Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)
Навчально-науковий інституту інформаційних технологій та робототехніки

Кафедра галузевого машинобудування та механотроніки
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

Бакалавр
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему

Розроблення бульдозерного обладнання для роботизованої системи продуктивністю 120м3/год

Виконав: студент 4 курсу, групи 4ММ
напряму підготовки (спеціальності)
133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)
Корюков Микита Сергійович.
(прізвище та ініціали)
Керівник Фролов Є.А.
(прізвище та ініціали)

Полтава – 2026 року

Зміст

Вступ 3

1 ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ БУЛЬДОЗЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ 6

1.1 Аналіз конструкцій бульдозерного обладнання та робочих органів роботизованих землерийно-транспортних машин 6

1.2 Тенденції розвитку робочих органів бульдозерного обладнання та теоретичні основи різання ґрунту 16

2. РОЗРАХУНОК ТА РОЗРОБКА НАВІСНОГО ОБЛАДНАННЯ ПІДВИЩЕНОЇ НАКОПИЧУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ 29

2.1 Визначення головного параметра платформи та раціональних розмірів відвалу 30

2.2. Загальний розрахунок бульдозера 32

2.2.1. Тяговий розрахунок бульдозера. 32

2.2.2. Середній статичний питомий тиск для гусеничних базових машин. 34

2.2.3. Становище центру тиску. 34

2.2.3. Визначення питомих зусиль на ріжучій кромці. 37

2.2.4. Вибір геометричних параметрів конструктивної схеми бульдозера та визначення центру тяжкості бульдозера. 38

2.2.5. Розрахунок бульдозера на стійкість 41

2.2.6. Визначення навантажень обладнання бульдозера. 44

2.3. Розрахунок продуктивності бульдозера 46

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА 49

3.1 Призначення рами, умови роботи та вибір типу заготовки 49
3.2 Розрахунок часу на виготовлення пальця зі сталі 40 49
3.2.1 Час на відрізання заготовки 50
3.2.2 Час на підрізання торців 51
3.2.3 Час на чорнове точіння зовнішньої поверхні 51
3.2.4 Час на чистове точіння зовнішньої поверхні Ø50h9 52
3.2.5 Час на свердління центрального отвору 52
3.2.6 Час на розвертання отвору Ø20H9 53
3.2.7 Час на зняття фасок 53
3.2.8 Сумарний час виготовлення пальця 53
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ 55
Висновки 60
Список літератури 62

Вступ

Сучасний розвиток будівельної, дорожньої та спеціальної техніки характеризується активним впровадженням роботизованих систем, здатних виконувати технологічні операції з мінімальною участю оператора. Особливої актуальності такі системи набувають під час виконання земляних, планувальних, підготовчих та допоміжних робіт у складних або небезпечних умовах експлуатації. До таких робіт належить переміщення ґрунту, розрівнювання будівельних майданчиків, формування насипів, очищення територій від завалів, підготовка основ під дорожнє покриття, а також виконання інженерних робіт у зонах з обмеженим доступом для традиційної техніки.

Одним із найбільш поширених видів робочого обладнання для виконання земляних і планувальних операцій є бульдозерне обладнання. Воно забезпечує зрізання, накопичення та переміщення ґрунту або сипких матеріалів на відносно невеликі відстані. Основним робочим органом такого обладнання є відвал, конструкція якого значною мірою визначає продуктивність машини, енергоємність процесу, якість виконання робіт, стійкість руху базової машини та надійність усієї роботизованої системи.

У традиційних бульдозерах робоче обладнання встановлюється на гусеничних або колісних тягачах, які мають значну масу, потужність і розвинену гідравлічну систему керування. Проте застосування роботизованих платформ потребує іншого підходу до розроблення бульдозерного обладнання. Це пов’язано з обмеженнями за масою, габаритами, потужністю приводу, тяговими можливостями, автономністю роботи та особливостями дистанційного або автоматизованого керування. Тому під час проєктування необхідно не лише забезпечити задану продуктивність, а й узгодити параметри відвала, рами, механізму підіймання та системи керування з технічними характеристиками роботизованої базової платформи.

Актуальність теми бакалаврської роботи зумовлена необхідністю створення ефективного бульдозерного обладнання для роботизованої системи, здатної забезпечити продуктивність 120 м³/год. Розроблення такого обладнання дозволяє підвищити ефективність виконання земляних робіт, зменшити вплив людського фактора, підвищити безпеку праці та забезпечити можливість використання машини в умовах, де перебування оператора є небажаним або небезпечним.

Метою бакалаврської роботи є розроблення конструкції бульдозерного обладнання для роботизованої системи продуктивністю 120 м³/год із обґрунтуванням основних конструктивних, технологічних і силових параметрів робочого обладнання.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі задачі:

– виконати аналіз призначення, будови та принципу роботи бульдозерного обладнання, що застосовується на дорожньо-будівельних і спеціальних машинах;

– розглянути особливості використання бульдозерного обладнання у складі роботизованих машинних систем;

– обґрунтувати вибір конструктивної схеми бульдозерного обладнання для роботизованої платформи;

– визначити основні параметри відвала з урахуванням заданої продуктивності 120 м³/год;

– виконати розрахунок сил, що діють на робочий орган під час різання та переміщення ґрунту;

– розрахувати елементи навісного обладнання, механізм підіймання та основні вузли кріплення;

– розробити конструктивні рішення, спрямовані на підвищення надійності, технологічності та ефективності роботи обладнання;

– розглянути питання охорони праці, безпеки експлуатації та технічного обслуговування розробленого обладнання.

Практичне значення роботи полягає у розробленні бульдозерного обладнання, яке може бути використане у складі роботизованої системи для виконання земляних, планувальних і підготовчих робіт. Запропонована конструкція може бути застосована під час створення автономних або дистанційно керованих машин для будівництва, комунального господарства, ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та виконання робіт у складних експлуатаційних умовах.

.

1 ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ БУЛЬДОЗЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

1.1 Аналіз конструкцій бульдозерного обладнання та робочих органів роботизованих землерийно-транспортних машин

Бульдозерне обладнання належить до найбільш поширених робочих органів землерийно-транспортних машин, які застосовують для пошарового різання ґрунту, його накопичення перед відвалом, переміщення на невеликі відстані, розрівнювання, засипання траншей, планування будівельних майданчиків, підготовки основ доріг та виконання допоміжних робіт у будівництві й комунальному господарстві. У класичному виконанні бульдозер складається з базової гусеничної або колісної машини, відвала з ножовою системою, штовхаючих брусів або рами, механізму підіймання й опускання, а також гідравлічної системи керування робочим органом [1, 2, 5].

Особливістю бульдозерного процесу є те, що робочий орган одночасно виконує декілька функцій: відокремлює шар ґрунту від масиву, формує призму волочіння, переміщує її перед відвалом і частково ущільнює або розрівнює поверхню після проходу машини. Тому конструкція відвала повинна забезпечувати достатню жорсткість, зносостійкість ножової частини, стійкість машини під час штовхання та раціональний напрямок переміщення ґрунтової маси [3, 5, 7].

У навчальній та довідковій літературі бульдозери розглядаються як універсальні машини для земляних робіт, ефективність яких залежить від тягового класу базової машини, геометричних параметрів відвала, кута різання, кута нахилу відвала, виду ґрунту, довжини переміщення та режиму роботи [5, 8, 10].

Для роботизованих систем ці фактори зберігають своє значення, однак до них додаються обмеження за масою, габаритами, енергоспоживанням, стійкістю під час автономного руху та можливістю дистанційного керування робочим обладнанням.

Загальний вигляд компактної гусеничної роботизованої машини з переднім бульдозерним відвалом наведено на рис. 1.1. Така конструктивна схема є близькою до традиційної схеми бульдозера, але має менші габарити, низький центр мас, захищений корпус і гусеничний рушій, що забезпечує підвищену прохідність на слабких, нерівних або засмічених основах.

Рисунок 1.1 – Компактна гусенична роботизована машина з переднім бульдозерним відвалом

Основним елементом бульдозерного обладнання є відвал. За конструктивним виконанням відвали можуть бути прямими, універсальними, напівуніверсальними, сферичними, кутовими, поворотними та спеціальними. Прямий відвал застосовують переважно для планувальних робіт і переміщення ґрунту на короткі відстані. Напівуніверсальний або сферичний відвал має бокові щоки, які зменшують втрати ґрунту через краї та збільшують об’єм призми волочіння. Кутові та поворотні відвали дають можливість переміщувати матеріал убік від осі руху машини, що є важливим під час очищення доріг, формування валів або планування майданчиків [1, 5, 7].

Для бульдозерного обладнання, що встановлюється на роботизованій системі, доцільно розглядати відвал як робочий орган змінної або модульної конструкції. Це пояснюється тим, що одна роботизована платформа може виконувати різні технологічні операції: розчищення завалів, переміщення ґрунту, формування насипу, планування поверхні, роботу в обмежених проходах або у небезпечній зоні. На рис. 1.2 показано приклад сучасної роботизованої гусеничної машини з навісним бульдозерним обладнанням, у якій відвал з'єднаний із базовою машиною через важільну систему та гідроциліндри.

Рисунок 1.2 – Роботизована гусенична платформа з навісним бульдозерним обладнанням

Таблиця 1.1 – Основні конструктивні різновиди бульдозерного обладнання

Тип відвала	**Конструктивна особливість**	**Раціональна область застосування**
Прямий	Плоска або криволінійна робоча поверхня без значного винесення бокових щік	Планування, зрізання невеликих шарів ґрунту, переміщення матеріалу на короткі відстані
Напівуніверсальний	Наявність бокових частин, які зменшують втрати матеріалу через краї відвала	Переміщення більших об’ємів ґрунту, робота з сипкими матеріалами
Сферичний	Збільшена кривизна робочої поверхні та виражені бокові щоки	Накопичення значної призми волочіння, робота з розпушеним ґрунтом
Поворотний	Можливість встановлення відвала під кутом до поздовжньої осі машини	Очищення доріг, відведення матеріалу убік, планувальні роботи
Спеціальний	Виконання під конкретний технологічний процес або особливі умови експлуатації	Робота в обмежених просторах, розчищення завалів, роботизовані й дистанційно керовані системи

Наведена класифікація показує, що вибір типу відвала залежить не лише від продуктивності, а й від характеру робіт. Для бакалаврської роботи на тему розроблення бульдозерного обладнання продуктивністю 120 м³/год найбільш доцільною є схема неповоротного або малоповоротного переднього відвала з криволінійною робочою поверхнею. Такий варіант забезпечує простоту конструкції, зменшує кількість рухомих шарнірів, полегшує керування робочим органом і добре узгоджується з вимогами роботизованої платформи.

Відвал бульдозера складається з лобового листа, верхньої та нижньої підсилювальних балок, бічних щік або ребер жорсткості, змінних ножів, кронштейнів кріплення до штовхаючої рами та елементів захисту. Робоча поверхня відвала зазвичай має криволінійну форму, що сприяє переміщенню

ґрунту вгору по поверхні відвала, частковому перекочуванню матеріалу та зменшенню опору волочінню [5, 7, 8]. Нижня частина відвала оснащується ножем, який безпосередньо взаємодіє з ґрунтом і сприймає найбільші абразивні та ударні навантаження.

Ножова система є одним із найвідповідальніших вузлів. Змінні ножі виготовляють із високоміцних зносостійких сталей і кріплять болтовими з'єднаннями, що дає можливість виконувати технічне обслуговування без заміни всього відвала. Для роботи у важких умовах можуть застосовуватися зубчасті або посилені ножі, які полегшують розпушування щільного ґрунту, кореневих включень, уламків будівельних матеріалів або мерзлих шарів. На рис. 1.3 наведено приклад відвала з розвиненою ножовою частиною, що може бути використаний як орієнтир під час проєктування обладнання для роботизованої системи.

Рисунок 1.3 – Відвал роботизованої гусеничної машини з посиленою робочою кромкою

З погляду силової взаємодії робочого органу з ґрунтом бульдозерне обладнання працює в умовах складного навантаження. На відвал діють сила опору різанню, сила переміщення призми волочіння, реакції ґрунту на ножі та лобовому листі, сили тертя, інерційні складові під час неусталеного руху, а також реакції у шарнірах штовхаючої рами [4, 10]. При проєктуванні необхідно враховувати, що найбільші навантаження виникають під час заглиблення ножа, початку руху з призмою ґрунту, зустрічі з перешкодами та різкої зміни напрямку руху.

Штовхаюча рама або бруси передають зусилля від базової машини до відвала. У традиційних бульдозерах застосовують П-подібні, А-подібні або роздільні штовхаючі бруси. Для роботизованої системи рама повинна мати достатню жорсткість при мінімальній масі, оскільки надлишкова маса переднього обладнання може погіршити розподіл навантажень на гусеничний рушій і зменшити запас тягового зусилля. Тому доцільним є використання зварної просторової конструкції з профільних елементів, підсилених у зонах кріплення гідроциліндрів і шарнірів.

Механізм керування положенням відвала найчастіше виконується гідравлічним. Гідроциліндри забезпечують підіймання, опускання, заглиблення та утримання відвала у заданому положенні. У дорожньо-будівельних машинах гідропривід отримав широке застосування завдяки високій питомій потужності, компактності, можливості плавного регулювання швидкості руху робочого органу та простоті реалізації дистанційного керування [13]. Для роботизованої машини гідропривід також є зручним з погляду автоматизації, оскільки положення штоків гідроциліндрів може контролюватися датчиками, а команди на керування подаватися електрогідравлічними розподільниками.

Разом із тим роботизована система висуває додаткові вимоги до компонування бульдозерного обладнання. Відвал не повинен перекривати оглядові зони камер, лідарів або інших датчиків орієнтації. Кріплення має забезпечувати захист гідроліній та електричних кабелів від пошкодження

ґрунтом, камінням, уламками або рослинністю. Крім того, важливо передбачити достатній дорожній просвіт у транспортному положенні та обмежити вертикальне переміщення відвала для запобігання ударним навантаженням у крайніх положеннях.

На рис. 1.4 показано приклад дистанційного керування важкою бульдозерною машиною. Хоча наведена система належить до машин великого класу, її принципи є важливими для аналізу роботизованих бульдозерів: оператор може бути віддалений від небезпечної зони, а функції машини передаються через електронну систему керування. Це підтверджує загальну тенденцію переходу від традиційної кабіни оператора до дистанційного, напівавтоматичного або автономного керування робочим процесом [15, 16].

Рисунок 1.4 – Приклад дистанційного керування бульдозером

Сучасні спеціалізовані роботизовані машини часто виконуються у вигляді компактних гусеничних платформ із низьким профілем корпусу. Така схема забезпечує стійкість, високу прохідність і можливість роботи в обмежених просторах. Прикладом є компактний роботизований бульдозер XLPD, призначений для спеціальних умов експлуатації, зокрема для підземних гірничих виробок і важкодоступних ділянок. У наданих матеріалах зазначено, що

перевагою низькопрофільної конструкції є можливість роботи в тунелях висотою до 1,8 м, підвищення безпеки персоналу та ефективності виконання робіт у вузьких виробках [15, 16].

На рис. 1.5 наведено приклад роботизованої гусеничної машини DOK-ING із ковшовим або бульдозерним робочим органом. Аналіз цієї конструкції показує, що для роботизованих землерийних машин характерними є захищений корпус, гусеничний рушій, компактне компонування, низьке розміщення основних агрегатів, відсутність кабіни оператора та застосування змінного переднього обладнання. Саме ці ознаки необхідно враховувати при розробленні бульдозерного обладнання для системи продуктивністю 120 м³/год.

Рисунок 1.5 – Роботизована гусенична машина DOK-ING із переднім робочим обладнанням

Продуктивність бульдозера визначається об’ємом ґрунту, який машина переміщує за один цикл, тривалістю робочого циклу, відстанню переміщення, швидкістю руху та коефіцієнтами, що враховують втрати матеріалу, розпушення ґрунту й використання часу зміни [5, 10, 11]. Для заданої продуктивності 120 м³/год конструкція робочого органу повинна забезпечувати достатній об’єм призми волочіння без перевищення тягових можливостей роботизованої платформи. Це означає, що геометричні параметри відвала – ширина, висота,

кривизна робочої поверхні, кут різання та наявність бокових щік – мають бути узгоджені з масою машини, потужністю приводу й характеристиками ґрунту.

Для роботизованої системи продуктивність не можна підвищувати лише збільшенням розмірів відвала. Надмірна ширина або висота робочого органу збільшують силу опору, масу навісного обладнання, навантаження на гідроциліндри та ймовірність буксування гусениць. Тому більш раціональним є оптимальне поєднання геометричних параметрів відвала, режиму руху, глибини різання та алгоритму керування. У роботизованому виконанні це особливо важливо, оскільки система керування повинна підтримувати стабільну тягу й уникати перевантаження приводу.

Під час вибору конструктивної схеми для подальшого розрахунку доцільно враховувати такі вимоги: простота та жорсткість несучої системи; мінімальна маса при достатній міцності; можливість швидкого обслуговування ножів; захист шарнірів і гідроциліндрів; сумісність із дистанційним або автоматизованим керуванням; достатній кут заглиблення ножа; збереження стійкості роботизованої платформи під час штовхання; можливість роботи на нерівній поверхні та у стиснених умовах.

Перспективним напрямом є застосування змінного робочого обладнання. На одній роботизованій платформі можуть встановлюватися бульдозерний відвал, ковш, захват, розпушувач або спеціальний інструмент для очищення територій. Такий підхід підвищує універсальність машини, але потребує уніфікованих вузлів приєднання та надійного фіксування обладнання. На рис. 1.6 показано концепцію роботизованого бульдозера із комплексним переднім і заднім навісним обладнанням, що демонструє можливість поєднання декількох робочих органів в одній машині.

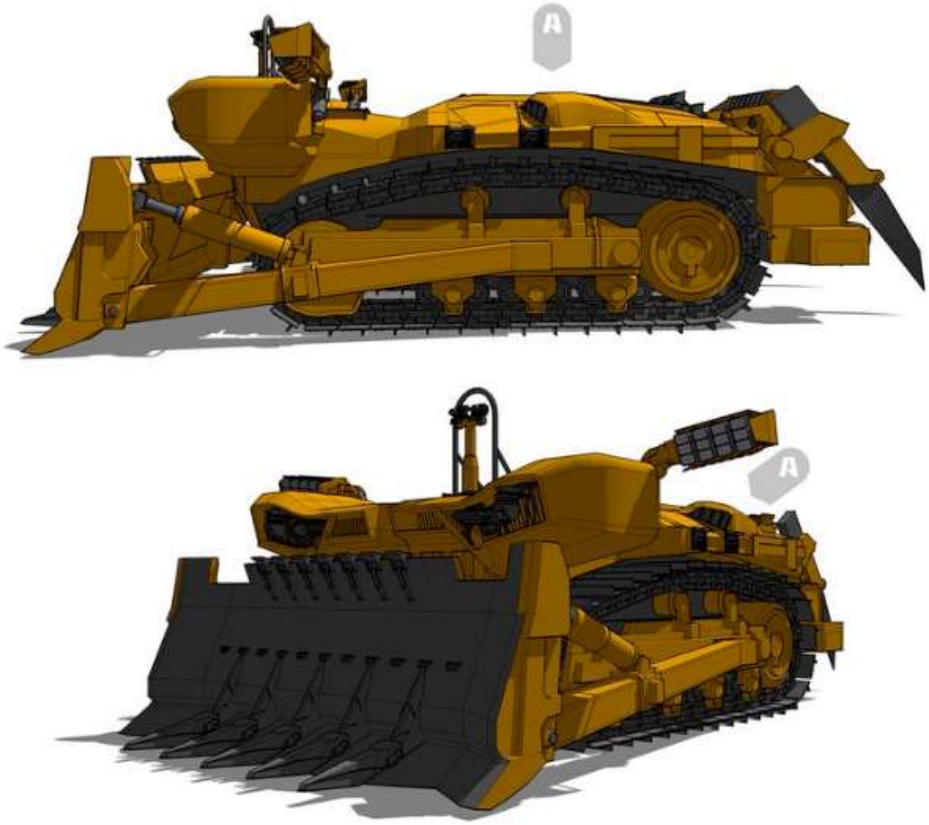


Рисунок 1.6 – Концепція роботизованого бульдозера з навісним робочим обладнанням

Аналіз конструкцій бульдозерного обладнання показує, що для роботизованої системи найбільш раціональною є компактна гусенична база з переднім навісним відвалом, гідравлічним механізмом керування та посиленою ножовою частиною. Така схема поєднує простоту, надійність і можливість автоматизації робочого процесу. При цьому основними параметрами, які потребують подальшого розрахунку, є ширина й висота відвала, кут різання, маса робочого обладнання, зусилля на ножі, опір переміщенню призми ґрунту, навантаження на штовхаючу раму та параметри гідроприводу.

При розробленні бульдозерного обладнання продуктивністю 120 м³/год доцільно прийняти конструкцію переднього неповоротного відвала з криволінійною робочою поверхнею, змінною ножовою системою, боковими підсилювальними елементами та зварною штовхаючою рамою. Обладнання

повинно бути адаптоване до роботизованої платформи, забезпечувати дистанційне або автоматизоване керування положенням відвала та мати достатній запас міцності для роботи з ґрунтами, будівельним сміттям і сипкими матеріалами.

1.2 Тенденції розвитку робочих органів бульдозерного обладнання та теоретичні основи різання ґрунту

Бульдозери належать до найбільш поширених землерийно-транспортних машин, які застосовують у промисловому, цивільному, дорожньому та спеціальному будівництві. Їх широке використання пояснюється відносною простотою конструкції, універсальністю робочого процесу, високою маневреністю та порівняно невисокою собівартістю виконання земляних робіт [1, 2, 5].

Загальні напрями вдосконалення бульдозерного обладнання пов’язані не лише з розвитком відвалів як основних робочих органів, а й із застосуванням механізмів, що дають змогу змінювати положення відвала та, відповідно, впливати на характер копання ґрунту. Еволюція конструкцій відбувалася від простих плоских відвалів до робочих органів складнішої форми, здатних зменшувати опір копанню, краще утримувати призму волочіння та підвищувати ефективність переміщення ґрунту.

Першим етапом розвитку можна вважати елементарний плоский відвал землерийної машини. Подальше вдосконалення привело до появи відвалів із криволінійним профілем робочої поверхні. Така форма враховує переміщення та підйом стружки ґрунту по поверхні відвала, що істотно впливає на загальний опір копанню. Наступним конструктивним рішенням стали відвали з боковими щоками, які зменшують втрати ґрунту з призми волочіння та сприяють кращому його накопиченню перед робочим органом.

Розвиток лобових відвалів із боковими щоками зумовив створення більш ефективних совкових відвалів із косо встановленими крайніми секціями. Такі конструкції покращують утримання ґрунту в зоні відвала, зменшують бокові втрати матеріалу та створюють передумови для підвищення продуктивності машини під час переміщення сипких і зв'язних ґрунтів [5, 7, 8].

Класифікація робочих органів землерийних машин

Робочі органи, які встановлюють на землерийних машинах різних типів, призначені для виконання широкого спектра земляних робіт у різних ґрунтових та кліматичних умовах.

Їх доцільно систематизувати за такими основними класифікаційними ознаками [3, 5, 7]:

1) за призначенням – для основних, опоряджувальних або підготовчих робіт;

2) за конструктивною складністю – елементарні або складні;

3) за типом робочого органа – ножові, відвальні, ковшові, шнекові;

4) за формою різальної частини поперечного перерізу – прямокутні або криволінійні;

5) за кількістю відкритих поверхонь ґрунтового масиву – з однією, двома або більшою кількістю відкритих поверхонь;

6) за схемою взаємодії з ґрунтом – залежно від кількості відкритих поверхонь у зоні руйнування;

7) за траєкторією руху робочого органа – прямолінійні або криволінійні;

8) за характером взаємодії з ґрунтом у часі – циклічні або безперервні;

9) за принципом дії на ґрунт – статичні, ударні, вібраційні або комбіновані;

10) за видом випадкового процесу навантаження – зі стаціонарним або нестаціонарним характером зміни навантажень.

Подальша деталізація цих ознак виконується з урахуванням конкретного типу землерийної машини, виду робіт і властивостей ґрунтового середовища.

За характером дії на мерзлі ґрунти робочі органи поділяють на статичні, динамічні та комбіновані. До статичних робочих органів належать барові органи, дискові та кільцеві фрези, ножі одноковшових екскаваторів для нарізання щілин, розпушувачі, пальцеві торцеві й циліндричні фрези, багаторізцеві екскаватори, машини безперервної дії, бурові та гвинтові робочі органи, які забезпечують розроблення мерзлих ґрунтів у різних умовах.

До динамічних робочих органів належать вільнопадаючі молоти, підвісні молоти, молоти у напрямних, а також віброклини, які застосовують переважно для попереднього руйнування або розпушування мерзлих ґрунтів. Комбіновані робочі органи поєднують кілька видів дії. До них можна віднести вібробури, фрези з віброзбуджувачами крутильних коливань, клинові робочі органи з дизель-молотами, навісні розпушувачі з активними зубами та ковші з активними зубами [5, 8].

Під час визначення енергоємності процесу копання, а також величини і характеру зміни складових сили різання, які діють на робочий орган, необхідно враховувати схему взаємодії інструмента з ґрунтом.

Аналіз схем взаємодії робочих органів із ґрунтом має важливе значення як для оцінювання роботи існуючих машин, так і для створення нових високоефективних конструкцій.

Прикладом такого підходу є дослідження, виконані у спеціалізованих науково-виробничих організаціях, за результатами яких були запропоновані нові типи робочих органів і раціональні схеми їх взаємодії з ґрунтовим середовищем.

Вони дають змогу цілеспрямовано впливати на процес руйнування ґрунту та знижувати силові витрати під час копання.

У процесі роботи землерийні машини сприймають змінні в часі випадкові навантаження. Залежно від типу робочого органа, властивостей ґрунту, швидкості руху та режиму роботи характер зміни цих навантажень може суттєво відрізнятися.

Класифікацію випадкових процесів навантаження робочих органів доцільно виконувати за такими ознаками: стаціонарністю – стаціонарні або нестаціонарні; ергодичністю – ергодичні або неергодичні; видом закону розподілу миттєвих значень досліджуваного параметра; диференційованістю – диференційовані або недиференційовані.

Такий підхід дозволяє використовувати статистичні характеристики однотипних процесів навантаження для аналізу не лише окремого робочого органа, а й цілих груп робочих органів, що працюють у подібних умовах.

Для середнього суглинку встановлено залежності опору різанню від кута різання. Для кутів різання р = 20–50° залежність має вигляд:

$$P = P_{20}(1 + 0.017\alpha_p) \quad (1.1)$$

Для кутів р > 50° використовують іншу залежність:

$$P = P_{20}(1 + 0.06\alpha_p) \quad (1.2)$$

де Р20 – опір різанню ґрунту при куті р = 20°.

У разі зміни кута різання в межах 20–38° сила різання зростає в середньому на 1,7 % на кожний градус збільшення кута, а в діапазоні 40–90° – приблизно на 6 % на градус.

Для визначення вертикальної складової опору копанню Рв використовується залежність, у якій вона розглядається як функція горизонтальної складової Рг:

$$P_в = \psi * P_г \quad (1.3)$$

де коефіцієнт залежить від співвідношення швидкостей копання і подачі, кута копання та ступеня затуплення різальної кромки. Його значення, як правило, знаходиться в межах 0,1–0,45.

Розроблення ґрунту ковшами із зубами здійснюється за кутів різання р = 25–55°. Мінімальне рекомендоване значення кута становить приблизно 28–30°.

Вплив кута різання для елементарних профілів при р = 39–90° враховується залежністю:

$$P = P_{30}(1 - \frac{90 * \alpha p}{180}) \quad (1.4)$$

Для периметрів при р = 20–60° залежність записується у вигляді:

$$P = P_{20}(1 + 0{,}0075\,\alpha_p) \quad (1.5)$$

де Р30 і Р20 – опір різанню ґрунту при відповідних кутах різання.

Оптимальний кут різання для периметрів з урахуванням мінімального заднього кута становить 30–35°.

За кутів різання р < 90° спостерігається тенденція до заглиблення ковша, а за р > 90° – до його виштовхування з ґрунту.

Величина та напрям вертикальної сили Рв залежать від кута різання р, кута зовнішнього тертя ґрунту по металу та ступеня затуплення різальної кромки.

Зі збільшенням кута зовнішнього тертя оптимальне значення кута різання зменшується. Для діапазону 18–45° оптимальний кут різання перебуває у відносно вузьких межах 23–30°.

Коефіцієнт, що враховує вплив кута різання, змінюється незначно при р < 45°, проте суттєво зростає при р > 45°.

Для врахування цього впливу запропоновано залежність:

$$\varphi = 1 + \beta\ (\alpha p - 45^0\ ) \quad (1.6)$$

де коефіцієнт визначає приріст опору на 1° збільшення кута різання; для розглянутих умов його значення приймають 0,07.

Зменшення кута тертя ґрунту по ножу зміщує відношення Рв/Рг у бік більших кутів різання. Експериментально встановлено закономірності зміни середньої сили та енергоємності різання залежно від глибини, ширини срезу та кута різання. При збільшенні кута різання від 20 до 90° середня сила різання зростає прискорено.

Коефіцієнт енергоємності збільшується зі зростанням кута різання від найменших практичних значень до найбільших. При р > 80° він наближається до одиниці, що свідчить про майже повне припинення коливань сили різання. Рекомендованим вважається кут різання 35–40°.

Зміна умов тертя на поверхні ножа також впливає на співвідношення вертикальної та горизонтальної складових сили копання.

Експериментальні дослідження підтверджують, що середня сила різання й енергоємкість процесу визначаються глибиною різання, шириною срезу та кутом установлення різального елемента.

За збільшення кута різання середня сила різання для досліджених ґрунтів не має вираженої області мінімуму, а поступово і прискорено зростає. Це підтверджує доцільність вибору раціонального кута різання на етапі проєктування бульдозерного обладнання.

За результатами модельних експериментів встановлено, що під час копання глинистого зв’язного ґрунту вертикальна складова опору копанню завжди спрямована на заглиблення відвала, причому її величина збільшується зі зростанням кута різання. Для супіщаного розпушеного ґрунту при куті менше 60° вертикальна сила спрямована зверху вниз, а при куті понад 60° її напрям змінюється на протилежний.

Залежності сили копання від кута різання для зв’язного ґрунту з показниками С = 3–5 і вологістю 15,5–18,5 % при глибині 6,2–6,8 мм, а також для розпушеного ґрунту з С = 1 і вологістю 4–6 %, близькі до лінійних.

У кінці процесу копання об’єм призми ґрунту перед відвалом буде більшим за умови меншого опору переміщенню зрізаного ґрунту в цю призму. Для зв’язних ґрунтів рекомендовано відвал спрощеного профілю з кутом різання 30° і кутом нахилу 15°, що дає змогу знизити енергоємність процесу копання на 25–30 %.

Найбільший вплив на формування і рух стружки по отвальній поверхні мають кути перекидання та нахилу відвала, кривизна робочої поверхні, довжина нижньої прямої ділянки, характер зміни кривизни по висоті та кут різання. Для бульдозера загального призначення в середніх ґрунтових умовах рекомендовано такі параметри неповоротного відвала: кут різання 35°, кут перекидання 70–75°, кут нахилу 75°, кут установлення козирка 90–100°, радіус кривизни нижньої

частини відвала 0,8 його висоти, верхньої частини – 1,1 висоти.

Кути різання, менші за критичні значення, забезпечують менш енергоємний характер руйнування, стабілізують процес копання та зменшують різкі коливання глибини різання, так звані «клювки».

Для розрахунку горизонтальної складової опору копанню плоского ножа запропоновано залежність:

$$P = (1 + ctg\alpha\rho * tg\delta)ABh\left[\frac{\gamma h}{2} + C\omega ctg\,\rho(1 - \frac{1}{A}) + tg\,\rho\frac{\gamma p\cos^2\rho H^2}{K\psi h} + \gamma\rho H\right] + \quad (1.7)$$

$$+\gamma\rho\cos^2\rho\frac{BH^2}{2}$$

де В – довжина відвала; h – глибина різання; γ – об'ємна маса ґрунту з порушеною структурою; ρ – об'ємна маса ґрунту з непорушеною структурою; Н – висота призми волочіння, яку приймають рівною висоті відвала; Cω – зчеплення ґрунту з порушеною структурою; Kψ – коефіцієнт, що залежить від кута зсуву ψ та кута різання і визначається аналітичним шляхом.

Порівняльні дослідження показали, що використання відвалів зі змінним кутом різання підвищує продуктивність під час розроблення зв'язних ґрунтів приблизно на 15 %, а застосування відвалів із гнучкою отвальною поверхнею – на 10–15 %. Зниження тягового зусилля в обох випадках може досягати 25 %.

Ґрунт являє собою поверхневий шар земної кори, який утворився внаслідок вивітрювання гірських порід.

За походженням, станом і механічною міцністю ґрунти поділяють на скельні, напівскельні, великоуламкові, піщані та глинисті.

Стан ґрунту характеризується комплексом фізико-механічних властивостей: гранулометричним складом, щільністю, пористістю, вологістю, розпушуваністю, стисливістю, міцністю, опором тертю, абразивністю, липкістю та швидкістю поширення деформаційних хвиль [5, 10].

Стружка надлому або відриву формується у вигляді окремих, не зв'язаних між собою кусків матеріалу неправильної форми. Різальний елемент відокремлює ці куски переважно відривом, залишаючи нерівну поверхню різання.

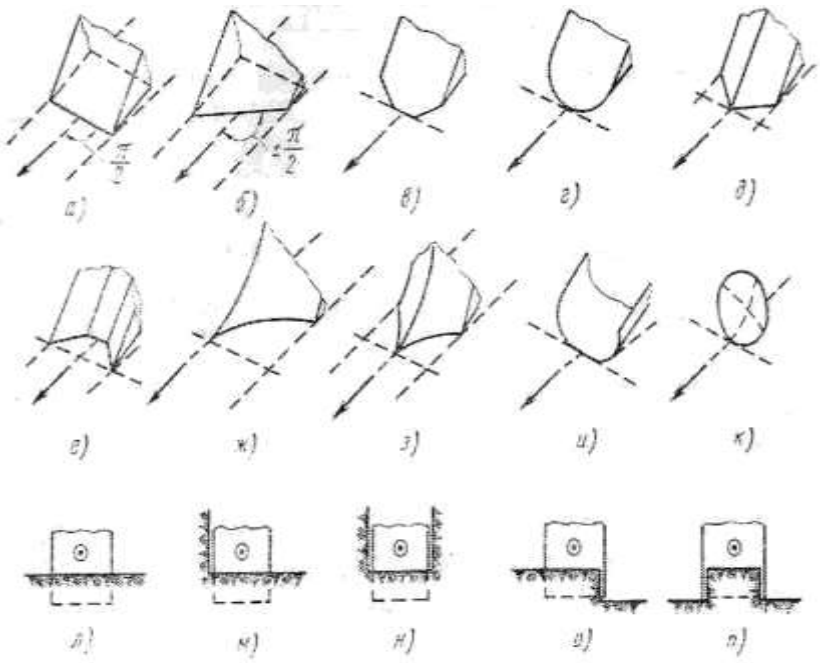


Рисунок 1.7 – Різновиди різання з відокремленням стружки:

а – прямокутне різання плоским клином; б – косокутне різання плоским клином; в – прямокутне різання плоским клином із різальною кромкою, окресленою ламаною лінією; г – те саме, але за випуклою кривою; д, е – різання дво- і тригранним клином; ж, з, к – косе різання криволінійним клином; и – прямокутне різання криволінійним клином; л – блоковане різання; м – різання з однією поверхнею бокового зрізу; н – різання з двома поверхнями бокового зрізу; о – напіввільне різання; п – вільне різання.

Елементна стружка також складається з окремих кусків матеріалу, але їх форма є більш закономірною. З боку різального елемента вони обмежені площиною, утвореною внаслідок зминання матеріалу.

Ступінчасту стружку можна розглядати як різновид елементної. Відмінність полягає в тому, що послідовні елементи після відокремлення знову

з’єднуються між собою. У результаті стружка має гладку поверхню з боку різця і ступінчасту зовнішню поверхню.

Зливна стружка утворюється у вигляді суцільної стрічки. З боку різального елемента вона має гладку поверхню, а із зовнішнього боку – шорстку, але без значних нерівностей.

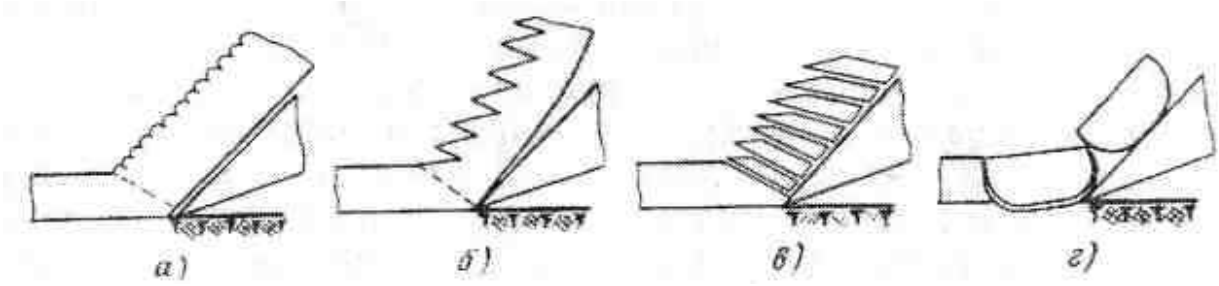


Рисунок 1.8 – Види стружок при різанні ґрунтів:

а – зливна; б – ступінчаста; в – елементна; г – відриву.

Підвищення продуктивності та ефективності роботи бульдозера можливе за рахунок надання ножовій системі робочого органа таких геометричних параметрів, за яких сила різання ґрунту буде мінімальною, а траєкторія переміщення зрізаної стружки сприятиме збільшенню призми волочіння. Це дозволяє зменшити витрати енергії на переміщення ґрунту по відвалу та знизити втрати матеріалу в бокові валики.

Розроблення такого робочого органа потребує аналізу теорії різання та поведінки ґрунту під час його руйнування з урахуванням властивостей ґрунтового середовища.

На фізику процесу відділення стружки від ґрунтового масиву та періодичність сколювання істотно впливає ядро ущільнення. Під час занурення різального елемента у ґрунт на його лобовій поверхні формується локальна зона підвищеної щільності. Після першого циклу відділення стружки в масиві утворюється похилий забій, який не забезпечує одночасного контакту всієї площі різального елемента з ґрунтом.

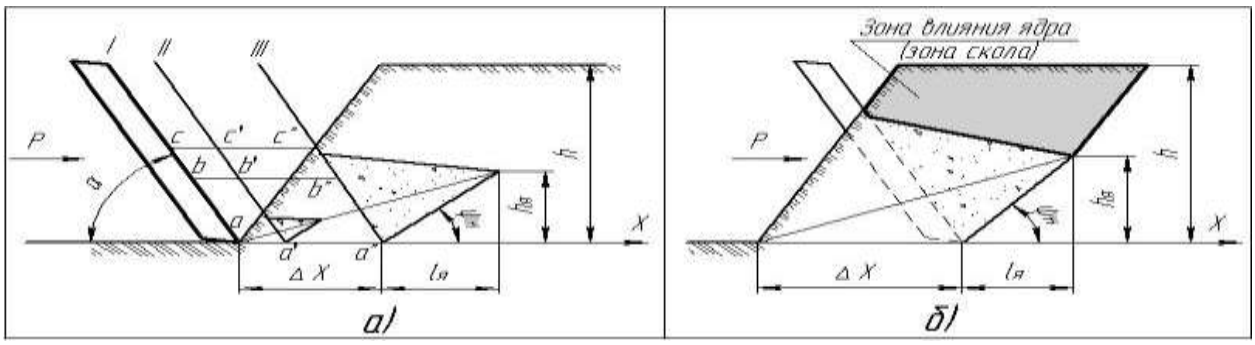


Рисунок 1.9– Формування у ґрунтовому масиві ущільненого ядра:

а – процес формування ядра; б – момент досягнення критичного напруження ядра на масив

Опір ґрунтового масиву ущільненому ядру також може бути описаний математично:

$$P = \sum_{i=1}^{n} s_i F_я^i \cos\beta_i + \sum_{i=1}^{n} t_i F_я^i \sin\beta_i \,, \qquad (1.8)$$

де si і ti – відповідно нормальні та дотичні напруження на і-й поверхні ядра;

Fія – площа і-ї поверхні ядра;

βі – кут нахилу і-ї поверхні до осі х;

n – кількість поверхонь ядра ущільнення.

Під час аналізу формування ущільненого ядра простежується однозначна залежність площі його поверхонь від кута різання. Зі збільшенням кута різання площі поверхонь ядра зростають, причому змінюється і співвідношення площ нижньої та верхньої поверхонь.

На підставі наведеного аналізу можна зробити висновок, що надання ножовій системі робочого органа трапецієподібної форми дає змогу ефективніше впливати на ґрунт за менших силових витрат і забезпечувати повніше вилучення ґрунту з масиву.

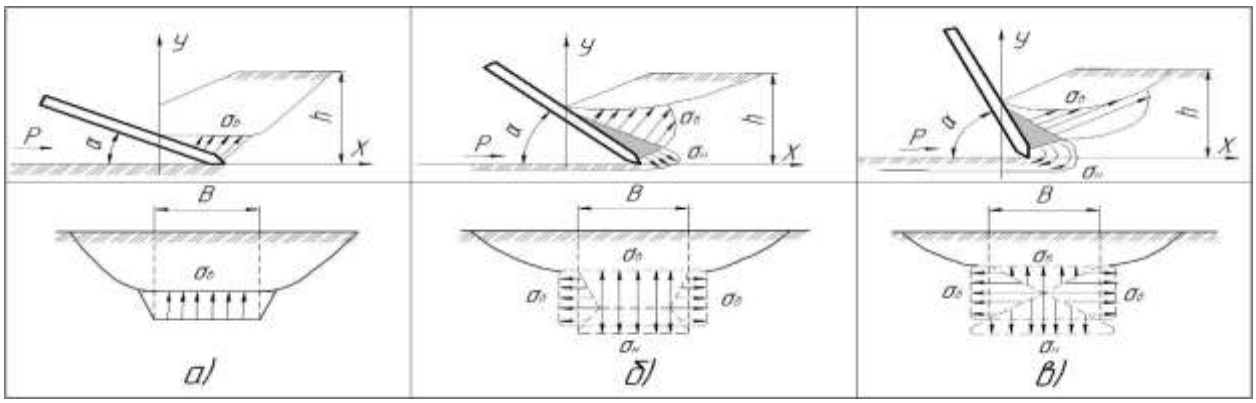
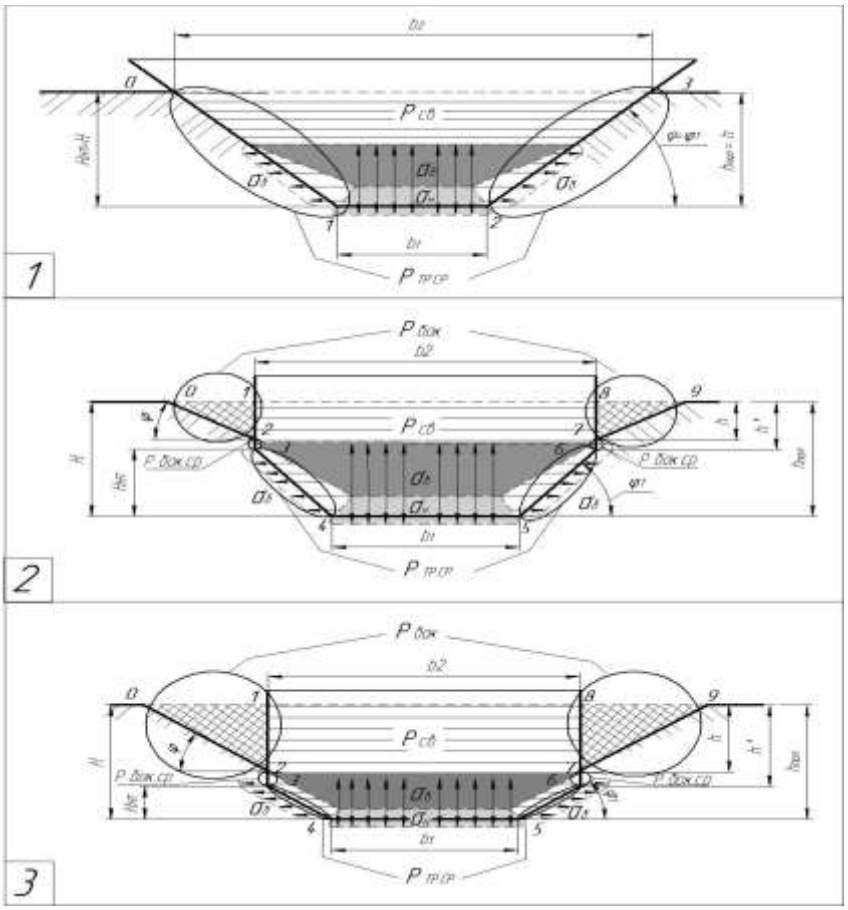


Рисунок 1.10 – Схеми формування напружено-деформованого стану ґрунту: а – α < 45°; б – α ≈ 45°; в – α > 45°.



1 – ножем форми ННТ/Н = 1; 2 – ножем форми ННТ/Н = 0,5; 3 – ножем форми ННТ/Н = 0,3.

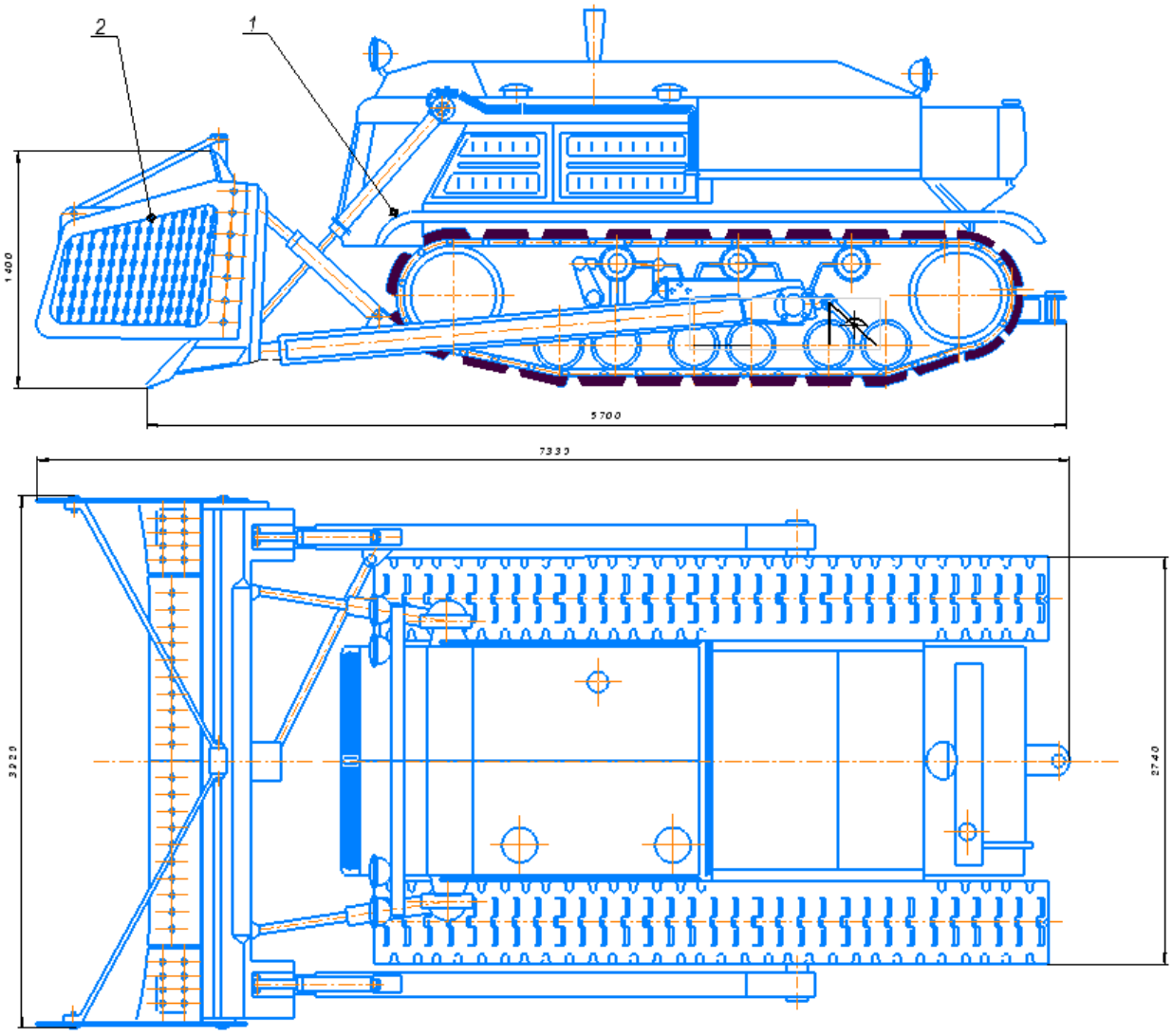
Рисунок. 1.11 – Схема ґрунтового прорізу та зон дії складових сил різання при копанні ножем трапецієподібної форми:

Отже, аналіз впливу форми ножа на процес розроблення ґрунту є важливим

етапом проєктування бульдозерного обладнання. Вибір раціональних параметрів різальної кромки дозволяє зменшити силу різання, покращити траєкторію руйнування ґрунту та підвищити ефективність роботи бульдозерного обладнання роботизованої системи.

2. РОЗРАХУНОК ТА РОЗРОБКА НАВІСНОГО ОБЛАДНАННЯ ПІДВИЩЕНОЇ НАКОПИЧУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ .

Бульдозерне обладнання навішується на роботизовану систему як комплект спареного обладнання, до складу якого входить: відвал, бічні стінки, бруси, гідроциліндри керування (рис. 2.1).



1 – Роботизована система, 2 – бульдозерне обладнання

Рисунок 2.1 – Бульдозер підвищеної накопичувальної здатності.

					ГММ.4ММ.032-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат			
Розроб.		Корюков			РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ	Літ.	Лист 29 / Листів
Перев.		Фролов					
Керівник						Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»	
Н. контр.		Васильєв					
Затв.		Орисенко					

2.1 Визначення головного параметра платформи та раціональних розмірів відвалу.

Головний параметр платформи - номінальне тягове зусилля, під яким розуміють зусилля, яке розвивається на щільному ґрунті з урахуванням довантаження від ваги навісного обладнання при коефіцієнті буксування не вище 7% для гусеничних машин на нижчій робочій швидкості визначається залежністю:

$$T_{нб} = G_{б} \cdot \varphi_{опт}, \qquad (2.1)$$

де $\varphi_{опт}$ - оптимальний коефіцієнт використання ваги базової машини з обладнанням зі зчеплення, що відповідає допустимому буксуванню.

Коефіцієнт $\varphi_{опт}$ для гусеничних промислових тракторів – 0,90;

$G_{б}$ - Зчіпна вага бульдозера в робочому стані.

$$T_{нб} = 209,9\ 0,9 = 189 \text{ кН}$$

Для гусеничних тракторів:

$$G_{б} = (1,17...1,22)\, G_{бм}; \qquad (2.2)$$

$$G_{б} = 1,2 \times 17,85 \times 9,8 = 209,9 \text{ кН}$$

де $G_{бм}$ - Вага базової машини, кН. $m_{бм} = 17,85$ (т)

Довжину неповоротного відвалу L вибираємо з розрахунку перекриття габариту базової машини по ширині або елементів, що найбільш виступають в сторони штовхаючої рами не менше 50 мм із кожної сторони. L = 3920 мм.

Висоту відвалу визначаємо в залежності від номінального тягового зусилля бульдозера при швидкості, що підходить для бульдозерних робіт, параметрів відвальної поверхні та ґрунтових умов.

$$H \approx 500\sqrt{0,1T_{нб}} - 0,1T_{нб}, \text{ мм} \qquad \textbf{(2.3)}$$

$$H \approx 500\sqrt[3]{0,1 \cdot 189} - 0,5 \cdot 189 = 1400(мм)$$

Враховуючи розраховану висоту та забезпечення хорошого огляду з кабіни трактора, приймемо висоту відвалу від бокового ножа до козирка H_1 =1400 мм .

Профіль відвалу

Відвали бульдозера оснащуються козирком, висота якого становить *(0,1…0, 25)H* . Козирок при основному положенні відвалу встановлюється вертикально. Загальна висота відвалу з козирком має бути такою, щоб у транспортному положенні забезпечувалися видимість простору перед бульдозером та необхідний кут в'їзду. Висоту козирка відвалу приймаємо рівною 0,2 м.

Параметри профілю відвалу задаються кутами різання α , перекидання β .

Експериментально доведено доцільність створення відвалів із постійним радіусом кривизни, який вибирається в діапазоні *R = (0,8…0,9) H.*

$$R = 0{,}85\ 1500 = 1190мм \approx 1200 \text{ мм}.$$

Параметри модернізованого відвалу:

Ширина відвалу, мм…….3920

Найбільша висота, мм…… ……. . …1400

Радіус кривизни лобової поверхні, мм. ……1200

Кут установки у плані відвалу, град……75

Кут різання, град……...55

Маса відвалу, т……2

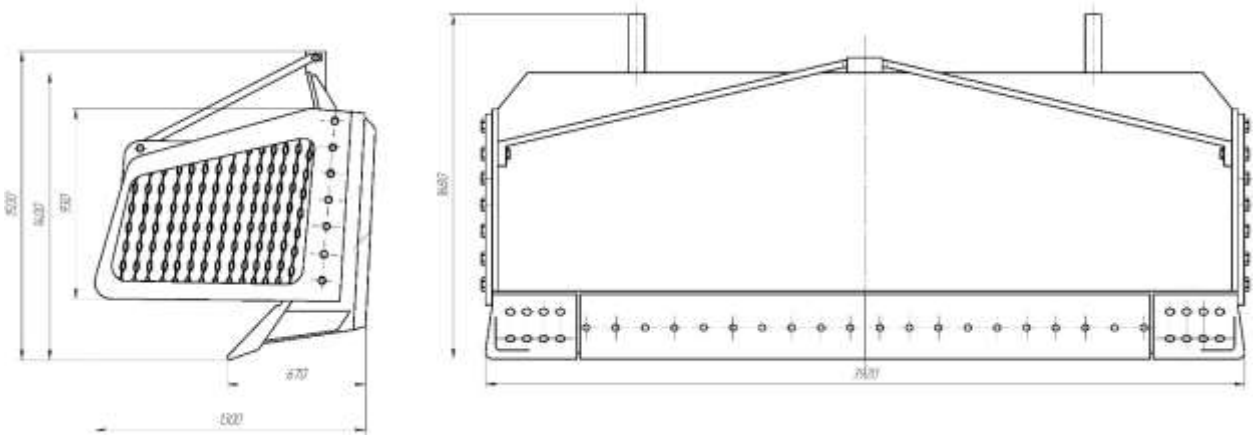


Рис. 2.2. Модернізована конструкція відвалу.

2.2. Загальний розрахунок бульдозера

2.2.1. Тяговий розрахунок бульдозера.

Перед початком розрахунку обмовимо таку умову: т.к. кути різання та величини ножової системи різні, але ефективність від їх застосування вище, ніж при традиційній ножовій системі тоді розрахунок будемо виробляти, посилаючись на традиційні параметри ножової системи, щоб задати певний запас модернізованої конструкції.

Тяговий розрахунок бульдозера дозволяє оцінити можливості тягача при транспортуванні ґрунту з підрізанням стружки, визначити підйом, який може долати машина з максимальною призмою волочіння.

Умова руху бульдозера без буксування:

$$T_{нб} \geq T_T \geq \sum P; \tag{2.4}$$

де $T_{нб}$ – сила тяги зі зчеплення, кН;

T_T - тягове зусилля, яке розвивається трактором, кН;

$\sum P$ - Сума опорів пересування, кн.

$$T_T = 3,6 \cdot N \cdot \eta / V, \tag{2.5}$$

де N - Ефективна потужність двигуна, кВт; N = 128,8 (кВт)

η= 0,8 - ККД машини;

V - швидкість машини на першій чи другій передачах, км/год, V = 2,86 (км/год)

$$T_T = 3,6 \cdot 130 \cdot 0,8 / 2,86 = 131 (\text{кН})$$

Сума опорів, що виникають у разі лобового різання та транспортування ґрунту відвалом бульдозера:

$$\sum P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4, \tag{2.6}$$

де P_1 - опір руху бульдозера, кН;

P_2 - опір ґрунту різання, кН;

P_3 - опір волоченню призми ґрунту попереду відвалу, кН;

P_4 - опір тертю ґрунту по відвалу, кН.

$$P_1 = G_б\left(f\cos\psi \pm \sin\psi\right)\text{кН}, \quad (2.7)$$

$$P_1 = 209,9(0,1\cos 15 + \sin 15) = 27кН$$

де f - Коефіцієнт опору руху трактора по грунту для гусеничного рушія 0,1 ... 0,12;

ψ - Розрахунковий кут підйому $15^o...20^o$. (Знак "+" приймається під час роботи на підйом.)

$$P_2 = L \cdot h \cdot k_P\text{; кН} \quad (2.8)$$

$$P_2 = 3,92 \times 0,1 \times 70 = 73кН$$

де L = 3,92 (м) довжина відвалу;

h - глибина різання, що приймається 0,1...0,4 м;

k_P - питомий опір ґрунту різання, кПа.

Для I групи ґрунтів (жвір) k_P = 70;

$$P_3 = 0,5LH^2 \cdot \rho \cdot g \cdot \mu_1\text{кН} \quad (2.9)$$

$$P_3 = 0,5 \cdot 3,92 \cdot 0,96^2 \cdot 1,5 \cdot 9,8 \cdot 0,8 = 21,2\ (\text{кН})$$

де H - висота відвалу, м;

ρ- щільність ґрунту, т/м ^{3} (для гравію – 1,4…1,9);

μ_1 - Коефіцієнт тертя грунту по грунту (для гравію - 0,7 ... 0,84);

$$P_4 = 0,5LH^2\rho \cdot g \cdot \mu_2 \cdot cos^2\alpha\text{ кН} \quad (2.10)$$

$$P_4 = 0,5 \cdot 3,92 \cdot 0,96^2 \cdot 1,5 \cdot 9,8 \cdot 0,4 \cdot cos^2 50 = 4,2\text{ кН}$$

де α - Кут різання, град (α = 45 ... 55 °);

μ_2 – коефіцієнт тертя ґрунту по сталі (для гравію – 0,4…0,65)

$$\sum P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4\text{ кН}, \quad (2.11)$$

$$\sum P = 73 + 27,44 + 21,2 + 4,2 = 125,8 \text{ кН}$$

$$189 > 131 > 125,8$$

Умова руху бульдозера без буксування ($T_{нб} \geq T_T \geq \sum P$) виконується.

2.2.2. Середній статичний питомий тиск для гусеничних базових машин.

$$q = \frac{G_б}{2 \cdot L \cdot b} = \frac{16416,66}{2 \cdot 1,915 \cdot 0,58} = 7390 \text{ кН}, \qquad (2.12)$$

де $L = 1,915$ *м* - Довжина опорної поверхні гусениць з урахуванням повного занурення грунтозачепів (рис 2.3).

$b = 0,58$ *м* - Ширина гусениць.

2.2.3. Становище центру тиску.

Положення центру тиску, т. е. точки докладання рівнодіючої всіх нормальних реакцій ґрунту на рушій базової машини, визначається за схемами на рис. 2.2.

Визначаємо положення центру тиску, *мм*

$$X = \frac{G_б \cdot d + R_Z \cdot d_1 + R_X \cdot h_R}{N}, \text{мм} \qquad (2.13)$$

де $R_Z = R_X \cdot tg\nu$ - вертикальна складова результуючої сили опору на відвал, *кН* .

$R_X = k_T \cdot T_{нб}$ - горизонтальна складова результуючої сили опору на відвал, *кН* .

$h_R = 0,17 \cdot H$ - Висота точки докладання результуючої сил опору на відвалі, при копанні щільного грунту дорівнює $0,17H$, *мм* .

$\nu = 17°$ - Кут нахилу результуючої сили опору на відвал (рис. 2.3), при копанні щільного ґрунту.

$d_1 = 4,7$ *м* - відстань дії вертикальної складової результуючої сили опору на відвал, (рис. 2.4).

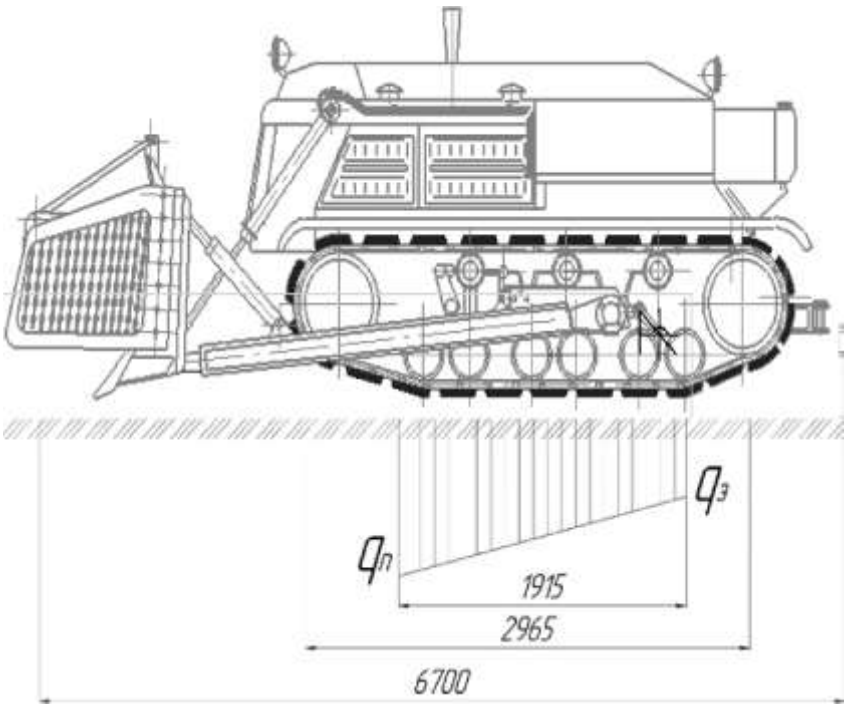


Рисунок 2.3– Положення центру тиску у випадку, коли бульдозер рухається горизонтальною поверхнею з максимально можливим обсягом призми волочіння при одночасному різанні грунту з оптимальною глибиною різання;

Висота точки докладання результуючої сил опору на відвалі, *мм*

$$h_R = 0{,}17 \cdot H = 0{,}17 \cdot 1660 = 282{,}2 \text{ мм} \quad (2.14)$$

Горизонтальна складова результуючої сили опору на відвал, *кН*

$$R_X = k_T \cdot T_{нб} = 0{,}3 \cdot 176{,}93 = 53{,}08 \text{ кН} \quad (2.15)$$

де $k_T = 0{,}3$ - Коефіцієнт тертя ґрунту по сталі, (для глини, 0,1 ... 0,4).

Визначаємо координату зміщення центру тиску N від середини опорної поверхні гусениць, *мм*

$$x = L / 6 = 1915 / 6 = 319{,}17 \text{ мм} \quad (2.16)$$

Розраховуємо вертикальну складову результуючої сили опору на відвал, *кН*

$$R_Z = R_X \cdot tg\nu = 53{,}08 \cdot tg17° = 53{,}08 \cdot 0{,}306 = 16{,}24 \text{ кН} \quad (2.17)$$

Визначаємо значення центру тиску N від середини опорної поверхні гусениць, *кН*

$$N = G_б + R_Z = G_б \cdot g + R_Z = 16,417 \cdot 9,81 + 16,24 = 177,29\ кН \quad (2.18)$$

Після визначення всіх значень формули (4.1), тоді обчислюємо центр ваги бульдозера,

$$X = \frac{G_б \cdot d + R_Z \cdot d_1 + R_X \cdot h_R}{N} = \frac{16,417 \cdot 0,958 + 16,24 \cdot 4,200 + 53,08 \cdot 0,2822}{177,29}$$

$$= \frac{103,91}{177,29} = 0,586\ м$$

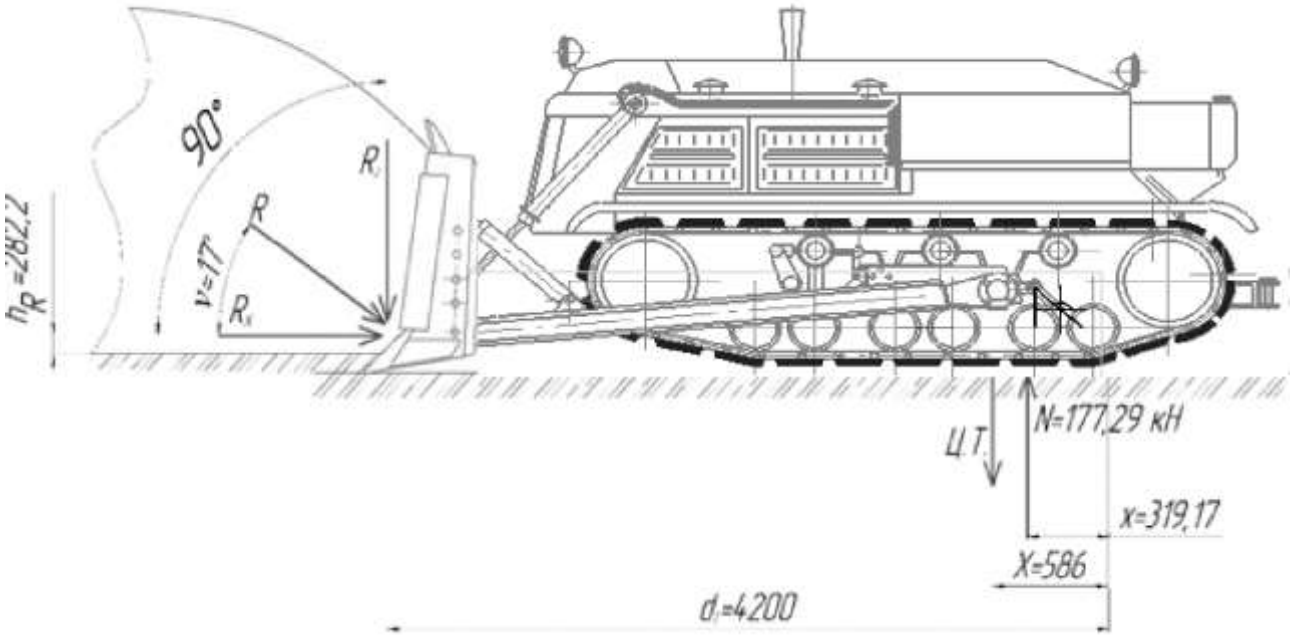


Рисунок. 2.4– Схема сил, що діють на бульдозер, при визначенні центру тиску.

По координаті X для гусеничних машин знаходять зміщення центру тиску від середини опорної поверхні гусениць, яке всім розрахункових випадків має перевищувати $1/6$, тобто. довжини цієї поверхні $L/6$.

Слід приймати: горизонтальну складову результуючої сили опору на відвалі рівної $0,6T_{нб}$, а вертикальне зусилля виглиблення або за глиблення - $0,5$ максимально можливого з умови перекидання бульдозера. Точку застосування цих зусиль приймати відповідно до рисунків.

2.2.3. Визначення питомих зусиль на ріжучій кромці.

Питоме напірне зусилля на ріжучій кромці, $кН / м$

$$q_H = \frac{T_{нб}}{B} = \frac{176,93}{3,92} = 45,135\ кН / м, \qquad (2.19)$$

Напірне зусилля відповідає **III** групі ґрунтів $q_H = 40...45\ кН / м$.

де $B = 3,92\ м$ - Довжина відвалу прийнята виходячи з параметрів прототипу базової машини.

Найбільше можливе вертикальне зусилля на ріжучій кромці ножа відвалу з умови перекидання базової машини, $кН$

$$P_Z = G_{нб} \frac{l_A}{l + l_C} = 193,257 \frac{0,586}{1,915 + 2,285} = 26,96\ кН, \qquad (2.20)$$

де $l = L = 1,915\ м$, $l_A = X = 0,586\ м$, $l_C = d_1 - L = 4,2 - 1,915 = 2,285$ $м$ - Відстань.

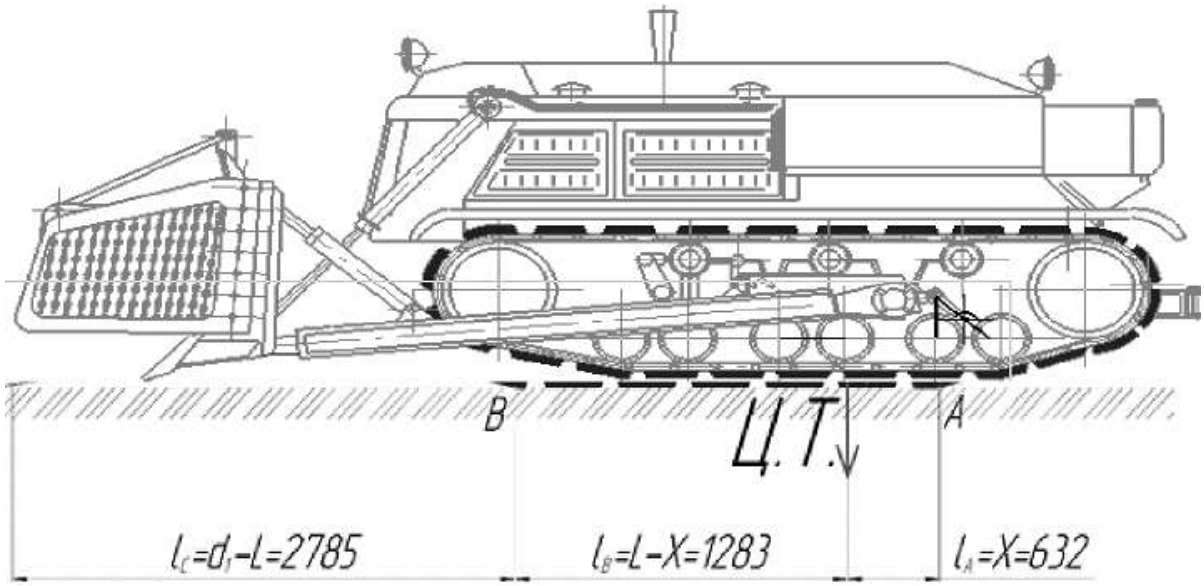


Рисунок. 2.5 – Схема відстаней до центру тяжкості роботизованої системи.

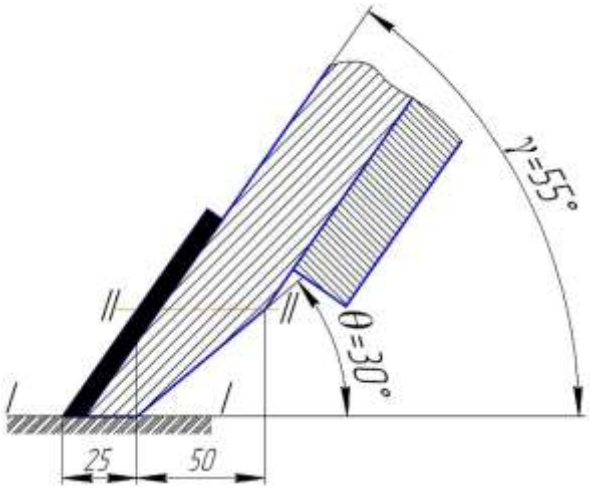


Рисунок 2.6 – Ніж відвалу бульдозера $\theta = 30°$ - задній кут при основній установці відвалу $\gamma = 55°$ - кут різання.

Питомий вертикальний тиск на ріжучій кромці, зношених (перетин I-I) та незношених (перетин II-II) ножів, $кН$

$$q_B^{I-I} = \frac{P_z}{F_{I-I}} = \frac{P_z}{l_{I-I} \cdot B} = \frac{26,96}{0,025 \cdot 3,920} = 281,13\ кН / м^2, \quad (2.21)$$

$$q_B^{II-II} = \frac{P_z}{F_{II-II}} = \frac{P_z}{l_{II-II} \cdot B} = \frac{26,96}{0,050 \cdot 3,920} = 141\ кН / м^2$$

Т.к. $q_B^{MAX} = 281,13 > 35$ тоді приймаємо $q_B = 35\ кН / м^2$.

2.2.4. Вибір геометричних параметрів конструктивної схеми бульдозера та визначення центру тяжкості бульдозера.

Основними геометричними конструктивними параметрами бульдозера є:

- відстань від центру задньої зірочки ходового механізму b = 1100 (мм) і від опорної поверхні m = 420 (мм) до точки закріплення брусів, що штовхають на тракторі ;
- довжина брусів, що штовхають l_o=4200(мм);
- координата точки закріплення гідроциліндрів підйому та опускання робочого органу на тракторі та відстань між точками закріплення гідроциліндрів та штовхаючих брусів r.

Значення b, m, l_o, r можна визначити з конструктивних міркувань скориставшись конструкторської документацією прототипів.

Значення координати закріплення гідроциліндрів підйому та опускання відвалу визначаємо виходячи з ходу поршня.

Висоту підйому відвалу рекомендується вибирати з розрахунку досягнення кута в'їзду не менше 20-30° для бульдозерів із неповоротними відвалами.

Величину опускання відвалів нижче опорної поверхні базової машини слід вибирати з урахуванням максимальної глибини копання, що визначається за формулою:

$$h_{\max} = \frac{T_{н.б} - G\left(f\cos\psi \pm \sin\psi\right)}{\varphi_K \cdot K_p \cdot L} \qquad (2.22)$$

де $\varphi_K = 1,65$ - Коефіцієнт, що враховує вплив кута різання на питомий опір грунту копання;

f = коефіцієнт опору руху;

ψ - Розрахунковий кут підйому $15^o ... 20^o$.

$$h_{\max} = \frac{189 - 209,9\left(0,1\cos 15 + \sin 15\right)}{1,65 \cdot 70 \cdot 3,92} = 0,25\,(\text{м})$$

Координати положення місця закріплення гідроциліндрів підйому, опускання відвалу визначають з огляду на кут повороту бруків, що штовхають у вертикальній площині, що визначає хід виконавчого механізму.

При визначенні координати положення місця закріплення гідроциліндрів графо-аналітичним способом схематично в масштабі викреслюють базову машину і відвал з штовхаючими брусами прийнятої довжини.

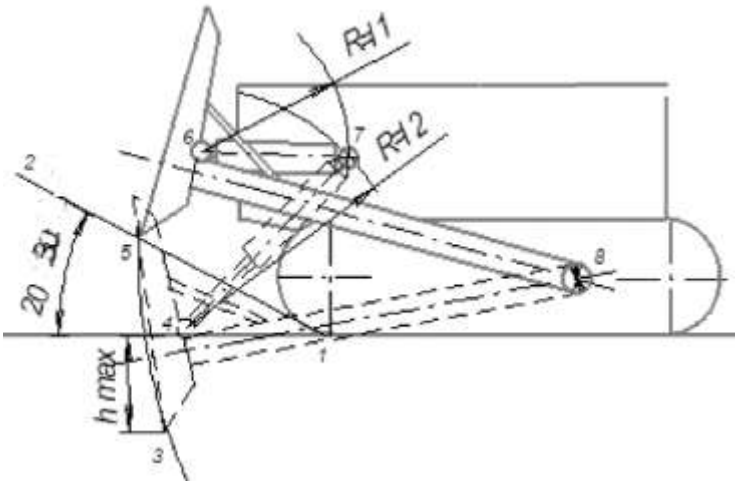


Рисунок 2.7 – Схема визначення координати положення місця закріплення гідроциліндрів підйому, опускання робочого органа.

Спочатку виконують допоміжні побудови. Радіусом визначальним відстань від точки закріплення брусу, що штовхає, на базовій машині 8 до точки ріжучої кромки відвалу 3, 5 проводять допоміжну дугу 3-5. Потім з точки 1 проводять пряму 1-2. Точки перетину 3 і 5 визначають верхнє та нижнє положення ріжучої кромки відвалу. Точку 3 можна отримати відклавши по вертикалі максимальну глибину копання $h_{\max}$.

Після визначення точок 3 та 5 з точок 4 та 6 проводять дуги радіусом l_1 і l_2. Точка 7 перетину дуг визначає координату місця закріплення гідроциліндрів підйому, опускання відвалу.

Зауваження:

- радіус l_2 є довжиною гідроциліндра з висунутим штоком з урахуванням вушок для закріплення; $l_2 = 2000$ (мм)
- радіус l_1 є довжиною гідроциліндра з втягнутим штоком з урахуванням вушок для закріплення; $l_1 = 1000$ (мм)
- при максимально опущеному відвалі корпус гідроциліндра не повинен торкатися ходових траків, інакше слід змінити довжину бруків, що штовхають;
- попередні розміри гідроциліндра вибираються із джерел

Хід поршня L = 1000 (мм).

Після виконання відповідних побудов визначаємо хід поршня s_n та відстань r від точки 7 до 8.

Положення центру тяжкості бульдозера a приймаємо з конструкторської документації прототипів або визначаємо приблизно, користуючись відомою масою прототипу, вважаючи, що маса ходової частини становить 50% від загальної маси бульдозера маса двигуна 40%, маса бруків, що штовхають 4,5%, маса відвалу 4,5 % маса гідроциліндрів підйому .

$$m_{х.ч} = 8,925\,(\text{т});\ m_{дв} = 7,14\,(\text{т});\ m_{т.б} = 0,8\,(\text{т});\ m_{отв} = 0,8\,(\text{т});\ m_{г.ц} = 0,18\,(\text{т});$$

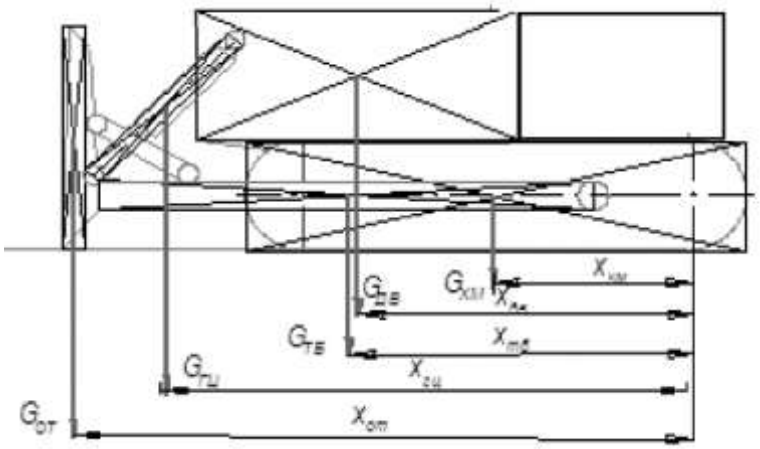


Рисунок 2.8 – Схема для розрахунку центру тяжкості бульдозера.

Значення a визначимо, скориставшись відомою формулою із розрахункової схеми:

$$a = x_a = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{\sum m_i} \qquad (2.23)$$

$$a = \frac{8,925 \cdot 1694 + 7,14 \cdot 2882 + 0,8 \cdot 2906 + 0,18 \cdot 4095 + 0,8 \cdot 4889}{17,85} = 2390\,(\text{мм})$$

2.2.5. Розрахунок бульдозера на стійкість

Для розрахунку стійкості бульдозера розглянемо таку умову : на відвал бульдозера, крім статичних сил, спрямованих горизонтально, діє ще й

вертикальна складова P_z, спрямована вгору і перешкоджає його вертикальному заглибленню.

При певних зусиллях, що розвиваються гідравлічною системою, трактор може перекинутися навколо точки A, вивішуючи на відвалі.

У цьому випадку величина статичної горизонтальної сили, що розвивається тягачом, P_C зменшується:

$$P_C = \left(G_б - P_z\right) \cdot \varphi_{опт} = T_{нб} - P_z \cdot \varphi_{опт} \qquad (2.24)$$

де $P_z = T_{нб} \cdot \operatorname{tg} \nu$ - вертикальна складова результуючої сили опору на відвал;

ν- кут нахилу результуючого, при копанні щільного ґрунту вниз дорівнює 17 °, а при копанні пухкого ґрунту та переміщенні його в траншеї дорівнює нулю;

$P_z = 0$; отже $P_c = T_{н.б} = 189$ (КН);

Оскільки бульдозер часто працює на косогорах, то коефіцієнт стійкості $k_{уст}$ для бульдозера приймається значно вищою ($k_{уст}$ = 1,5), ніж для кранів, екскаваторів та інших будівельних машин.

Крім коефіцієнта стійкості необхідно визначити зусилля, що розвиваються гідроциліндром, за яких має місце відрив тягача в точці *Б.* Ці умови для бульдозера є вихідними при розрахунку на стійкість.

Коефіцієнт стійкості може бути визначений з наступної залежності:

$$k_{уст} = \frac{M_{удр}}{M_{опр}} = \frac{G_б \cdot l_3 + 2 \cdot R_A^Г \cdot m}{2 \cdot S \cdot r_1 + R_A^в \cdot l_4} \qquad (2.25)$$

де $R_A^Г$ та R_A^z - сили, що діють на трактор у місцях кріплення рами до трактора.

Ці сили рівні за величиною реакцій балок, що штовхають на трактор зі зворотним знаком.

Щоб визначити реакції у штовхаючих балках $R_A^y = -R_A^Г$ та $R_A^z = -R_A^B$ визначимо величини реакцій з умов рівноваги.

Сума проекцій на вісь *y* і вісь *z* дорівнюватиме

$$\sum y = 0;\ P_c - 2 \cdot S \cdot \sin\beta - 2 \cdot R_A^y = 0;$$

$$R_A^y = \frac{P_c - 2 \cdot S \cdot \sin\beta}{2}..$$

$$\sum z = 0;\ P_z - G_г - G_p - 2 \cdot S \cdot \cos\beta - 2 \cdot R_A^z = 0;$$

$$R_A^z = \frac{P_z - 2 \cdot S \cdot \cos\beta - G_p - G_г}{2}.$$

$$R_A^y = -\ R_A^Г \quad \text{і} R_A^z = -\ R_A^B$$

Звідси

$$R_A^г = -\frac{P_c - 2 \cdot S \cdot \sin\beta}{2};$$

$$R_A^B = -\frac{P_z - 2 \cdot S \cdot \cos\beta - G_p - G_г}{2}$$

Щоб визначити, яке зусилля S може розвивати гідравлічний циліндр, підставимо зазначені значення формулу для визначення $k_{уст}$, отримаємо:

$$k_{уст} = \frac{G_б \cdot l_3 - m\left(P_c - 2 \cdot S \cdot \sin\beta\right)\frac{1}{2}}{2 \cdot S \cdot r_1 - l_4\left(P_z - 2 \cdot S \cdot \cos\beta - G_p - G_г\right)\frac{1}{2}}; \qquad (2.26)$$

$$G_б \cdot l_3 - m\left(P_c - 2 \cdot S \cdot \sin\beta\right)\frac{1}{2} = k_{уст}\left[2 \cdot S \cdot r_1 - l_4\left(P_z - 2 \cdot S \cdot \cos\beta - G_p - G_г\right)\frac{1}{2}\right]$$

$$2 \cdot S\left(\sin\beta \cdot m - k_{уст} l_4 \cdot \cos\beta - k_{уст} 2 \cdot r_1\right) = m \cdot P_c - 2G_б \cdot l_3 - k_{уст} \cdot l_4\left(P_z - G_p - G_г\right)$$

звідки

$$S = \frac{1}{2} \cdot \frac{m \cdot P_c - 2G_б \cdot l_3 - k_{уст} \cdot l_4\left(P_z - G_p - G_г\right)}{\sin\beta \cdot m - k_{уст} \cdot \left(l_4 \cdot \cos\beta + 2 \cdot r_1\right)} \qquad (2.27)$$

$$G_Г = V_ф \cdot \rho \cdot 9{,}8 = 1{,}8 \cdot 1{,}5 \cdot 9{,}8 = 22{,}05\,(\text{кН})$$

$$V_ф = \frac{L \cdot H^2}{2 \cdot k} = \frac{3{,}92 \cdot 1.5}{2 \cdot 1.2} \approx 1.8(м^2) \qquad (2.28)$$

$$S = \frac{1}{2} \cdot \frac{420 \cdot 189 - 2 \cdot 209.9 \cdot 998 - 1.8 \cdot 1777(0 - 7.84 - 22{,}05)}{\sin 42 \cdot 420 - 1.8(1777 \cdot \cos 42 + 2 \cdot 1444)} = 30\,\text{кН};$$

Визначаємо зусилля S', необхідне підйому відвалу. Найбільш важкими умовами при підйомі відвалу є зусилля, коли ніж починає виглиблюватися і трактор продовжує рухатися.

При підйомі відвалу необхідно подолати моменти опору від наступних сил: сили тяжіння робочого органу G_p сили тяжіння $G_г$ *ґрунту* горизонтальної сили P_c, вертикальної складової сили різання P_z.

Сила S' може бути визначена за умов рівноваги системи

$$\sum M_A = P_c \cdot m - P_z \cdot l_2 + G_p \cdot l_o + G_г \cdot l_1 - 2 \cdot S' \cdot r = 0;$$

$$S' = \frac{P_c \cdot m - P_z \cdot l_2 + G_p \cdot l_o + G_г \cdot l_1}{2 \cdot r} \qquad (2.29)$$

$$S' = \frac{189 \cdot 420 + 7.84 \cdot 2822 + 22{,}05 \cdot 2900}{2 \cdot 2100} = 39\,\text{кН}$$

Оскільки $S' > S$, то за останньою формулою $k_{уст}$ знаходимо фактичне значення $k_{уст}$

$$k_{уст} = \frac{209{,}9 \cdot 998 - 420(189 - 2 \cdot 39 \cdot \sin 42) \cdot \frac{1}{2}}{2 \cdot 39 \cdot 1444 - 1777(-2 \cdot 39 \cdot \cos 42 - 7.84 - 22{,}05) \cdot \frac{1}{2}} = 1{,}39$$

2.2.6. Визначення навантажень обладнання бульдозера.

Величина максимального горизонтального зусилля, що діє на відвал бульдозера, під час руху $P_C^{\max}$ визначається як сума тягового зусилля зі

зчеплення та динамічного зусилля $P_{дин}$ (сили інерції) з урахуванням опору пересування базової машини, визначається за формулою:

$$P_{с}^{мах} = 189 + 5,28 - 73 = 121,28 \text{ кН}$$

Розмір динамічного зусилля визначається за формулою

$$P_{дин} = (0,794\sqrt{2480,5 \times 17,85 \times 1000})/1000 = 5,28 \text{ кН},$$

Розмір наведеної жорсткості визначається залежністю

$$A_{пр} = \frac{2500 \times 318622,5}{2500 + 318622,5} = 2480,5 \text{ кН} \qquad (2.30)$$

Жорсткість перешкоди A_1 (кН/м) приймається як масив мерзлого ґрунту 2500 кН/м

Жорсткість металоконструкції навісного обладнання бульдозера:

$$A_2 \approx 17,85 \cdot 1000 \cdot 17,85 = 318622,5 \text{ (кН/м)}$$

де $\alpha_{ж}$ - Коефіцієнт жорсткості навісного обладнання бульдозерного обладнання на 1 кг маси трактора, дорівнює 0,9 ... 1,0 кН / (м ·кг);

$$\alpha_{ж} = 1 \times 17,85 = 17,85 \text{ (кН)}$$

Максимальне навантаження , що діє на кріплення шарнірів бруків, що штовхають.

$$P_{Ш} = \frac{T_{нб} + V_{маш} \cdot \sqrt{A_{пр} \cdot 1000 \cdot (M_{б} - M_{о})} / 1000 - P_1}{2} \qquad (2.31)$$

де $M_{о}$ - маса відвалу (т)

$$R_{Ш} = \frac{189 + 0,794\sqrt{2480,5 \times 1000(17,85 - 2,85)} / 1000 - 73}{2} = 60,4 \text{ кН}$$

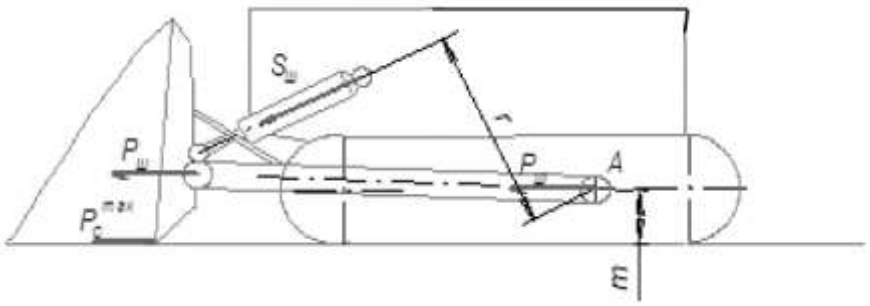


Рисунок. 2.9 – Схема для розрахунку визначення навантажень у шарнірах робочого органу.

Із суми моментів $\sum M_A = 0$ максимальне навантаження в шарнірах гідроциліндрів

$$S_ш = -\frac{P_C^{\max} \cdot m}{2 \cdot r} \tag{2.32}$$

$$S_ш = -\frac{121.28 \cdot 540}{2 \cdot 2592} = 12.6 \text{(кН)}$$

2.3. Розрахунок продуктивності бульдозера

Продуктивність бульдозерів значною мірою залежить від способу роботи. Якщо бульдозер працює під ухил, то значно підвищується сила тяги, зменшується опір переміщенню ґрунту, збільшується об'єм ґрунту, що переміщується відвалом. Працюючи на підйом відбуваються зворотні явища. При 10%-му підйомі продуктивність, наприклад, зменшується на 40 - 50%.

Зазвичай шлях, за який бульдозер набирає ґрунт попереду відвалу, становить 5 - 7 *м.* Заглиблення відвалу та зрізання ґрунту відбувається на першій чи другій передачах.

Ефективна робота значною мірою залежить від режиму переміщення. Зазвичай переміщують ґрунт на першій - третій передачах.

Значний час циклу роботи займає холостий перебіг. Тому при порівняно малих відстанях транспортування (30-50 *м)* холостий хід доцільно проводити на максимальній швидкості ходу назад, виграючи при цьому час, який би йшов на розворот трактора. При великих відстанях холостий хід роблять при ході вперед.

Залежно від виду робіт, продуктивність визначають так.

При різанні та переміщенні ґрунту

$$П = \frac{3600 \cdot V_Ф \cdot k_в \cdot k_{укл}}{T_Ц} \boldsymbol{м^3/год} \qquad (2.33)$$

$$П = \frac{3600 \times 1,8 \times 0,85 \times 1,5}{100} = 120 м^3 / ч$$

де $k_в$ - коефіцієнт використання бульдозера за часом (зазвичай $k_в$ = 0,85-0,9);

$k_{укл}$ - Коефіцієнт, що враховує, працює бульдозер під ухил або на підйом; при ухилі від 0 до 15% $k_{укл}$ змінюється від 1 до 2,25; при підйомі від 0 до 15% $k_{укл}$ змінюється від 1 до 05;

$T_Ц$ - Тривалість циклу в сек

$$T_Ц = \frac{l_p}{V_p} + \frac{l_n}{V_n} + \frac{l_o}{V_o} + t_c + t_o + 2t_n \qquad (2.34)$$

$$T_Ц = \frac{80}{2,86} + \frac{80}{2,86} + \frac{80}{4,62} + 5 + 2 + 2 \cdot 10 \approx 100 \text{ (с)}$$

де V_p, V_p і V_o - швидкості трактора при різанні, переміщенні ґрунту та зворотному ході, *м/сек;*

l_p, l_n і l_o - довжина шляху різання, переміщення ґрунту та зворотного ходу

бульдозера у *м;*

t_c - Час на перемикання передачі (близько 5 *сек*) *;*

t_o - час на опускання відвалу (1,5-2,5 *сек*) *;*

t_n - Час на поворот трактора (близько 10 *сек*) *;*

$V_ф = \frac{L \cdot H^2}{2 \cdot k_1}$ - Фактичний обсяг призми волочіння;

$$V_ф = \frac{3920 \cdot 1500^2}{2 \cdot 1.15} \approx 1,8(м^3)$$

k_1 - Коефіцієнт, що залежить від відношення $\frac{H}{L}$:

$$\frac{H}{L} = \frac{1500}{3920} = 0,383; k_1 = 1.15$$

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Призначення рами, умови роботи та вибір типу заготовки

Розрахунок норм часу виконуємо для деталі «Палець», що входить до складу шарнірного з'єднання бульдозерного обладнання роботизованої системи. Матеріал деталі приймаємо – сталь 40. За кресленням основними розмірами пальця є загальна довжина 255 мм, зовнішня робоча поверхня Ø50h9, буртик Ø60 мм, центральний отвір Ø20H9 та фаски 7×45° і 3×45°.

Заготовку приймаємо у вигляді круглого гарячекатаного прокату Ø60 мм.

Довжина заготовки з урахуванням припусків на підрізання торців і відрізання приймається 270 мм. Обробка виконується на токарно-гвинторізному верстаті 16К20. Для зовнішнього точіння застосовуються прохідні різці з пластинами Т5К10, для обробки отвору – свердло, розточувальний різець або розвертка, для чистової обробки посадкової поверхні – чистовий токарний різець.

Вихідні дані для розрахунку часу наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку часу на виготовлення пальця

Параметр	Позначення	Значення
Матеріал пальця	–	сталь 40
Діаметр заготовки	$D_з$	60 мм
Довжина заготовки	$L_з$	270 мм
Довжина готової деталі	$L_д$	255 мм
Основний зовнішній діаметр	D	50 мм
Довжина зовнішньої поверхні Ø50h9	L	238 мм
Діаметр отвору	d	20 мм
Верстат	–	16К20
Допоміжний час на операцію	$t_доп$	5 хв

3.2 Розрахунок часу на виготовлення пальця зі сталі 40

Частота обертання шпинделя при токарній обробці визначається за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \tag{3.1}$$

де v – швидкість різання, м/хв; D – діаметр оброблюваної поверхні, мм.

Для чорнового точіння заготовки Ø60 мм зі сталі 40 приймаємо швидкість різання $v = 51$ м/хв. Тоді:

$$n = \frac{1000 \cdot 51}{3{,}14 \cdot 60} = 270 \text{об/хв} \tag{3.2}$$

За паспортними даними верстата 16К20 приймаємо найближче менше значення $n = 250$ об/хв.

Основний час на поздовжнє точіння визначається за формулою:

$$t_0 = \frac{L \cdot i}{n \cdot S} \tag{3.3}$$

де L – шлях проходу різця, мм; i – кількість проходів; n – частота обертання шпинделя, об/хв; S – подача, мм/об.

Шлях проходу різця визначається як сума довжини оброблюваної поверхні та величини врізання і перебігу:

$$L = L_1 + L_2 \tag{3.4}$$

Для обробки зовнішньої поверхні Ø50h9 приймаємо $L_1 = 238$ мм, $L_2 = 8$ мм, тому $L = 246$ мм.

3.2.1 Час на відрізання заготовки

Відрізання заготовки з круглого прокату Ø60 мм виконується дисковою пилкою. Основний час на відрізання визначається за формулою:

$$t_0 = \frac{L}{S_{хв}} + \frac{L}{S_{зв.х}} \tag{3.5}$$

де L – довжина проходу інструмента, мм;

$S_{хв}$ – хвилинна подача робочого ходу, мм/хв;

$S_{зв.х}$ – хвилинна подача зворотного ходу, мм/хв.

Приймаємо $L = 60$ мм, $S_{хв} = 91,7$ мм/хв, $S_{зв.х} = 5000$ мм/хв. Тоді:

$$t_0 = \frac{60}{91,7} + \frac{60}{5000} = 0,67\text{хв} \tag{3.6}$$

З урахуванням допоміжного часу $t_{доп} = 5$ хв загальний час на операцію становить:

$$t_1 = t_0 + t_{доп} = 0,67 + 5 = 5,67\text{хв} \tag{3.7}$$

3.2.2 Час на підрізання торців

Підрізання торців виконується для отримання заданої довжини пальця 255 мм та забезпечення перпендикулярності торців до осі деталі. Основний час на підрізання одного торця визначається за формулою:

$$t_0 = \frac{\pi \cdot D^2}{4000 \cdot v \cdot S} \tag{3.8}$$

де D – діаметр оброблюваної поверхні, мм;

v – швидкість різання, м/хв;

S – подача, мм/об.

Приймаємо $D = 60$ мм, $v = 70$ м/хв, $S = 0,05$ мм/об. Для одного торця:

$$t_0 = \frac{3,14 \cdot 60^2}{4000 \cdot 70 \cdot 0,05} = 0,81\text{хв} \tag{3.9}$$

Оскільки підрізаються два торці, основний час становить:

$$t_{0\Sigma} = 2 \cdot 0,81 = 1,62\text{хв} \tag{3.10}$$

Загальний час на операцію:

$$t_2 = t_{0\Sigma} + t_{доп} = 1,62 + 5 = 6,62\text{хв} \tag{3.11}$$

3.2.3 Час на чорнове точіння зовнішньої поверхні

Чорнове точіння виконується для зняття основного припуску з поверхні заготовки Ø60 мм до проміжного діаметра Ø52 мм на довжині 238 мм. Приймаємо подачу $S = 0,6$ мм/об, кількість проходів $i = 1$, частоту обертання

шпинделя $n = 250$ об/хв. Шлях проходу різця з урахуванням врізання і перебігу становить $L = 246$ мм.

$$t_0 = \frac{246 \cdot 1}{250 \cdot 0,6} = 1,64\text{хв} \quad (3.12)$$

Загальний час на чорнове точіння:

$$t_3 = t_0 + t_{доп} = 1,64 + 5 = 6,64\text{хв} \quad (3.13)$$

3.2.4 Час на чистове точіння зовнішньої поверхні Ø50h9

Чистове точіння забезпечує отримання основної посадкової поверхні Ø50h9. Приймаємо швидкість різання $v = 120$ м/хв, подачу $S = 0,15$ мм/об, діаметр обробки $D = 50$ мм.

$$n = \frac{1000 \cdot 120}{3,14 \cdot 50} = 764\text{об/хв} \quad (3.14)$$

За паспортом верстата приймаємо $n = 750$ об/хв. Основний час чистового точіння:

$$t_0 = \frac{246 \cdot 1}{750 \cdot 0,15} = 2,19\text{хв} \quad (3.15)$$

Загальний час на чистове точіння:

$$t_4 = t_0 + t_{доп} = 2,19 + 5 = 7,19\text{хв} \quad (3.16)$$

3.2.5 Час на свердління центрального отвору

Для подальшого отримання отвору Ø20Н9 спочатку виконується свердління отвору діаметром Ø18 мм на повну довжину пальця. Основний час свердління визначається за формулою:

$$t_0 = \frac{\pi \cdot D \cdot L}{1000 \cdot v \cdot S} \quad (3.17)$$

де D – діаметр свердла, мм; L – довжина свердління, мм; v – швидкість різання, м/хв; S – подача, мм/об.

Приймаємо $D = 18$ мм, $L = 255$ мм, $v = 25$ м/хв, $S = 0,25$ мм/об. Тоді:

$$t_0 = \frac{3{,}14 \cdot 18 \cdot 255}{1000 \cdot 25 \cdot 0{,}25} = 2{,}31\text{хв} \qquad (3.18)$$

Загальний час на свердління:

$$t_5 = t_0 + t_{доп} = 2{,}31 + 5 = 7{,}31\text{хв} \qquad (3.19)$$

3.2.6 Час на розвертання отвору Ø20H9

Після свердління виконується чистова обробка отвору до розміру Ø20H9. Для забезпечення необхідної точності приймаємо розвертання. Основний час розвертання визначаємо за формулою (3.17). Приймаємо $D = 20$ мм, $L = 255$ мм, $v = 10$ м/хв, $S = 0{,}5$ мм/об.

$$t_0 = \frac{3{,}14 \cdot 20 \cdot 255}{1000 \cdot 10 \cdot 0{,}5} = 3{,}20\text{хв} \qquad (3.20)$$

Загальний час на розвертання отвору:

$$t_6 = t_0 + t_{доп} = 3{,}20 + 5 = 8{,}20\text{хв} \qquad (3.21)$$

3.2.7 Час на зняття фасок

На пальці передбачено дві фаски 7×45° та дві фаски 3×45°. Сумарну довжину обробки приймаємо:

$$L_\Sigma = 2 \cdot 7 + 2 \cdot 3 = 20\text{мм} \qquad (3.22)$$

Для зняття фасок приймаємо $n = 500$ об/хв, $S = 0{,}2$ мм/об. Основний час становить:

$$t_0 = \frac{20 \cdot 1}{500 \cdot 0{,}2} = 0{,}20\text{хв} \qquad (3.23)$$

Загальний час на зняття фасок:

$$t_7 = t_0 + t_{доп} = 0{,}20 + 5 = 5{,}20\text{хв} \qquad (3.24)$$

3.2.8 Сумарний час виготовлення пальця

Сумарний час виготовлення пальця визначаємо додаванням часу на всі основні технологічні операції:

$$t_\Sigma = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 \qquad (3.25)$$

$$t_{\Sigma} = 5,67 + 6,62 + 6,64 + 7,19 + 7,31 + 8,20 + 5,20 = 46,83 \text{хв} \quad (3.26)$$

Отже, розрахунковий штучний час на виготовлення одного пальця зі сталі 40 становить 46,83 хв. З урахуванням округлення для подальших технологічних розрахунків приймаємо $t_{\Sigma} = 47$ хв.

Таблиця 3.2 – Підсумковий розрахунок часу на виготовлення пальця

№ операції	Назва операції	Основний час, хв	Допоміжний час, хв	Загальний час, хв
1	Відрізання заготовки	0,67	5,00	5,67
2	Підрізання двох торців	1,62	5,00	6,62
3	Чорнове точіння Ø60 → Ø52	1,64	5,00	6,64
4	Чистове точіння Ø52 → Ø50h9	2,19	5,00	7,19
5	Свердління отвору Ø18	2,31	5,00	7,31
6	Розвертання отвору Ø20H9	3,20	5,00	8,20
7	Зняття фасок 7×45° і 3×45°	0,20	5,00	5,20
	Разом	11,83	35,00	46,83

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

Безпека життєдіяльності під час розроблення, виготовлення, експлуатації та технічного обслуговування бульдозерного обладнання для роботизованої системи є важливою складовою загальної надійності машини. Роботизована система з бульдозерним обладнанням призначена для виконання земляних, планувальних і допоміжних робіт, що супроводжуються підвищеним рівнем небезпеки через наявність рухомих механізмів, значних тягових зусиль, гідравлічного приводу, можливість перекидання, дію пилу, шуму, вібрації та контакт із ґрунтом або будівельними уламками.

Особливістю розробленої машини є використання роботизованої базової платформи, що дозволяє виконувати робочі операції дистанційно або в автоматизованому режимі. Це зменшує ризик безпосереднього впливу небезпечних виробничих факторів на оператора, оскільки людина може перебувати поза зоною виконання земляних робіт. Разом із тим застосування роботизованої техніки потребує додаткової уваги до питань безпечного керування, надійності систем зв’язку, стабільності роботи виконавчих механізмів і запобігання неконтрольованому руху машини.

До основних небезпечних і шкідливих виробничих факторів під час роботи бульдозерного обладнання належать: рух гусеничної платформи; переміщення відвала у вертикальній площині; можливе руйнування або деформація елементів навісного обладнання; високий тиск у гідравлічній системі; защемлення частин тіла у шарнірних з’єднаннях; виліт частинок ґрунту, каміння або будівельних уламків; підвищений рівень шуму та вібрації; запиленість робочої зони; небезпека ураження електричним струмом від елементів системи керування та живлення.

Перед початком роботи необхідно виконати зовнішній огляд роботизованої системи та бульдозерного обладнання. Особливу увагу слід приділити стану відвала, ножової системи, штовхаючої рами, пальців шарнірних з’єднань, кронштейнів, гідроциліндрів, рукавів високого тиску, кабелів і захисних кожухів. Не допускається експлуатація машини за наявності тріщин у зварних швах, значного зносу пальців, послаблення кріплень, підтікання робочої рідини, пошкодження гідроліній або несправності системи дистанційного керування.

Робоча зона роботизованої системи повинна бути попередньо оглянута та очищена від сторонніх предметів, які можуть потрапити під гусениці або спричинити пошкодження відвала. Межі небезпечної зони необхідно позначати сигнальними засобами. Перебування людей у зоні руху машини, перед відвалом, позаду платформи, біля гідроциліндрів і шарнірних з’єднань під час роботи забороняється. Безпечна відстань повинна встановлюватися з урахуванням швидкості руху машини, характеру ґрунту, можливого вильоту уламків і умов видимості.

Керування роботизованою системою має здійснювати підготовлений оператор, який знає будову машини, принцип дії бульдозерного обладнання, правила безпечної експлуатації та порядок дій у разі аварійної ситуації. Перед запуском необхідно перевірити справність каналів зв’язку, працездатність системи аварійного зупинення, сигналізації, відеоспостереження або інших засобів контролю положення машини. У разі втрати сигналу керування система повинна автоматично переходити у безпечний режим із припиненням руху та фіксацією робочого органа.

Під час виконання земляних робіт оператор повинен контролювати положення відвала, глибину різання, швидкість руху та стійкість платформи. Не допускається різке заглиблення відвала в ґрунт, рух із перевищенням допустимого навантаження, робота на схилах із кутом, що перевищує технічні можливості машини, а також спроби переміщення великих перешкод, які можуть

спричинити перевантаження обладнання. У разі появи сторонніх шумів, різкого збільшення навантаження, втрати стійкості або несправності гідроприводу роботу необхідно негайно припинити.

Гідравлічна система бульдозерного обладнання є джерелом підвищеної небезпеки, оскільки працює під значним тиском. Перед проведенням технічного обслуговування необхідно знизити тиск у системі, опустити відвал на опорну поверхню або встановити його на надійні підставки. Забороняється виконувати ремонт гідроліній, гідроциліндрів або розподільників під тиском. Витоки робочої рідини слід усувати тільки після повної зупинки машини та відключення приводу. Для пошуку витоків не можна використовувати відкриті ділянки тіла, оскільки струмінь рідини під тиском може спричинити тяжкі травми.

Під час виготовлення пальця шарнірного з’єднання, який входить до складу бульдозерного обладнання, необхідно дотримуватися правил безпеки при виконанні токарних, свердлильних, розточувальних, відрізних і шліфувальних операцій. Перед початком роботи на верстаті слід перевірити справність огороджень, надійність закріплення заготовки в патроні або пристосуванні, стан різального інструменту та роботу системи охолодження. Забороняється вимірювати деталь, прибирати стружку руками або торкатися обертових частин верстата під час роботи. Видалення стружки необхідно виконувати спеціальним гачком або щіткою після зупинки шпинделя.

При обробці сталі 40 утворюється металева стружка, яка може мати гострі краї та високу температуру. Тому працівник повинен використовувати засоби індивідуального захисту: захисні окуляри або щиток, спецодяг, захисне взуття, а при необхідності – рукавиці для допоміжних операцій поза зоною обертання. Робоче місце має бути достатньо освітленим, не захараценим інструментом і заготовками. Проходи біля верстата повинні залишатися вільними.

Під час шліфувальних операцій особливу небезпеку становить руйнування абразивного круга. Перед установленням круга необхідно перевірити його цілісність, відповідність частоти обертання паспортним даним верстата,

наявність захисного кожуха та правильність балансування. Працювати без захисного кожуха заборонено. Під час шліфування потрібно використовувати захисні окуляри, не перевищувати допустиму подачу та не допускати ударного контакту деталі з кругом.

Під час складальних робіт необхідно забезпечити правильне встановлення пальця у шарнірне з'єднання. Забивання пальця ударами по торцю допускається лише через м'яку наставку, щоб уникнути пошкодження поверхні та утворення задирок. У разі потреби слід застосовувати монтажні пристрої або пресове обладнання. Після встановлення пальця необхідно перевірити наявність стопорних елементів, правильність положення деталей і відсутність перекосів у шарнірі.

Для зменшення ризику травмування під час обслуговування бульдозерного обладнання необхідно передбачити конструктивні заходи безпеки: захисні кожухи для рухомих і небезпечних елементів, фіксатори положення відвала, обмежувачі ходу гідроциліндрів, захист гідроліній від механічного пошкодження, надійне кріплення пальців і стопорних елементів, а також можливість аварійного вимкнення приводу. Конструкція обладнання повинна забезпечувати зручний доступ до місць змащування, огляду та заміни зношених деталей без необхідності демонтажу великих вузлів.

Пожежна безпека під час експлуатації роботизованої системи забезпечується справністю електричного обладнання, відсутністю витоків мастильних матеріалів і робочої рідини, захистом електропроводки від короткого замикання та перегрівання. У місцях обслуговування машини повинні бути наявні первинні засоби пожежогасіння. Забороняється виконувати зварювальні або нагрівальні роботи поблизу баків, гідравлічних рукавів і місць можливого скупчення горючих матеріалів без відповідної підготовки та очищення.

Екологічна безпека під час роботи бульдозерного обладнання полягає у запобіганні витоку мастил, пального та гідравлічної рідини у ґрунт.

Відпрацьовані мастильні матеріали, забруднені ганчірки, фільтри та інші відходи технічного обслуговування необхідно збирати у спеціально відведені ємності та передавати на утилізацію відповідно до встановлених вимог. Під час роботи в сухих умовах необхідно враховувати запиленість повітря та за можливості застосовувати організаційні заходи для її зменшення.

Висновки

Виконано розроблення бульдозерного обладнання для роботизованої системи продуктивністю 120 м³/год. Обґрунтовано доцільність застосування переднього неповоротного відвала з криволінійною робочою поверхнею, змінною ножовою системою та зварною штовхаючою рамою. Така конструкція забезпечує простоту виготовлення, достатню жорсткість, надійність у роботі та можливість використання обладнання у складі дистанційно керованої або автоматизованої гусеничної платформи.

Проаналізовано процес взаємодії бульдозерного робочого органа з ґрунтом та встановлено, що ефективність роботи обладнання значною мірою залежить від геометричних параметрів відвала, кута різання, глибини різання, фізико-механічних властивостей ґрунту та умов формування призми волочіння. Виконані розрахунки дали змогу визначити основні параметри бульдозерного обладнання, необхідні для забезпечення заданої продуктивності 120 м³/год без перевищення тягових можливостей роботизованої системи.

Розроблено технологічний процес виготовлення відповідальної деталі бульдозерного обладнання – пальця шарнірного з'єднання. Для виготовлення пальця прийнято матеріал сталь 40 та заготовку з круглого прокату. Запропонована послідовність технологічних операцій забезпечує отримання необхідної точності розмірів, якості робочих поверхонь і надійності деталі в умовах дії змінних навантажень, зрізу, згину, контактного тиску та зношування. Розрахунковий сумарний час виготовлення одного пальця становить приблизно 47 хв.

Розглянуто питання безпеки життєдіяльності під час виготовлення, експлуатації та технічного обслуговування бульдозерного обладнання. Визначено основні небезпечні фактори, пов'язані з рухом гусеничної

платформи, переміщенням відвала, роботою гідравлічної системи, шарнірними з’єднаннями та механічною обробкою деталей. Запропоновано організаційні й технічні заходи безпеки, які дозволяють знизити ризик травмування персоналу, підвищити надійність машини та забезпечити ефективне виконання земляних і планувальних робіт у складних умовах експлуатації.

Список літератури

1. Кузенко Л. М., Кузенко Д. В., Вантух З. З., Панюра Я. Й. Дорожньо-будівельні машини : навчальний посібник. Київ : Видавничий дім «Кондор», 2021. 236 с.
2. Будівельна техніка : підручник / О. Г. Онищенко, В. О. Онищенко, С. Л. Литвиненко, Б. О. Коробко. 2-ге вид., перероб. і доп. Київ : Кондор-Видавництво, 2017. 424 с.
3. Сукач М. К., Горбатюк Є. В., Марченко О. А. Синтез землерийної і дорожньої техніки. Київ : Ліра-К, 2016. 376 с.
4. Сукач М. К. Практикум з визначення навантажень машин. Київ : Ліра-К, 2017. 184 с.
5. Хмара Л. А., Кравець С. В., Скоблюк М. П. Машини для земляних робіт : підручник / за заг. ред. Л. А. Хмари, С. В. Кравця. Харків : Фавор, 2014. 548 с.
6. Фомін А. В., Костенюк О. О., Тетерятник О. А., Боковня Г. І. Машини і обладнання для будівництва, утримання і ремонту доріг : навчальний посібник. Київ : КНУБА, 2005. 125 с.
7. Хмара Л. А., Кравець С. В., Нічке В. В., Назаров Л. В., Скоблюк М. П., Нікітін В. Г. Машини для земляних робіт : навчальний посібник / за заг. ред. Л. А. Хмари, С. В. Кравця. Рівне ; Дніпропетровськ ; Харків, 2010. 557 с.
8. Баладінський В. Л., Гаркавенко О. М., Кравець С. В., Русан І. В., Фомін А. В. Машини для земляних робіт : підручник. Рівне : РДТУ, 2000. 288 с.
9. Кириченко І. Г., Назаров Л. В., Нічке В. В., Демішкан В. Ф. та ін. Наукові основи створення високоефективних землерийно-транспортних машин : навчальний посібник. Харків : ХНАДУ, 2003. 588 с.
10. Вєтров Ю. О., Власов В. В. Машини для земляних робіт. Приклади розрахунку : навчальний посібник. Київ : ІСДО, 1995. 304 с.

11. Автомобільні дороги : будівництво, ремонт, машини і механізми для виконання робіт / Л. А. Хмара, О. С. Шипілов, В. Д. Мусійко, М. П. Кузьмінець. Київ : НТУ, 2011. 416 с.

12. Баладінський В. Л., Тугай А. М., Гаркавенко О. М., Русан І. В. Будівельна техніка : підручник. Київ : КНУБА, 2002. 237 с.

13. Григоров О. В. Гідравлічний привід підйомно-транспортних, будівельних та дорожніх машин : навчальний посібник. Харків : НТУ «ХПІ», 2005. 264 с.

14. Будівельні машини і обладнання : підручник / за заг. ред. В. Л. Баладінського. Київ : Українська академія наук ; МП «Леся», 2015. 612 с

15. COMPACT ROBOTIC DOZER https://dok-ing.hr/underground-mining/xlpd/

16. Fuel cell tech company EH Group signs collaboration deal with underground mining dozer specialist DOK-ING https://im-mining.com/2020/11/17/fuel-cell-tech-company-eh-group-signs-collaboration-deal-underground-mining-dozer-specialist-dok-ing