag{2.1}$$

Знайдемо приведені витрати на одиницю напрацювання:

$$П = И + К \cdot E_н. \tag{2.2}$$

Визначимо прямі експлуатаційні витрати:

$$И = З + Г + Р + А + Ф. \tag{2.3}$$

Так як значення витрат З, Г, Ф для обох варіантів машини КС-6Б є однаковими, їх можна не враховувати у подальших порівняльних розрахунках.

Знайдемо величину витрат на проведення технічного обслуговування, поточних і капітальних ремонтів:

$$Р = \frac{Ц_б \cdot r}{100 \cdot П_{зм} \cdot t_р}. \tag{2.4}$$

Значення продуктивності за годину часу зміни:

$$П_{зм} = П_г \cdot К_{е.н} \cdot К_{зм}. \tag{2.5}$$

Витрати на реновацію:

$$А = \frac{Ц_б \cdot a}{100 \cdot П_{зм} \cdot t_р}. \tag{2.6}$$

Величина капітальних вкладень на одиницю напрацювання:

$$К = \frac{Ц_б}{П_{зм} \cdot t_р}. \qquad (2.7)$$

Базова КС-6Б

$П_{зм} = 1.1 \cdot 0,95 \cdot 0,7 = 0,73$ га/год;

$А = \frac{600000 \cdot 16}{100 \cdot 0.73 \cdot 300} = 438,4$ грн./га;

$К = \frac{600000}{0.73 \cdot 300} = 2739,7$ грн./га;

$Р = \frac{600000 \cdot 6,5}{100 \cdot 0.73 \cdot 300} = 178,1$ грн./га;

$И = 177,1 + 438,4 = 615,5$ грн./га;

$П_б = 615,5 + 2739,7 \cdot 0,15 = 1026,5$ грн./га.

Модернізована КС-6Б

$П_{зм} = 1.1 \cdot 0,95 \cdot 0,7 = 0,73$ га/год;

$А = \frac{587500 \cdot 16}{100 \cdot 0.73 \cdot 300} = 429,2$ грн./га;

$К = \frac{587500}{0.73 \cdot 300} = 2682,6$ грн./га;

$Р = \frac{587500 \cdot 6,5}{100 \cdot 0.73 \cdot 300} = 174,4$ грн./га;

$$И = 174,4 + 429,2 = 603,6 \quad \text{грн./га;}$$

$$П_в = 603,6 + 2682,6 \cdot 0,15 = 1006 \quad \text{грн./га.}$$

Величина економічного ефекту від зміни витрат основних матеріалів:

$$E' = \frac{C}{B_з} = \frac{12000 - 11000}{400} = 2,5 \quad \text{грн./га.} \qquad (2.8)$$

Величина річного економічного ефекту від експлуатації нової машини складе:

$$E_р = 400 \cdot (1026,5 - 1006 + 2,5) = 9200 \quad \text{грн.}$$

Термін окупності:

$$T_{ок} = \frac{Ц_{бб} - Ц_{бв}}{E_р} = \frac{600000 - 587500}{9200} = 1,4 \quad \text{р.} \qquad (2.9)$$

3. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

3.1. Технологічні розрахунки коренезбиральної машини

Вихідним етапом розрахунку основних параметрів коренезбиральних машин є знаходження необхідної потужності двигуна. Такі розрахунки виконують з урахуванням тягового опору робочих органів, опору перекочуванню комбайна, а також потужності, необхідної для приводу викопувальних органів.

Необхідна потужність двигуна [7]:

$$N = \frac{(R_T + f_M G_M)V}{\eta_{MEX}\eta_V\eta_{YM}} + \frac{N_{пр}}{\eta_{пр}}, \qquad (3.1)$$

де R_T=1026 Н, [6];

$f_M = 1{,}3$;

$G_м$=9 кН;

V=10 км/год;

$\eta_{мех}$=0,83 [6];

η_V=0,9;

$\eta_{НМ}$=0,90 – 0,95. Приймаємо $\eta_{нм}$=0,92;

$N_{кр}$=26к.с=18980 Вт, [6].

Величина механічного ККД силових передач повинно враховувати ефективність роботи всіх передавальних механізмів, наявних у конструкції машини.

У разі застосування гідростатичних трансмісій замість механічних передач використовують загальне значення ККД усіх агрегатів гідростатичної трансмісії, яке визначається за такою залежністю:

$$\eta_M = \eta_{мех} \cdot \eta_{об}, \qquad (3.2)$$

де η=0,75 – 0,92 [6], приймаємо η=0,85.

$$\eta_{мех} = 0{,}83 \cdot 0{,}85 = 0{,}7 .$$

Проведемо розрахунки необхідної потужності двигуна:

$$N = \frac{(1026 + 1{,}3 \cdot 9000) \cdot 2{,}17}{0{,}7 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}92} + \frac{18980}{0{,}4} = 95{,}09 кВт = 130 к.с .$$

Для врахування впливу нахилу місцевості при русі коренезбиральної машини на підйом, що призводить до додаткового навантаження на енергетичний засіб у формулу (3.1) підставляємо наступну залежність:

$$R_T + f_M \cdot G_M \cdot \cos\alpha + G_M \cdot \sin\alpha , \qquad (3.3)$$

де $\alpha = 30°$.

$$N = \frac{(1026 + 1{,}3 \cdot 9000 \cdot 0{,}8660 + 9000 \cdot 0{,}5) \cdot 2{,}17}{0{,}7 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}92} + \frac{18980}{0{,}4} = 106{,}07 кВт = 145 к.с .$$

Для виконання розрахунків тягової здатності в окремих випадках є потреба визначити максимальну силу тяги, яку може розвивати машина за дії критичних навантажень, наприклад при надмірному заглибленні робочого органу. Значення такої сили визначають з урахуванням умов зчеплення рушіїв машини з ґрунтом [6]:

$$P_{\max} = G_M (\lambda \cdot \varphi_c - \xi \cdot f_T) , \qquad (3.4)$$

де λ=1,0;

φ_c=1,5;

ξ=0,5.

Тоді:

$$P_{\max} = 9000 \cdot (1 \cdot 1{,}5 - 0{,}5 \cdot 1{,}3) = 7650 H .$$

Для забезпечення стабільної та надійної роботи двигунів необхідно, щоб експлуатаційні навантаження не перевищували допустимих значень. При цьому повинна виконуватись така умова:

$$P_{\max} \le P_{дв} . \tag{3.5}$$

Тягове зусилля, що відповідає потужності, яку можуть розвивати двигуни з урахуванням коефіцієнта корисної дії трансмісій, визначається за залежністю:

$$P_{дв} = \frac{N \cdot \eta_M}{V_K} . \tag{3.6}$$

Значення лінійних швидкостей поверхонь коліс V_K як правило співпадає із швидкостями коренезбиральної машини.

$$P_{дв} = \frac{106073 \cdot 0{,}7}{2{,}17} = 34217 \quad H .$$

Отже, умова забезпечення нормальної роботи двигуна виконується, оскільки розрахункові параметри не перевищують допустимих значень і відповідають встановленим експлуатаційним вимогам:

$$P_{max} = 7650 \text{ Н} < P_{дв} = 34217 \text{ Н}.$$

Таким чином, наявний двигун повною мірою забезпечуватиме виконання поставлених технологічних завдань та відповідатиме умовам експлуатації

коренезбиральної машини.

Знайдемо продуктивність коренезбиральної машини:

$$W = 0{,}1 \cdot B_p \cdot v_p \cdot T_p, \tag{3.7}$$

де B_p=2,7;

v_p =5,5 км/год.

$$T_p = T_{зм} \cdot \tau, \tag{3.8}$$

де $T_{зм}$=7 год.

$$T_p = 7 \cdot 0{,}7 = 4{,}9 \text{ год.}$$

Отже

$$W = 0{,}1 \cdot 4{,}9 \cdot 2{,}7 \cdot 5{,}5 = 7{,}28 \text{ га/зм.}$$

Проведемо розрахунок загальних витрат пального:

$$G_{заг} = G_p \cdot T_p + G_{хп} \cdot T_{хп} + G_з \cdot T_з, \tag{3.9}$$

де G_p =25...30 кг;

$G_{хп}$ =10...13,5 кг;

$G_з$ =2,5 кг;

T_P =4,9 год.;

$T_{хп}$=1,1 год.;

$T_з$ =1,0 год.

$$G_{заг} = 27 \cdot 4{,}9 + 11 \cdot 1{,}1 + 2{,}5 \cdot 1{,}0 = 146{,}9.$$

Величина погектарних витрат пального:

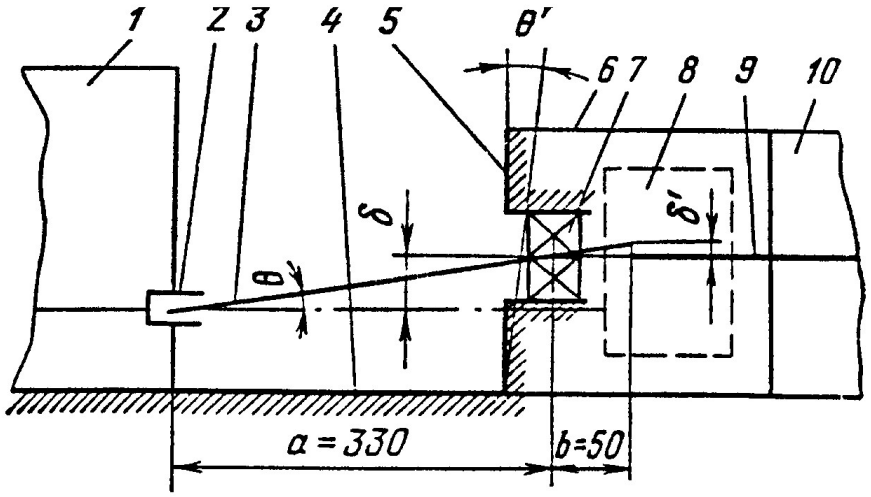
$$G_{га} = \frac{G_{заг}}{W}, \tag{3.10}$$

$$G_{га} = \frac{146,9}{7,28} = 20,18 \text{ кг/га.}$$

3.2. Обґрунтування конструкції приводу гідронасоса

Практика експлуатації вітчизняної бурякозбиральної техніки свідчить, що одним із найбільш вразливих елементів є вузол з'єднання колінчастого вала двигуна СМД-60 з гідронасосами Sauer. У результаті пошкодження даного вузла часто виходять з ладу передні підшипники валів гідронасосів, що призводить до порушення працездатності всієї системи приводу.

Оскільки передача крутного моменту потужністю близько 40 кВт здійснюється через систему проміжних валів і зубчастих муфт, виникає необхідність урахування технологічних особливостей виготовлення та монтажу цих вузлів, які можуть бути однією з основних причин виникнення несправностей і передчасного виходу елементів приводу з ладу.



1 – двигун; 2 – шліцьове закінчення валу двигунів; 3 – проміжний вал; 4,5 – рамна конструкція двигуна та її опорний торець; 6 – простановка; 7 – підшипники проміжних валів; 9 – вал гідронасосу; 10 – гідравлічний насос; δ,δ′ - монтажні радіальні і радіальні зміщення валів в муфтах; θ, θ′ - кути повороту перерізів та перпендикулярності торцевих площин відносно осей валів

Рисунок 3.1 – Схема з'єднування колінчастого валу двигуна СМД-60 з валом гідроциліндру Sauer

Для вирішення зазначеної проблеми проводилися дослідження жорсткості рам двигунів з метою запобігання перекошуванню осей валів у процесі роботи, а також вивчались особливості технології монтажу гідронасосів, консольно закріплених на рамах.

У ході досліджень визначались можливі величини зміщень і кутів перекосу місць кріплення насосів до рам, які впливають на величину радіального биття та перекосу валів і потребують компенсації за допомогою зубчастих муфт.

За величиною деформацій рам можна оцінити умови роботи зубчастих муфт, оскільки при якісному монтажі, коли забезпечується співвісність валів, їх працездатність переважно залежить саме від деформацій рам двигуна під час

експлуатації.

Як вихідні дані для розрахунку жорсткості рам приймались такі параметри: потужність двигуна $P_д$ = 118 кВт, номінальна частота обертання колінчастого вала $n_н$ = 1900 хв$^{-1}$, максимальний крутний момент при частоті обертання 1500 хв$^{-1}$, а також маса двигуна, що відповідає навантаженню $G_м$ = 9 кН.

Рами двигунів коренезбиральних машин конструктивно складаються з двох лонжеронів швелерного профілю з осьовим моментом інерції перерізу I_z=242·10^4 мм^4. У передній частині лонжерони з'єднані поперечними балками, які використовуються для кріплення передніх опор двигуна та опорних торцевих площин проставки гідронасосів. Для підвищення жорсткості конструкції в даних зонах передбачено встановлення та приварювання косинок і розкосів.

Розрахункова схема найбільш навантажених лонжеронів і основні геометричні розміри рами наведені на рис. 3.2.

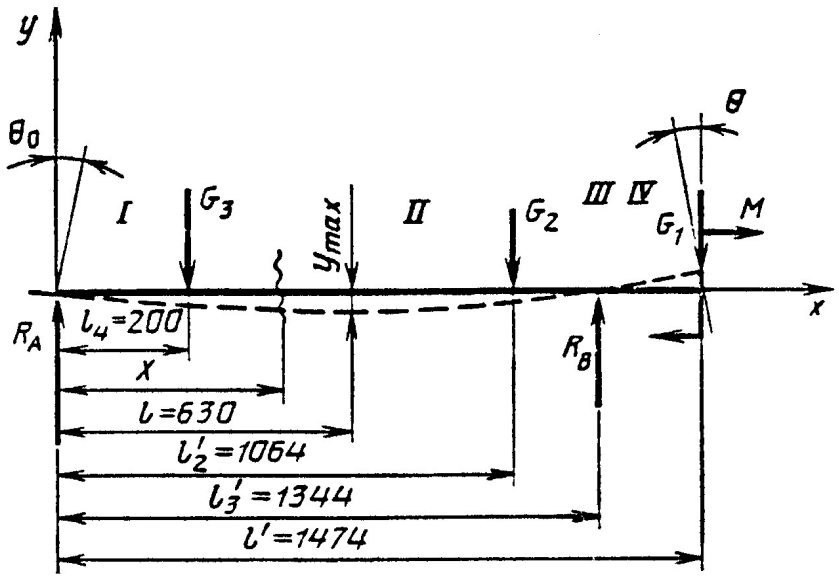


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема максимально навантажених лонжеронів рами двигуна СМД-60

Величина прикладених зусиль складає:

G_1=450 Н, М=190 Н·м, G_2=490 Н,

$G_з$=9300 Н, R_A=7833 Н, R_B=2407 Н.

Використовуючи метод початкових параметрів складаємо рівняння прогинів балки, що дасть можливість визначити деформації лонжеронів,.

$$EIy(x) = EIy_0 + EI\theta_0 x + \frac{R_A x^3}{6} - \frac{G_3(x-l_4)^3}{6} - \frac{G_2(x-l_2')^3}{6} + \frac{R_B(x-l_3')^3}{6}. \quad (3.11)$$

Вихідні умови:

$$EIy(x=0); \quad 0 = EIy_0;$$

$$EIy(x = l_3' = 1344мм) = 0;$$

$$0 = EI\theta_0 \cdot 1344 + \frac{7833 \cdot 1344^3}{6} - \frac{930(1344-200)^3}{6} - \frac{490(1344-1064)^3}{6};$$

Тоді при $x = l_3'$, коли $y(l_3') = 0$, матимемо $\theta = 1{,}24 \cdot 10^{-3}$ рад. При $x = l'$ (місце кріплення гідронасоса) значення прогину $y(l') = 0{,}085мм$.

На основі (3.11) величини прогинів лонжеронів, де прикладаються зусилля G_2, G_3, і при $x=l\cong$630 мм (місце максимального прогину) відповідно рівмими: $y(l_4)$=-0,32 мм; $y(l'_2)$=-0,21 мм; $y(l)$=-0,6 мм.

Візуалізацію лінії прогину лонжеронів рами представлено на рис. 3.2 штриховою лінією.

Диференціюючи залежність (3.11) будемо мати:

$$EI\theta(x) = y'(x) = EI\theta_0 + R_A x^2/2 - G_3(x-l_4)^2/2 - -G_2(x-l_2')/2 + R_B(x-l_3')^2/2. \quad (3.12)$$

Тоді при $x=l'$ (торець кріплення гідронасосу) величина кута повороту перерізу складатиме $\theta(l')$=1,16·10^{-4} рад.

Проведені розрахунки показали, що жорсткість лонжеронів є достатньою

для забезпечення співвісності валів двигуна та гідронасосів при дії експлуатаційних навантажень на рамну конструкцію.

Отже, працездатність муфт значною мірою залежить від точності забезпечення співвісності валів двигуна і гідронасоса під час виконання складальних робіт. Це, у свою чергу, ускладнює технологію виготовлення вузлів та сам процес їх монтажу.

У зв’язку з цим запропоновано замінити привід гідронасосів із зубчастими муфтами на привід із карданними з’єднаннями. Застосування такого конструктивного рішення дозволить спростити процес виготовлення та складання вузлів, підвищити надійність роботи гідронасоса та збільшити термін його експлуатації.

3.3. Розрахунок лонжерона рами двигуна

Здійснимо розрахунки напружено-деформованого стану лонжерона рами двигуна та оцінимо вплив конструктивних отворів у швелері на його міцнісні характеристики порівняно зі швелером без отворів.

Для виконання дослідження у програмному середовищі SolidWorks створюємо твердотільну модель швелерної балки (рис. 3.3), яка надалі використовується для розрахунку та аналізу її напружено-деформованого стану.

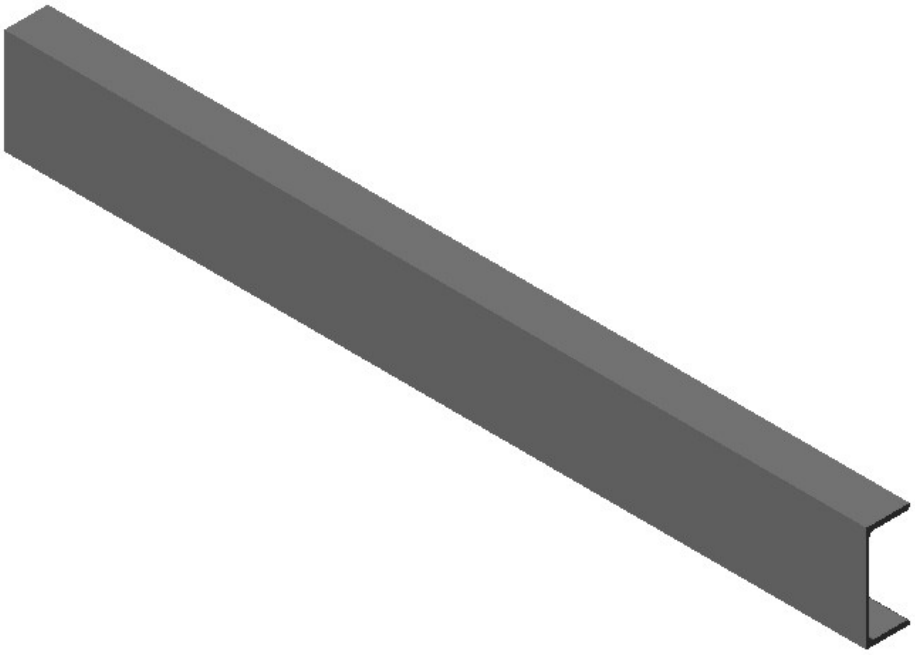
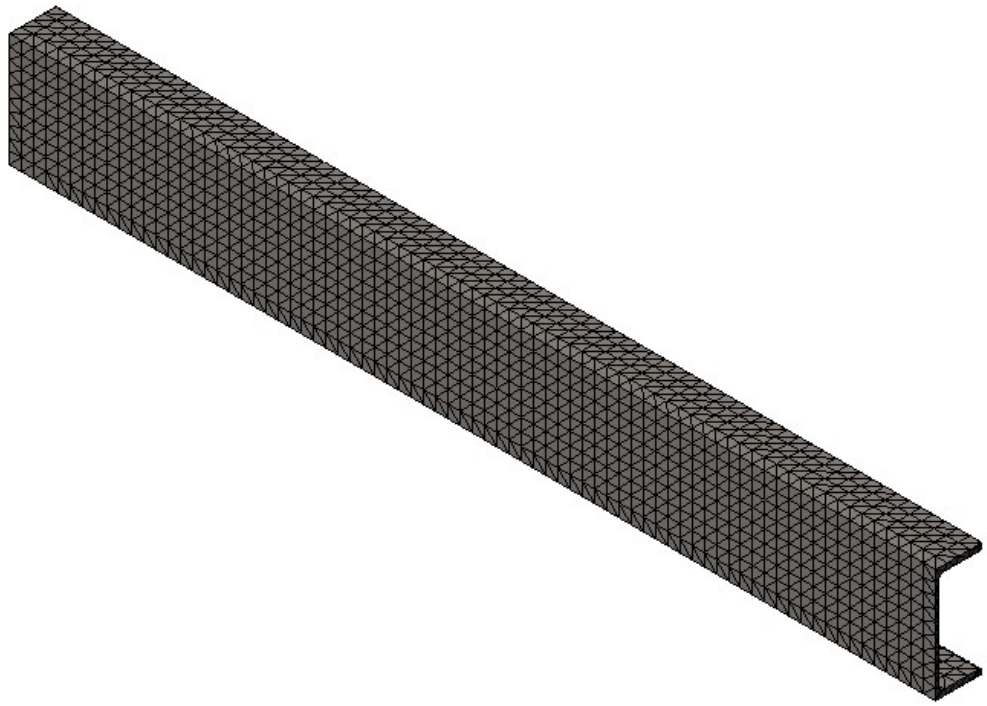


Рисунок 3.3 – 3D модель лонжерона рами двигуна

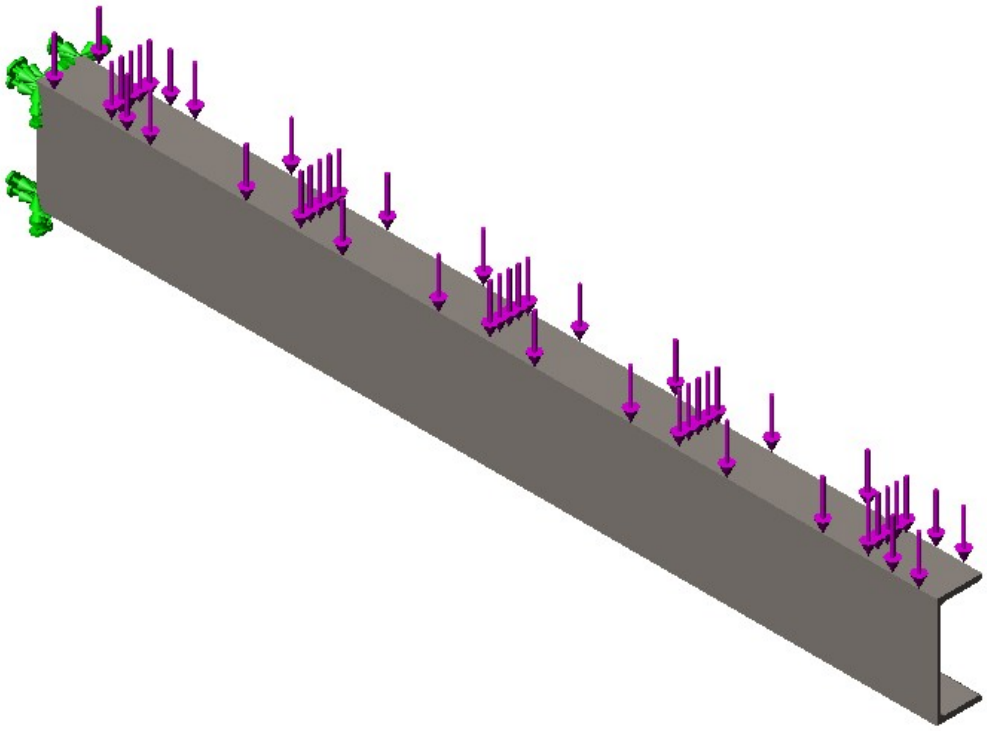
За допомогою модуля CosmosWorks програмного комплексу SolidWorks проведемо аналіз напружено-деформованого стану швелерної балки.

Для цього на тривимірній моделі поздовжнього лонжерона рами створюємо сітку кінцевих елементів (рис. 3.4, а), яка використовується для виконання розрахунків методом скінченних елементів.

У розрахунковій схемі задаємо граничні умови: один кінець балки жорстко защемлюється, а другий залишається вільним. Навантаження на швелерну балку приймаємо у вигляді рівномірно розподіленої сили величиною 4000 Н (рис. 3.4, б).



а)



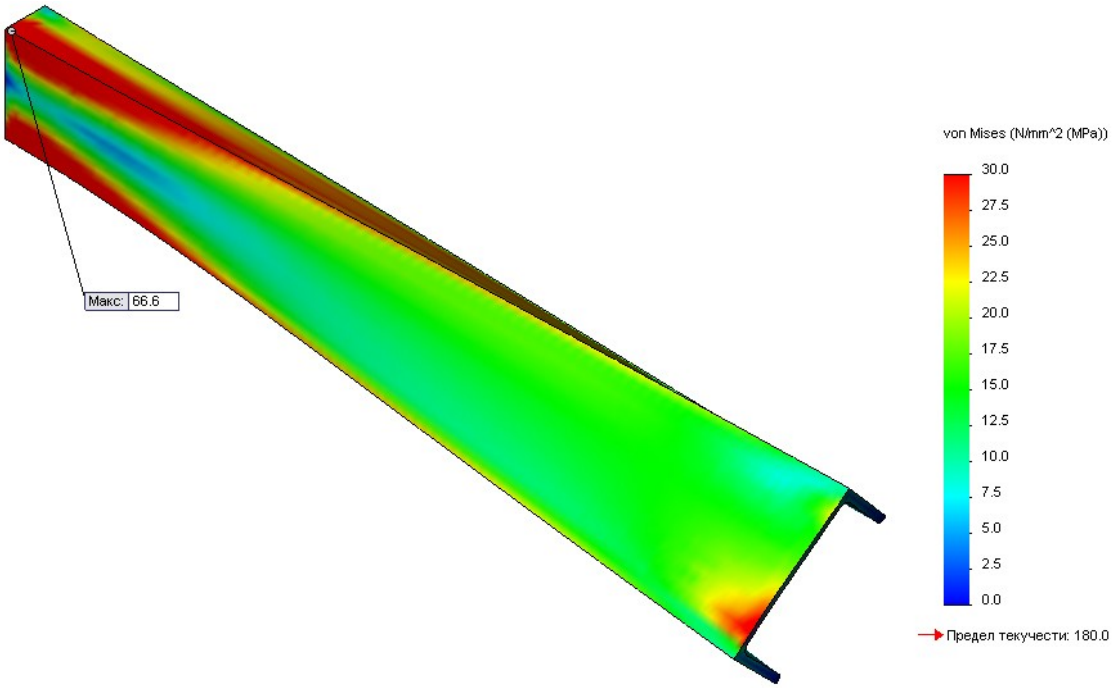
б)

Рисунок 3.4 – Моделювання швелерної балки рами

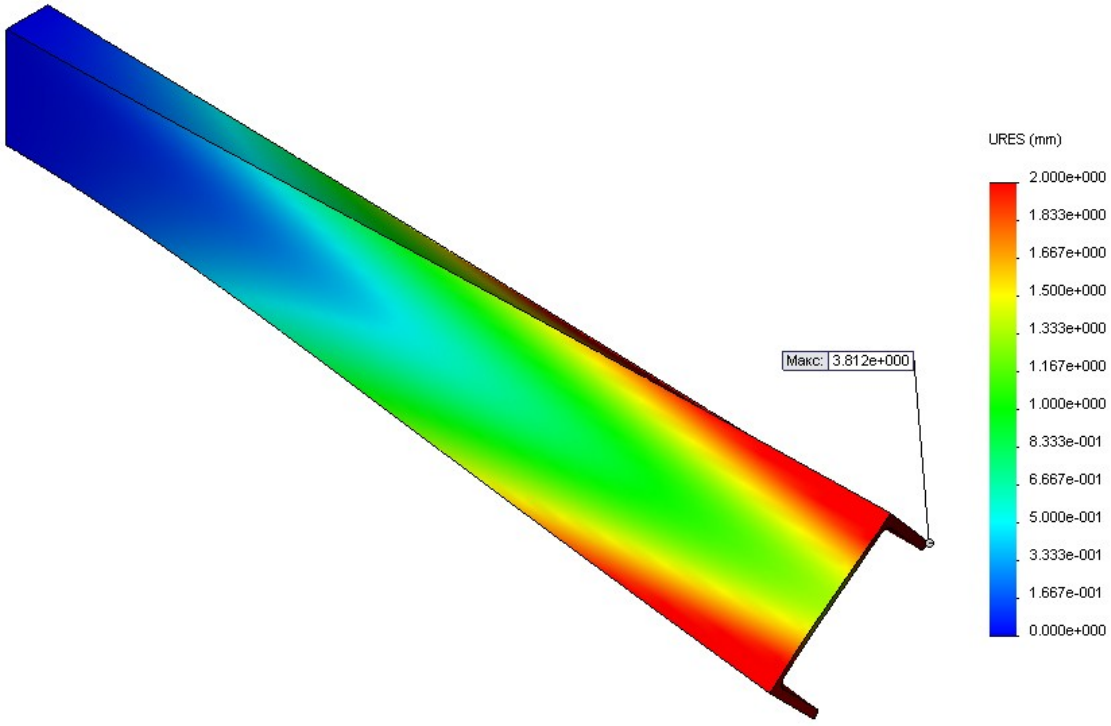
Розрахунок напружено-деформованого стану лонжерона рами виконуємо за допомогою модуля CosmosWorks програмного комплексу SolidWorks.

Результати моделювання швелерної балки без конструктивних отворів

наведено на рис. 3.5, а результати розрахунку швелерної балки з отворами подано на рис. 3.6.

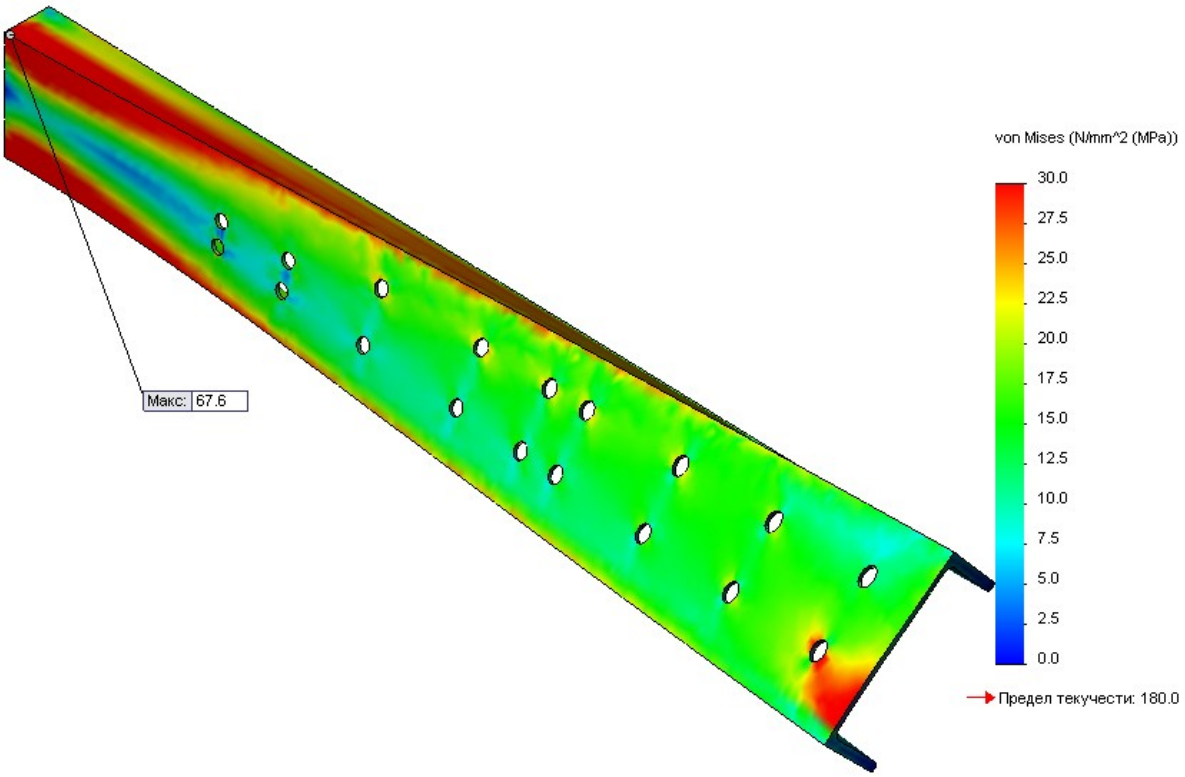


а)

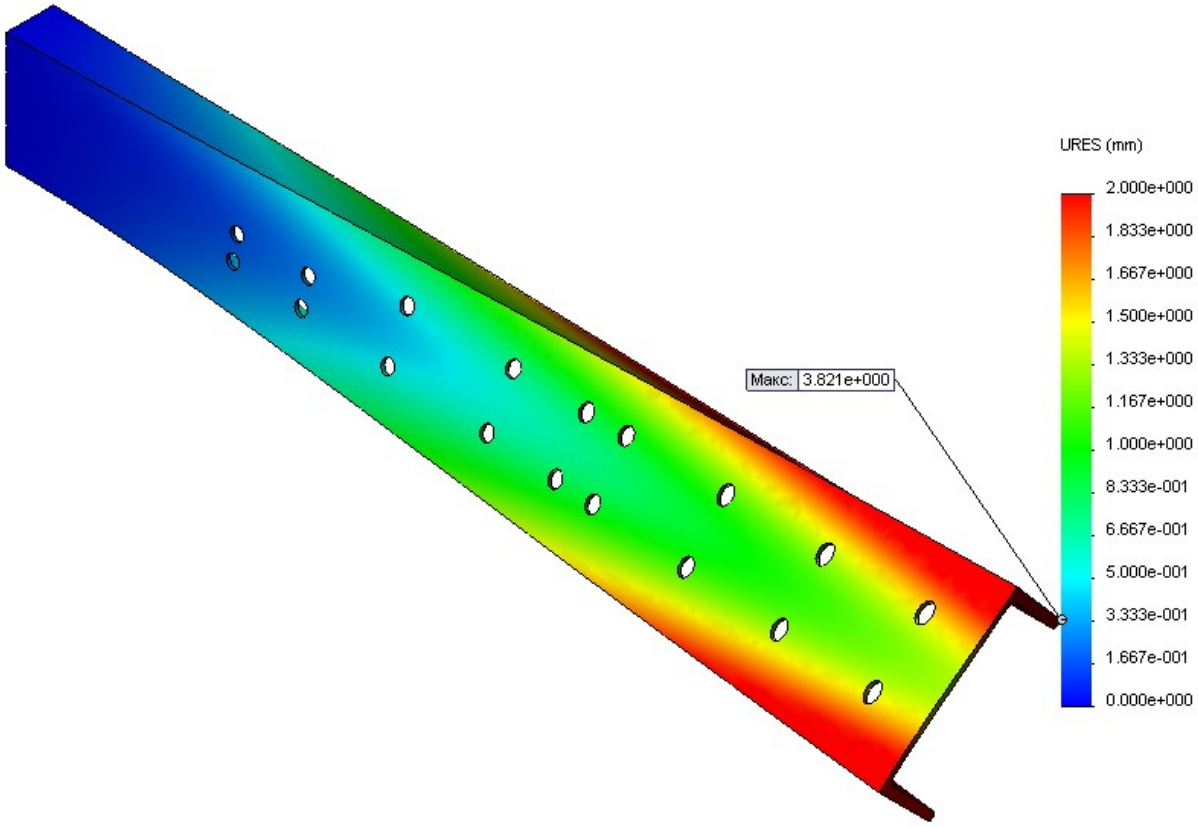


б)

Рисунок 3.5 – Результати розрахунків НДС швелерної балки без отворів: а – величини напружень, МПа; б - значення переміщень точок, мм.



а)



б)

Рисунок 3.6 – Результати розрахунків НДС швелерної балки з отворами: а – величини напружень, МПа; б – значення переміщень точок, мм.

Отримані методом скінченних елементів результати розрахунку свідчать про те, що наявність отворів у стінці швелерної балки не має суттєвого впливу на її напружено-деформований стан.

Максимальні напруження спостерігаються в зоні защемлення балки та відрізняються незначно. Для балки без отворів максимальні напруження становлять 66,6 МПа, тоді як для балки з отворами - 67,6 МПа, тобто різниця складає близько 1 МПа.

Зміна жорсткості балки також є незначною. Максимальне переміщення вільного кінця балки без отворів становить 3,812 мм, а балки з отворами - 3,821 мм, що відрізняється приблизно на 0,01 мм.

Розподіл коефіцієнтів запасу міцності для балки без отворів наведено на рис. 3.7, а для балки з отворами - на рис. 3.8.

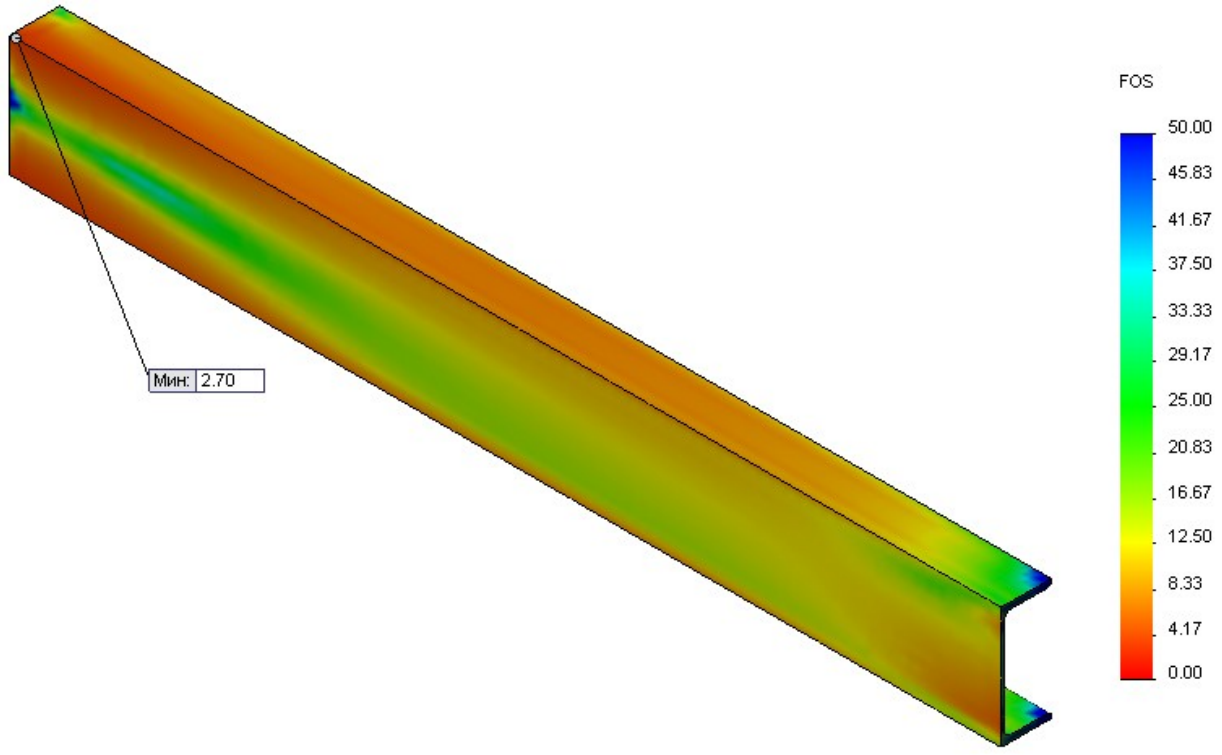


Рисунок 3.7 – Розподіл запасу міцності по швелерній балці без отворів

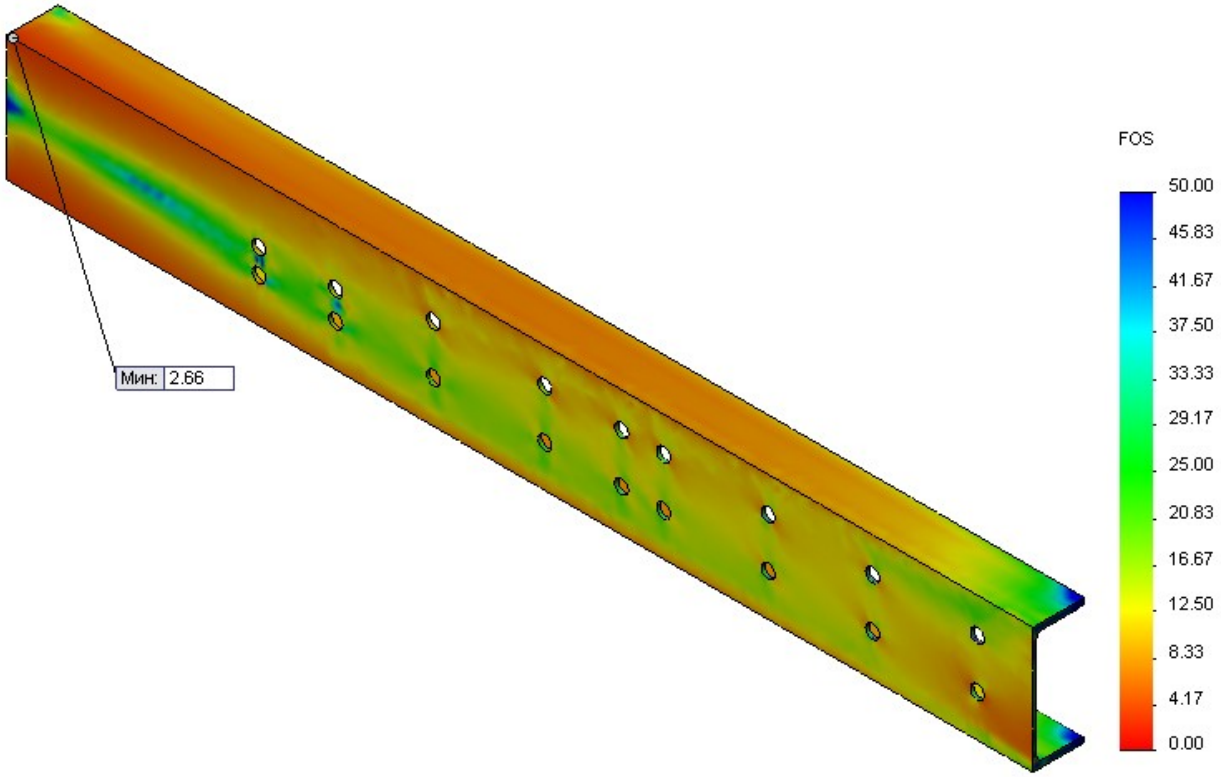


Рисунок 3.8 – Розподіл запасу міцності по швелерній балці з отворами

Для балки без отворів коефіцієнт запасу міцності становить 2,7, тоді як для балки з отворами у стінці - 2,66. Таким чином, різниця між коефіцієнтами запасу міцності досліджуваних конструкцій є незначною та складає лише 0,04, що свідчить про незначний вплив отворів на міцнісні характеристики балки.

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1. Організація робіт по техніці безпеки та охороні праці

Керівництво і відповідальність за організацію роботи з охорони праці в області технічного обслуговування машинно-тракторного парку покладається в господарствах на головного інженера, на пунктах технічного обслуговування, і ділянках на безпосередніх керівників цими підрозділами.

Особи, відповідальні за техніку безпеки в області організації технічного обслуговування (інженери по експлуатації, механік, бригадири, майстри й інші керівники), зобов'язані:

• не допускати перевірку тракторів, комбайнів і самохідних машин, що знаходяться в русі;

• не допускати до роботи на пересувних засобах технічного обслуговування, металообробних верстатах, до електрогазозварочних, ковальських і інших робіт осіб, що не мають відповідних чи посвідчень інших документів;

• стежити за справним станом пересувних засобів технічного обслуговування й устаткування, що знаходиться на стаціонарному пункті технічного обслуговування, а також за наявністю і справністю всіх передбачених правилами техніки безпеки запобіжних пристроїв, огороджень і індивідуальних засобів захисту, що забезпечують безпечні умови праці на відповідному ділянці роботи;

• визначати маршрути проходження пересувних засобів технічного обслуговування до місця роботи;

• вимагати дотримання робітниками і особами, що працюють за трудовим договором чи угоді, правил і інструкцій з техніки безпеки, строго стежити за застосуванням безпечних методів праці і використанням усіх наявних запобіжних і захисних засобів.

Усі робітники, що надходять на роботу, повинні пройти вступний

інструктаж, інструктаж на робочому місці, а потім через кожні шістьох місяців роботи періодичний інструктаж. Робітники, зайняті на особливо небезпечних і шкідливих роботах (електрогазозварочні, ковальські, зарядка акумуляторів і ін.), періодичний інструктаж проходять через три місяці.

Велику роль у зниженні виробничого травматизму грає пропаганда безпечних методів ведення робіт. У зв'язку з цим керівництво пункту технічного обслуговування зобов'язано організувати куточок по техніці безпеки.

Куточок по техніці безпеки організується в спеціальному чи приміщенні безпосередньо в основному відділенні майстерні пункту технічного обслуговування. Ділянка куточка доцільно відокремити декоративною стінкою зі склоблоків висотою приблизно 2,6 м. Куточок повинний відповідати вимогам естетики. Його необхідно постачити аптечкою для надання першої медичної допомоги, столом і стільцями. Тут же повинні бути виставлені зразки захисних окулярів, світлофільтрів, респіраторів і інших індивідуальних засобів захисту. Варто також представити для порівняння справний і несправний інструмент. Тематика ілюстрацій і експозиції стендів повинні відбивати безпечні прийоми праці при технічному обслуговуванні і ремонті сільськогосподарської техніки, а також спеціальні види робіт, виконувані на пункті технічного обслуговування

4.2. Вимоги техніки безпеки при експлуатації машини КС-6Б

До роботи з технічного обслуговування, транспортування, обкатування і використання машини допускаються особи, які досягли 18 років, пройшли медичний огляд, спеціальну підготовку, інструктаж з техніки безпеки і протипожежної безпеки при наявності відповідного посвідчення.

При одночасному обслуговуванні, ремонті машини кількома виконавцями необхідно призначити старшого групи, доручивши йому контроль за

дотриманням правил техніки безпеки (черговості робіт).

У машині повинна бути аптечка з необхідними медикаментами.

Працювати необхідно у зручному одязі, щоб не допустити його попадання у рухомі частини машини.

Інструменти, прилади і обладнання для технічного обслуговування і ремонту повинні використовуватись тільки за своїм призначенням, бути справними і забезпечити безпечність проведення робіт.

Перед запуском двигуна машини потрібно впевнитися у справності механізму блокування запуску.

Перед запуском двигуна ручка перемикання діапазонів повинна бути у нейтральному положенні, а педалі керування гідронасосом у одній площині. При цьому важіль керування гідронасосом повинен знаходитися у вертикальному положенні. Муфта приводу робочих органів - виключена.

Перед вмиканням передачі, а також початком руху, водій повинен впевнитися у відсутності сторонніх осіб на машині або поблизу неї і дати попереджувальний звуковий сигнал.

Необхідно систематично перевіряти справність і надійність роботи гальм рульового керування механізму переключення діапазонів. Категорично забороняється працювати з несправним рульовим керуванням, гальмівною системою, електроосвітленням і сигналізацією.

При русі машини водій повинне знаходитися на сидінні. Забороняється перебування сторонніх осіб на працюючій машині або біля неї.

Забронюється очищати, ремонтувати або регулювати вузли під час руху машини.

Забороняється експлуатувати машину без запобіжних кожухів і огорож карданних, пасових і ланцюгових передач.

Надівати паси на шківи і ланцюги на зірочки, а також змащувати підшипники під час роботи машини забороняється. Забороняється чіпати руками робочі органи машини при працюючому двигуні.

При роботі машини металеві труби гідроприводу на ходову частину

можуть нагріватися до 80-100^{0}С. Бережіться опіків.

При переведенні навантажувального транспортера з робочого у транспортне положення (або навпаки) попередньо необхідно впевнитися у наявності вільного простору, відсутності ліній електропередач та інше. Оскільки, за габаритний розмір транспортера за висотою при переведенні перевищує 4м.

Швидкість руху машини при значних нахилах дороги повинна бути до 4 км/год, поздовжнім кутом нахилу до 7%.

При поворотах і розворотах швидкість потрібно зменшити до 3км/год.

Нахили агрофону не повинні перевищувати 2^0.

При тривалих переїздах машини (більше 15-20 км) паси приводу робочих органів потрібно зняти.

Рух дорогами загального користування проводиться відповідно до “Правил дорожнього руху” і при включених безперервних маячках оранжевого або білого кольорів.

Переїжджати у тунелях, через греблі, мости (якщо дозволяють габарити і вантажопідйомність) потрібно тільки на пониженій швидкості при безперервно ввімкнених проблискових маячках.

Після зупинки машини необхідно обов’язково перевести ручку переключення діапазонів у нейтральне положення.

При заміні мастила у перші 20-30 хв після зупинки двигуна, необхідно бути обережним, щоб уникнути опіків.

Щоб уникнути випадкового руху машини з місця, водій повинен перед виходом із кабіни при працюючому двигуні заблокувати педалі керування гідронасосом засувкою і загальмувати машину стоянковим гальмом.

Всі види регулювань і технічного обслуговування виконуються при виключеному двигуні (крім деяких регулювань двигуна і діагностики).

Забороняється будь-що робити під машиною, якщо копачі підняті і під колеса не підставлені упори-клини.

При м’якому ґрунті під домкрат кладуть міцну дошку при проведенні

технічних оглядів або ремонті потрібно підняти одну із сторін машини, користуються домкратом вантажопідйомністю не менше 5т.

Не можна знаходитись під машиною, яка піднята на домкрат. Місця встановлення домкрата і опор для піднімання різних частин машини вказано на машині.

Буксирування машини здійснюється лише на жорсткому зчіпленні з ввімкненою передачею згідно з “Правилами дорожнього руху”.

Особливості користування гальмами. Гальмування машин під час руху необхідно проводити зміною подачі основного насоса гідростатичної передачі трансмісії (ГСТ), що виконується за допомогою педалей керування.

Категорично забороняється:

а) курити на машині поблизу складування сіна , соломи та інших місць підвищеної пожежонебезпеки;

б) заправляти двигун пальним у місцях складування (сіна, соломи) та інших місцях підвищеної пожежонебезпеки;

в) проводити ремонт машин та інші роботи з використанням відкритого вогню у місцях складування сіна, соломи й інших місцях підвищеної пожежонебезпеки.

До початку збиральних робіт машина повинна бути обладнана вогнегасником та лопатою.

Не дозволяється на вогнегасник вішати одяг або класти сторонні предмети, вони заважають швидко використати його у випадку необхідності. Вогнегасник повинен бути завжди справним і своєчасно заправленим.

У нічний при виході з ладу електрообладнання користуватися вогненебезпечними ліхтарями.

Необхідно слідкувати за тим, щоб прокладка колектора добре ущільнювала і не відпускала б відпрацьовані гази.

Недостатнє ущільнення може привести до загоряння легкозаймистих матеріалів.

Щоб попередити замикання проводів потрібно кожного для перевіряти

справність електропроводки, слідкувати за якістю ізоляції електропроводів і не допускати забруднення їх маслом і пилом.

При заправці машини і перевірці його рівня не можна користуватися відкритим вогнем і курити, допускати підтікання мастила у місцях з'єднання трубопроводів. Своєчасно усуньте підтікання у системі живлення і змащення двигуна. Пролите паливо і масло треба витерти.

Необхідно своєчасно очищати машину, двигун, захисні сітки радіаторів від рослинних залишків, випускну трубу і колектор від нагару.

Стаціонарні пости технічного обслуговування і агрегати технічного обслуговування повинні бути обладнані засобами пожежогасіння.

Паливопроводи необхідно чистити на двигуні після перекриття подачі палива. У машин, які пройшли технічне обслуговування не повинно бути підтікання палива.

Особи, які працюють на машині, а також які беруть участь у проведенні технічного обслуговування, повинні здати пожежотехнічні мінімуми.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Основною метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є підвищення надійності коренезбиральної машини типу КС-6Б шляхом удосконалення конструкції приводу гідронасоса.

У кваліфікаційній роботі проведено огляд сучасних технологій збирання цукрових буряків та виконано їх порівняльний аналіз. Здійснено детальний аналіз технічних засобів для збирання цукрових буряків, визначено їх основні переваги та недоліки, а також обґрунтовано актуальність обраної тематики дослідження.

У пояснювальній записці наведено обґрунтування експлуатаційних характеристик коренезбиральної машини, розглянуто її конструкцію та технологічний процес роботи, досліджено умови функціонування і основні причини виникнення відмов приводу гідронасоса.

У результаті проведених досліджень встановлено, що надійність роботи приводу гідронасоса із зубчастою муфтою значною мірою залежить від забезпечення співвісності валів двигуна та гідронасоса під час складання. Це ускладнює технологію виготовлення вузлів і процес їх монтажу. У зв’язку з цим запропоновано конструкцію приводу гідронасоса із застосуванням карданного з’єднання.

У проєктній частині роботи виконано технологічні розрахунки коренезбиральної машини, проведено обґрунтування конструкції приводу гідронасоса та виконано необхідні інженерні розрахунки його основних елементів.

У кваліфікаційній роботі також розроблено рекомендації з охорони праці та заходи безпеки під час експлуатації коренезбиральної машини КС-6Б.

Використання приводу гідронасоса удосконаленої конструкції дозволить підвищити експлуатаційну надійність коренезбиральної машини, знизити витрати на технічне обслуговування та ремонт, а також підвищити ефективність виконання збиральних робіт.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гевко Р.Б. Напрямки вдосконалення бурякозбиральної техніки // Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Синій С.В., Булгаков В.М., Рогатинський Р.М., Павелчак О.Б. Луцьк: ЛДТУ, 1999. 168 с.
2. Гудь, М., Ворощук, В., Олексюк, В., & Гагалюк, А. (2024). Оцінка впливу фізико-механічних параметрів наповнювача на динамічну поведінку циліндричної оболонки. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 345 №6(2), 248-253.
3. Довідник з механізації виробництва цукрових буряків / за ред. Проценка О.О. К.: Урожай, 1987. 256 с.
4. Експертно-аналітична оцінка технологічних і економічних показників сільськогосподарської техніки. Навчально-методичний посібник / Данильченко М.Г., Гладич Б.Б., Гевко Р.Б, Ткаченко І.Г. Тернопіль, 2001. 60 с.
5. Енергетичні засоби сільськогосподарського виробництва. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів денної та заочної форм здобуття освіти за освітньо-професійною програмою 208 «Агроінженерія» / Олексюк В.П., Брощак І.С., Мартинюк В.В. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. 71 с.
6. Карабиньош С., Новицький А., Сиволапов А. Бурякозбиральні машини та їх характеристики// Пропозиція. 07.11.2008./ https: //propozitsiya.com/ua/buryakozbiralni-mashini-ta-yih-harakteristiki.
7. Гевко Р. Б., Ткаченко І. Г., Павх І. І. Машини сільськогосподарського виробництва. Тернопіль, 2005. 228 с.
8. Методичний посібник до дипломного проектування для студентів денної та заочної форм навчання напряму підготовки–6.050503 «Машинобудування» з професійним спрямуванням на спеціальність «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва»(7.05050312, 8.05050312) для здобуття освітньо-кваліфікаційних рівнів

«бакалавр»,«спеціаліст»,«магістр»/Н. І. Хомик, МЯ Сташків, ВП Олексюк. Тернопіль: ФОП Паляниця ВА, 2016. 172 с.

9. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів / Войтюк Д.Г. Царенко О.М. Яцун С.С. Довжик М.Я. Швайко В.М., Саржанов О.А. К.: Вища школа, 2000. 93 с.

10. Напрямки вдосконалення бурякозбиральної техніки / Р.Б. Гевко, І.Г Ткаченко, С.В. Синій, та ін. Луцьк: ЛДТУ, 1999. 168 с.

11. Недопустимість резонансних коливань пристрою пасивного ножа дообрізувача гички / Т. А. Довбуш, В. П. Олексюк, В. В. Чомко, І. М. Данчук // Тези XIII МНПК „Актуальні задачі сучасних технологій“, 11-12 грудня 2024 року. Т. : ФОП Паляниця В. А., 2024. С. 69–70.

12. Олексюк А.В. Пошук оптимальних конструкцій сепаруючих пристроїв картоплезбиральних машин / А.В. Олексюк, Т.А. Довбуш, В.П. Олексюк // Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей XIV міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11-12 грудня 2025). Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2025. С. 110-112

13. Охорона праці в сільському господарстві [Електронний ресурс]: Режим доступу вільний: http://ipal.at.ua/publ/okhorona_praci/mozhlivi

14. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. /В.Т. Павлище. К.: Вища школа, 1993. 556 с.

15. Протокол №16-85-88 (1140210) державних прийомочних випробувань бурякозбирального комбайну КСБ-6 / Львівська державна зональна машиновипробувальна станція. Магерів: 2003. 48 с.

16. Технічний сервіс та ремонт машин агровиробництва. Методичні вказівки до виконання розрахункових робіт для студентів денної та заочної форм здобуття освіти за освітньо-професійною програмою 208 «Агроінженерія» / Олексюк В.П., Сташків М.Я. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2023. – 39 с.

17. Хомик Н.І. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

спеціальності Агроінженерія / Н. І. Хомик, В. П. Олексюк, М. Я. Сташків, А. В. Бабій, Т. А. Довбуш. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2025. 180 с.

18. Хомик Н.І. Основи агрономії: навчальний посібник (курс лекцій) / Н. І. Хомик, Г. Б. Цьонь, Т. А. Довбуш, В. П. Олексюк. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 232 с.

19. Гевко Р.Б. Системи доочищення коренеплодів при їх механізованому збиранні: монографія / Р.Б. Гевко, І.Г Ткаченко, Р.М. Рогатинський, С.В. Синій, Ю.Б. Гладьо, В.В. Градовий. Тернопіль: Осадца Ю.В., 2020. 216 с.

20. Hevko R., Stashkiv M., Lyashuk O., Vovk Y., Oleksyuk V., Tson O., Bortnyk I. Investigation of internal efforts in the components of the crop sprayer boom section. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. Volume 105, Issue 1 (2021), 33 – 41.

21. Roman Hevko; Yurii Nykerui; Taras Dovbush; Vasyl Oleksyuk. Substantiation of constructive parameters of a frame structure elements of the rope mechanism transport system for storing piece loadings into small warehouses. Scientific Journal of TNTU. Tern.: TNTU, 2020. Vol 100. No 4. P. 62–74.

22. Pidgurskyi M., Stashkiv M., Pidgurskyi I., Oleksyuk V., Pidluzhnyi O., Bykiv D., Borys I., Bulaienko R., Stashkiv V., Mushak A. (2024) Methodology of experimental and analytical research of technical systems. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 116, no 4, pp. 50–58.

23. Sustainable and smart logistics centers: Challenges and opportunities for Ukraine's transport system. Y Vovk, I Vovk, U Plekan, O Tson, V Oleksyuk Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics. Vol. 10 No. 1 (2025), 116-124.

ДОДАТКИ