

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Тракторів і автомобілів

(назва кафедри)

Калінін Є.І.

(підпис)

(ПІБ)

«_____» _____ 2024 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА

на тему «Оцінка курсової стійкості прямолінійного руху гусеничного трактора шляхом врахування силового впливу зі сторони робочої знаряддя»

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Сівак І.М.

(ПІБ)

Керівник дипломного проєкту бакалавра

д.т.н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Гладчук Є.О.

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Коротун Віталій Олегович

(ПІБ)

КИЇВ – 2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

тракторів і автомобілів та

д.т.н., проф. _____ **Калінін Є.І.**
(наук. ступ., вч. звання) (підпис) (ПІБ)
« _____ » _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання дипломного проекту бакалавра студенту
Коротуну Віталію Олеговичу

Спеціальність _____
(прізвище, ім'я, по батькові) 208 «Агроінженерія»
(код і назва)

Тема дипломного проекту бакалавра на тему «Оцінка курсової стійкості прямолінійного руху гусеничного трактора шляхом врахування силового впливу зі сторони робочої знаряддя» затверджена наказом ректора НУБіП України від «26» листопада 2024р. №2098 «С»

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру: _____ 01.05.2025
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до дипломного проекту бакалавра: характеристики та конструктивні особливості тракторів, що використовуються як енергетичні засоби для бульдозерів, принципи функціонування та конструктивні особливості бульдозерних відвалів

Перелік питань які потрібно розробити _____
Вступ _____

- 1 Загальні засади використання бульдозерів
- 2 Запропоноване технічне рішення стабілізації курсової стійкості гусеничного трактору з бульдозерним обладнанням
- 3 Обґрунтування основних параметрів бульдозера при використанні запропонованого відвалу
- 4 Охорона праці при експлуатації тракторів з бульдозерним обладнанням
- 5 Техніко-економічне обґрунтування проекту

Висновки _____
Перелік графічного матеріалу: Вступ. Стан питання та аналіз існуючих досліджень. Теоретичні дослідження. Запропоноване технічне рішення. Висновки

Дата видачі завдання «10» січня 2025 р.

Керівник дипломного проекту бакалавра _____
(підпис)

Коротун В.О.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

Романченко В.М.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Основна частина дипломного проекту викладена на 50 сторінках пояснювальної записки і 10 слайдів презентації, ілюстрована 9 рисунками.

Пояснювальна записка складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку використаної літератури.

Тема дипломного проекту: «Оцінка курсової стійкості прямолінійного руху гусеничного трактора шляхом врахування силового впливу зі сторони робочої знаряддя».

У ході виконання дипломного проекту було проведено детальне вивчення можливих конструкцій бульдозерів, а також здійснено аналіз їх класифікації за різними ознаками й технічними характеристиками.

Додатково було обрано основні параметри бульдозера та здійснено їх розрахунок із подальшим уточненням відповідно до нормативних стандартів. Проведено розрахунок тягових характеристик, що дозволило переконатися в достатності тягового зусилля машини для ефективного виконання завдань у заданих умовах експлуатації.

Також виконано розрахунок системи керування відвалом, у результаті чого визначено зусилля, яке діє на робочий орган у разі виникнення випадкових навантажень. На основі отриманих результатів підібрано відповідний гідроциліндр для підйому відвала та обрано гідронасос, який забезпечить стабільну та надійну роботу системи управління робочим обладнанням бульдозера.

Ключові слова: трактор ХТЗ-150, бульдозер ТС-5, відвал, тяговий розрахунок.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ БУЛЬДОЗЕРІВ	8
1.1 Призначення та класифікація бульдозерів	8
1.2 Конструкція бульдозера	10
1.3 Загальний опис бульдозера ХТЗ ТС-5	14
1.4 Будова й різновиди відвалів	17
РОЗДІЛ 2 ЗАПРОПОНОВАНЕ ТЕХНІЧНЕ РІШЕННЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРУ З БУЛЬДОЗЕРНИМ ОБЛАДНАННЯМ	20
2.1 Обґрунтування підвищення курсової стійкості бульдозерів з поворотними відвалами	20
2.2 Технічне рішення для забезпечення рівномірного розподілу сили опору відвалу за його довжиною	21
2.3 Визначення ключових параметрів робочого органу	22
РОЗДІЛ 3 ОБГРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ БУЛЬДОЗЕРА ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЗАПРОПОНОВАНОГО ВІДВАЛУ	25
3.1 Тяговий розрахунок базового трактора	25
3.2 Визначення зусиль на виконавчих механізмах бульдозера	27
3.3 Визначення параметрів гідравлічної системи	29
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАКТОРІВ З БУЛЬДОЗЕРНИМ ОБЛАДНАННЯМ.....	33
4.1 Загальні засади охорони праці машиніста бульдозера.....	33
4.2. Основи пожежної безпеки для машиніста бульдозера.....	34
4.3 Правила електробезпеки для операторів бульдозерів	34
4.4 Вимоги до безпеки перед початком виконання робіт	35
4.5 Вимоги до безпеки під час виконання робіт	37
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ	40

ВИСНОВКИ.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	46
ДОДАТКИ.....	48

ВСТУП

Агропромисловий комплекс України стоїть перед ключовими викликами, серед яких – досягнення стабільного приросту у виробництві сільськогосподарської продукції, гарантоване забезпечення населення харчовими продуктами й сировиною рослинного та тваринного походження, а також тісна взаємодія всіх секторів галузі для досягнення стратегічно важливих результатів, що відповідають завданням державної продовольчої політики. Одним з головних орієнтирів цієї політики є систематичне покращення технічного рівня, підвищення експлуатаційної якості й особливо – довговічності та надійності тракторів та іншого аграрного обладнання.

В сучасних ринкових умовах сільське господарство зазнає значної трансформації, що вимагає адаптації технічних засобів до нових реалій. Високі стандарти ефективності охоплюють як великомасштабні аграрні підприємства, так і малі фермерські господарства.

У зв'язку з цим підвищується інтерес до універсальних тракторів, які здатні виконувати широкий спектр агротехнологічних операцій, зберігаючи при цьому високу надійність і простоту в експлуатації.

Ключовими експлуатаційними характеристиками тракторної техніки залишаються її продуктивність і паливна економічність. Водночас задоволення сучасних вимог до універсальності машин передбачає ускладнення їх конструкцій, зростання кількості агрегатів і систем, а також збільшення загальної маси техніки.

Надлишкова вага тракторів призводить до посиленого фізичного впливу на ґрунт через ходові системи, що викликає надмірне ущільнення, зниження його аерації, порушення водного балансу й, зрештою, зменшення врожайності.

Механічний вплив рушіїв на ґрунтову поверхню не обмежується лише процесом ущільнення. Значного погіршення структури ґрунту спричиняє також явище буксування, особливо інтенсивне на важких або вологих ґрунтах. З огляду

на ці чинники, доцільним є переосмислення й удосконалення конструкцій рушіїв, зокрема гусеничного типу.

Окрім того, суттєвим питанням є робота тракторів з ґрунтообробними знаряддями (особливо бульдозерними відвалами), які зміщені відносно центральної лінії трактора. Використання широкозахватних плугів призводить до значних зусиль, які розвертають трактор, погіршуючи його курсову стійкість.

РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ БУЛЬДОЗЕРІВ

1.1 Призначення та класифікація бульдозерів

Бульдозер (рис. 1.1) – це машина, що поєднує функції землерийного та транспортного обладнання і складається з основного рушія (зазвичай це трактор потужністю до 450 кВт або колісний двовісний тягач з двигуном до 600 кВт) та встановленого на ньому бульдозерного оснащення. Це оснащення може бути як основним, так і додатковим залежно від завдань.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд бульдозера

Основна функція бульдозера полягає в механізованому виконанні робіт, пов'язаних із пошаровим зняттям ґрунту, його переміщенням на відстань до 60...180 метрів, розрівнюванням, формуванням шару та загальною підготовкою поверхні.

Для зручності використання та правильного підбору техніки бульдозери класифікують за кількома ключовими ознаками: за функціональним призначенням, тяговими характеристиками рушія, потужністю силової установки, типом ходової частини, конструктивними особливостями та принципом управління робочим органом – відвалом.

За призначенням розрізняють: універсальні машини, що виконують широкий спектр завдань у різних умовах; спеціалізовані бульдозери, призначені для конкретних технологічних процесів [1].

За тяговим зусиллям базової машини бульдозери класифікують на: компактні моделі (до 25 кН); легкі (25...135 кН); середні (135...200 кН); важкі (200...300 кН); надважкі (понад 300 кН).

За потужністю двигуна основної машини розрізняють: малі (до 45 кВт); легкі (45...120 кВт); середні (120...150 кВт); важкі (150...225 кВт); надпотужні (понад 225 кВт).

За типом рушія бульдозери поділяють на колісні моделі та гусеничні машини [2].

За конструктивними ознаками: техніка з відвалом, розміщеним спереду, ззаду або з обох боків; моделі з можливістю повороту відвала або без такої функції.

За системою керування відвалом бульдозери бувають з гідравлічним приводом та з канатною системою управління.

Бульдозери широко використовуються в сільському господарстві при виконанні меліоративних робіт. Вони охоплюють близько 35...40% усіх землерийних операцій [1, 3].

Окрім того, така техніка залучається в дорожньому та меліоративному будівництві, а також у кар'єрах гірничодобувної галузі. Бульдозери ефективно виконують планування територій, створення насипів під шляхи висотою до 2 метрів із ґрунту, взятого з бокових резервів, переміщення землі на відстані до 100 метрів, формування котлованів і каналів, зворотне засипання ям і траншей,

очищення будівельних ділянок і доріг від снігу, видалення дерев і корчування пнів, формування силосних ям тощо.

1.2 Конструкція бульдозера

Будь-який сучасний бульдозер являє собою сукупність базової тягової машини, виконавчого органа у вигляді відвала та системи приводу, яка забезпечує керування цим робочим елементом.

В якості бази найчастіше використовують трактор на гусеничному ході або потужний колісний тягач. Робочий орган – це ключовий елемент, що безпосередньо виконує переміщення та обробку ґрунту [4].

В конструкції бульдозера з нерухомим відвалом (рис. 1.2) відвал 1 кріпиться до штовхаючого механізму за допомогою універсальних шарнірів 8. Цей механізм складається з двох штовхаючих брусів коробчастого профілю 7, задні кінці яких за допомогою таких же шарнірів 8 з'єднані з балками ходової частини базового трактора 5 та 4. Завдяки шарнірним з'єднанням штовхаючі бруси можуть здійснювати обертальні рухи як у вертикальній, так і в горизонтальній площинах, що дозволяє компенсувати перекоси відвала.

Підйом і опускання відвала забезпечують два двосторонні гідроциліндри 3, штоки яких шарнірно закріплені до кронштейнів на відвалі.

Для стабілізації положення робочого органу в робочому режимі застосовуються гідравлічний розкос 2 і жорсткий гвинтовий розкос 10, які монтуються відповідно на лівий і правий штовхаючі бруси [5].

Рівномірний розподіл навантажень між цими брусами гарантує механізм компенсації перекосу 9, що підтримує стабільність відвала в горизонтальній площині.

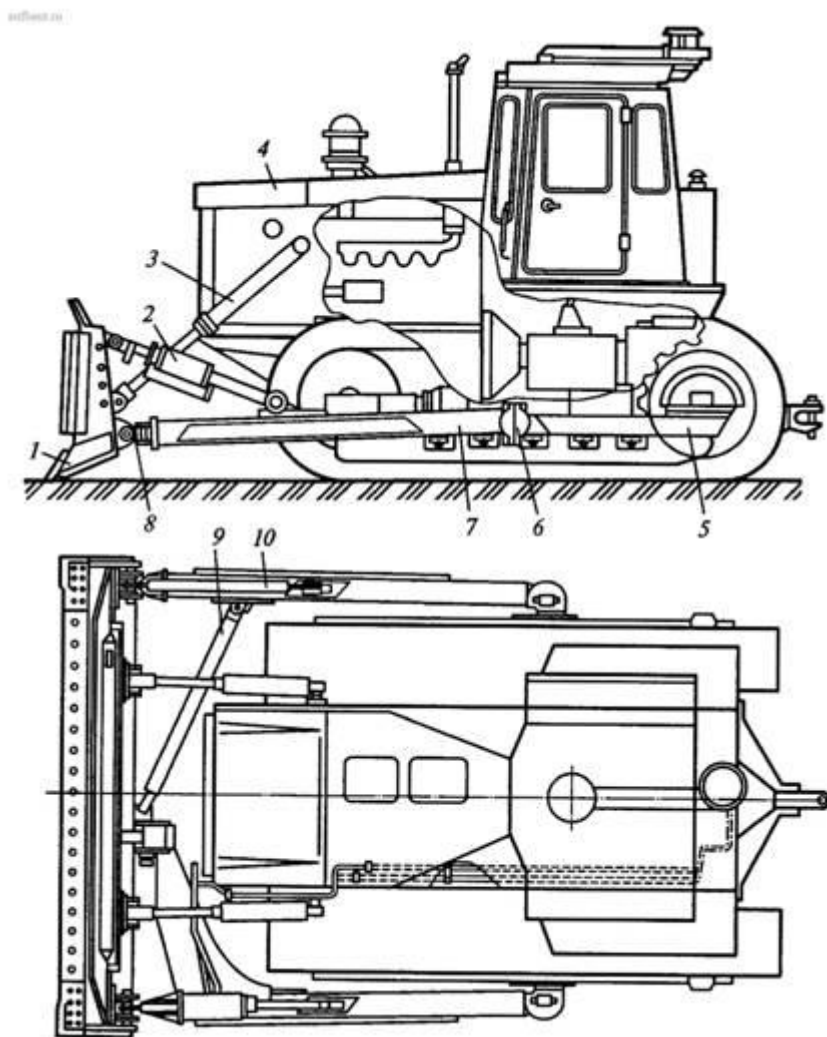


Рисунок 1.2 – Бульдозер з неповоротним відвалом

Гідравлічний розкос виконує функцію поперечного нахилу відвала, здатного повертатися на кут до $\pm 12^\circ$, і являє собою двосторонній гідроциліндр із гідрозамком, інтегрований у гідросистему трактора.

Водночас гвинтовий розкос служить для механічної регулювання кута різання ножів, змінюючи його без використання гідравліки.

У випадку бульдозера з поворотним відвалом (рис. 1.3) відвал 1 встановлюється на універсальну штовхаючу раму 7, що охоплює зовнішню частину трактора 4 [6].

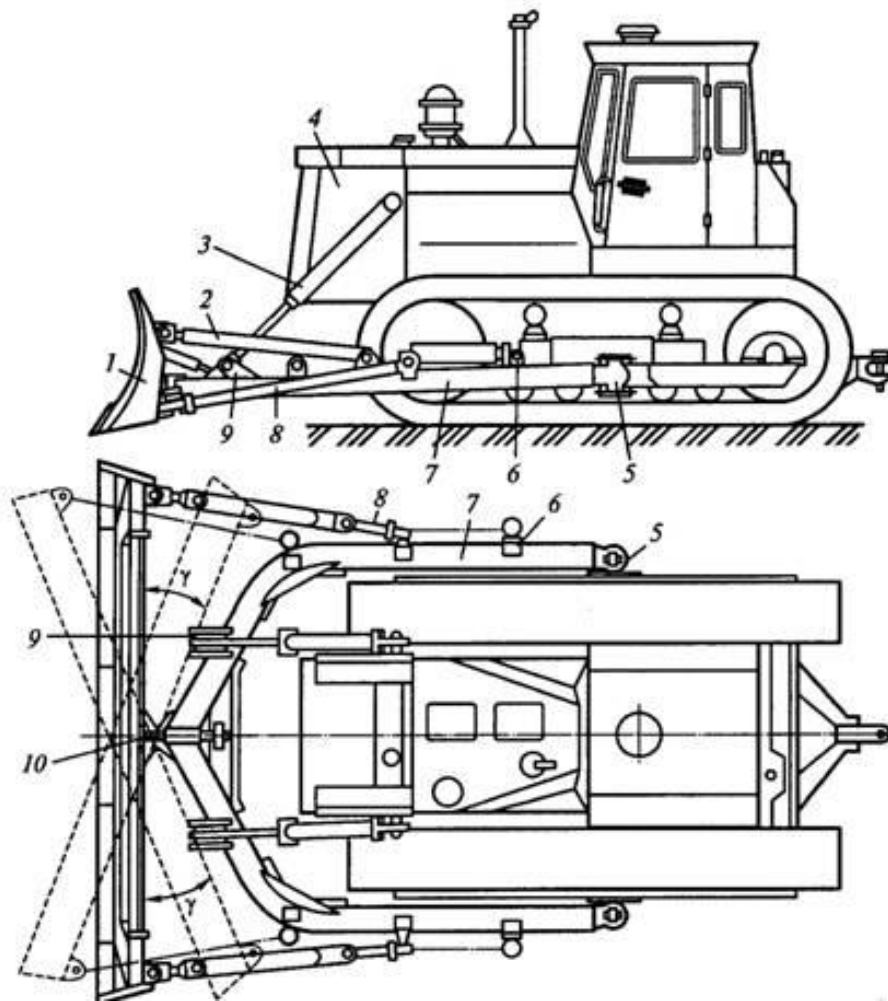


Рисунок 1.3 – Бульдозер з поворотним відвалом

Ця рама складається з двох жорстко з'єднаних між собою піврам прямокутного перетину і кріпиться до ходових візків трактора через упряжні шарніри 5.

Замість відвала на таку раму можна монтувати різноманітне змінне обладнання з гідравлічним приводом – кусторіз, древовал, корчувач-збирач, плужний снігозбирач тощо. Поворотний відвал зв'язаний із рамою через центральний кульовий шарнір 10 та два бокові штовхаючі механізми 8 із гвинтовими розкосами 2.

Ці розкоси забезпечують регулювання положення відвала відносно рами. Змінюючи однаковим чином довжину розкосів від центрального положення, оператор може коригувати кут різання ножів [7].

Поперечний нахил відвала у вертикальній площині регулюється шляхом зміни міжосьової відстані проушин розкосів.

Робоче обладнання (рис. 1.4) складається з штовхаючих брусів 6, які за допомогою універсальних (упряжних) шарнірів 8 закріплюються на базовому тракторі.

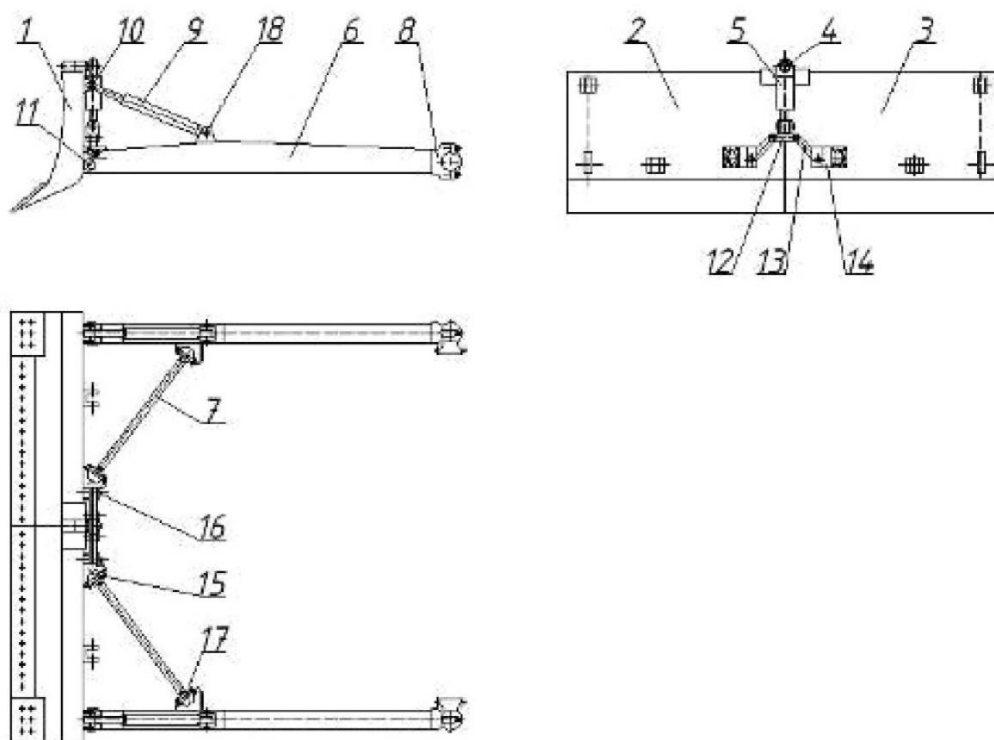


Рисунок 1.4 – Робоче обладнання бульдозера

До передніх кінців цих брусів шарнірно приєднаний відвал 1, виконаний у вигляді розбірної конструкції з двох симетричних секцій 2 і 3, з'єднаних у верхній частині одноосьовим шарніром 4.

Ось цього шарніра розташована паралельно до подовжньої осі трактора. Гідроциліндри 9, що виконують роль розкосів, з'єднують верхню частину відвала з шарнірами 10 і штовхаючими брусами через інші шарніри 18. На зворотному боці відвала змонтовані кронштейни 14, до яких приєднані тяги 7 поперечної стабілізації, що кріпляться за допомогою універсальних шарнірів 15 і 17 як до кронштейнів, так і до штовхаючих брусів [8].

Для підйому і опускання секцій відвала використовуються гідроциліндри, шарнірно з'єднані як із самими секціями, так і з трактором. Вертикально встановлений гідроциліндр 5, призначений для повороту секцій 2 і 3, закріплений на тильній стороні відвала.

Цей гідроциліндр безпосередньо з'єднаний із трьохланцюговим шарніром, центральним елементом якого є горизонтально розташована серьга 12, а бокові частини виконані у вигляді шарнірних тяг 13. Серьга 12 шарнірно пов'язана з тягами 13, кожна з яких через шарнір 16 закріплена у відповідному кронштейні 14 секції відвала.

Найчастіше на бульдозерах із неповоротними відвалами до основного бульдозерного обладнання встановлюють додаткові пристрої, які кріпляться за допомогою болтів з гайками. Завдяки такому способу кріплення їх називають знімними.

Уширювачі застосовують під час виконання робіт на легких ґрунтах або насипних матеріалах. Вони дозволяють збільшити ширину відвалу, об'єм призми волочіння та підвищити продуктивність бульдозера.

Конструктивно уширювачі являють собою секції, вигнуті за профілем основного робочого листа відвалу. Для посилення жорсткості на задній частині секцій розташовані ребра жорсткості. Кріплення уширювачів до бокових стінок відвалу здійснюється за допомогою болтів з гайками під кутом 30° до робочої поверхні [8, 9].

1.3 Загальний опис бульдозера ХТЗ ТС-5

Бульдозер ТС-5 (рис. 1.5) – це універсальна техніка, виробництво якої розпочалося у 2014 році. Габарити машини такі: довжина складає 5,89 м, колісна база – 1,88 м.

Ширина класичної версії дорівнює 2,52 м, а висота сягає 3,15 м. Завдяки високому кліренсу у 30 см техніка легко долає різноманітні перешкоди, а невеликий радіус розвороту в 2,35 м забезпечує відмінну маневреність.

Далі розглянемо конструктивні особливості двигуна, коробки передач, рами й підвіски цієї моделі.

Серед переваг варто відзначити 4-каткову підвіску посиленої конструкції, чудові тягово-зчіпні властивості, зручну коробку передач із прискореним реверсом для легкого перемикання швидкостей у обох напрямках.

Бульдозер ефективно використовується в багатьох сферах – від сільського господарства та аеропортів до електростанцій і підприємств атомної галузі. Вже в стандартній комплектації передбачено безліч опцій для підвищення комфорту та безпеки оператора [10].

За рух бульдозера відповідає дизельний V-подібний 6-циліндровий двигун ЯМЗ-236 об'ємом 11,15 л. Агрегат обладнаний компресором, має 12-циліндрову компоновку, систему безпосереднього впорску Common Rail та закриту систему охолодження.

Максимальна потужність двигуна сягає 180 к.с. при 2100 об/хв. Мотор відповідає вимогам 4-го екологічного класу, демонструє високу надійність і ресурс, що досягає 1 млн км. Силовий агрегат добре піддається ремонту та обслуговуванню завдяки доступності запчастин.



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд бульдозера ТС-5

Циліндро-поршнева група виготовлена з алюмінієво-кремнієвого сплаву й фіксується на чавунній шатунній основі. Колінчастий вал кований, із чотирма опорними точками й противагами. Витрата палива становить близько 220 г/кВт·год при середньому навантаженні, ємність бака – 300 л.

Двигун працює в парі з 3-ступеневою механічною КПП, що дозволяє перемикає передачі без розриву потоку потужності під час руху. Бульдозер розганяється до 11,09 км/год уперед та до 7,93 км/год назад.

Міцна рама клепаного типу з посиленням швелером і поперечними балками забезпечує високу надійність та служить основою для установки кабіни, двигуна й іншого обладнання. Підвіска складається з двох пар торсіонно-балансирних кареток із парою балансирів і опорних катків [11].

Многодискові гальма вмонтовані в редуктор, забезпечуючи ефективне гальмування. Гідравлічна система полегшує використання навісного обладнання та дозволяє точно управляти роботою причіпної техніки.

До основного навісного обладнання належать відвали різних типів: неповоротні (сферичні, напівсферичні та прямі) та поворотні моделі. Напівсферичний відвал підходить для земляних робіт і часто оснащується боковими щітками для збільшення обсягу переміщуваного матеріалу. Сферичний складається з трьох частин, що дозволяє ефективно працювати з шлаком, щебенем, вугіллям.

Прямий неповоротний відвал використовується для підготовки майданчиків, планування територій, заповнення котлованів. Поворотний прямий варіант ідеально підходить для дорожнього будівництва й обслуговування полотна. Додатково можливе встановлення спеціальних відвалів (рекультиваційного, буферного, корчувального, для роботи з вугіллям і торфом), а також скреперів для транспортування та розрівнювання ґрунту.

Також використовуються однозубі й тризубі розрихлювачі для обробки ґрунту на задану глибину, що особливо корисно в аграрному секторі.

Основні технічні параметри ТС-5 такі:

- габарити – 5,89×2,52×3,15 м;
- база – 1,88 м;
- кліренс – 30 см;
- радіус розвороту – 2,35 м;
- маса з обладнанням – 9,3 т;
- тяговий клас – 5;
- потужність – 180 к.с.;
- КПП – 3-ступенева «механіка»;
- швидкість – до 11,09 км/год уперед і до 7,93 км/год назад.

1.4 Будова й різновиди відвалів

Відвал (рис. 1.6) є ключовою складовою конструкції бульдозера. Його основою слугують листи металу, зазвичай використовується високоміцна сталь.

Для підвищення ефективності та ресурсу експлуатації робочого обладнання деякі моделі оснащуються додатковими сталевими листами, що суттєво підсилюють продуктивність машини [12].



Рисунок 1.6 – Загальний вигляд відвала бульдозера

Крім основного лобового листа, у конструкцію відвала входять знімні ножі, силовий привід, захисний козирок і ребра жорсткості для підвищення міцності.

Існує значна кількість типів відвалів (рис. 1.7), які можна розділити на кілька груп залежно від технічних характеристик і призначення.

Як правило, відвал кріпиться на передній частині трактора, хоча зустрічаються моделі з відвалом на задньому боці. За конструктивними особливостями та функціональністю вони можуть бути як поворотними, так і неповоротними. Крім того, за формою відвали поділяються на такі типи:

Прямий (клиноподібний). Головною ознакою є довга ріжуча кромка, яка дозволяє ефективно працювати з міцними та кам'янистими ґрунтами [13].

Проте недоліком є невеликий об'єм призми переміщення матеріалу, через що такі відвали менш продуктивні при роботі з сипучими матеріалами — піском, гравієм тощо.

Універсальний (напівсферичний). Відрізняється універсальністю і підходить для обробки різноманітних видів ґрунтів. Завдяки наявності бічних частин значно збільшується об'єм матеріалу, що переміщується.

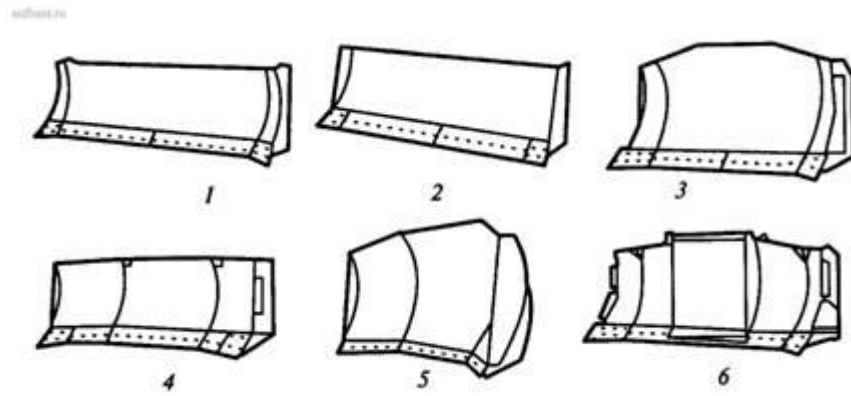
Цей тип добре поєднує властивості прямого відвала і зручність роботи з сипучими породами.

Сферичний. Має коротку ріжучу кромку, через що не підходить для обробки твердих ґрунтів.

Натомість ідеально підходить для роботи з піском, щебенем та іншими сипучими масами, де потрібна висока маневреність.

Sigma-відвал. Його конструкція нагадує велику літеру «Сигма» з грецького алфавіту [14].

Таке інженерне рішення дає змогу центральній частині легко проникати в ґрунт, тоді як спеціально сформовані краї запобігають розсипанню матеріалу в процесі роботи. Відвал Sigma чудово підходить для обробки ґрунтів із вмістом рослинних залишків.



1 – прямой поворотный; 2 – прямой неповоротный; 3 – напівсферичний; 4 – сферичний; 5 – сферичний для сипучих матеріалів; 6 – з штовхаючою плитою

Рисунок 1.7 – Основні типи бульдозерних відвалів

РОЗДІЛ 2 ЗАПРОПОНОВАНЕ ТЕХНІЧНЕ РІШЕННЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРУ З БУЛЬДОЗЕРНИМ ОБЛАДНАННЯМ

2.1 Обґрунтування підвищення курсової стійкості бульдозерів з поворотними відвалами

Курсову стійкість гусеничного бульдозера з поворотним відвалом слід розглядати як один із найважливіших факторів, що впливають на ефективність і безпеку роботи машини.

Бульдозер із поворотним відвалом під час виконання земляних робіт зазнає нерівномірного навантаження на ходову частину, оскільки сила опору ґрунту при зсуві та зрізанні мас ґрунту діє несиметрично відносно поздовжньої осі машини.

Це призводить до виникнення моменту, який прагне повернути бульдозер від заданого напрямку руху.

Без належного вирішення питання курсової стійкості можуть виникати такі негативні наслідки:

- зниження точності виконання робіт – відхилення бульдозера від заданої траєкторії призводить до порушення геометричних параметрів виконуваних виїмок або насипів.

- зростання витрат палива й часу – додаткові зусилля на керування машиною та виправлення її курсу призводять до підвищеного споживання пального та збільшення тривалості циклів роботи.

- підвищений знос гусениць і механізмів повороту – часті коригування курсу викликають посилене навантаження на ходову частину, що прискорює її зношування та потребу в обслуговуванні.

- погіршення умов праці оператора – водій змушений постійно утримувати бульдозер на заданому курсі, що підвищує його фізичне та психологічне навантаження [16].

З урахуванням вищезазначеного стає очевидною необхідність розробки та впровадження технічних і конструктивних рішень, які дозволять підвищити курсову стійкість бульдозера при роботі з поворотним відвалом.

Це може бути досягнуто шляхом оптимізації конструкції ходової частини, систем керування поворотом машини, застосування автоматичних або напівавтоматичних систем стабілізації, а також удосконалення геометрії відвала для зниження асиметрії навантажень.

Таким чином, вирішення питання збереження курсової стійкості не лише підвищує продуктивність бульдозера, а й сприяє зниженню витрат на експлуатацію й обслуговування техніки, поліпшенню якості виконуваних робіт і створенню безпечних та комфортних умов праці для оператора.

2.2 Технічне рішення для забезпечення рівномірного розподілу сили опору відвалу за його довжиною

Дана розробка належить до категорії землерийно-транспортної техніки, оснащеної робочим обладнанням відвального типу. Основна мета полягає у зменшенні сил опору під час різання ґрунту та зниженні тертя між ножем і оброблюваною поверхнею.

Конструкція робочого вузла бульдозера (рис. 2.1) передбачає наявність ріжучого ножа 5, оснащеного коробкою жорсткості 6, а також гнучкого елемента у вигляді пружної металеві пластини 7.

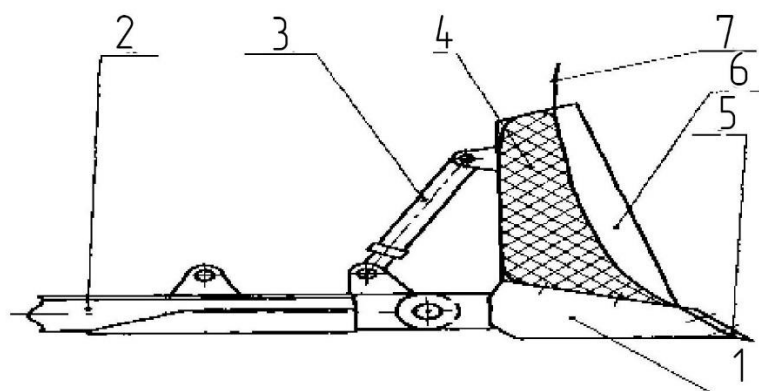


Рисунок 2.1 – Запропоноване технічне рішення

Нижня частина цієї пластини жорстко закріплена на ріжучому ножі 5.

Відвал виконаний у вигляді коробчатої конструкції з основою 1, всередині якої розташовано пружну подушку 4. Саме на неї спирається пружна пластина разом із штовхаючими брусками 2.

Коробчатий відвал жорстко з'єднаний з коробкою жорсткості 6, що забезпечує цілісність і надійність конструкції при виконанні важких земляних робіт.

Нахил відвалу регулюється гідроциліндром 3.

2.3 Визначення ключових параметрів робочого органу

Основною характеристикою бульдозера є його номінальне тягове зусилля, яке приймається як базовий параметр при розрахунках. До основних технічних параметрів бульдозера належать: робоча маса машини, швидкість руху при виконанні робочих операцій і під час зворотного ходу, середній питомий тиск ходової частини на ґрунт та положення центру цього тиску, питомі горизонтальні та вертикальні зусилля на ріжучій кромці ножа, що визначають здатність бульдозера розробляти ґрунти з різним опором копанню.

Розрахунок питомого горизонтального зусилля на ріжучій кромці (P_z , кг/см) виконується за формулою:

$$P_z = T_n / B, \quad (2.1)$$

де B – ширина відвала, мм; T_n – номінальне тягове зусилля, т.

У нашому випадку T_n становить 5 т (50 кН).

Ширину відвала визначаємо за формулою:

$$B = 1,4\sqrt[3]{m}, \quad (2.2)$$

де m – маса бульдозера, т. Для заданої маси $m = 9,3$ т отримаємо:

$$B = 1,4\sqrt[3]{9,3} = 2,944 \text{ м}. \quad (2.3)$$

Приймаємо стандартну ширину $B = 3000$ мм.

Далі обчислюємо P_z :

$$P_2 = \frac{50}{3} = 16,7 \text{ кН/м.} \quad (2.4)$$

З [10] підбираємо значення питомого вертикального тиску на ріжучій кромці та категорію ґрунту. Для нашого випадку питомий вертикальний тиск P_2 дорівнює 13 кН/м, а ґрунт належить до категорії 2.

Обрані параметри поперечного профілю відвала бульдозера фіксуємо у табл. 2.1.

Враховуючи можливість пластини 7 (см. рис. 2.1) змінювати свій кут нахилу відносно повздовжньої вісі трактора, приймаємо, що відвал являє собою неповоротний відвал, який стабілізований зусиллям на пластині, що має можливість рухатись.

Таблиця 2.1 – Основні параметри поперечного профілю відвалу бульдозера

Параметр	Відвал неповоротний
Кут різання, σ , град	56
Кут нахилу відвалу, ξ , град	78
Кут перекидання, ψ , град	70
Задній кут, α , град	35
Кут загострення ножа, β	20

Кут захвату для даної конструкції попередньо обираємо $\nu = 45^\circ$, однак при остаточному проектуванні закладаємо значення $\nu = 60^\circ$.

Розрахунок висоти відвала H проводиться з урахуванням номінального тягового зусилля T_n та характеристик ґрунтів, для обробки яких призначений бульдозер. Висота відвала визначається за формулою, що застосовується для моделей із поворотним відвалом [18]:

$$H = 500\sqrt[3]{T_n} - 5T_n, \quad (2.5)$$

де T_n – номінальне тягове зусилля бульдозера в тонах.

Підставляючи значення $T_n = 5$ т, отримаємо:

$$H = 500\sqrt[3]{5} - 5 \cdot 5 = 829,98 \approx 830 \text{ мм.} \quad (2.6)$$

Радіус кривизни поверхні відвала обчислюється за формулою [18]:

$$R = \frac{H - \alpha \sin \sigma}{\cos \sigma + \cos \psi}, \quad (2.7)$$

де σ – кут різання в градусах, ψ – кут перекидання в градусах.

Отримане значення радіусу дорівнює $R = 888$ мм.

Кут нахилу відвала приймаємо рівним $\xi = 75^\circ$.

Висота козирка визначається у межах від 0,1 до 0,25 від висоти відвала:

$$H_1 = 830 \cdot 0,1 = 83 \text{ мм.} \quad (2.8)$$

Кут встановлення козирка зазвичай коливається в діапазоні від 90° до 100° .

В якості робочого значення вибираємо $\psi_1 = 90$ град.

РОЗДІЛ 3 ОБГРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ БУЛЬДОЗЕРА ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЗАПРОПОНОВАНОГО ВІДВАЛУ

3.1 Тяговий розрахунок базового трактора

Розглянемо особливості тягового розрахунку для найтипівішого режиму роботи – фронтального переміщення ґрунту при виконанні завдань безтраншейного типу.

Об'єм призми волочіння (м^3), що визначається як функція габаритів відвала та властивостей ґрунту, обчислюється за виразом [18]:

$$V_{np} = \frac{BH^2}{2k_{np}}, \quad (3.1)$$

де L – ширина відвала; H – висота відвала; k_{np} – коефіцієнт, який залежить від характеристик ґрунту та співвідношення висоти до ширини. В нашому випадку приймемо $k_{np} = 0,75$

Розрахунок дає:

$$V_{np} = \frac{3000 \cdot 830^2}{2 \cdot 0,75} = 1,37 \text{ м}^3. \quad (3.2)$$

Під час транспортування ґрунту по рівній поверхні бульдозер стикається з низкою сил опору. Силу опору різанню визначаємо за формулою:

$$W_p = kBh_1, \quad (3.3)$$

де k – питомий опір фронтальному різанню (170 кН/м^2); B – ширина відвала, м; h_1 – глибина занурення ножа, яку можна обрахувати так [18]:

$$h_1 = \frac{k_n V_{np}}{B}, \quad (3.4)$$

де k_n – коефіцієнт, що визначає втрати ґрунту в бокових валиках на 1 м шляху. Приймаємо $k_n = 0,0285$.

Тоді:

$$h_1 = \frac{0,0285 \cdot 1,37}{3} = 0,013 \text{ м}. \quad (3.5)$$

$$W_p = 170 \cdot 3 \cdot 0,013 = 6,63 \text{ кН.} \quad (3.6)$$

Сила опору переміщенню ґрунтової призми розраховується так:

$$W_{np} = G_{np} \mu_2, \quad (3.7)$$

де $\mu_2 = 0,5$ – коефіцієнт тертя ґрунту об ґрунт; G_{np} – вага призми волочіння в Н:

$$G_{np} = V_{np} \gamma_{zp} g, \quad (3.8)$$

де $\gamma_{zp} = 1800$ – об'ємна вага ґрунту, кг/м³.

Підставляючи значення, отримуємо:

$$G_{np} = 1,37 \cdot 1800 \cdot 9,81 = 24191,46 \text{ Н.} \quad (3.9)$$

$$W_{np} = 24191,46 \cdot 0,5 = 12,095 \text{ кН.} \quad (3.10)$$

Опір підйому ґрунту по відвалу [18]:

$$W_g = G_{np} \cos^2 \sigma \mu_1, \quad (3.11)$$

де σ – кут різання; $\mu_1 = 0,8$ – коефіцієнт тертя ґрунту по металу.

Підставляючи значення, отримуємо:

$$W_g = 24191,46 \cdot \cos^2 56 \cdot 0,8 = 12,180 \text{ кН.} \quad (3.12)$$

Сила опору руху бульдозера [18]:

$$W_f = Gf, \quad (3.13)$$

де f – коефіцієнт опору переміщенню рушіїв трактора ($f = 0,15$); G – вага бульдозера, Н:

$$G = (1,17 \dots 1,28) G_{\text{ом}} g, \quad (3.14)$$

де $G_{\text{ом}}$ – вага базової машини. Для трактора ХТЗ-150 $G_{\text{ом}} = 8150$ кг.

Підставляючи значення, отримаємо:

$$G = 1,17 \cdot 8150 \cdot 9,81 = 93,543 \text{ кН.} \quad (3.15)$$

$$W_f = Gf = 93,543 \cdot 0,15 = 14,031 \text{ кН.} \quad (3.16)$$

Загальний опір при роботі з неповоротним відвалом [18]:

$$W = W_p + W_{np} + W_g + W_f. \quad (3.17)$$

$$W = W_p + W_{np} + W_g + W_f = 6,63 + 12,095 + 12,180 + 14,031 = 44,936. \quad (3.18)$$

Перевіряємо, чи сила тяги достатня для подолання опору [18]:

$$W \leq T_n, \quad (3.19)$$

де T_n – номінальна сила тяги бульдозера:

$$T_n = Gv, \quad (3.20)$$

де $v = 0,87$ – коефіцієнт зчеплення ґрунту з гусеницями.

Підставляючи значення, отримуємо:

$$T_n = 93,543 \cdot 0,87 = 81,38 \text{ кН}. \quad (3.21)$$

Тоді $44,936 < 81,38$.

Необхідна потужність (л.с.):

$$N = \frac{Wv_d}{2700\eta}, \quad (3.22)$$

де v_d – дійсна швидкість руху бульдозера, $v_d = 3$ км/ч; $\eta = 0,9$ – механічний ККД машини.

Тоді:

$$N = \frac{44936 \cdot 3}{2700 \cdot 0,9} = 55,47 \text{ к.с.} (40,79 \text{ кВт}). \quad (3.23)$$

Це становить близько 31,7% від номінальної потужності (128,7 кВт) базового трактора.

3.2 Визначення зусиль на виконавчих механізмах бульдозера

На рис. 3.1 представлена схема для розрахунку силових навантажень, які діють на робоче обладнання бульдозера.

На ріжучу кромку відвала в площині прикладені дві основні сили: горизонтальна сила P_1 та вертикальна сила P_2 (обидві вимірюються в кН).

Їх значення обчислюються за наступними виразами [18]:

$$P_1 = \frac{Gv_{\max}}{1 - v_{\max} \operatorname{ctg}(\sigma + v_1)}; \quad (3.24)$$

$$P_2 = P_1 \operatorname{ctg}(\sigma + v_1), \quad (3.25)$$

де G – вага бульдозера в ньютонках; v_{\max} – граничний коефіцієнт зчеплення рушія з ґрунтом (беремо $v_{\max} = 0,9$); σ – кут різання (дорівнює 55°); v_1 – кут тертя між металом і ґрунтом (дорівнює 32°).

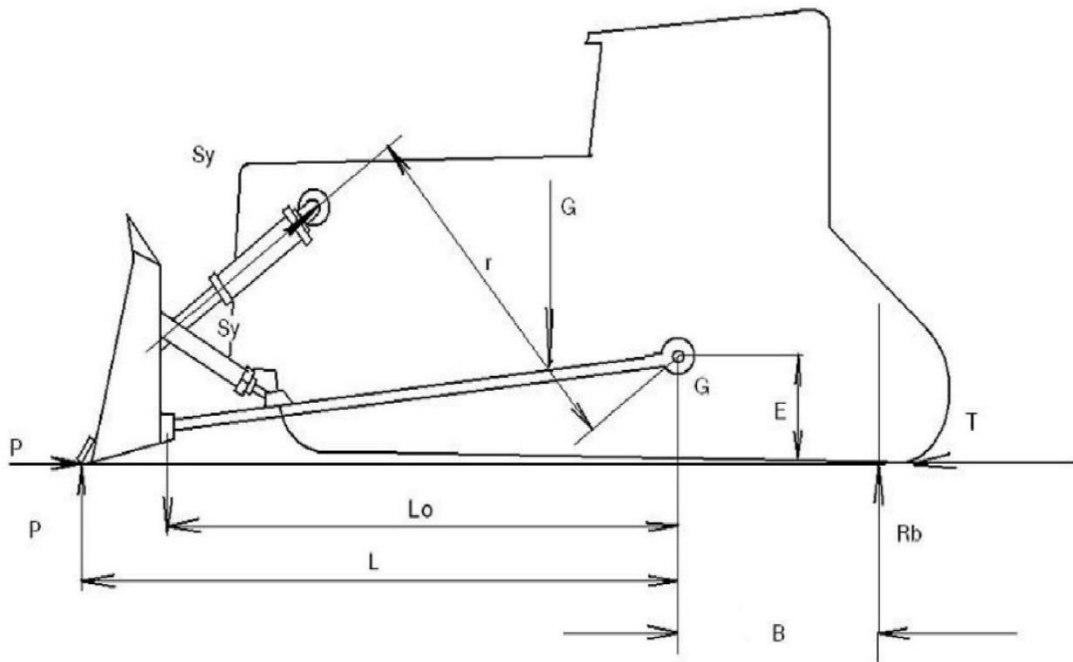


Рисунок 3.1 – Навантаження, що діють на бульдозерне обладнання

Підставляючи значення, отримаємо:

$$P_1 = \frac{93543 \cdot 0,9}{1 - 0,9 \cdot \operatorname{ctg}(56 + 32)} = 86,93 \text{ кН}; \quad (3.26)$$

$$P_2 = P_1 \operatorname{ctg}(\sigma + v_1) = 86,93 \cdot \operatorname{ctg}(56 + 32) = 3,043 \text{ кН}. \quad (3.27)$$

Зусилля підйому відвала (кН) визначається наступним чином [18]:

$$S_p = S_y k_\delta, \quad (3.28)$$

де S_y – зусилля на штоках гідроциліндрів, кН, а k_δ – коефіцієнт динамічності, прийнятий рівним 1,26.

Розрахунок S_y проводимо за формулою:

$$S_y = \frac{P_2 L + P_1 m + G_0 L_0}{r}, \quad (3.29)$$

де $G_0 = 25,46$ кН – маса робочого обладнання; $L = 3,48$ м, $L_0 = 3,42$ м, $m = 0,42$ м; $r = 2$ м.

Остаточо отримуємо:

$$S_y = \frac{3,043 \cdot 3,48 + 86,93 \cdot 0,42 + 25,46 \cdot 3,42}{2} = 67,08 \text{ кН}. \quad (3.30)$$

$$S_p = 67,08 \cdot 1,26 = 84,52 \text{ кН}. \quad (3.31)$$

3.3 Визначення параметрів гідравлічної системи

У конструкції бульдозера моделі ХТЗ ТС-5 передбачено використання гідравлічного насоса типу НШ100-2(3), який є шестеренчатим, з робочим тиском 16МПа.

Розрахунок діаметра поршня гідроциліндра (у міліметрах), що працює з поршневою камерою, проводиться за співвідношенням [18]:

$$D = \left(\frac{4F_1}{\pi(P_1 - P_2(1 - v^2))} \right)^{0,5}, \quad (3.32)$$

де F_1 – сила, що діє на шток гідроциліндра (в ньютонах); P_1 – тиск у поршневій камері, Па; $P_2 = 0,45$ – зливний тиск; v – відношення діаметра штока до діаметра поршня, яке знаходиться в межах 0,3...0,7 (у даному випадку приймається $v = 0,5$).

Підставивши значення в формулу (3.31), отримаємо:

$$D = \left(\frac{4 \cdot 67080}{3,14 \cdot (16 \cdot 10^6 - 0,45(1 - 0,5^2))} \right)^{0,5} = 0,073 \text{ м} = 73 \text{ мм}. \quad (3.33)$$

Розрахунок параметрів гідроциліндра

Для визначення діаметра штока гідроциліндра (у міліметрах) використовується вираз:

$$d = Dv. \quad (3.34)$$

$$d = 73 \cdot 0,5 = 36,5 \text{ мм.} \quad (3.35)$$

Наступним кроком є обчислення розмірів гідроциліндра для забезпечення заданої швидкості руху штока

Діаметр поршня з поршневою камерою (мм) визначається співвідношенням:

$$D_1 = \left(\frac{4Q_{нд}}{\pi V} \right)^{0,5}, \quad (3.36)$$

де $Q_{нд} = 140 \text{ дм}^3/\text{хв} = 0,00233 \text{ м}^3/\text{с}$ – витрата робочої рідини; V – швидкість руху штока, $\text{м}^2/\text{сек}$.

Потужність приводу гідроциліндра (кВт) обчислюємо за формулою:

$$N_{ен} = \frac{N_{нн}}{k_{з\gamma} k_{зс}}, \quad (3.37)$$

де $N_{нн}$ – потужність насоса (42,8 кВт); $k_{з\gamma}$ – запас по зусиллю (приймаємо $k_{з\gamma} = 1,18$); $k_{зс}$ – запас по швидкості (приймаємо $k_{зс} = 1,3$).

Підставляючи значення, отримаємо:

$$N_{ен} = \frac{42,8}{1,18 \cdot 1,3} = 27,9 \text{ кВт.} \quad (3.38)$$

Швидкість штока знаходимо як [18]:

$$V = \frac{N_{ен}}{F_1}. \quad (3.39)$$

Підставляючи значення, отримуємо:

$$V = \frac{27,9 \cdot 10^3}{67080} = 0,416 \text{ м}^2/\text{сек.} \quad (3.40)$$

Діаметр поршня для цієї швидкості:

$$D_1 = \left(\frac{4 \cdot 0,00233}{3,14 \cdot 0,416} \right)^{0,5} = 84,4 \text{ мм.} \quad (3.41)$$

Діаметр штока:

$$d_1 = 84,4 \cdot 0,5 = 42,2 \text{ мм.} \quad (3.42)$$

Середні діаметри обчислюємо як:

$$D_{cep} = \frac{D + D_1}{2} = \frac{73 + 84,4}{2} = 78,7 \text{ мм.} \quad (3.43)$$

$$d_{cep} = \frac{d + d_1}{2} = \frac{36,5 + 42,2}{2} = 39,35 \text{ мм.} \quad (3.44)$$

Величина ν , як відношення площ поршневої та штокової камер:

$$\nu = \frac{S_n}{S_{шт}} = \frac{D_{cep}^2}{D_{cep}^2 - d_{cep}^2} = \frac{78,7^2}{78,7^2 - 39,35^2} = 1,333. \quad (3.45)$$

На основі отриманих параметрів і значення ν обирається двосторонній гідроциліндр робочим тиском 16 МПа з діаметрами поршня і штока $D = 80$ мм, $d = 40$ мм, при ході поршня $L = 700$ мм.

3.4 Визначення продуктивності бульдозера

Під час роботи бульдозера, коли він здійснює зрізання та транспортування ґрунту, його продуктивність (в м^3 на годину) розраховується за такою формулою [18]:

$$\Pi = \frac{3600V_{\phi} \kappa_{\epsilon} \kappa_{укл}}{T_{ц}}, \quad (3.46)$$

де $\kappa_{\epsilon} = 0,8$ – коефіцієнт часу ефективного використання машини; $\kappa_{укл} = 1,68$ – коефіцієнт впливу нахилу ділянки на продуктивність; $T_{ц}$ – тривалість одного циклу, с; V_{ϕ} – обсяг щільного ґрунту перед відвалом (м^3), який обчислюється так [18]:

$$V_{\phi} = \frac{BH^2}{2\kappa_{пр} \kappa_{р}}, \quad (3.47)$$

де $\kappa_{пр} = 0,8$ – коефіцієнт, що залежить від типу ґрунту та відношення H/L ; $\kappa_{р} = 1,10$ – коефіцієнт розпушення.

Обчислимо:

$$V_{\phi} = \frac{3 \cdot 830^2}{2 \cdot 1,10 \cdot 0,8} = 1,17 \text{ м}^3. \quad (3.48)$$

Тривалість робочого циклу визначаємо за рівнянням [18]:

$$T_{\text{ц}} = \frac{l_p}{v_1} + \frac{l_n}{v_2} + \frac{l_p + l_n}{v_3} + 2t_n + t_o + t_c, \quad (3.49)$$

де $l_n = 20$ м – довжина шляху переміщення ґрунту; $l_p = 8,0$ м – довжина зрізання ґрунту; $v_1 = 0,35 \text{ м/с}^2$ – швидкість зрізання ґрунту; $v_2 = 1,2 \text{ м/с}^2$ – швидкість переміщення ґрунту; $v_3 = 1,5 \text{ м/с}^2$ – швидкість зворотного переміщення бульдозера; $t_o = 2$ сек – час на опускання відвалу; $t_c = 5$ сек – час на перемикання передач; $t_n = 12$ сек – час на розвертання.

Підставляючи, отримаємо:

$$T_{\text{ц}} = \frac{8}{0,35} + \frac{20}{1,2} + \frac{8+20}{1,5} + 2 \cdot 12 + 2 + 5 = 89 \text{ сек.} \quad (3.50)$$

Визначаємо продуктивність:

$$П = \frac{3600 \cdot 1,17 \cdot 0,8 \cdot 1,68}{89} = 63,60 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (3.51)$$

Під час виконання планувальних робіт обсяг виробітку ($\text{м}^3/\text{год}$) знаходять за формулою [18]:

$$П = 3600l(B \sin \nu - 0,5) \kappa_e \left(n \frac{l}{v} + t_n \right), \quad (3.52)$$

де $n = 2$ – кількість проходів по одному сліду; $v = 0,8 \text{ м/сек} = 2,8 \text{ км/год}$ – робоча швидкість трактора; $l = 20$ м – довжина ділянки для планування; $0,5$ м – перекриття проходів; ν – кут захвату відвалу.

Підставляючи значення, отримаємо:

$$П = 3600 \cdot 20 \cdot (3 \sin 45 - 0,5) \cdot 0,8 \cdot \left(2 \frac{20}{0,8} + 12 \right) = 1608 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (3.53)$$

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАКТОРІВ З БУЛЬДОЗЕРНИМ ОБЛАДНАННЯМ

4.1 Загальні засади охорони праці машиніста бульдозера

До управління бульдозером допускаються особи, які досягли 18 років, пройшли відповідну підготовку, отримали посвідчення на право керування цією технікою, а також склали вступний інструктаж з охорони праці та первинний інструктаж безпосередньо на робочому місці.

Первинний інструктаж на робочому місці проводять для працівників, які щойно працевлаштувалися до підприємства, переведені до нового підрозділу, приступають до виконання нових для них завдань, прибули у відрядження, залучені до тимчасових або разових робіт або виконують роботи на території діючого виробництва.

Після інструктажу та перевірки знань дозволяється самостійна робота впродовж 2...14 змін.

Інструктаж повторного характеру необхідно проходити всім працівникам щонайменше один раз на три місяці.

Проведення позапланового інструктажу обов'язкове у випадках оновлення або зміни нормативів охорони праці, змін у технологічному процесі, модернізації або заміни бульдозера, устаткування, інструментів чи матеріалів, порушення вимог безпеки оператором, що могло призвести чи призвело до аварій, травм, пожеж або вибухів, вимоги контролюючих органів, перерви в роботі понад встановлену кількість календарних днів.

Цільовий інструктаж проводиться перед виконанням разових завдань, що не входять до основних обов'язків за посадою (наприклад, прибирання території, роботи поза межами підприємства, ліквідація наслідків аварій, стихійних лих, виконання робіт за нарядом-допуском чи іншим дозволом).

Знання, отримані під час інструктажів, перевіряються особою, яка проводила навчання. Працівники з незадовільними результатами до роботи не допускаються.

Жінкам керувати бульдозером заборонено.

Оператор бульдозера повинен суворо дотримуватися правил внутрішнього розпорядку та вказівок майстра або механіка.

Норми видачі спеціального одягу та взуття:

– бавовняний напівкомбінезон – термін використання 12 місяців;

– комбіновані рукавиці – термін використання 3 місяці;

Для зовнішніх робіт у зимовий період додатково:

– утеплена бавовняна куртка – термін носіння 18 місяців;

– утеплені бавовняні штани – 18 місяців;

– валянки – 24 місяці.

4.2. Основи пожежної безпеки для машиніста бульдозера

Забороняється використання відкритого вогню під час прогріву двигуна, заправки та перевірки пального. Одяг із залишками мастил і пального непридатний для роботи. Не можна зберігати забруднені мастилом ганчірки в кабіні бульдозера. Паркування біля легкозаймистих речовин неприпустиме через ризик займання від вихлопу. Розлите пальне та мастило слід негайно витерти.

При загорянні пального слід заглушити двигун, використовувати пінний вогнегасник, землю, пісок або брезент для гасіння полум'я, викликати пожежну службу та евакуювати людей.

Під час заправки двигун працює на малих обертах, вихлопна труба спрямована в протилежний від заправної зони бік. Відстань між бульдозерами при заправці має бути не менше трьох метрів. Курити дозволено лише у спеціально відведених місцях.

4.3 Правила електробезпеки для операторів бульдозерів

Роботи в зоні повітряних ліній дозволяються тільки після зняття напруги.

Будівельно-монтажні роботи біля ліній під напругою проводяться під контролем інженерно-технічних спеціалістів із відповідними дозволами та нарядами-допусками. Якщо ж зняття напруги неможливе, роботи виконуються за особливими умовами дотримання безпеки.

Робота бульдозера під лініями електропередач повітряного типу, що знаходяться під напругою 110 кВ і більше, дозволяється лише за умови дотримання мінімальної відстані від машини до найближчого проводу. Ця відстань має відповідати вимогам, визначеним у нормативній таблиці для відповідного рівня напруги.

Машиніст, що працює за нарядом-допуском у межах охоронної зони діючої лінії електропередачі, повинен мати кваліфікаційну групу з електробезпеки не нижче другої.

Оператор бульдозера зобов'язаний надати домедичну допомогу співробітникові, який постраждав під час виконання виробничих завдань. Про будь-які порушення правил з охорони праці чи випадки виробничого травматизму необхідно негайно повідомляти керівнику робіт або майстру.

У разі невиконання вимог і норм з охорони праці, машиніст бульдозера несе відповідальність відповідно до чинного законодавства.

4.4 Вимоги до безпеки перед початком виконання робіт

До початку роботи оператор бульдозера повинен виконати низку обов'язкових заходів:

- отримати завдання від керівника робіт (майстра, механіка, начальника зміни або бригадира);
- разом з відповідальною особою оглянути ділянку робіт, визначити місця проходження підземних мереж і споруд, що мають бути чітко позначені спеціальними маркерами або прапорцями;
- узгодити порядок виконання завдань та заходи, які забезпечать безпечні умови праці;

- провести щозмінне обслуговування техніки згідно з інструкцією з експлуатації машини;

- перед запуском двигуна попередити працівників, які обслуговують машину або перебувають у зоні її роботи, і впевнитися, що важіль перемикавання передач знаходиться у нейтральному положенні;

- здійснити запуск двигуна (поза кабіною, якщо є пристрої, що вимикають трансмісію та запобігають зворотному ходу обертових деталей);

- після запуску перевірити роботу всіх механізмів на холостих обертах та працездатність гальм на низькій швидкості.

Починати роботу категорично заборонено у таких випадках:

- якщо виявлені несправності або дефекти, що забороняють експлуатацію машини згідно з технічною документацією виробника;

- якщо під час робіт по плануванню або зрізанню ґрунту виявлені підземні комунікації, не зазначені керівником робіт;

- якщо нахил ділянки перевищує допустимий показник, встановлений технічним паспортом машини.

Робоча зона бульдозера повинна бути організована таким чином, щоб машиніст мав вільний огляд для безпечного виконання робіт і можливості маневрування. Якщо оператор не бачить робочу зону або сигнальника, призначеного для подачі вказівок, між ними необхідно встановити прямий зв'язок.

Передача команд через інших осіб (проміжних сигнальників) заборонена.

Усі працівники, які залучені до процесу роботи бульдозера, повинні бути ознайомлені зі значенням сигналів, що подаються під час пересування або виконання робіт машиною.

4.5 Вимоги до безпеки під час виконання робіт

Перед початком руху бульдозера оператор зобов'язаний переконатися у відсутності людей у зоні руху техніки й подати попереджувальний звуковий сигнал.

Виконуючи завдання на пересіченій місцевості, машиніст повинен:

- при русі під нахилом обов'язково вмикати першу передачу;
- під час зупинки на схилі застосовувати гальма для фіксації машини.

Засипаючи виїмки, необхідно впевнитися, що всередині немає людей, конструкцій, інструментів чи матеріалів, а відвал бульдозера не виходить за межі укусу. Забороняється рухатися технікою в зоні можливого обвалення укосів.

Виконання робіт бульдозером у небезпечній зоні працюючого екскаватора не дозволяється. Роботи дозволено проводити лише після зупинки екскаватора й встановлення ковша на землю.

Щоб очистити відвал бульдозера, оператор повинен повністю зупинити двигун і опустити відвал на землю.

Швидкість руху бульдозера в безпосередній близькості до робіт не має перевищувати 10 км/год на прямій ділянці та 5 км/год при поворотах.

При перетині природних чи штучних перешкод або переїзді через залізничні колії без охорони оператор зобов'язаний попередньо оглянути маршрут і, за потреби, зміцнити шлях відповідно до технічної документації на машину.

При самостійному переміщенні бульдозера між об'єктами роботи оператор зобов'язаний:

- підняти відвал на висоту, що забезпечує належний огляд шляху;
- стежити, щоб лезо не торкалося сторонніх предметів;
- дотримуватися правил дорожнього руху;
- перетинати залізницю лише в межах діючого переїзду з урахуванням сигналів безпеки;

– у разі вимушеної зупинки на дорозі в темний час доби встановити червоні сигнальні ліхтарі.

Допускається витягування бульдозером застряглої техніки лише з використанням жорсткого зчеплення та без ривків. Застосування сталевого троса можливе лише за умови наявності захисної сітки або решітки на вікнах кабіни.

Під час зчеплення оператор має:

– маневрувати на першій передачі, уважно стежачи за працівником, що виконує зчеплення;

– уникати різких ривків;

– бути готовим зупинити техніку за першим сигналом;

– починати зчеплення лише після повної зупинки машини.

Перед завантаженням бульдозера на трейлер необхідно переконатися в його стійкості й надійному гальмуванні. Після завантаження відвал потрібно опустити й надійно закріпити техніку. Перебування оператора в кабіні під час транспортування забороняється.

Під час роботи заборонено:

– передавати керування бульдозером стороннім особам;

– залишати машину з працюючим двигуном без нагляду;

– перевозити в кабіні пасажирів;

– виходити чи заходити в кабіну під час руху техніки.

Виконуючи техобслуговування, оператор зобов'язаний заглушити двигун і зняти тиск у гідросистемі.

При заправці паливом забороняється курити або користуватися відкритим вогнем. Після завершення заправки необхідно витерти підтікання пального й мастил, а промаслене ганчір'я скласти в металеву тару з кришкою. Розведення вогню ближче ніж за 50 м від робочої зони техніки забороняється.

Під час огляду або ремонту відвал слід зафіксувати у піднятому положенні за допомогою ланцюгів або опустити на міцну й стійку підставку.

При роботі на схилах заборонено:

- робити різкі повороти;
- здійснювати поворот із заглибленим робочим органом;
- рухати машину поперек схилів з нахилом понад допустимий паспортом техніки;
- залишати двері кабіни відчиненими.

РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

Для оцінки економічної доцільності модернізації відвалу бульдозеру ХТЗ ТС-5 було проведено порівняльний аналіз витрат за стандартним (базовим) варіантом та після впровадження змін (проектним варіантом), згідно з методикою, поданою у [16]. Розрахунок ефективності впровадження нових технічних рішень проводився з урахуванням рівня цін станом на 2024 рік.

Основою для визначення економічної вигоди стала оцінка скорочення витрат під час експлуатації техніки.

Формула розрахунку економічного ефекту (E_e) у результаті впровадження бульдозера з оновленим відвалом виглядає наступним чином [16]:

$$E_e = (B_1 - B_2)B_p, \quad (5.1)$$

де E_e – економічний ефект у гривнях; B_1 – зведені витрати на одиницю виконаної роботи для базового трактора, грн/га; B_2 – зведені витрати для модернізованого трактора, грн/га; B_p – об'єм річного навантаження, тобто загальна площа, оброблена трактором протягом року, га.

Поняття зведених витрат включає два основні компоненти: власне експлуатаційні витрати та нормативний прибуток на вкладені інвестиції. Це можна записати у вигляді [17]:

$$B_n = B_e + H_n, \quad (5.2)$$

де B_e – фактичні експлуатаційні витрати в розрахунку на гектар; H_n – нормативна величина прибутку на вкладені кошти, грн/га.

Експлуатаційні витрати займають вагоме місце у структурі собівартості продукції в рослинництві, оскільки охоплюють широкий спектр витрат, пов'язаних із використанням техніки. Вони класифікуються на постійні та змінні, залежно від річного обсягу механізованих робіт, який визначає ступінь завантаження агрегатів.

До постійних витрат, які частково або повністю не змінюються при зростанні або зниженні обсягів робіт, належать витрати на амортизацію та утримання техніки. Ці витрати нараховуються незалежно від інтенсивності її використання.

У той же час змінні витрати тісно пов'язані з реальним завантаженням машин. Сюди включаються витрати на паливо та мастильні матеріали, заробітна плата механізаторів, технічне обслуговування і ремонт. Зі зростанням річного обсягу робіт ці витрати збільшуються пропорційно.

Таким чином, проведена модернізація відвалу не лише технічно вдосконалила бульдозер, але й дозволила суттєво зменшити змінні витрати при експлуатації, що й забезпечило позитивний економічний результат.

Річний обсяг експлуатаційних витрат визначається на основі наступного рівняння [16]:

$$B_{\text{екс}} = B_{\text{он}} + A + T + B_{\text{рес}} + IB, \quad (5.3)$$

де $B_{\text{он}}$ – витрати на оплату праці з нарахуваннями, грн; A – амортизаційні нарахування на використану техніку, грн; T – витрати на технічне обслуговування та ремонт, грн; $B_{\text{рес}}$ – загальна сума, витрачена на енергоресурси протягом року, грн; IB – додаткові (інші) витрати, грн.

Витрати на заробітну плату розраховуються як сума фонду заробітної плати та обов'язкових нарахувань на нього [17]:

$$B_{\text{он}} = Z + H_3, \quad (5.4)$$

де Z – загальний фонд оплати праці (за рік), грн; H_3 – соціальні нарахування, які включають єдиний внесок у розмірі 22%. Таким чином, $H_3 = 0,22 \cdot Z$.

Фонд оплати праці обчислюється за формулою [17]:

$$Z = N_n t_{\text{доб}} D_p C_{\text{год}}, \quad (5.5)$$

де N_n – кількість працівників, що обслуговують агрегат; $t_{\text{доб}}$ – щоденна тривалість експлуатації, год; D_p – кількість робочих днів на рік; $C_{\text{год}}$ – погодинна тарифна ставка.

Для базового варіанта:

$$З = 1 \cdot 7 \cdot 248 \cdot 78 = 135408 \text{ грн.} \quad (5.6)$$

Для проектного:

$$З = 1 \cdot 7 \cdot 248 \cdot 78 = 135408 \text{ грн.} \quad (5.7)$$

Відповідно, нарахування на зарплату:

Базовий:

$$H_з = 0,22 \cdot 135408 = 29789,76 \text{ грн.} \quad (5.8)$$

Проектний:

$$H_з = 0,22 \cdot 135408 = 29789,76 \text{ грн.} \quad (5.9)$$

Тоді загальні витрати на оплату праці:

Базовий варіант:

$$B_{on} = 135408 + 29789,76 = 165197,76 \text{ грн.} \quad (5.10)$$

Проектний варіант:

$$B_{on} = 135408 + 29789,76 = 165197,76 \text{ грн.} \quad (5.11)$$

Амортизаційні нарахування на техніку обчислюються за формулою [24]:

$$A = \frac{B_m \alpha t_{\text{доб}} D}{100 D Z t}, \quad (5.12)$$

де B_m – первісна (балансова) вартість техніки, грн; α – річна ставка амортизації (15% для машин і обладнання); D – кількість робочих днів на рік; Z – кількість змін на добу; t_{zm} – тривалість зміни в годинах; D_m – середня тривалість місяця; $Z_{\text{доб}}$ – змін у добу.

Розрахунки:

Базовий:

$$A = \frac{498159 \cdot 15 \cdot 8 \cdot 170}{100 \cdot 170 \cdot 1 \cdot 8} = 74723,85 \text{ грн.} \quad (5.13)$$

Проектний:

$$A = \frac{(498159 + 198900) \cdot 15 \cdot 8 \cdot 170}{100 \cdot 170 \cdot 1 \cdot 8} = 104558,85. \quad (5.14)$$

Витрати на сервісне обслуговування та ремонт [18]:

$$T = \frac{B_m b t_{\text{доб}} D}{100 D Z t}, \quad (5.15)$$

де $b = 10\%$ – норматив відрахувань.

Базовий:

$$T = \frac{498159 \cdot 10 \cdot 8 \cdot 170}{100 \cdot 170 \cdot 1 \cdot 8} = 49815,9 \text{ грн.} \quad (5.16)$$

Проектний:

$$T = \frac{(498159 + 19890) \cdot 10 \cdot 8 \cdot 170}{100 \cdot 170 \cdot 1 \cdot 8} = 51804,9 \text{ грн.} \quad (5.17)$$

Витрати на енергоресурси визначаються як [19]:

$$B_{\text{рес}} = B_{\text{пмм}}, \quad (5.18)$$

а витрати на ПММ – за формулою:

$$B_{\text{пмм}} = Z_{\text{пмм}} C_{\text{пмм}}, \quad (5.19)$$

де $Z_{\text{пмм}}$ – обсяг використаного пального, кг; $C_{\text{пмм}}$ – вартість 1 кг, прийнято – 40,5 грн/кг.

Базовий:

$$B_{\text{пмм}} = Z_{\text{пмм}} C_{\text{пмм}} = 4512 \cdot 40,5 = 182736 \text{ грн.} \quad (5.20)$$

Проектний:

$$B_{\text{пмм}} = Z_{\text{пмм}} C_{\text{пмм}} = 3910 \cdot 40,5 = 158355 \text{ грн.} \quad (5.21)$$

Інші витрати становлять 5% від суми усіх попередніх [17]:

$$IB = \frac{B_{\text{он}} + A + T + B_{\text{рес}}}{100} 5, \quad (5.22)$$

Базовий:

$$IB = \frac{165197,76 + 74723,82 + 49815,9 + 182736}{100} 5 = 23623,67 \text{ грн.} \quad (5.23)$$

Проектний:

$$IB = \frac{165197,76 + 104558,85 + 51804,9 + 158355}{100} 5 = 23995,82 \text{ грн.} \quad (5.24)$$

Підсумкові річні експлуатаційні витрати:

Базовий:

$$B_{екс} = 165197,76 + 74723,82 + 49815,9 + 182736 + 23623,67 = 496097,15 \text{ грн.} \quad (5.25)$$

Проектний:

$$B_{екс} = 165197,76 + 104558,85 + 51804,9 + 158355 + 23995,82 = 503912,33. \quad (5.26)$$

Термін окупності додаткових капіталовкладень [18]:

$$T_o = \frac{\Delta K_g}{E_p}, \quad (5.27)$$

де ΔK_g – перевищення вартості проектного варіанту над базовим; E_p – річна економія витрат:

$$\Delta K_g = 518049 - 498159 = 19890 \text{ грн.} \quad (5.28)$$

$$E_p = 503912,33 - 496097,15 = 7815,18 \text{ грн.} \quad (5.29)$$

Отже, термін окупності становить:

$$T_o = \frac{19890}{7815,18} = 2,54 \text{ роки.} \quad (5.30)$$

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломного проєкту було проведено детальне вивчення можливих конструкцій бульдозерів, а також здійснено аналіз їх класифікації за різними ознаками й технічними характеристиками.

Додатково було обрано основні параметри бульдозера та здійснено їх розрахунок із подальшим уточненням відповідно до нормативних стандартів. Проведено розрахунок тягових характеристик, що дозволило переконатися в достатності тягового зусилля машини для ефективного виконання завдань у заданих умовах експлуатації.

Також виконано розрахунок системи керування відвалом, у результаті чого визначено зусилля, яке діє на робочий орган у разі виникнення випадкових навантажень. На основі отриманих результатів підібрано відповідний гідроциліндр для підйому відвала та обрано гідронасос, який забезпечить стабільну та надійну роботу системи управління робочим обладнанням бульдозера.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сукач М. К. Будівельні машини і обладнання. 2020. 390 с.
2. Залюбовський М. Г., Панасюк І. В. Основи проєктування машин зі складним рухом. 2022. 352 с.
3. Рудько І. М., Бакай Б. Я., Цимбалюк Ю. І., Гобела В. М. Техніко-технологічне оцінювання ефективності використання бульдозерного обладнання. 2021. С. 49–58.
4. Міщук Д. О., Волянчук В. О., Горбатюк Є. О. Відвал бульдозера з розпушувальними зубами (автореферат). 2020. 60 с.
5. Олег Зав'язкін. Екскаватори, грейдери, бульдозери: технічний довідник. 2022. 160 с.
6. Цеппелін Україна. Влаштування та експлуатація бульдозерів. 2021.
7. Sharma D., Barakat N. Evolutionary Bi-objective Optimization for Bulldozer and Its Blade in Soil Cutting. *J. Inst. Eng. India Ser. C*. 2019. 295–310 p.
8. Servin M., Berglund T., Nystedt S. A Multiscale Model of Terrain Dynamics for Real-Time Earthmoving Simulation. 2020. – arXiv, 20 p.
9. Wang X., Wang Z., Wang S., Cai W., Wu Q., Ma W. Design and Control Performance Optimization of Variable Structure Hydrostatic Drive Systems for Wheel Loaders. *Machines*. 2024; 12(4):238.
10. Ozturk T., Inan M., Akgul M. Environmental Damages of Forest Road Construction by Bulldozer on Steep Terrain. *African J. Biotechnol.* 2010. 4547–4552 p.
11. Thambiratnam D. P., Clark B. J., Perera N. J. Performance of a Rollover Protective Structure for a Bulldozer. *J. Eng. Mech.* 2009. 31–48 p.
12. Wiley (лат.). Dynamic Modeling and Control Strategy Optimization for a Hybrid Electric Tracked Vehicle. *Math. Probl. Eng.* 2015. 15 p.
13. Fastline (онлайн). How Bulldozer Machines Revolutionized Construction. 2025. 5 p.

14. Taylor & Francis (розділ у книжці). *Bulldozer in Construction Equipment Selection*. 2020. 10 p.
15. Worley M. D., La Saponara V. *A Simplified Dynamic Model for Front-End Loader Design*. 2018. 16 p.
16. Рудько І. М., Бакай Б. Я., Цимбалюк Ю. І., Гобела В. М. Економічна ефективність використання бульдозерного обладнання. *Збірник наукових праць*, 2021. С. 49–58.
17. Ковальчук В. В., Мельник О. П. Аналіз продуктивності та економічної ефективності бульдозерів у будівельних роботах. *Вісник будівництва і архітектури*, 2018. С. 112–120.
18. Петренко С. І. Методи економічної оцінки машинно-тракторного парку, зокрема бульдозерів. *Економіка агропромислового комплексу*, 2015. С. 78–85.
19. Іваненко Т. О. Економічна оцінка впливу технічного стану бульдозерів на їх продуктивність. *Науковий вісник будівництва*, 2019. С. 34–42.
20. Дорошенко В. М., Семененко І. В. Оптимізація витрат на експлуатацію бульдозерної техніки в будівництві. *Будівельні матеріали та вироби*, 2016. С. 56–63.
21. Савчук Н. П. Економічна ефективність інноваційних рішень при використанні бульдозерів. *Технічний прогрес у будівництві*, 2020. С. 21–29.
22. Лисенко М. В. Вплив модернізації бульдозерів на зниження експлуатаційних витрат. *Машинознавство*, 2017. С. 103–110.
23. Кравченко Ю. О. Економічна оцінка ресурсозбереження при роботі бульдозерів. *Економіка і екологія*, 2014. С. 45–52.
24. Гнатюк О. П. Аналіз факторів, що впливають на ефективність роботи бульдозерів. *Вісник транспортної науки*, 2012. С. 89–96.
25. Бондаренко І. В. Економічна ефективність використання бульдозерів на різних етапах будівництва. *Будівництво та архітектура*, 2013. С. 70–78.

ДОДАТКИ