

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Транспортна інженерія»



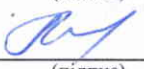
Кафедра «Прикладна механіка та матеріалознавство»

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: Дослідження і розробка робочого обладнання бульдозера для ущільнення ґрунту
за освітньою програмою «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання»
зі спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

Виконав: студент групи: ПМ2321

	 (підпис)	/ Дмитро ЧЕРЕВЕРЧЕНКО /
Керівник:	 (підпис)	/ Казимир ГЛАВАЦЬКИЙ /
Нормоконтролер:	 (підпис)	/ Олександр ПОСМІТЮХА /

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

Дніпро – 2025

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Faculty of Transport Engineering

Department of Applied Mechanics and Materials Science

Explanatory Note
to Master's Thesis

on the topic:

Research and development of bulldozer working equipment for soil compaction

according to educational curriculum «Lifting and transport, construction, road,
reclamation machines and equipment»

in the Speciality: 133 Industrial Engineering

Done by the student of the group: ПМ2321 / Dmytro CHEREVERCHENKO /

Scientific Supervisor:  / Kazimir HLAVATSKYI /

Normative controller:  / Oleksandr POSMITIUKHA /

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Транспортна інженерія
Кафедра: Прикладна механіка та матеріалознавство
Рівень вищої освіти: другий (магістерський)
Освітня програма: Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні,
меліоративні машини і обладнання
Спеціальність: 133 Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____
Сергій РАКША

(підпис)
Дата 21.01.25

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу _____ на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

студенту Черевченко Дмитру Анатолійовичу

1. Тема роботи: Дослідження і розробка робочого обладнання бульдозера для
ущільнення ґрунту

Керівник роботи: Главацький Казимир Цезарович, к. т. н., доцент

затверджені наказом від _____ "27" 10 2023 р. № 1041ст

2. Строк подання студентом роботи: 10.01.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Базова машина – трактор промисловий гусеничний.

Тяговий клас – 25 тс. Категорія ґрунту – I – IV. Основне робоче обладнання –
бульдозерне з неповоротним відвалом. Додаткове робоче обладнання – ущільнювальна
плита. Умови використання машини – природно-кліматична зона України.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина: технічне обґрунтування актуальності модернізації бульдозера
обладнанням для ущільнення ґрунту.

4.2 Основна частина: загальний та силовий розрахунок бульдозера.

4.3 Науково-дослідна частина: дослідження параметрів ущільнювального обладнання.

5. Перелік демонстраційного матеріалу:

Загальний вигляд бульдозера; огляд технічних рішень-аналогів; розрахункові схеми;
запропоновані технічні рішення; результати розрахунків та досліджень; технологічні
схеми; інші матеріали.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Технічне обґрунтування кваліфікаційної роботи	06.03.2024	виконано
2	Математичне моделювання процесу копання ґрунту	24.04.2024	виконано
3	Розрахунок параметрів процесу ущільнення ґрунту бульдозерним обладнанням з ущільнювальною плитою	18.10.2024	виконано
4	Висновки і рекомендації	20.11.2024	виконано
5	Підготовка презентації роботи	30.12.2024	виконано
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	10.01.2025	виконано
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Експертної комісії	22.01.2025	

Дата видачі завдання: 1 листопада 2023 р.

Керівник роботи


(підпис)

Казимир ГЛАВАЦЬКИЙ

Завдання прийняв до виконання


(підпис)

Дмитро ЧЕРЕВЕРЧЕНКО

РЕФЕРАТ

Кількість томів: 1

В записці всього 141 сторінок

Найменування роботи: «Дослідження і розробка робочого обладнання бульдозера для ущільнення ґрунту».

Ілюстрації: схем 26; рисунків 4;
графіків 13; фотографій 15;
таблиць 43.

Ключові слова: БУЛЬДОЗЕР, ВІДВАЛ, РОБОЧИЙ ОРГАН, НОЖОВА СИСТЕМА, УЩІЛЬНЕННЯ, СХЕМА, ПАРАМЕТРИ, РОЗРАХУНОК, СИЛА, ПОРІВНЯННЯ, ПОТУЖНІСТЬ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГОЄМНІСТЬ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ІНТЕНСИФІКАЦІЯ.

Текст реферату:

Мета роботи – розширення технологічних можливостей бульдозера. Одним зі шляхів її досягнення є аналіз можливостей застосування віброплити у поєднанні з бульдозерним робочим обладнанням та розгляді потенційних переваг та викликів при впровадженні цієї технології.

В результаті розрахунків стало зрозуміло що при обраних початкових параметрах можливе ущільнення ґрунту віброплитою, але в залежності від моделі бульдозера найвища ущільнювальна категорія ґрунту може відрізнитися.

ЗМІСТ

ВСТУП	- 7
1. ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	- 9
1.1. Огляд і аналіз аналогів	- 9
1.2. Вибір прототипу землерийно-транспортної машини	- 12
1.3 Вибір базової машини для бульдозера	- 17
1.4. Конструктивна пропозиція модифікації бульдозера	- 18
1.5 Вибір базової моделі бульдозера	- 20
1.6. Висновки за розділом	- 22
2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КОПАННЯ ГРУНТУ	- 24
2.1. Обґрунтування розробки математичних моделей	- 24
2.1.1. Komatsu D21A-7, 1 категорія ґрунту	- 24
2.1.2. Komatsu D65E-12, 1 категорія ґрунту	- 32
2.1.3. Komatsu D155A-5, 1 категорія ґрунту	- 36
2.1.4. Komatsu D375A-2, 1 категорія ґрунту	- 39
2.2. Обґрунтування розробки математичних моделей	- 47
2.2.1. Komatsu D21A-7, 2 категорія ґрунту	- 47
2.2.2. Komatsu D65E-12, 2 категорія ґрунту	- 50
2.2.3. Komatsu D155A-5, 2 категорія ґрунту	- 53
2.2.4. Komatsu D375A-2, 2 категорія ґрунту	- 56
2.3. Обґрунтування розробки математичних моделей	- 62
2.3.1. Komatsu D21A-7, 3 категорія ґрунту	- 62
2.3.2. Komatsu D65E-12, 3 категорія ґрунту	- 65
2.3.3. Komatsu D155A-5, 3 категорія ґрунту	- 68
2.3.4. Komatsu D375A-2, 3 категорія ґрунту	- 71

					ДПТ.630000.308.МРПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Черевченко			Дослідження і розробка робочого обладнання бульдозера для ущільнення ґрунту	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
<i>Перевір.</i>		Главацький					5	
<i>Реценз.</i>						УДУНТ, гр. ПМ2321		
<i>Н. Контр.</i>		Посмітюха						
<i>Затверд.</i>		Рақша						

2.4. Обґрунтування розробки математичних моделей	- 77
2.4.1. Komatsu D21A-7, 4 категорія ґрунту	- 77
2.4.2. Komatsu D65E-12, 4 категорія ґрунту	- 80
2.4.3. Komatsu D155A-5, 4 категорія ґрунту	- 83
2.4.4. Komatsu Komatsu D375A-2, 4 категорія ґрунту	- 86
2.5 Висновки за розділом	- 92
3. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ УЩІЛЬНЕННЯ ГРУНТУ БУЛЬДОЗЕРНИМ ОБЛАДНАННЯМ З УЩІЛЬНЮВАЛЬНОЮ ПЛИТОЮ	- 93
3.1. Розрахунок параметрів процесу ущільнення ґрунту бульдозерним обладнанням з широкою короткою ущільнювальною плитою	- 93
3.2. Уточнювальний розрахунок категорії ґрунту, до якої можна максимально ущільнити ґрунт за рахунок сили тяги за зчепленням, короткою широкою вібраційною плитою	- 108
3.2.1. Komatsu D21A-7	- 108
3.3. Уточнювальний розрахунок категорії ґрунту, до якої можна максимально ущільнити ґрунт за рахунок сили тяги за двигуном, короткою широкою вібраційною плитою	- 108
3.3.1. Komatsu D21A-7	- 108
3.4. Розрахунок параметрів процесу ущільнення ґрунту бульдозерним обладнанням з вузькою довгою ущільнювальною плитою	- 109
3.5. Уточнювальний розрахунок категорії ґрунту, до якої можна максимально ущільнити ґрунт за рахунок сили тяги за зчепленням, довгою вузькою віброплитою	- 120
3.5.1. Komatsu D21A-7	- 120
3.5.2. Komatsu D65E-12	- 121
3.5.3. Komatsu D155A-5	- 122
3.5.4. Komatsu D375A-2	- 122

3.6. Уточнювальний розрахунок категорії ґрунту, до якої можна максимально ущільнити ґрунт за рахунок сили тяги за двигуном, довгою вузькою віброплитою	- 122
3.6.1. Komatsu D21A-7	- 122
3.6.2. Komatsu D65E-12	- 123
3.6.3. Komatsu D155A-5	- 123
3.6.4. Komatsu D375A-2	- 124
3.7. Перевірка можливості ущільнення ґрунту при максимальному нахилі довгої вузької плити	- 125
3.8. Висновки за розділом	- 134
ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ	- 137
БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	- 140

					ДПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ВСТУП

Для земляних робіт використовується безліч різних спеціалізованих машин, кожна з яких виконує свою унікальну роль. Бульдозери, грейдери, скрепери та екскаватори – це деякі з найпоширеніших типів техніки, які дозволяють ефективно справлятися з різними завданнями щодо копання ґрунту.

Вібраційні технології широко застосовуються у будівництві та дорожніх роботах для ущільнення різних видів переважно незв'язних ґрунтів та інших матеріалів, таких як пісок, щебінь тощо. Вони дозволяють значно поліпшити якість і швидкість виконання робіт, забезпечуючи рівномірний розподіл навантаження та зменшення порожнеч у середовищі, що ущільнюються.

Бульдозери, будучи одним із ключових видів техніки для обробки ґрунтів, використовуються для переміщення та розрівнювання ґрунту. Ці машини забезпечують високу продуктивність та якість робіт, однак їх ефективність може бути значно підвищена при впровадженні додаткових технологій та обладнання. Одним із таких інноваційних рішень є інтеграція віброплити позаду відвала бульдозера. Це рішення не тільки оптимізує процес ущільнення ґрунту, але й уможливорює одночасне виконання кількох операцій – копання ґрунту та його ущільнення. Установка віброплити на бульдозер відкриває нові можливості для підвищення продуктивності та якості робіт, дозволяючи скоротити час та працевитрати на будівельному майданчику.

Мета роботи – розширення технологічних можливостей бульдозера. Одним зі шляхів її досягнення є аналіз можливостей застосування віброплити у поєднанні з бульдозерним робочим обладнанням та розгляді потенційних переваг та викликів при впровадженні цієї технології.

У наведеному звіті представлені матеріали стосовно можливості модернізації землерийної техніки з метою підвищення її функціональності та ефективності. Увагу приділено можливості розробки та впровадженню віброплит на грейдери, скрепери, а особливо на бульдозери.

					ДІП.630000.308.МРПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1.1. Огляд і аналіз аналогів

Наразі ніде немає інформації щодо пропозиції стосовно інтеграції віброплити позаду відвала бульдозера. Зважаючи на це, було прийнято думку, що дана технологія не має аналогів. Але це не означає, що віброплити ніколи не приєднували до інших машин. Віброплити можуть бути встановлені спереду або позаду трактора чи екскаватора.

Віброплити можна приєднувати до тракторів, особливо якщо трактор має відповідне обладнання для цього. Віброплити зазвичай використовуються для ущільнення ґрунту в будівництві та дорожньо-будівельних роботах. Коли вони підключені до трактора, це дає змогу ефективно ущільнювати великі площі ґрунтів.

Існують спеціальні адаптери та насадки, які дозволяють встановлювати віброплити на трактори чи екскаватори. Такі системи забезпечують можливість роботи з віброплитами без необхідності використання окремої машини, що може підвищити ефективність та скоротити час виконання роботи. Зокрема, на рисунках 1.1 та 1.2 можна побачити трактор з причіпною віброплитою з гідроприводом.



Рис. 1.1. Трактор з причіпною віброплитою на ґрунтовій дорозі



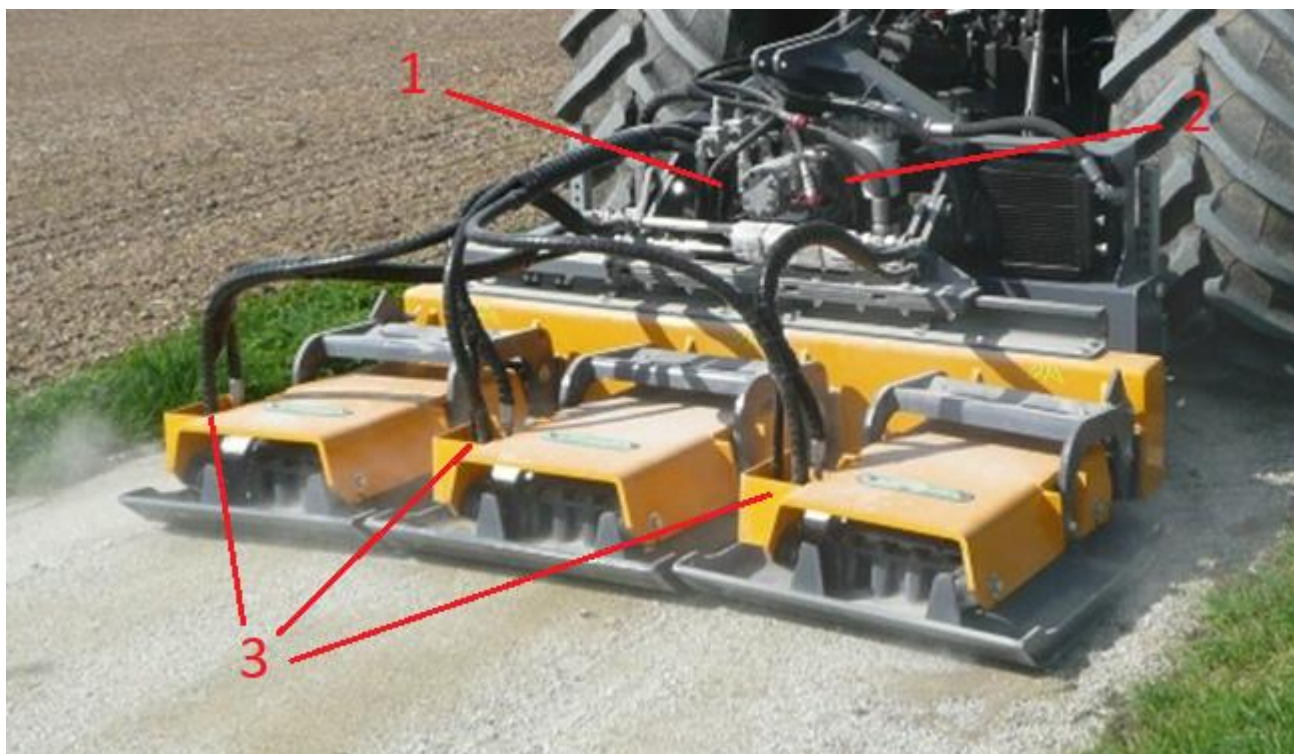
Рис. 1.2. Трактор з причіпною віброплитою на щебеному дорожньому покритті

На рисунку 1.3 можна побачити, що ущільнення відбувається за рахунок не однієї віброплити – а трьох окремих. Гідронасос 2 працює від валу відбору

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

потужності 1, і створює тиск у гідравлічній системі, завдяки якому працює гідромотор 3. Віброплита причеплена до тягача і має можливість переміщення тільки за рахунок тяги трактора [1].

Як видно на рисунках 1.1 та 1.2 даний агрегат можна ефективно використовувати при трамбуванні насипних доріг.



1 - вал відбору потужності; 2 – гідронасос; 3 – гідромотори;

Рис. 1.3. Деталізація віброплити

На рисунку 1.4 представлений екскаватор з робочим органом у вигляді віброплити, закріпленій на рукояті замість ковша. Віброплита допомагає ущільнювати ґрунт на похилих ділянках або укосах, де стандартні ущільнювачі не можуть ефективно працювати через обмежену маневреність. Також робоче обладнання екскаватора з віброплитою забезпечує доступ до важкодоступних місць і дозволяє ущільнювати ґрунт навіть на глибині (наприклад, після прокладання трубопроводів або кабелів, коли необхідно ущільнити ґрунт у вузьких траншеях). Але в той же час маленька робоча поверхня віброплити робить недоцільним її використання, коли потрібно трамбувати велику площу ґрунту чи іншого матеріалу [2].

										ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
											10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

На рисунку 1.5 зображений навантажувач-екскаватор, який поєднує в собі функції екскаватора та фронтального одноківшевого навантажувача із щелепним ковшем. Ковш спереду дозволяє здійснювати навантаження та вивантаження різних матеріалів. Робоче обладнання екскаватора «зворотня лопата», у свою чергу, дозволяє виконувати роботи з розпушення та копання ґрунту, а також профілювання поверхні. Останнє можна ефективно виконувати у разі від'єднання ковша та заміни його на віброплиту [3].



Рис. 1.4. Екскаватор, обладнаний віброплитою



Рис. 1.5. Навантажувач-екскаватор з віброплитою

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1.2. Вибір прототипу землерийно-транспортної машини

Скрепери, бульдозери та автогрейдери зазвичай використовуються для виконання завдань з копання та подальшої обробки ґрунту (рис. 1.6 – 1.8). Ці машини самі по собі частково ущільнюють ґрунт під час роботи завдяки своїй вазі та опорно-ходовим пристроям (гусеницям чи колесам). Цей ефект ущільнення виникає природним чином при русі машини по ґрунту, але він часто нерівномірний, тому їх можна додатково обладнати різними пристроями, у тому числі вібраційними ущільнювачами, для покращення ущільнення ґрунту. Установка віброплити позаду відвала дозволяє додатково посилити та вирівняти цей процес, створюючи глибоке та якісне ущільнення, що робить бульдозер оптимальною платформою для інтеграції такої технології.



Рис. 1.6. Скрепер



Рис. 1.7. Грейдер



Рис. 1.8. Бульдозер

На відміну від землерийно-транспортних машин група землерийних машин, до яких відносяться екскаватори (рис. 1.9), може ущільнювати ґрунт віброплитою, встановленою замість ковша на робоче обладнання, тобто віброплита постійно не

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

присутня на робочому обладнанні екскаватора даного типу. Саме з цієї причини у даній роботі не входять в коло машин для постійного встановлення на них вібраційної плити, призначеної для ущільнення ґрунту.



Рис. 1.9. Екскаватор

Є декілька причин, чому бульдозер є найбільш відповідним для такої технології порівняно з автогрейдером чи скрепером:

Якщо для цієї цілі обрати скрепер, то можна зустріти один із значних мінусів додавання віброплити до скрепера – це конструктивна складність, тому що у скрепера просто немає зручного місця для її встановлення. Робочий орган скрепера в основному складається з ковша для зрізання та транспортування матеріалу, який постійно піднімається та опускається під час роботи (Рис. 1.10). Для віброплити залишається мало чи зовсім не залишається місця, де вона могла б ефективно працювати, не заважаючи основним функціям машини.

Скрепер призначений для копання та перевезення великих об'ємів ґрунту. Якщо встановити віброплиту, її робота могла б конфліктувати з процесом навантаження та розвантаження матеріалу. До того ж, вібрація може негативно вплинути на точність роботи ковша.

					ДІП.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13



Рис. 1.10. Скрепер під час копання ґрунту

Якщо прилаштувати віброплиту за ківш скрепера, то під час зрізання зволоженого ґрунту четвертої категорії (глини) віброплита, встановлена під машиною, може заважати ковшув збирати матеріал. Також вона створюватиме вібрацію, яка може негативно позначитися на точності та рівності зрізання. Вібрація під час висипання ґрунту може виявитися шкідливою. Вібрація під час вивантаження заважатиме скреперу рівно і точно розподіляти матеріал. Основне завдання скрепера - акуратне укладання матеріалу на будівельний майданчик або дорогу, а вібрація може ускладнити цей процес, роблячи укладання менш точним. Звідси можна зрозуміти, що додавання вібраційної плити у конструкцію скрепера не є доцільним.

У випадку роботи скрепера з мало зв'язними сухими ґрунтами, вібраційна складова могла б створювати позитивний ефект за рахунок рівномірного вивантаження ґрунту із ковша скрепера і його рівномірного розподілу по ґрунтовій поверхні при відсіпанні певною товщиною.

Але, якщо все-таки вирішити ставити вібраційну плиту на скрепері, то логічніше за все її було б поставити на задній частині корпусу, і при цьому ізолювати металоконструкцію віброплити від корпусу скрепера, щоб вібрація не

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

поширювалася на його робочий орган. (Рис.1.11) В іншому випадку така конструкція може мати деякі недоліки.



Рис. 1.11 Потенційне місце для встановлення віброплити на скрепер

Далі на рисунках 1.12 та 1.13 представлено 2 креслення, на якому показано, як могло би виглядати запропоноване технічне рішення.

Керування віброплитою 1 буде виконуватися за рахунок гідроциліндру 7, який буде шарнірно 4 закріплений кронштейном 6, а інша частина гідроциліндру 7 буде закріплена шарнірно 2 на віброплиті 1. Кронштейни 5 і 6 не входять в базову конструкцію скрепера, тому вони будуть додатково встановлені на задній частині скрепера. Віброплита 1 буде закріплюватися шарнірно 3 на кронштейні 5.

Зважаючи на вищеописане, вибір залишився на двох інших землерийних машинах, а саме на грейдері та бульдозері.

Ходова частина і автогрейдера, і бульдозера вже частково може ущільнювати ґрунт. Якщо порівнювати ці дві машини то стає зрозуміло, що бульдозер в цьому випадку справляється краще, бо він здійснює більш рівномірний тиск на ґрунт.

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Загалом можна сказати, що остаточний висновок про ефективність ущільнення ґрунту ходовим обладнанням тієї чи іншої машини можна зробити на основі розрахованого тиску на ґрунт опорно-ходового обладнання. Процес ущільнення ґрунту буде тоді, коли величина розрахованого тиску на ґрунт буде максимально наближеною до межі його пластичності, але не перевищуватиме її, оскільки в цьому випадку буде не ущільнення ґрунту, а його переміщення.

При порівнянні опорно-ходових пристроїв бульдозера та автогрейдера очевидно, що бульдозер має більшу масу ніж грейдер. Також варто звернути увагу, що бульдозер часто оснащений більшими та широкими колесами зі збільшеною площею контакту з ґрунтом, ніж грейдер.

Ще одна перевага оснащення бульдозера віброплитою, а не грейдера, полягає в різниці обсягів призм волочіння відвалів цих машин. Бульдозер за рахунок свого великого відвалу та ваги, може переміщати значну кількість ґрунту за один раз. Відповідно можна довше висипати ґрунт і одночасно його ущільнювати.

Таким чином вибір зупинився на бульдозері, як на найбільш перспективній машині даного класу.

1.3. Вибір базової машини для бульдозера

Рациональним буде обрати бульдозер на гусеничному ході з декількох причин:

1) велика площа зіткнення з ґрунтом (гусениці розподіляють масу бульдозера більшою площею, ніж колеса, що призводить до більш рівномірного розподілу тиску на ґрунт, тобто дозволяє гусениці плавно втискати і ущільнювати його по всій поверхні, тоді як колеса створюють окремі зони тиску);

2) менше пробуксовування (гусениці забезпечують краще зчеплення з поверхнею, особливо на м'яких та пухких ґрунтах, знижуючи ймовірність пробуксовування та більш ефективно ущільнюючи ґрунт, а колісні машини можуть буксувати, особливо на м'яких ґрунтах, що знижує їхню здатність до ущільнення);

						ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			17

3) робота на складних ґрунтах (тобто мається на увазі, що гусениці краще адаптуються до нерівних або м'яких поверхонь, таких як пісок чи глина, а колеса, у свою чергу, можуть провалюватися в м'який ґрунт, залишаючи глибокі колії та не створюючи рівномірного ущільнення).

Тому можна зробити висновок про те, що гусеничні машини більш стійкі та ефективні для роботи на складних або м'яких ґрунтах, що дозволяє їм краще ущільнювати поверхню.

1.4. Конструктивна пропозиція модифікації бульдозера

Для розуміння, як має виглядати бульдозер, обладнаний віброплитою, розроблено 2 креслення. (рис. 1.14 – 1.15).

На першому кресленні представлена коротка широка віброплита 4, яка, з одного боку, з'єднана шарніром 6 з нижньою частиною відвала 1 бульдозера, а з іншого боку з'єднана шарніром 7 з гідроциліндром зміни положення віброплити 2. Цей гідроциліндр 2 не передбачений у стандартній конструкції бульдозера, тому його потрібно встановити додатково. Гідроциліндр 2 буде закріплений шарнірно: одним кінцем шарнірно 7 кріпиться до віброплити 4, а іншим кінцем шарнірно 8 кріпиться до відвала. Віброплита 4 має коротку довжину у порівнянні з іншим запропонованим варіантом (рис. 1.15) – від нижньої частини відвала до рівня гусениць, проте по ширині вона охоплює практично весь відвал 1 настільки, щоб не завадити нормальній роботі штовхаючого бруса 3. Це забезпечує максимальне покриття робочої зони для ущільнення ґрунту.

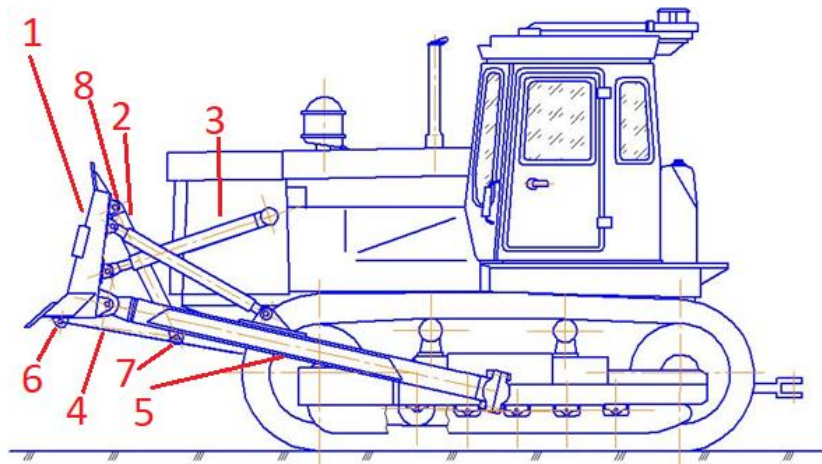
Шарнірне з'єднання віброплити з відвалом дасть можливість віброплиті адаптуватися до рельєфу поверхні, що дозволить досягати більш рівномірного ущільнення при різних кутах нахилу. Шарнірне кріплення забезпечує рух плити у вертикальній площині.

Встановлення додаткового гідроциліндра дозволить оператору контролювати положення віброплити. Регульований тиск допоможе налаштувати вібраційну силу залежно від типу ґрунту. З одного боку гідроциліндр кріпиться до

						ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			18

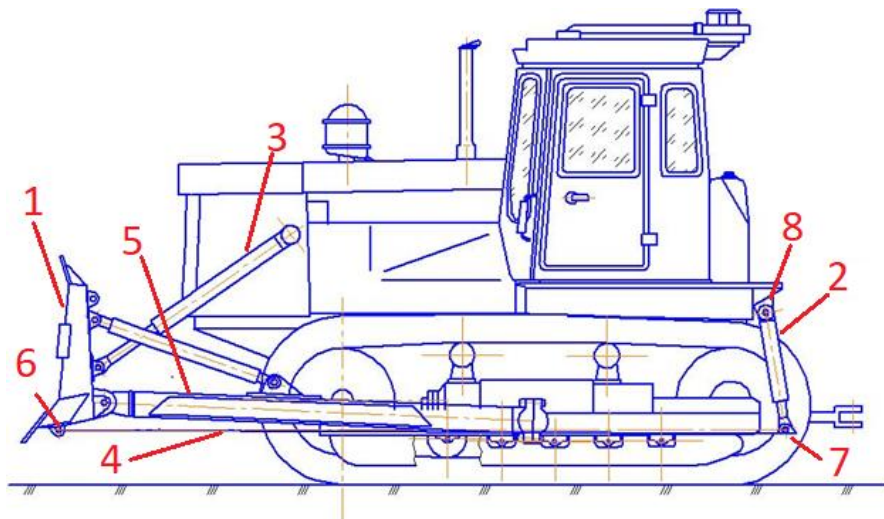
плити шарніром , з іншого - до відвала шарніром , що дасть можливість піднімати і опускати плиту в потрібний момент.

На рисунку 1.15 бульдозер оснащений довгою та вузькою віброплитою (4), яка проходить під днищем бульдозера у міжгусеничному просторі практично на всю його довжину. Плита також шарнірно з'єднана: з одного боку, вона прикріплена до відвала (1), а з іншого — до гідроциліндра (2), встановленого на задній частині базового трактора бульдозера. Такий варіант забезпечує більш рівномірне ущільнення по всій довжині машини.



1 – відвал; 2 - гідроциліндр керування віброплитою; 3 – гідроциліндр керування бульдозерного обладнання; 4 – віброплита; 5 – штовхаючий брус; 6, 7, 8 – шарніри;

Рис. 1.14. Бульдозер, обладнаний широкою короткою віброплитою



1 – відвал; 2 - гідроциліндр керування віброплитою; 3 – гідроциліндр керування бульдозерного обладнання; 4 – віброплита; 5 – штовхаючий брус; 6, 7, 8 – шарніри;

Рис. 1.15. Бульдозер, обладнаний вузькою довгою віброплитою

					ДІТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

1.5. Вибір базової моделі бульдозера

В Україні існує кілька підприємств, які займаються виробництвом будівельної та землерийної техніки, включаючи бульдозери. Проте виробництво саме бульдозерів у країні досить обмежене. Деякі підприємства випускають техніку для важкого будівництва, включаючи модифікації бульдозерів та іншу схожу техніку.

Зокрема, харківський тракторний завод (ХТЗ) – це одне з найбільших підприємств, яке у минулому виробляло трактори. ХТЗ за роки роботи виробляв різноманітні моделі гусеничної техніки та випустив більше 3 мільйонів тракторів та іншої важкої спеціалізованої техніки. Деякі з цих тракторів обладнувалися бульдозерним обладнанням.

Варто зазначити, що виробництво бульдозерів в Україні значно скоротилося після розпаду Радянського Союзу, і нині ринок України в основному наповнений імпортною технікою іноземних компаній наприклад, такі як Caterpillar, Komatsu та Volvo. У зв'язку з цим було обрано саме імпортні моделі бульдозерів для досліджень та пропозицій стосовно комплексного використання на одній машині декількох видів робочих органів, а саме: бульдозерного обладнання і вібраційної плити для ущільнювання ґрунту, розміщеної за відвалом між відвалом та трактором або під трактором за відвалом.

Машини і їх характеристики, які взяті до уваги у цій роботі, зведені в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1

Клас бульдозерів залежно від сили тяги та потужності

Клас бульдозера	Сила тяги (кН)	Потужність (кВт)
Надлегкі (до 0,9)	до 25	до 45
Легкі (1,4 - 4)	25 - 135	37 - 96
Середні (6 -15)	135 - 200	103 - 154
Важкі (25-35)	200 - 300	220 - 405
Надважкі (50 - 100)	300	510 - 880

В роботі обрано 4 бульдозери одного виробника з різними тяговими класами. (Рис. 1.16 – 1.19) а саме: Komatsu D21A-7 (легкий); Komatsu D65E-12 (середній); Komatsu D155A-5 (середній); Komatsu D375A-2 (важкий).



Рис. 1.16. Komatsu D21A-7

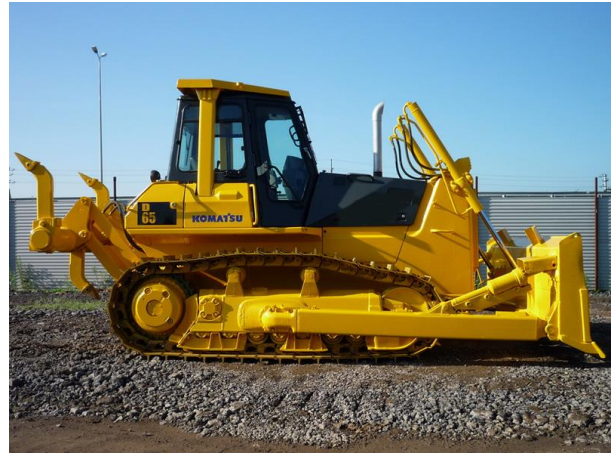


Рис. 1.17. Komatsu D65E-12



Рис. 1.18. Komatsu D155A-5



Рис. 1.19. Komatsu D375A-2

Основні параметри цих машин зведені в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2

Початкові вихідні дані обраних бульдозерів

Найменування та розмірність параметрів	Komatsu D21A-7	Komatsu D65E-12	Komatsu D155A-5	Komatsu D375A-2
1	2	3	4	5
Маса трактора, m_T , т	3,640	19,78	27,9	47,5
Маса начіпного бульдозерного обладнання, m_B , т	0,44	3,956	10,8	17
Потужність двигуна, кВт	29,8	132,39	225	396,9
Ширина ножа, b , м; /висота відвала, H , м	1,61/0,5	3,46/ 1,425	3955/ 1720	4695/ 2195

Таблиця 1.2 закінчення

1	2	3	4	5
Об'ємна щільність ґрунту, $\gamma_{ГР}$, кг/м ³	1700			
Кут подовжнього нахилу бульдозера до горизонталі, α , град.	0			
ККД трансмісії, η	0,85			
Довжина площадки затуплення ножа, l м	0			
Габаритна висота бульдозера, H_M , м	2,45	3,165	3,5	4,335
Ширина колії бульдозера, B , м	1,31	2,05	2,1	2,5
Питомий тиск вітру, P_B , Па	200			

1.6. Висновки за розділом

У першому розділі для обґрунтування і вибору групи машин для земляних робіт, на базі яких доцільно проводити заплановані дослідження розглянуті варіанти модифікації різних типів машин для земляних робіт додатковим робочим органом, а саме - вібраційною плитою. Таке оснащення розширить технологічні можливості машин, підвищить їх функціональність і завантаженість протягом розрахункового періоду та зменшить загальну кількість машин на будівельному майданчику. Крім того, оснащення даної групи машин вібраційною плитою прискорить процес остаточного ущільнення ґрунту.

Розглянуто такі типи машин для земляних робіт, як екскаватор, скрепер, грейдер та бульдозер, оскільки вони найчастіше входять у будівельний комплекс для виконання земляних робіт по спорудженню ґрунтових насипів чи утворення виїмок у ґрунті і потребують їх раціонального підбору за продуктивністю, циклічністю роботи з урахуванням провідної машини, яка задає темп роботи всій групі машин.

Враховані переваги та недоліки впровадження цієї технології для кожного типу, і вибрані бульдозери.

Виконано креслярське зображення, яке показує як би приблизно виглядав бульдозер, обладнаний віброплитою і дозволяє отримати масштабну розрахункову схему з урахуванням можливих переміщень робочого обладнання бульдозера із

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

завідвальною віброплитою, яка, в свою чергу, виконана у двох варіантах: коротка широка та вузька довга.

Для подальших розрахунків ми зупинилися на чотирьох моделях бульдозерів: Komatsu D21A-7, Komatsu D65E-12, Komatsu D155A-5, Komatsu D375A-2. Початкові вихідні дані цих бульдозерів були занесені у таблицю 1.2. Це потрібно для того, щоб мати можливість порівняти результати розрахунку для різних машин і визначити діапазон їх раціонального застосування у вигляді рекомендацій по завершенню роботи. Крім того декілька варіантів машин потрібно для кращого наочного представлення результатів досліджень у вигляді графіків, діаграм чи таблиць.

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КОПАННЯ ҐРУНТУ

Основні параметри технічних характеристик машин зведені в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1

Початкові вихідні дані обраних бульдозерів

Найменування та розмірність параметрів	Komatsu D21A-7	Komatsu D65E-12	Komatsu D155A-5	Komatsu D375A-2
Маса трактора, m_T , т	3,640	19,78	27,9	47,5
Маса начіпного бульдозерного обладнання, m_{BO} , т	0,44	3,956	10,8	17
Потужність двигуна N_1 , кВт	29,8	132,39	225	396,9
Ширина ножа, b_B , м; /висота відвала, H_B , м	2,17/0,5	3,46/ 1,425	3,955/ 1,720	4,695/ 2,195
Об'ємна щільність ґрунту, $\gamma_{ГР}$, кг/м ³	1700			
Кут подовжнього нахилу бульдозера до горизонталі, α , град.	0			
ККД трансмісії, $\eta_{мех}$	0,85			
Довжина площадки затуплення ножа, a м	0			
Габаритна висота бульдозера, H_M , м	2,45	3,165	3,5	4,335
коефіцієнт, що залежить від співвідношення $\frac{H_B}{b_B}$, k	0,23	0,41	0,43	0,47
Ширина бульдозера, B_M , м	1,61	2,93	3,0	3,55
Ширина колії бульдозера, B_K , м	1,31	2,05	2,1	2,5
Питомий тиск вітру, P_B , Па	200			

2.1. Обґрунтування розробки математичних моделей

2.1.1. Komatsu D21A-7, 1 категорія ґрунту

Якщо динамічна сила тяги бульдозера за зчепленням $T_{зчд}$ менше ніж сила тяги бульдозера за двигуном T_N , то рух бульдозера неможливий. Також сила тяги бульдозера за двигуном T_N не повинна бути менше за сумарний опір руху машини $\sum_{i=1}^n P_i$ у навантаженому робочому стані. Наступною нерівністю можна описати умову руху бульдозера:

$$T_{зчд} \geq T_N \geq \sum_{i=1}^n P_i; \quad (2.1)$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$64040 \text{ Н} > 22799 \text{ Н} = 22799 \text{ Н}.$$

Для виконання рівняння тягового балансу потрібно збільшити потужність двигуна так, щоб він розвивав силу тяги за двигуном, рівну силі тяги за зчепленням.

$$64040 \text{ Н} = 64040 \text{ Н} = 64040 \text{ Н}.$$

У цьому рівнянні сумарний опір копання ґрунту і руху бульдозера ми не визначаємо, а прирівнюємо його по черзі до сили тяги за двигуном і за зчепленням для того, щоб по черзі відповідно знайти товщину стружки ґрунту яку може копати бульдозер.

Динамічну силу тяги бульдозера за зчепленням можна знайти за формулою:

$$T_{зчд} = T_{зч}k_d, \text{ Н}; \quad (2.2)$$

$$T_{зчд} = 32020 * 2 = 64040 \text{ Н},$$

де $T_{зч}$ – статична сила тяги бульдозера за зчепленням, Н; k_d – коефіцієнт динамічності процесу копання (рекомендується в межах 2...4).

Статична сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зч} = G_{зч}\phi_{зч}, \text{ Н}; \quad (2.3)$$

$$T_{зч} = 40025 * 0,8 = 32020 \text{ Н},$$

де $G_{зч}$ – зчїпна вага бульдозера, що припадає на опорно-ходове обладнання, Н;
 $\phi_{зч}$ – коефіцієнт зчеплення опорно-ходового обладнання бульдозера з ґрунтом (рекомендується для гусеничного ходового обладнання в межах 0,8...0,9).

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

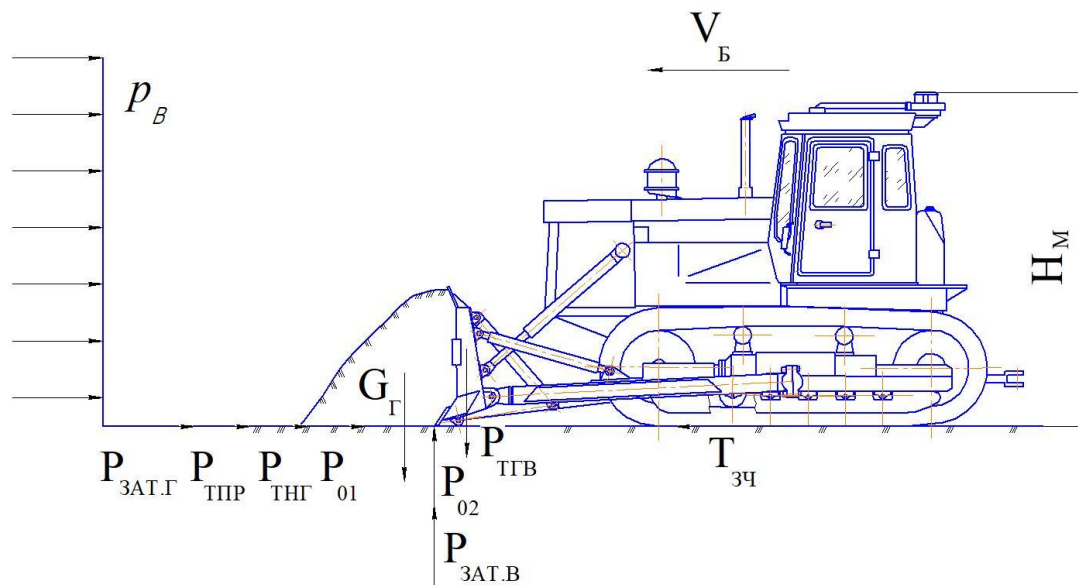


Рис. 2.1. Розрахункова схема до визначення опорів руху бульдозера

Оскільки базовий трактор має гусеничне ходове обладнання, то зчіпною буде вся вага машини, що перпендикулярно направлена з центру тяжіння машини до її опорної поверхні:

$$G_{зч} = G_B \cos \alpha_{yx}, \text{ Н}; \quad (2.4)$$

$$G_{зч} = 40025 * 1 = 40025 \text{ Н},$$

де G_B – сумарна вага бульдозера, Н; α_{yx} – кут подовжнього нахилу бульдозера до горизонталі, град. Прийmemo кут подовжнього нахилу бульдозера до горизонталі як 0° . Оскільки $\cos \alpha_{yx} = 1$, то $G_{зч} = G_B * 1$, тому у наступних розрахунках будемо вважати, що зчіпна вага бульдозера буде дорівнювати сумарній вазі бульдозера. Тобто $G_{зч} = G_B = mg$.

Сумарна вага бульдозера:

$$G_B = G_{зч} = mg, \text{ Н}; \quad (2.5)$$

$$G_B = G_{зч} = 4080 * 9,81 = 40025 \text{ Н},$$

де m – сумарна маса бульдозера, кг; g – прискорення вільного падіння (приблизно 9.81 м/с).

Сумарна маса бульдозера m являє собою суму маси трактора m_T , кг, та начіпного бульдозерного обладнання m_{BO} , кг :

$$m = m_T + m_{BO}; \quad (2.6)$$

$$m = 3640 + 440 = 4080 \text{ кг.}$$

Сила тяги бульдозера за двигуном:

$$T_{N_2} = N_2 / v_2, \text{ Н}; \quad (2.7)$$

$$T_{N_2} = \frac{25330}{1,111} = 22799 \text{ Н,}$$

де N_2 - потужність на привідній зірочці гусеничного ходу, Вт; v_2 - швидкість руху бульдозера, м/с. (прийємо швидкість 4 км/год., тобто 1,111 м/с).

Потужність на привідній зірочці гусеничного ходу:

$$N_2 = N_1 \eta_{MEH}, \text{ Вт}; \quad (2.8)$$

$$N_2 = 29800 * 0,85 = 25330 \text{ Вт,}$$

де N_1 - потужність двигуна трактора, Вт; η_{MEH} - ККД трансмісії трактора (рекомендується в межах 0,8...0,85).

1. Визначаємо товщину стружки копання ґрунту бульдозером з початковим двигуном.

Сумарний опір руху машини у навантаженому робочому стані:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{BO} + P_T, \text{ Н}; \quad (2.9)$$

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + P_{ТПР} + P_{ТГВ} + 0,4 * 0,2 P_{01} + P_{КОЧ} + P_B = T_{N_2} = 22799 \text{ Н.}$$

Усі складові рівняння (2.7) виразимо через P_{01} .

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + 13763 + 9020 + 0,4 * 0,2 P_{01} + 4791 = 22799 \text{ Н,}$$

Звідси:

$$1,28P_{01} = - 4791 \text{ Н,}$$

$$P_{01} = -3742$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де P_{BO} – опір руху машини від бульдозерного обладнання при його роботі, Н; P_T – опір руху трактора, Н.

Потрібне значення P_{01} визначається з виразу $P_{01}=k_{\text{пит}}*b_B*h_{\text{стр}}$, при товщині стружки 0,05 м, і $k_{\text{пит}} = 0,1$ МПа. На основі P_{01} можна визначити швидкість руху бульдозера при незмінному його двигуні.

Від’ємне значення коефіцієнту P_{01} показує, що потужності двигуна недостатньо для того, щоб виконувати пересування. Це відбувається тому, що задана швидкість бульдозера у розрахунку занадто велика. Можна зменшити швидкість руху бульдозера, але це негативно вплине на його продуктивність. Іншими словами для цієї машини потрібно встановити іншу область її раціонального застосування.

2. Визначаємо товщину стружки копання ґрунту бульдозером з новим двигуном.

Сумарний опір руху машини у навантаженому робочому стані:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{BO} + P_T, \text{ Н};$$

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + P_{\text{ТПР}} + P_{\text{ТГВ}} + 0,4*0,2 P_{01} + P_T = T_{N_2} = T_{\text{ЗЧД}} = 64040 \text{ Н}.$$

Усі складові рівняння (2.7) виразимо через P_{01} .

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + 13763 + 9020 + 0,4*0,2 P_{01} + 4791 = 64040 \text{ Н},$$

Звідси:

$$1,28P_{01} = 36466 \text{ Н};$$

$$P_{01} = 28489 \text{ Н},$$

де P_{BO} – опір руху машини від бульдозерного обладнання при його роботі, Н; P_T – опір руху трактора, Н.

Опір руху машини від бульдозерного обладнання при його роботі

$$P_{BO} = P_{01} + P_{02} + P_{\text{ТПР}} + P_{\text{ТГВ}} + P_{\text{ТНГ}} + P_{\text{ЗАТ}}, \text{ Н}, \quad (2.10)$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де P_{01} і P_{02} – дотична і нормальна складові опору відділення ґрунту від масиву, Н;
 $P_{ТПР}$, $P_{ТГВ}$, $P_{ТНГ}$ – відповідно, опір від тертя ґрунтової призми по ґрунту, ґрунту по відвалу і ножової системи по ґрунту; $P_{ЗАТ}$ – опір від площадки затушення в зоні ріжучого краю ножа, Н.

Дотична складова опору відділення ґрунту від масиву:

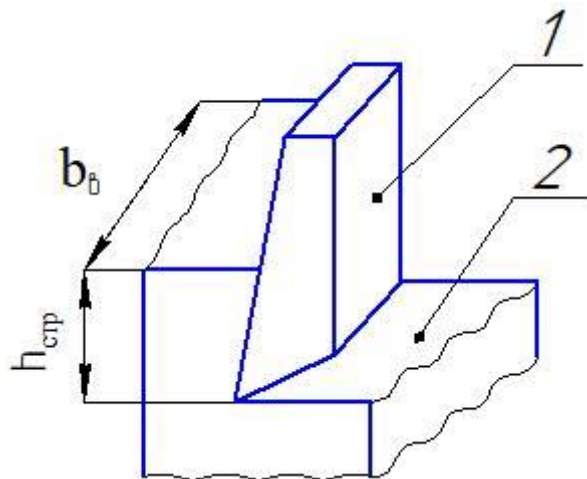
$$P_{01} = k_{пит} A_{стр}, \text{ Н}; \quad (2.11)$$

Звідси:

$$A_{стр} = \frac{P_{01}}{k_{пит}} = \frac{28489}{100000} = 0,2849 \text{ м}^2,$$

де $k_{пит}$ – питомий коефіцієнт опору ґрунту різанню, Па (прийємо як 0,1 МПа для 1 категорії ґрунту, 0,2 МПа — для другої, 0,3 МПа — для третьої, 0,4 МПа — для четвертої); $A_{стр}$ – площа поперечного перерізу вирізаної стружки, м².

Площа поперечного перерізу стружки, що знімається, залежить від конфігурації ножової системи, її положення в ґрунті і заданої глибини різання. Для класичної ножової системи з ножом прямокутної форми площу поперечного перерізу стружки можна виразити у вигляді прямокутника (рис. 2.2).



1 – ніж відвалу; 2 – зрізана поверхня ґрунту;

Рис. 2.2. Схема поперечного перерізу вирізаної стружки

Користуючись умовними позначеннями рис. 2.2, визначимо площу поперечного перерізу стружки ґрунту:

$$A_{стр} = b_B h_{стр}, \text{ м}^2, \quad (2.12)$$

						ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			29

Звідси:

$$h_{\text{стр}} = \frac{A_{\text{стр}}}{b_{\text{В}}} = \frac{0,2849}{2,17} = 0,131 \text{ м,}$$

де $b_{\text{В}}$ і $h_{\text{СТР}}$ – відповідно ширина ножа і товщина стружки, м.

Нормальна складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{02} = (0,1 \dots 0,2) P_{01} = [\sigma_{3M}] A_{3M}, \text{ Н;} \quad (2.13)$$

$$P_{02} = 0,2 * 28489 = 5698 \text{ Н,}$$

де $[\sigma_{3M}]$ – межа міцності ґрунту на зминання (приймаємо як $0,8 * k_{\text{пит}}$), Па; A_{3M} – площа проекції лобової поверхні ножа на горизонтальну площину, м².

$$A_{3M} = b_{\text{В}} l_{\text{Н}} \cos \alpha_{\text{Н}}, \text{ м}^2, \quad (2.14)$$

Також A_{3M} можна представити у наступному вигляді вивівши з виразу 2.13:

$$A_{3M} = \frac{P_{02}}{[\sigma_{3M}]} = \frac{5698}{80000} = 0,071 \text{ м.}$$

Звідси:

$$l_{\text{Н}} = \frac{A_{3M}}{b_{\text{В}} * \cos \alpha_{\text{Н}}} = \frac{0,071}{2,17 * 0,5736} = 0,057 \text{ м,}$$

де $l_{\text{Н}}$ – довжина заглибленої у ґрунт частини ножа, м; $\alpha_{\text{Н}}$ – кут нахилу ножа до горизонталі, град. (приймаємо 55°).

Опір від тертя ґрунтової призми по ґрунту:

$$P_{\text{ТПР}} = \mu_1 G_{\text{Г}} \cos \alpha_{\text{НЗ}}, \text{ Н;} \quad (2.15)$$

$$P_{\text{ТПР}} = 0,7 * 19662 * 1 = 13763 \text{ Н,}$$

де μ_1 – коефіцієнт тертя ґрунту по ґрунту (рекомендується для піску, гравію, рослинного шару – 0,7...0,75; для сухої глини – 0,9...1,0); $G_{\text{Г}}$ – вага призми волочіння ґрунту, Н; $\alpha_{\text{НЗ}}$ – кут нахилу забою до горизонту, град. Машина працює на горизонтальних ділянках, тому кут нахилу забою до горизонту дорівнює 0.

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вага призми волочіння ґрунту:

$$G_{\Gamma} = V_{\text{ПР}} \gamma_{\Gamma\text{Р}} g, \text{ Н}; \quad (2.16)$$

$$G_{\Gamma} = 1,179 * 1700 * 9,81 = 19662 \text{ Н},$$

де $\gamma_{\Gamma\text{Р}}$ – об’ємна щільність ґрунту, $\text{кг}/\text{м}^3$; g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$;

$V_{\text{ПР}}$ – об’єм призми волочіння ґрунту.

Об’єм призми волочіння ґрунту:

$$V_{\text{ПР}} = b_{\text{В}} H_{\text{В}}^2 / 2k, \text{ м}^3; \quad (2.17)$$

$$V_{\text{ПР}} = \frac{2,17 * 0,5^2}{2 * 0,23} = 1,179 \text{ м}^3,$$

де $b_{\text{В}}$ і $H_{\text{В}}$ – відповідно, ширина ножа і висота відвала, м ; k – коефіцієнт, що залежить від співвідношення $H_{\text{В}}/b_{\text{В}}$ (див. табл. 3.1).

Опір від тертя ґрунту по відвалу:

$$P_{\text{ТГВ}} = \mu_2 (G_{\text{ГН}} + F_{\text{ТН}}), \text{ Н}; \quad (2.18)$$

$$P_{\text{ТГВ}} = 0,4 * (11278 + 11273) = 9020 \text{ Н},$$

де μ_2 – коефіцієнт тертя ґрунту по сталі (рекомендується для піску, гравію, рослинного шару – 0,4...0,5; для сухої глини – 0,3...0,4); $G_{\text{ГН}}$ – нормальна до площини передньої грані ножа складова сили тяжіння призми волочіння ґрунту, Н ; $F_{\text{ТН}}$ – нормальна до площини передньої грані ножа складова опору сили тертя призми волочіння по поверхні ґрунту, Н .

$$G_{\text{ГН}} = G_{\Gamma} \cos(\alpha_{\text{Н}} - \alpha_{\text{НЗ}}) \text{ Н}; \quad (2.19)$$

$$G_{\text{ГН}} = 19662 * \cos(\alpha_{\text{Н}}) = 19662 * 0,5736 = 11278 \text{ Н},$$

$$F_{\text{ТН}} = P_{\text{ПР}} \sin \alpha_{\text{Н}}, \text{ Н}; \quad (2.20)$$

$$F_{\text{ТН}} = 13763 * 0,8191 = 11273 \text{ Н},$$

Опір від тертя ножової системи по ґрунту:

$$P_{\text{ТНГ}} = \mu_2 P_{02}, \text{ Н}; \quad (2.21)$$

$$P_{\text{ТНГ}} = 0,4 * 7417 = 2967 \text{ Н},$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Опір від площадки затуплення в зоні ріжучого краю ножа:

$$P_{ЗАТ} = [\sigma_{ЗМ}]A_{ЗАТ} = [\sigma_{ЗМ}]b_B a, \text{ Н}; \quad (2.22)$$

$$P_{ЗАТ} = 80000 * 1,61 * 0 = 0 \text{ Н},$$

де $A_{ЗАТ}$ – площа площадки затуплення ножа, м²; a – довжина площадки затуплення ножа, м (приймаємо затуплення ножа відсутнім). Оскільки затуплення ножа приймаємо відсутнім, то в подальших розрахунках опір від нього не враховуємо.

Опір руху трактора:

$$P_T = P_{КОЧ} + P_B, \text{ Н}; \quad (2.23)$$

$$P_T = 4002 + 789 = 4791 \text{ Н},$$

де $P_{КОЧ}$, P_B – відповідно опори коченню ходового обладнання трактора і від вітрового навантаження, Н.

$$P_{КОЧ} = G_B (f \mp i), \text{ Н}; \quad (2.24)$$

$$P_{КОЧ} = 40025 * 0,1 = 4002 \text{ Н},$$

$$P_B = p_B A_B = p_B H_M B_M = p_B H_M (0,6 \dots 0,7) B, \text{ Н}; \quad (2.25)$$

$$P_B = 200 * 2,45 * 1,61 = 789 \text{ Н},$$

де f – коефіцієнт опору коченню (рекомендований в межах 0,1...0,3); i – ухил місцевості, виражений в долях і залежний від кута $\alpha_{НЗ}$; p_B – питомий тиск вітру, Па; A_B – підвітряна площа бульдозера, м², H_M , B_M , B – відповідно висота, ширина і ширина машини колії машини. Оскільки кут $\alpha_{НЗ}$ приймаємо рівним нулю, тоді в подальших розрахунках будемо ігнорувати коефіцієнт i в цій формулі, й отримаємо формулу $P_{КОЧ} = G_B f$.

2.1.2. Komatsu D65E-12, 1 категорія ґрунту

Умова руху бульдозера:

$$T_{ЗчД} \geq T_N \geq \sum_{i=1}^n P_i;$$

$$372560 \text{ Н} = 372560 \text{ Н} = 372560 \text{ Н}.$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Динамічна сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зчд} = T_{зч}k_d, \text{ Н};$$

$$T_{зчд} = 186280 * 2 = 372560 \text{ Н.}$$

Статична сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зч} = G_{зч}\phi_{зч}, \text{ Н};$$

$$T_{зч} = 232850 * 0,8 = 186280 \text{ Н.}$$

Зчіпна вага машини:

$$G_{зч} = G_B = mg, \text{ Н};$$

$$G_{зч} = G_B = 23736 * 9,81 = 232850 \text{ Н.}$$

Сумарна маса бульдозера:

$$m = m_T + m_{Б0}$$

$$m = 19780 + 3956 = 23736 \text{ кг.}$$

Сила тяги бульдозера за двигуном:

$$T_{N_2} = \frac{N_2}{\vartheta_2} = \frac{112531}{1,111} = 101288 \text{ Н.}$$

Потужність на привідній зірочці гусеничного ходу:

$$N_2 = N_1\eta_{\text{МЕХ}}, \text{ Вт};$$

$$N_2 = 132390 * 0,85 = 112531 \text{ Вт.}$$

Оскільки отримана сила тяги за двигуном менша за сумарний опір руху, який порівнюється до сили тяги за зчепленням, доцільно підрахувати, яка потрібна потужність для двигуна для реалізації усієї сили тяги за зчепленням, тобто виконаємо уточнювальний розрахунок необхідної потужності двигуна.

$$T_{N_2} = \frac{N_2}{1,111} = 372560 \text{ Н,}$$

Звідси:

$$N_2 = T_{N_2}\vartheta_2 = 372560 * 1,111 = 413914 \text{ Вт};$$

$$N_1 = \frac{N_2}{\eta_{\text{МЕХ}}} = \frac{413914}{0,85} = 486957 \text{ Вт.}$$

На цій підставі можна прийняти двигун найближчої потужності.

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Нормальна складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{02} = (0,1 \dots 0,2)P_{01} = [\sigma_{3M}]A_{3M}, \text{ Н};$$

$$P_{02} = 0,2 * 180644 = 36128 \text{ Н.}$$

Площа проекції лобової поверхні ножа на горизонтальну площину:

$$A_{3M} = b_B l_H \cos \alpha_H, \text{ м}^2.$$

A_{3M} можна представити у наступному вигляді вивівши із (2.11):

$$A_{3M} = \frac{P_{02}}{[\sigma_{3M}]}, \text{ м};$$

$$A_{3M} = \frac{36128}{80000} = 0,45 \text{ м.}$$

Звідси знаходиться довжина заглибленої у ґрунт частини ножа:

$$l_H = \frac{A_{3M}}{b_B * \cos \alpha_H};$$

$$l_H = \frac{0,45}{3,46 * 0,5736} = 0,227 \text{ м.}$$

Опір від тертя ґрунтової призми по ґрунту:

$$P_{\text{ТТР}} = \mu_1 G_{\Gamma} \cos \alpha_{\text{НЗ}}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТТР}} = 0,7 * 100275 * 1 = 70192 \text{ Н.}$$

Вага призми волочіння ґрунту знаходиться з виразу:

$$G_{\Gamma} = V_{\text{ПР}} \gamma_{\Gamma} g, \text{ Н};$$

$$G_{\Gamma} = 6,013 * 1700 * 9,81 = 100275 \text{ Н.}$$

Об'єм призми волочіння ґрунту:

$$V_{\text{ПР}} = b_B H_B^2 / 2k, \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{ПР}} = \frac{3,46 * 1,425^2}{2 * 0,41} = 6,013 \text{ м}^3,$$

де b_B і H_B – відповідно, ширина ножа і висота відвала, м; k – коефіцієнт, що залежить від співвідношення H_B/b_B

Опір від тертя ґрунту по відвалу:

$$P_{\text{ТГВ}} = \mu_2 (G_{\text{ГН}} + F_{\text{ТН}}), \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТГВ}} = 0,4 * (57517 + 57494) = 46004 \text{ Н.}$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Нормальна до площини передньої грані ножа складова сили тяжіння призми волочіння ґрунту:

$$G_{ГН} = G_{Г} \cos(\alpha_{Н} - \alpha_{НЗ}) Н;$$

$$G_{ГН} = 100275 * 0,5736 = 57517 Н.$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова опору сили тертя призми волочіння по поверхні ґрунту:

$$F_{ТН} = P_{ТТР} \sin \alpha_{Н}, Н;$$

$$F_{ТН} = 70192 * 0.8191 = 57494 Н.$$

Опір від тертя ножової системи по ґрунту:

$$P_{ТНГ} = \mu_2 P_{02}, Н;$$

$$P_{ТНГ} = 0,4 * 36128 = 14451 Н.$$

Опір руху трактора:

$$P_{Т} = P_{КОЧ} + P_{В}, Н;$$

$$P_{Т} = 23285 + 1854 = 25139 Н.$$

Опір коченню ходового обладнання трактора:

$$P_{КОЧ} = G_{Б} f = 232850 * 0,1 = 23285 Н.$$

Опір від вітрового навантаження:

$$P_{В} = p_{В} A_{В} = p_{В} H_{М} B_{М} = p_{В} H_{М} (0,6 \dots 0,7) B, Н;$$

$$P_{В} = 200 * 3,165 * 2,93 = 1854 Н.$$

2.1.3. Komatsu D155A-5, 1 категорія ґрунту

Умова руху бульдозера:

$$T_{Зчд} \geq T_{Н} \geq \sum_{i=1}^n P_i;$$

$$607435 Н = 607435 Н = 607435 Н.$$

Динамічну силу тяги бульдозера за зчепленням можна знайти за формулою:

$$T_{Зчд} = T_{Зчкд}, Н;$$

$$T_{Зчд} = 303718 * 2 = 607435 Н.$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Статична сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зч} = G_{зч} \phi_{зч}, \text{ Н};$$

$$T_{зч} = 379647 * 0,8 = 303718 \text{ Н.}$$

Зчіпна вага бульдозера:

$$G_{зч} = G_{Б} = mg, \text{ Н};$$

$$G_{зч} = G_{Б} = 38700 * 9,81 = 379647 \text{ Н.}$$

Сумарна маса бульдозера:

$$m = m_{Т} + m_{Б0};$$

$$m = 27900 + 10800 = 38700 \text{ кг.}$$

Сила тяги бульдозера за двигуном:

$$T_{N_2} = N_2 / \vartheta_2, \text{ Н};$$

$$T_{N_2} = \frac{191250}{1,111} = 172142 \text{ Н.}$$

Потужність на привідній зірочці гусеничного ходу:

$$N_2 = N_1 \eta_{\text{МЕХ}}, \text{ Вт};$$

$$N_2 = 225000 * 0,85 = 191250 \text{ Вт.}$$

1. Визначаємо товщину стружки копання ґрунту бульдозером з початковим двигуном.

Сумарний опір руху машини у навантаженому робочому стані:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{Б0} + P_{Т}, \text{ Н}; \quad (2.9)$$

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + P_{ТГР} + P_{ТГВ} + 0,4 * 0,2 P_{01} + P_{КОЧ} + P_{В} = T_{N_2} = 172142 \text{ Н.}$$

Усі складові рівняння (2.7) виразимо через P_{01} .

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + 158765 + 104056 + 0,4 * 0,2 P_{01} + 40065 = 172142 \text{ Н,}$$

Звідси:

$$1,28P_{01} = -130744 \text{ Н,}$$

$$P_{01} = -102143 \text{ Н.}$$

Від'ємне значення коефіцієнту P_{01} показує, що потужності двигуна недостатньо для того, щоб виконувати пересування.

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Уточнювальний розрахунок необхідної потужності двигуна:

$$T_{N_2} = \frac{N_2}{1,111} = 607435 \text{ Н},$$

Звідси:

$$N_2 = T_{N_2} \vartheta_2 = 607435 * 1,111 = 674860 \text{ Вт};$$

$$N_1 = \frac{N_2}{\eta_{\text{МЕХ}}} = \frac{674860}{0,85} = 793953 \text{ Вт}.$$

На цій підставі можна прийняти двигун найближчої потужності

2. Визначаємо товщину стружки копання ґрунту бульдозером з новим двигуном.

Сумарний опір руху машини у навантаженому робочому стані:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{\text{БО}} + P_{\text{T}}, \text{ Н};$$

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + P_{\text{ТПР}} + P_{\text{ТГВ}} + 0,4 * 0,2 P_{01} + P_{\text{T}} = T_{N_2} = T_{\text{ЗчД}} = 607435 \text{ Н}.$$

Усі складові рівняння (2.7) виразимо через P_{01} .

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + 158765 + 104056 + 0,4 * 0,2 P_{01} + 40065 = 607435 \text{ Н},$$

Звідси:

$$1,28P_{01} = 304549 \text{ Н}; P_{01} = 237928 \text{ Н}.$$

Дотична складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{01} = k_{\text{ПИТ}} A_{\text{СТР}}, \text{ Н}.$$

Звідси:

$$A_{\text{СТР}} = \frac{P_{01}}{k_{\text{ПИТ}}} = \frac{237928}{100000} = 2,379 \text{ м}^2.$$

Площа поперечного перерізу стружки ґрунту:

$$A_{\text{СТР}} = b_{\text{В}} h_{\text{СТР}}, \text{ м}^2.$$

Звідси:

$$h_{\text{СТР}} = \frac{A_{\text{СТР}}}{b_{\text{В}}} = \frac{2,379}{3,955} = 0,6 \text{ м}.$$

Нормальна складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{02} = (0,1 \dots 0,2) P_{01} = [\sigma_{\text{ЗМ}}] A_{\text{ЗМ}}, \text{ Н};$$

$$P_{02} = 0,2 * 237928 = 47585 \text{ Н}.$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Площа проекції лобової поверхні ножа на горизонтальну площину:

$$A_{3M} = \frac{P_{02}}{[\sigma_{3M}]}, \text{ м};$$

$$A_{3M} = \frac{47585}{80000} = 0,59 \text{ м.}$$

Звідси:

$$l_H = \frac{A_{3M}}{b_B \cdot \cos \alpha_H};$$

$$l_H = \frac{0,59}{3,955 \cdot 0,5736} = 0,26 \text{ м.}$$

Опір від тертя ґрунтової призми по ґрунту:

$$P_{ТПР} = \mu_1 G_{\Gamma}, \text{ Н};$$

$$P_{ТПР} = 0,7 * 226807 = 158765 \text{ Н.}$$

Вага призми волочіння ґрунту знаходиться з виразу:

$$G_{\Gamma} = V_{ПР} \gamma_{\Gamma} g, \text{ Н};$$

$$G_{\Gamma} = 13,6 * 1700 * 9,81 = 226807 \text{ Н.}$$

Об'єм призми волочіння ґрунту:

$$V_{ПР} = b_B H_B^2 / 2k, \text{ м}^3;$$

$$V_{ПР} = \frac{3,955 * 1,72^2}{2 * 0,43} = 13,6 \text{ м}^3.$$

Опір від тертя ґрунту по відвалу:

$$P_{ТГВ} = \mu_2 (G_{ГН} + F_{ТН}), \text{ Н};$$

$$P_{ТГВ} = 0,4 * (130096 + 130044) = 104056 \text{ Н.}$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова сили тяжіння призми волочіння ґрунту:

$$G_{ГН} = G_{\Gamma} \cos(\alpha_H - \alpha_{НЗ}) \text{ Н};$$

$$G_{ГН} = 226807 * 0,5736 = 130096 \text{ Н.}$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова опору сили тертя призми волочіння по поверхні ґрунту:

$$F_{ТН} = P_{ТПР} \sin \alpha_H, \text{ Н};$$

$$F_{ТН} = 158765 * 0,8191 = 130044 \text{ Н.}$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Опір від тертя ножової системи по ґрунту:

$$P_{\text{ТНГ}} = \mu_2 P_{02}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТНГ}} = 0,4 * 47585 = 19034 \text{ Н.}$$

Опір руху трактора:

$$P_{\text{Т}} = P_{\text{КОЧ}} + P_{\text{В}}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{Т}} = 37965 + 2100 = 40065 \text{ Н.}$$

Опір коченню ходового обладнання трактора:

$$P_{\text{КОЧ}} = G_{\text{Б}} f, \text{ Н};$$

$$P_{\text{КОЧ}} = 379647 * 0,1 = 37965 \text{ Н.}$$

Опір від вітрового навантаження:

$$P_{\text{В}} = p_{\text{В}} A_{\text{В}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} B_{\text{М}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} (0,6 \dots 0,7) B, \text{ Н};$$

$$P_{\text{В}} = 200 * 3,5 * 3 = 2100 \text{ Н.}$$

2.1.4. Komatsu Komatsu D375A-2, 1 категорія ґрунту

Умова руху бульдозера:

$$T_{\text{ЗчД}} \geq T_{\text{Н}} \geq \sum_{i=1}^n P_i;$$

$$1012392 \text{ Н} > 1012392 \text{ Н} = 1012392 \text{ Н.}$$

Динамічну силу тяги бульдозера за зчепленням можна знайти за формулою:

$$T_{\text{ЗчД}} = T_{\text{Зч}} k_{\text{Д}} = T_{\text{Зч}} = 506196 * 2 = 1012392 \text{ Н.}$$

Статична сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{\text{Зч}} = G_{\text{Зч}} \phi_{\text{Зч}}, \text{ Н};$$

$$T_{\text{Зч}} = 632745 * 0,8 = 506196 \text{ Н.}$$

Зчіпна вага бульдозера:

$$G_{\text{Зч}} = G_{\text{Б}} = mg, \text{ Н};$$

$$G_{\text{Зч}} = G_{\text{Б}} = 64500 * 9,81 = 632745 \text{ Н.}$$

Сумарна маса бульдозера:

$$m = m_{\text{Т}} + m_{\text{Б0}} = 47500 + 17000 = 64500 \text{ кг.}$$

Сила тяги бульдозера за двигуном:

$$T_{N_2} = N_2 / \vartheta_2, \text{ Н};$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

$$T_{N_2} = \frac{337365}{1,111} = 303659 \text{ Н.}$$

Потужність на привідній зірочці гусеничного ходу:

$$N_2 = N_1 \eta_{\text{МЕХ}}, \text{ Вт};$$

$$N_2 = 396900 * 0,85 = 337365 \text{ Вт.}$$

1. Визначаємо товщину стружки копання ґрунту бульдозером з початковим двигуном.

Сумарний опір руху машини у навантаженому робочому стані:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{\text{БО}} + P_{\text{Т}}, \text{ Н};$$

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + P_{\text{ТПР}} + P_{\text{ТГВ}} + 0,4 * 0,2 P_{01} + P_{\text{КОЧ}} + P_{\text{В}} = T_{N_2} = 303659 \text{ Н.}$$

Усі складові рівняння (2.7) виразимо через P_{01} .

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + 280926 + 184122 + 0,4 * 0,2 P_{01} + 66802 = 303659 \text{ Н.}$$

Звідси:

$$1,28P_{01} = -228191 \text{ Н};$$

$$P_{01} = -178274 \text{ Н.}$$

Від'ємне значення коефіцієнту P_{01} показує, що потужності двигуна недостатньо для того, щоб виконувати пересування.

Уточнювальний розрахунок необхідної потужності двигуна:

$$T_{N_2} = \frac{N_2}{1,111} = 1012392 \text{ Н.}$$

Звідси:

$$N_2 = T_{N_2} \vartheta_2 = 1012392 * 1,111 = 674860 \text{ Вт};$$

$$N_1 = \frac{N_2}{\eta_{\text{МЕХ}}} = \frac{674860}{0,85} = 1124767 \text{ Вт.}$$

На цій підставі можна прийняти двигун найближчої потужності.

2. Визначаємо товщину стружки копання ґрунту бульдозером з новим двигуном.

Сумарний опір руху машини у навантаженому робочому стані:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{\text{БО}} + P_{\text{Т}}, \text{ Н};$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + P_{\text{ТПР}} + P_{\text{ТГВ}} + 0,4 * 0,2 P_{01} + P_{\text{КОЧ}} + P_B = T_{N_2} = T_{\text{ЗЧД}} = 1012392 \text{ Н.}$$

Усі складові рівняння (2.7) виразимо через P_{01} .

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + 280926 + 184122 + 0,4 * 0,2 P_{01} + 66802 = T_{N_2} = T_{\text{ЗЧД}} = 1012392 \text{ Н.}$$

Звідси:

$$1,28P_{01} = 480542 \text{ Н;}$$

$$P_{01} = 375423 \text{ Н.}$$

Дотична складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{01} = k_{\text{пит}} A_{\text{стр}}, \text{ Н;}$$

Звідси:

$$A_{\text{стр}} = \frac{P_{01}}{k_{\text{пит}}} = \frac{375423}{100000} = 3,75 \text{ м}^2.$$

Площа поперечного перерізу стружки ґрунту:

$$A_{\text{стр}} = b_B h_{\text{стр}}, \text{ м}^2.$$

Звідси:

$$h_{\text{стр}} = \frac{A_{\text{стр}}}{b_B} = \frac{3,75}{4,695} = 0,8 \text{ м.}$$

Нормальна складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{02} = (0,1 \dots 0,2) P_{01} = [\sigma_{\text{ЗМ}}] A_{\text{ЗМ}}, \text{ Н;}$$

$$P_{02} = 0,2 * 375423 = 75085 \text{ Н.}$$

Площа проекції лобової поверхні ножа на горизонтальну площину:

$$A_{\text{ЗМ}} = \frac{P_{02}}{[\sigma_{\text{ЗМ}}]}, \text{ м;}$$

$$A_{\text{ЗМ}} = \frac{75085}{80000} = 0,94 \text{ м.}$$

Звідси:

$$l_H = \frac{A_{\text{ЗМ}}}{b_B * \cos \alpha_H}, \text{ м;}$$

$$l_H = \frac{0,94}{4,695 * 0,5736} = 0,348 \text{ м.}$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опір від тертя ґрунтової призми по ґрунту:

$$P_{ТПР} = \mu_1 G_{Г}, \text{ Н};$$

$$P_{ТПР} = 0,7 * 401324 = 280926 \text{ Н.}$$

Вага призми волочіння ґрунту знаходиться з виразу:

$$G_{Г} = V_{ПР} \gamma_{ГР} g, \text{ Н};$$

$$G_{Г} = 24,06 * 1700 * 9,81 = 401324 \text{ Н.}$$

Об'єм призми волочіння ґрунту:

$$V_{ПР} = b_{В} H_{В}^2 / 2k, \text{ м}^3;$$

$$V_{ПР} = \frac{4,695 * 2,195^2}{2 * 0,47} = 24,06 \text{ м}^3.$$

Опір від тертя ґрунту по відвалу:

$$P_{ТГВ} = \mu_2 (G_{ГН} + F_{ТН}), \text{ Н};$$

$$P_{ТГВ} = 0,4 * (230199 + 230106) = 184122 \text{ Н.}$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова сили тяжіння призми волочіння ґрунту:

$$G_{ГН} = G_{Г} \cos(\alpha_{Н} - \alpha_{НЗ}) \text{ Н};$$

$$G_{ГН} = 401324 * 0,5736 = 230199 \text{ Н.}$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова опору сили тертя призми волочіння по поверхні ґрунту:

$$F_{ТН} = P_{ТПР} \sin \alpha_{Н}, \text{ Н};$$

$$F_{ТН} = 280926 * 0,8191 = 230106 \text{ Н.}$$

Опір від тертя ножової системи по ґрунту:

$$P_{ТНГ} = \mu_2 P_{02}, \text{ Н};$$

$$P_{ТНГ} = 0,4 * 75085 = 30034 \text{ Н.}$$

Опір руху трактора:

$$P_{Т} = P_{Коч} + P_{В} = 63724 + 3078 = 66802 \text{ Н.}$$

Опір коченню ходового обладнання трактора:

$$P_{Коч} = G_{Б} f, \text{ Н};$$

$$P_{Коч} = 632745 * 0,1 = 63274 \text{ Н.}$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Опір від вітрового навантаження:

$$P_B = p_B A_B = p_B H_M B_M = p_B H_M (0,6 \dots 0,7) B, \text{ Н};$$

$$P_B = 200 * 4,335 * 3,55 = 3078 \text{ Н}.$$

Таблиця 2.2

Прийняті значення коефіцієнтів і параметрів для ґрунту першої категорії

$\varphi_{зч}$	f	μ_1	μ_2	$\gamma_{ГР},$ кг/м ³	$[\sigma_{ЗМ}],$ Па	$p_B,$ Па
0,8	0,1	0,7	0,4	1700	80000	200

Таблиця 2.3

Вихідні розрахункові дані для ґрунту першої категорії

Марка бульдозера	$m_T, \text{ т}$	$m_B, \text{ т}$	$b, \text{ м}$	$H, \text{ м}$	H/b	$h_{СТР},$ м	$H_M, \text{ м}$	$B_K, \text{ м}$	$V_{ПР}, \text{ м}^3$	$G_G, \text{ Н}$
Комatsu D21A-7	3,64	4,08	1,61	0,5	0,23	0,131	2,45	1,31	1,179	19662
Комatsu D65E-12	19,78	28,736	3,46	1,425	0,41	0,52	3,165	2,05	6,013	100275
Комatsu D155A-5	27,9	38,7	3,955	1,720	0,43	0,6	3,5	2,1	13,6	226807
Комatsu D375A-2	47,5	64,5	4,695	2,195	0,47	0,8	4,335	2,5	24,06	401324

Таблиця 2.4

Розраховані значення питомих опорів для ґрунту першої категорії

Марка бульдозера	$P_{ТПР}, \text{ Н}$	$P_{ТГВ}, \text{ Н}$	$P_{ЗАТ},$ Н	$P_{КОЧ}, \text{ Н}$	$P_B, \text{ Н}$
Комatsu D21A-7	13763	9020	0	4002	789
Комatsu D65E-12	70192	46004	0	23285	1854
Комatsu D155A-5	158765	104056	0	37965	2100
Комatsu D375A-2	280926	184122	0	63724	3078

Таблиця 2.5

Розраховані значення $T_{зч}$, P_{01} , k_{num} для ґрунту першої категорії

Марка бульдозера	Бульдозер		
	$T_{зч}$, Н	P_{01} , Н	k_{num} , МПа
Komatsu D21A-7	32020	28489	0,1
Komatsu D65E-12	186280	180644	0,1
Komatsu D155A-5	303718	237928	0,1
Komatsu D375A-2	506196	375423	0,1

Таблиця 2.6

Енергоємність роботи машини для ґрунту першої категорії

Марка бульдозера	Бульдозер	
	$\frac{P_{01}}{G_{\Gamma}}$	$\frac{P_{01}}{V_{ПР}}$
Komatsu D21A-7	1,44	24163
Komatsu D65E-12	1,8	30042
Komatsu D155A-5	1,05	17,495
Komatsu D375A-2	0,93	15,603

За розрахованими параметрами побудовані діаграми (рис. 2.3 – 2.6). Діаграма 2.3 наочно показує, що при однакових характеристиках оброблюваного ґрунту збільшення геометричних розмірів відвалу бульдозера призводить до зростання дотичної складової опору відділення ґрунту від масиву P_{01} .

Діаграма 2.4 та 2.5 показує відношення P_{01} до ваги призми волочіння ґрунту G_{Γ} та об'єму призми волочіння ґрунту $V_{ПР}$ відповідно. Це відношення відображають, наскільки ефективний процес переміщення ґрунту. Чим менше значення, тим менше енергії витрачається на переміщення маси ґрунту.

Стосовно значення $P_{01}/V_{ПР}$ варто зазначити, що ґрунти з високим зв'язком або щільністю (глина, суглинок) зазвичай дають більше значення опору, тоді як піщані

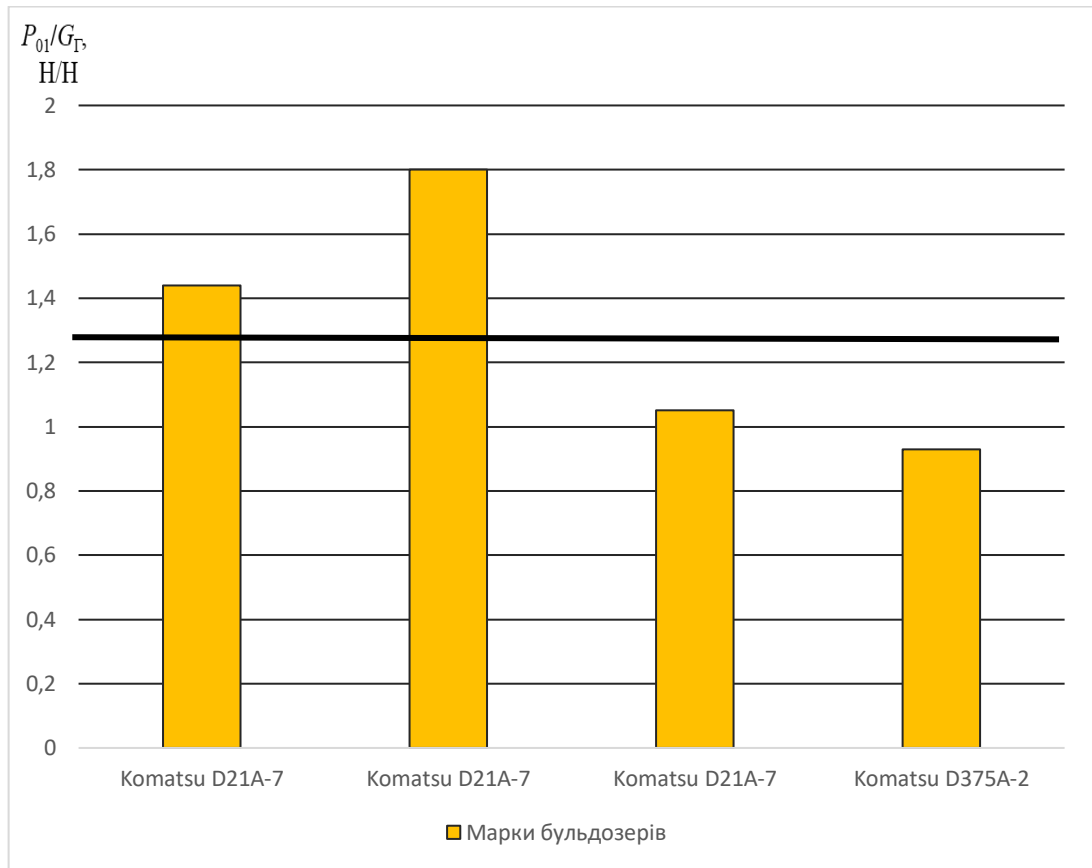


Рис 2.4. Діаграма залежності $\frac{P_{01}}{G_r}$ від марки машини, 1 категорія ґрунту

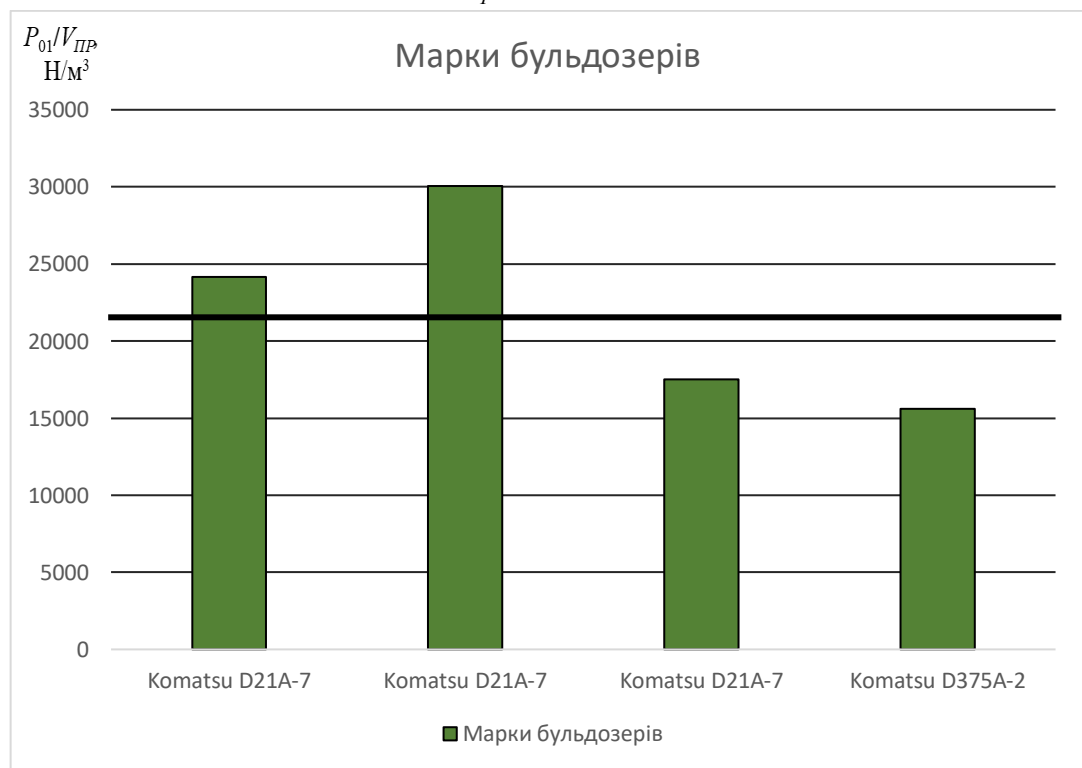


Рис. 2.5. Діаграма залежності $\frac{P_{01}}{V_{PP}}$ від марки машини, 1 категорія ґрунту

2.2. Обґрунтування розробки математичних моделей

2.2.1. Komatsu D21A-7, 2 категорія ґрунту

Умова руху бульдозера:

$$T_{зчд} \geq T_N \geq \sum_{i=1}^n P_i;$$

$$64040 \text{ Н} > 64040 \text{ Н} = 64040 \text{ Н}.$$

Динамічну силу тяги бульдозера за зчепленням можна знайти за формулою:

$$T_{зчд} = T_{зч} k_d, \text{ Н};$$

$$T_{зчд} = 32020 * 2 = 64040 \text{ Н}.$$

Статична сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зч} = G_{зч} \phi_{зч}, \text{ Н};$$

$$T_{зч} = 40025 * 0,8 = 32020 \text{ Н}.$$

Зчіпна вага бульдозера:

$$G_{зч} = G_B = mg, \text{ Н};$$

$$G_{зч} = G_B = 4080 * 9,81 = 40025.$$

Сумарна маса бульдозера:

$$m = m_T + m_{BO};$$

$$m = 3640 + 440 = 4080 \text{ кг}.$$

Сила тяги бульдозера за двигуном:

$$T_{N_2} = N_2 / \vartheta_2, \text{ Н};$$

$$T_{N_2} = \frac{25330}{1,111} = 22799 \text{ Н}.$$

Потужність на привідній зірочці гусеничного ходу:

$$N_2 = N_1 \eta_{\text{МЕХ}}, \text{ Вт};$$

$$N_2 = 29800 * 0,85 = 25330 \text{ Вт}.$$

Визначаємо товщину стружки копання ґрунту бульдозером з новим двигуном.

Сумарний опір руху машини у навантаженому робочому стані:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{BO} + P_T, \text{ Н};$$

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + P_{ТПР} + P_{ТГВ} + 0,4 * 0,2 P_{01} + P_T = T_{N_2} = T_{зчд} = 64040 \text{ Н}.$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Усі складові рівняння (2.7) виразимо через P_{01} .

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + 13763 + 9020 + 0,4 * 0,2 P_{01} + 4791 = H,$$

Звідси:

$$1,28P_{01} = 36426 \text{ Н};$$

$$P_{01} = 28457 \text{ Н.}$$

Дотична складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{01} = k_{\text{пит}} A_{\text{стр}}, \text{ Н};$$

Звідси:

$$A_{\text{стр}} = \frac{P_{01}}{k_{\text{пит}}} = \frac{28457}{200000} = 0,14 \text{ м}^2.$$

Для 2-ї категорії ґрунту примемо $k_{\text{пит}} = 0,2$ МПа

Площа поперечного перерізу стружки ґрунту:

$$A_{\text{стр}} = b_{\text{В}} h_{\text{стр}}, \text{ м}^2;$$

Звідси:

$$h_{\text{стр}} = \frac{A_{\text{стр}}}{b_{\text{В}}} = \frac{0,14}{2,17} = 0,065 \text{ м.}$$

Нормальна складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{02} = (0,1 \dots 0,2) P_{01} = [\sigma_{\text{ЗМ}}] A_{\text{ЗМ}}, \text{ Н};$$

$$P_{02} = 0,2 * 28457 = 5691 \text{ Н.}$$

Площа проекції лобової поверхні ножа на горизонтальну площину:

$$A_{\text{ЗМ}} = \frac{P_{02}}{[\sigma_{\text{ЗМ}}]}, \text{ м};$$

$$A_{\text{ЗМ}} = \frac{5691}{160000} = 0,035 \text{ м.}$$

Звідси:

$$l_{\text{Н}} = \frac{A_{\text{ЗМ}}}{b_{\text{В}} * \cos \alpha_{\text{Н}}}, \text{ м};$$

$$l_{\text{Н}} = \frac{0,035}{2,17 * 0,5736} = 0,028 \text{ м.}$$

Опір від тертя ґрунтової призми по ґрунту:

$$P_{\text{ТПР}} = \mu_1 G_{\text{Г}}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТПР}} = 0,7 * 19662 = 13763 \text{ Н.}$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Вага призми волочіння ґрунту знаходиться з виразу:

$$G_{\Gamma} = V_{\text{ПР}} \gamma_{\text{ГР}} g, \text{ Н};$$

$$G_{\Gamma} = 1,179 * 1700 * 9,81 = 19662 \text{ Н.}$$

Об'єм призми волочіння ґрунту:

$$V_{\text{ПР}} = b_{\text{В}} H_{\text{В}}^2 / 2k, \text{ м}^3;$$

$$\frac{2,17 * 0,5^2}{2 * 0,23} = 1,179 \text{ м}^3.$$

Опір від тертя ґрунту по відвалу:

$$P_{\text{ТГВ}} = \mu_2 (G_{\text{ГН}} + F_{\text{ТН}}), \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТГВ}} = 0,4 * (11278 + 11273) = 9020 \text{ Н.}$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова сили тяжіння призми волочіння ґрунту:

$$G_{\text{ГН}} = G_{\Gamma} \cos(\alpha_{\text{Н}} - \alpha_{\text{НЗ}}) \text{ Н};$$

$$G_{\text{ГН}} = 19662 * 0,5736 = 11278 \text{ Н.}$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова опору сили тертя призми волочіння по поверхні ґрунту:

$$F_{\text{ТН}} = P_{\text{ПР}} \sin \alpha_{\text{Н}}, \text{ Н};$$

$$F_{\text{ТН}} = 13763 * 0,8191 = 11273 \text{ Н.}$$

Опір від тертя ножової системи по ґрунту:

$$P_{\text{ТНГ}} = \mu_2 P_{02}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТНГ}} = 0,4 * 5691 = 2276 \text{ Н.}$$

Опір руху трактора:

$$P_{\text{Т}} = P_{\text{КОЧ}} + P_{\text{В}}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{Т}} = 4002 + 789 = 4791 \text{ Н.}$$

Опір коченню ходового обладнання трактора:

$$P_{\text{КОЧ}} = G_{\text{Б}} f, \text{ Н};$$

$$P_{\text{КОЧ}} = 40025 * 0,1 = 4002.$$

Опір від вітрового навантаження:

$$P_{\text{В}} = p_{\text{В}} A_{\text{В}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} B_{\text{М}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} (0,6 \dots 0,7) \text{ В} = 200 * 2,45 * 1,61 = 789 \text{ Н.}$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

2.2.2. Komatsu D65E-12, 2 категорія ґрунту

Умова руху бульдозера:

$$T_{зчД} \geq T_N \geq \sum_{i=1}^n P_i;$$
$$372560 \text{ Н} = 372560 \text{ Н} = 372560 \text{ Н}.$$

Динамічна сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зчД} = T_{зч} k_d, \text{ Н};$$
$$T_{зчД} = 186280 * 2 = 372560 \text{ Н}.$$

Статична сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зч} = G_{зч} \phi_{зч}, \text{ Н};$$
$$T_{зч} = 232850 * 0,8 = 186280 \text{ Н}.$$

Зчіпна вага машини:

$$G_{зч} = G_B = mg = 23736 * 9,81 = 232850 \text{ Н}.$$

Сумарна маса бульдозера:

$$m = m_T + m_{БО};$$
$$m = 19780 + 3956 = 23736 \text{ кг}.$$

Сила тяги бульдозера за двигуном:

$$T_{N_2} = N_2 / \vartheta_2, \text{ Н};$$
$$T_{N_2} = \frac{112531}{1,111} = 101288 \text{ Н}.$$

Потужність на привідній зірочці гусеничного ходу:

$$N_2 = N_1 \eta_{\text{МЕХ}}, \text{ Вт};$$
$$N_2 = 132390 * 0,85 = 112531 \text{ Вт}.$$

Визначаємо товщину стружки копання ґрунту бульдозером з новим двигуном.

Сумарний опір руху машини у навантаженому робочому стані:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{БО} + P_T, \text{ Н};$$
$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + P_{ТПР} + P_{ТГВ} + 0,4 * 0,2 P_{01} + P_T = T_{N_2} = T_{зчД} = 372560 \text{ Н}.$$

Усі складові рівняння (2.7) виразимо через P_{01} .

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + 70192 + 46004 + 0,4 * 0,2 P_{01} + 25139 = 372560 \text{ Н}.$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Звідси:

$$1,28P_{01} = 231225 \text{ Н};$$

$$P_{01} = 180644 \text{ Н.}$$

Дотична складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{01} = k_{\text{пит}} A_{\text{стр}}, \text{ Н};$$

Звідси:

$$A_{\text{стр}} = \frac{P_{01}}{k_{\text{пит}}} = \frac{180644}{200000} = 0,9 \text{ м}^2.$$

Площа поперечного перерізу стружки ґрунту:

$$A_{\text{стр}} = b_{\text{В}} h_{\text{стр}}, \text{ м}^2.$$

Звідси:

$$h_{\text{стр}} = \frac{A_{\text{стр}}}{b_{\text{В}}} = \frac{0,9}{3,46} = 0,26 \text{ м.}$$

Нормальна складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{02} = (0,1 \dots 0,2) P_{01} = [\sigma_{3\text{М}}] A_{3\text{М}}, \text{ Н};$$

$$P_{02} = 0,2 * 180644 = 36129 \text{ Н.}$$

Площа проекції лобової поверхні ножа на горизонтальну площину:

$$A_{3\text{М}} = \frac{P_{02}}{[\sigma_{3\text{М}}]}, \text{ м};$$

$$A_{3\text{М}} = \frac{36129}{160000} = 0,226 \text{ м.}$$

Звідси:

$$l_{\text{Н}} = \frac{A_{3\text{М}}}{b_{\text{В}} * \cos \alpha_{\text{Н}}}, \text{ м};$$

$$l_{\text{Н}} = \frac{0,226}{3,46 * 0,5736} = 0,114 \text{ м.}$$

Опір від тертя ґрунтової призми по ґрунту:

$$P_{\text{ТПР}} = \mu_1 G_{\text{Г}} \cos \alpha_{\text{НЗ}}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТПР}} = 0,7 * 100275 * 1 = 70192 \text{ Н.}$$

Вага призми волочіння ґрунту знаходиться з виразу:

$$G_{\text{Г}} = V_{\text{ПР}} \gamma_{\text{ГР}} g = 6,013 * 1700 * 9,81 = 100275 \text{ Н.}$$

Об'єм призми волочіння ґрунту:

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$V_{\text{ПР}} = b_B H_B^2 / 2k, \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{ПР}} = \frac{3,46 * 1,425^2}{2 * 0,41} = 6,013 \text{ м}^3.$$

де b_B і H_B – відповідно, ширина ножа і висота відвала, м; k – коефіцієнт, що залежить від співвідношення H_B/b_B

Опір від тертя ґрунту по відвалу:

$$P_{\text{ТГВ}} = \mu_2 (G_{\text{ГН}} + F_{\text{ТН}}), \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТГВ}} = 0,4 * (57517 + 57494) = 46004 \text{ Н}.$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова сили тяжіння призми волочіння ґрунту:

$$G_{\text{ГН}} = G_{\text{Г}} \cos(\alpha_{\text{Н}} - \alpha_{\text{НЗ}}) \text{ Н};$$

$$G_{\text{ГН}} = 100275 * 0,5736 = 57517 \text{ Н}.$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова опору сили тертя призми волочіння по поверхні ґрунту:

$$F_{\text{ТН}} = P_{\text{ПР}} \sin \alpha_{\text{Н}}, \text{ Н};$$

$$F_{\text{ТН}} = 70192 * 0,8191 = 57494 \text{ Н}.$$

Опір від тертя ножової системи по ґрунту:

$$P_{\text{ТНГ}} = \mu_2 P_{02}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТНГ}} = 0,4 * 36129 = 14452 \text{ Н}.$$

Опір руху трактора:

$$P_{\text{Т}} = P_{\text{КОЧ}} + P_{\text{В}}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{Т}} = 23285 + 1854 = 25139 \text{ Н}.$$

Опір коченню ходового обладнання трактора:

$$P_{\text{КОЧ}} = G_{\text{Б}} f, \text{ Н};$$

$$P_{\text{КОЧ}} = 232850 * 0,1 = 23285 \text{ Н}.$$

Опір від вітрового навантаження:

$$P_{\text{В}} = p_{\text{В}} A_{\text{В}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} B_{\text{М}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} (0,6 \dots 0,7) B, \text{ Н};$$

$$P_{\text{В}} = 200 * 3,165 * 2,93 = 1854 \text{ Н}.$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

2.2.3. Komatsu D155A-5, 2 категорія ґрунту

Умова руху бульдозера:

$$T_{зчд} \geq T_N \geq \sum_{i=1}^n P_i;$$

$$607435 \text{ Н} = 607435 \text{ Н} = 607435 \text{ Н}.$$

Динамічну силу тяги бульдозера за зчепленням можна знайти за формулою:

$$T_{зчд} = T_{зч} k_d, \text{ Н};$$

$$T_{зчд} = 303718 * 2 = 607435 \text{ Н}.$$

Статична сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зч} = G_{зч} \phi_{зч}, \text{ Н};$$

$$T_{зч} = 379647 * 0,8 = 303718 \text{ Н}.$$

Зчіпна вага бульдозера:

$$G_{зч} = G_B = mg, \text{ Н};$$

$$G_{зч} = G_B = 38700 * 9,81 = 379647 \text{ Н}.$$

Сумарна маса бульдозера:

$$m = m_T + m_{BO};$$

$$m = 27900 + 10800 = 38700 \text{ кг}.$$

Сила тяги бульдозера за двигуном:

$$T_{N_2} = N_2 / \vartheta_2, \text{ Н};$$

$$T_{N_2} = \frac{191250}{1,111} = 172142 \text{ Н}.$$

Потужність на привідній зірочці гусеничного ходу:

$$N_2 = N_1 \eta_{\text{МЕХ}}, \text{ Вт};$$

$$N_2 = 225000 * 0,85 = 191250 \text{ Вт}.$$

Визначаємо товщину стружки копання ґрунту бульдозером з новим двигуном.

Сумарний опір руху машини у навантаженому робочому стані:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{BO} + P_T, \text{ Н};$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + P_{ТПР} + P_{ТГВ} + 0,4 * 0,2 P_{01} + P_T = T_{N_2} = T_{ЗЧД} = 607435 \text{ Н.}$$

Усі складові рівняння (2.7) виразимо через P_{01} .

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + 158765 + 104056 + 0,4 * 0,2 P_{01} + 40065 = 607435 \text{ Н,}$$

Звідси:

$$1,28P_{01} = 304549 \text{ Н;}$$

$$P_{01} = 237929 \text{ Н.}$$

Дотична складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{01} = k_{\text{пит}} A_{\text{стр}}, \text{ Н;}$$

Звідси:

$$A_{\text{стр}} = \frac{P_{01}}{k_{\text{пит}}} = \frac{237929}{200000} = 1,19 \text{ м}^2.$$

Площа поперечного перерізу стружки ґрунту:

$$A_{\text{стр}} = b_{\text{В}} h_{\text{стр}}, \text{ м}^2;$$

Звідси:

$$h_{\text{стр}} = \frac{A_{\text{стр}}}{b_{\text{В}}} = \frac{1,19}{3,955} = 0,3 \text{ м.}$$

Нормальна складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{02} = (0,1 \dots 0,2) P_{01} = [\sigma_{\text{ЗМ}}] A_{\text{ЗМ}}, \text{ Н;}$$

$$P_{02} = 0,2 * 237929 = 47586 \text{ Н.}$$

Площа проекції лобової поверхні ножа на горизонтальну площину:

$$A_{\text{ЗМ}} = \frac{P_{02}}{[\sigma_{\text{ЗМ}}]}, \text{ м;}$$

$$A_{\text{ЗМ}} = \frac{47586}{160000} = 0,3 \text{ м.}$$

Звідси:

$$l_{\text{Н}} = \frac{A_{\text{ЗМ}}}{b_{\text{В}} * \cos \alpha_{\text{Н}}}, \text{ м;}$$

$$l_{\text{Н}} = \frac{0,3}{3,955 * 0,5736} = 0,132 \text{ м.}$$

Опір від тертя ґрунтової призми по ґрунту:

$$P_{\text{ТПР}} = \mu_1 G_{\text{Г}}, \text{ Н;}$$

$$P_{\text{ТПР}} = 0,7 * 226807 = 158765 \text{ Н.}$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Вага призми волочіння ґрунту знаходиться з виразу:

$$G_{\Gamma} = V_{\text{ПР}} \gamma_{\Gamma\text{P}} g, \text{ Н};$$

$$G_{\Gamma} = 13,6 * 1700 * 9,81 = 226807 \text{ Н.}$$

Об'єм призми волочіння ґрунту:

$$V_{\text{ПР}} = b_{\text{В}} H_{\text{В}}^2 / 2k, \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{ПР}} = \frac{3,955 * 1,72^2}{2 * 0,43} = 13,6 \text{ м}^3.$$

Опір від тертя ґрунту по відвалу:

$$P_{\text{ТГВ}} = \mu_2 (G_{\text{ГН}} + F_{\text{ТН}}), \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТГВ}} = 0,4 * (130096 + 130044) = 104056 \text{ Н.}$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова сили тяжіння призми волочіння ґрунту:

$$G_{\text{ГН}} = G_{\Gamma} \cos(\alpha_{\text{Н}} - \alpha_{\text{НЗ}}) \text{ Н};$$

$$G_{\text{ГН}} = 226807 * 0,5736 = 130096 \text{ Н.}$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова опору сили тертя призми волочіння по поверхні ґрунту:

$$F_{\text{ТН}} = P_{\text{ПР}} \sin \alpha_{\text{Н}}, \text{ Н};$$

$$F_{\text{ТН}} = 158765 * 0,8191 = 130044 \text{ Н.}$$

Опір від тертя ножової системи по ґрунту:

$$P_{\text{ТНГ}} = \mu_2 P_{02}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТНГ}} = 0,4 * 47586 = 19034 \text{ Н.}$$

Опір руху трактора:

$$P_{\text{Т}} = P_{\text{КОЧ}} + P_{\text{В}}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{Т}} = 37965 + 2100 = 40065 \text{ Н.}$$

Опір коченню ходового обладнання трактора:

$$P_{\text{КОЧ}} = G_{\text{Б}} f, \text{ Н};$$

$$P_{\text{КОЧ}} = 379647 * 0,1 = 37965 \text{ Н.}$$

Опір від вітрового навантаження:

$$P_{\text{В}} = p_{\text{В}} A_{\text{В}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} B_{\text{М}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} (0,6 \dots 0,7) B, \text{ Н};$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

$$P_B = 200 * 3,5 * 3 = 2100 \text{ Н.}$$

2.2.4. Komatsu D375A-2, 2 категорія ґрунту

Умова руху бульдозера:

$$T_{зчд} \geq T_N \geq \sum_{i=1}^n P_i;$$

$$1012392 \text{ Н} > 1012392 \text{ Н} = 1012392 \text{ Н.}$$

Динамічну силу тяги бульдозера за зчепленням можна знайти за формулою:

$$T_{зчд} = T_{зч} k_d, \text{ Н};$$

$$T_{зчд} = 506196 * 2 = 1012392 \text{ Н.}$$

Статична сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зч} = G_{зч} \phi_{зч}, \text{ Н};$$

$$T_{зч} = 632745 * 0,8 = 506196 \text{ Н.}$$

Зчіпна вага бульдозера:

$$G_{зч} = G_B = mg, \text{ Н};$$

$$G_{зч} = G_B = 64500 * 9,81 = 632745 \text{ Н.}$$

Сумарна маса бульдозера:

$$m = m_T + m_{БО};$$

$$m = 47500 + 17000 = 64500 \text{ кг.}$$

Сила тяги бульдозера за двигуном:

$$T_{N_2} = N_2 / \vartheta_2, \text{ Н};$$

$$T_{N_2} = \frac{337365}{1,111} = 303659 \text{ Н.}$$

Потужність на привідній зірочці гусеничного ходу:

$$N_2 = N_1 \eta_{\text{МЕХ}}, \text{ Вт};$$

$$N_2 = 396900 * 0,85 = 337365 \text{ Вт.}$$

Визначаємо товщину стружки копання ґрунту бульдозером з новим двигуном.

Сумарний опір руху машини у навантаженому робочому стані:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{БО} + P_T, \text{ Н};$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + P_{ТПР} + P_{ТГВ} + 0,4 * 0,2 P_{01} + P_T = T_{N_2} = T_{ЗчД} = 1012392 \text{ Н.}$$

Усі складові рівняння (2.7) виразимо через P_{01} .

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + 280926 + 184122 + 0,4 * 0,2 P_{01} + 66802 = 1012392 \text{ Н.}$$

Звідси:

$$1,28P_{01} = 480542 \text{ Н;}$$

$$P_{01} = 375423 \text{ Н.}$$

Дотична складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{01} = k_{\text{пит}} A_{\text{стр}}, \text{ Н.}$$

Звідси:

$$A_{\text{стр}} = \frac{P_{01}}{k_{\text{пит}}} = \frac{375423}{200000} = 1,88 \text{ м}^2.$$

Площа поперечного перерізу стружки ґрунту:

$$A_{\text{стр}} = b_{\text{В}} h_{\text{стр}}, \text{ м}^2;$$

Звідси:

$$h_{\text{стр}} = \frac{A_{\text{стр}}}{b_{\text{В}}} = \frac{1,88}{4,695} = 0,4 \text{ м.}$$

Нормальна складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{02} = (0,1 \dots 0,2) P_{01} = [\sigma_{3М}] A_{3М}, \text{ Н;}$$

$$P_{02} = 0,2 * 375423 = 75085 \text{ Н.}$$

Площа проекції лобової поверхні ножа на горизонтальну площину:

$$A_{3М} = \frac{P_{02}}{[\sigma_{3М}]}, \text{ м;}$$

$$A_{3М} = \frac{75085}{160000} = 0,47 \text{ м.}$$

Звідси:

$$l_{\text{Н}} = \frac{A_{3М}}{b_{\text{В}} * \cos \alpha_{\text{Н}}}, \text{ м;}$$

$$l_{\text{Н}} = \frac{0,47}{4,695 * 0,5736} = 0,174 \text{ м.}$$

Опір від тертя ґрунтової призми по ґрунту:

$$P_{\text{ТПР}} = \mu_1 G_{\text{Г}}, \text{ Н;}$$

$$P_{\text{ТПР}} = 0,7 * 401324 = 280926 \text{ Н.}$$

Вага призми волочіння ґрунту знаходиться з виразу:

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

$$G_{\Gamma} = V_{\text{ПР}} \gamma_{\text{ГР}} g, \text{ Н};$$

$$G_{\Gamma} = 24,06 * 1700 * 9,81 = 401324 \text{ Н.}$$

Об'єм призми волочіння ґрунту:

$$V_{\text{ПР}} = b_{\text{В}} H_{\text{В}}^2 / 2k, \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{ПР}} = \frac{4,695 * 2,195^2}{2 * 0,47} = 24,06 \text{ м}^3.$$

Опір від тертя ґрунту по відвалу:

$$P_{\text{ТГВ}} = \mu_2 (G_{\text{ГН}} + F_{\text{ТН}}) = 0,4 * (230199 + 230106) = 184122 \text{ Н.}$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова сили тяжіння призми волочіння ґрунту:

$$G_{\text{ГН}} = G_{\Gamma} \cos(\alpha_{\text{Н}} - \alpha_{\text{НЗ}}) \text{ Н};$$

$$G_{\text{ГН}} = 401324 * 0,5736 = 230199 \text{ Н.}$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова опору сили тертя призми волочіння по поверхні ґрунту:

$$F_{\text{ТН}} = P_{\text{ПР}} \sin \alpha_{\text{Н}}, \text{ Н};$$

$$F_{\text{ТН}} = 280926 * 0,8191 = 230106 \text{ Н.}$$

Опір від тертя ножової системи по ґрунту:

$$P_{\text{ТНГ}} = \mu_2 P_{02}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТНГ}} = 0,4 * 75085 = 30034 \text{ Н.}$$

Опір руху трактора:

$$P_{\text{Т}} = P_{\text{КОЧ}} + P_{\text{В}}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{Т}} = 63724 + 3078 = 66802 \text{ Н.}$$

Опір коченню ходового обладнання трактора:

$$P_{\text{КОЧ}} = G_{\text{Б}} f, \text{ Н};$$

$$P_{\text{КОЧ}} = 632745 * 0,1 = 63724 \text{ Н.}$$

Опір від вітрового навантаження:

$$P_{\text{В}} = p_{\text{В}} A_{\text{В}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} B_{\text{М}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} (0,6 \dots 0,7) B, \text{ Н};$$

$$P_{\text{В}} = 200 * 4,335 * 3,55 = 3078 \text{ Н.}$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Таблиця 2.7

Прийняті значення коефіцієнтів і параметрів для ґрунту другої категорії

$\varphi_{зч}$	f	μ_1	μ_2	$\gamma_{ГР}$, кг/м ³	$[\sigma_{ЗМ}]$, Па	p_B , Па
0,8	0,1	0,7	0,4	1700	160000	200

Таблиця 2.8

Вихідні розрахункові дані

Марка бульдозера	m_T , т	m_B , т	b_B , м	H_B , м	H/b	$h_{СТР}$, м	H_M , м	B_K , м	$V_{ПП}$, м ³	G_T , Н
Комatsu D21A-7	3,64	4,08	1,61	0,5	0,23	0,065	2,45	1,31	1,179	19662
Комatsu D65E-12	19,78	28,736	3,46	1,425	0,41	0,26	3,165	2,05	6,013	100275
Комatsu D155A-5	27,9	38,7	3,955	1,720	0,43	0,3	3,5	2,1	13,6	226807
Комatsu D375A-2	47,5	64,5	4,695	2,195	0,47	0,4	4,335	2,5	24,06	401324

m_T – маса трактора

m_B – сумарна маса бульдозера

Таблиця 2.9

Розраховані значення питомих опорів для ґрунту другої категорії

Марка бульдозера	$P_{ТПР}$, Н	$P_{ТГВ}$, Н	$P_{ЗАТ}$, Н	$P_{КОЧ}$, Н	P_B , Н
Комatsu D21A-7	13763	9020	0	4002	789
Комatsu D65E-12	70192	46004	0	23285	1854
Комatsu D155A-5	158765	104056	0	37965	2100
Комatsu D375A-2	280926	184122	0	63724	3078

					ДІП.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Таблиця 2.10

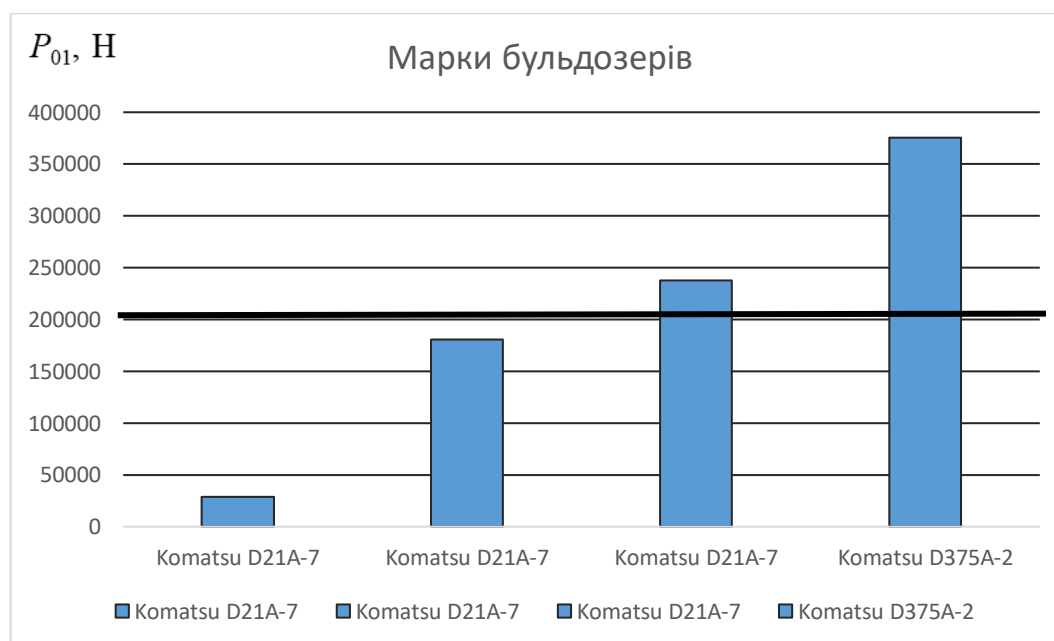
Розраховані значення $T_{зч}$, P_{01} , k_{num} для ґрунту другої категорії

Марка бульдозера	Бульдозер		
	$T_{зч}$, Н	P_{01} , Н	k_{num} , МПа
Комatsu D21A-7	32020	28489	0,2
Комatsu D65E-12	186280	180644	0,2
Комatsu D155A-5	303718	237928	0,2
Комatsu D375A-2	506196	375423	0,2

Таблиця 2.11

Енергоємність роботи машини для ґрунту другої категорії

Марка бульдозера	Бульдозер	
	P_{01}/G_T	$P_{01}/V_{ПП}$
Комatsu D21A-7	1,44	24163
Комatsu D65E-12	1,8	30042
Комatsu D155A-5	1,05	17,495
Комatsu D375A-2	0,93	15,603

Рис. 2.6. Діаграма залежності P_{01} від марки бульдозерів, 2 категорія ґрунту

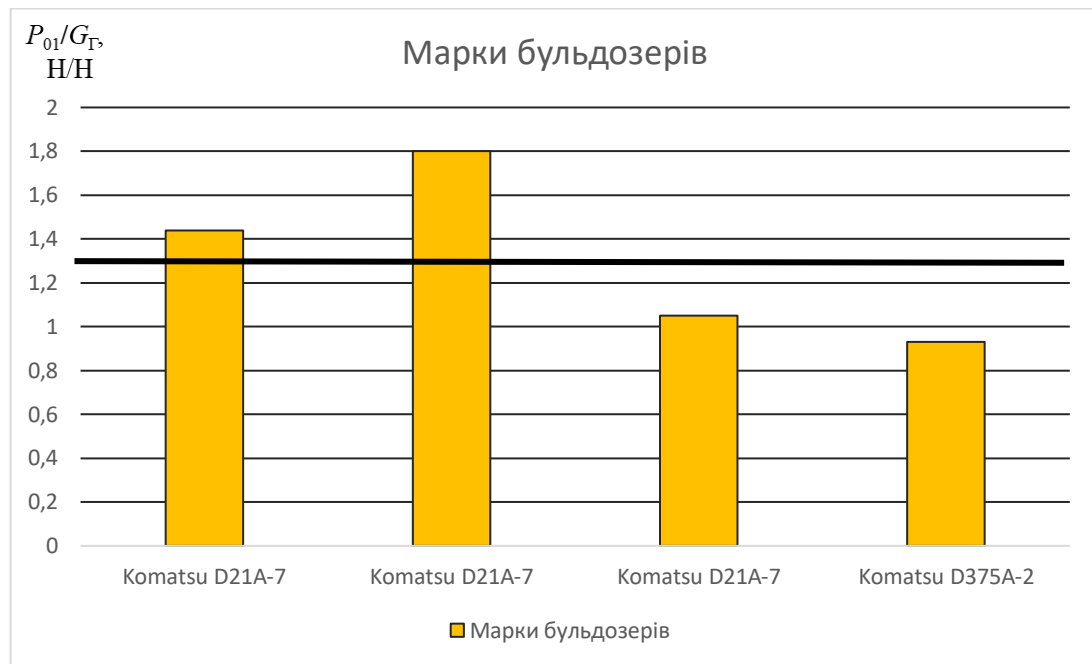


Рис. 2.7. Діаграма залежності $\frac{P_{01}}{G_r}$ від марки машини, 2 категорія ґрунту

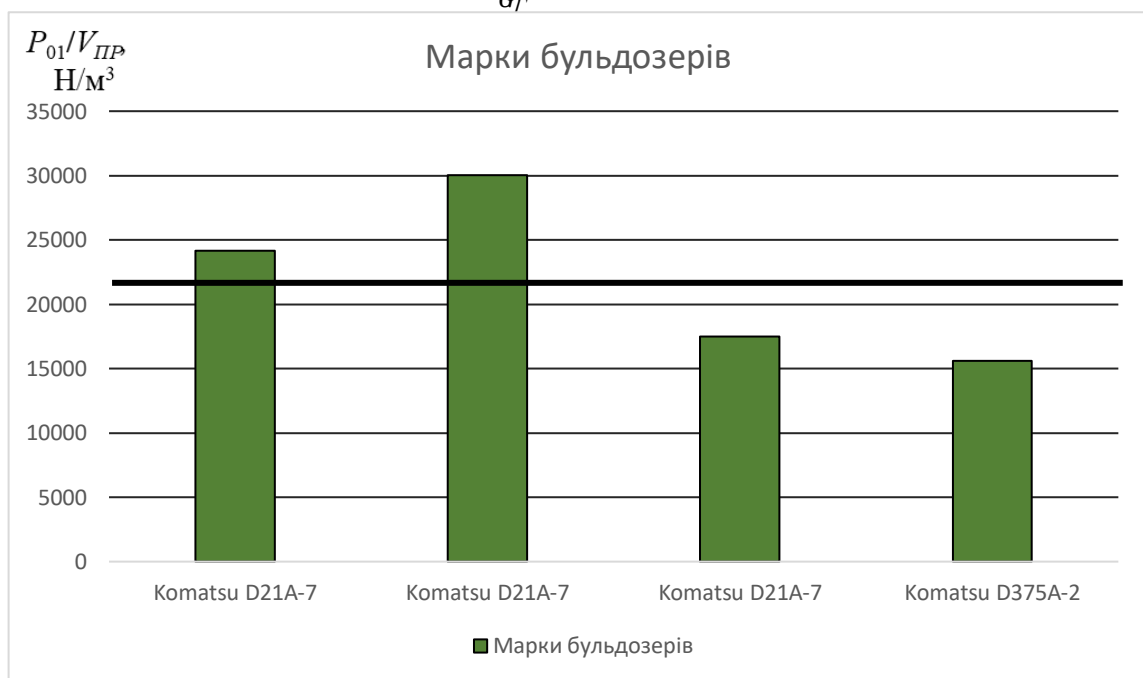


Рис. 2.8. Діаграма залежності $\frac{P_{01}}{V_{IP}}$ від марки машини, 2 категорія ґрунту

2.3. Обґрунтування розробки математичних моделей

2.3.1. Komatsu D21A-7, 3 категорія ґрунту

Умова руху бульдозера:

$$T_{зчд} \geq T_N \geq \sum_{i=1}^n P_i;$$

$$64040 \text{ Н} > 64040 \text{ Н} = 64040 \text{ Н}.$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Динамічну силу тяги бульдозера за зчепленням можна знайти за формулою:

$$T_{зчд} = T_{зч}k_d, \text{ Н};$$

$$T_{зчд} = 32020 * 2 = 64040 \text{ Н.}$$

Статична сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зч} = G_{зч}\phi_{зч}, \text{ Н};$$

$$T_{зч} = 40025 * 0,8 = 32020 \text{ Н.}$$

Зчіпна вага бульдозера:

$$G_{зч} = G_B = mg, \text{ Н};$$

$$G_{зч} = G_B = 4080 * 9,81 = 40025.$$

Сумарна маса бульдозера:

$$m = m_T + m_{BO} = 3640 + 440 = 4080 \text{ кг.}$$

Сила тяги бульдозера за двигуном:

$$T_{N_2} = N_2 / \vartheta_2, \text{ Н};$$

$$T_{N_2} = \frac{25330}{1,111} = 22799 \text{ Н.}$$

Потужність на привідній зірочці гусеничного ходу:

$$N_2 = N_1 \eta_{\text{МЕХ}}, \text{ Вт};$$

$$N_2 = 29800 * 0,85 = 25330 \text{ Вт.}$$

Визначаємо товщину стружки копання ґрунту бульдозером з новим двигуном.

Сумарний опір руху машини у навантаженому робочому стані:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{BO} + P_T, \text{ Н};$$

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + P_{ТПР} + P_{ТГВ} + 0,4 * 0,2 P_{01} + P_T = T_{N_2} = T_{зчд} = 64040 \text{ Н.}$$

Усі складові рівняння (2.7) виразимо через P_{01} .

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + 17696 + 10309 + 0,4 * 0,2 P_{01} + 4791 = 64040 \text{ Н,}$$

Звідси:

$$1,28P_{01} = 31244 \text{ Н};$$

$$P_{01} = 24409 \text{ Н.}$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Дотична складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{01} = k_{\text{пит}} A_{\text{стр}}, \text{ Н};$$

Звідси:

$$A_{\text{стр}} = \frac{P_{01}}{k_{\text{пит}}} = \frac{24409}{300000} = 0,081 \text{ м}^2.$$

Площа поперечного перерізу стружки ґрунту:

$$A_{\text{стр}} = b_{\text{В}} h_{\text{стр}}, \text{ м}^2;$$

Звідси:

$$h_{\text{стр}} = \frac{A_{\text{стр}}}{b_{\text{В}}} = \frac{0,081}{2,17} = 0,037 \text{ м}.$$

Нормальна складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{02} = (0,1 \dots 0,2) P_{01} = [\sigma_{\text{ЗМ}}] A_{\text{ЗМ}}, \text{ Н};$$

$$P_{02} = 0,2 * 24409 = 4882 \text{ Н}.$$

Площа проекції лобової поверхні ножа на горизонтальну площину:

$$A_{\text{ЗМ}} = \frac{P_{02}}{[\sigma_{\text{ЗМ}}]}, \text{ м};$$

$$A_{\text{ЗМ}} = \frac{4882}{240000} = 0,02 \text{ м}.$$

Звідси:

$$l_{\text{Н}} = \frac{A_{\text{ЗМ}}}{b_{\text{В}} * \cos \alpha_{\text{Н}}}, \text{ м};$$

$$l_{\text{Н}} = \frac{0,02}{2,17 * 0,5736} = 0,016 \text{ м}.$$

Опір від тертя ґрунтової призми по ґрунту:

$$P_{\text{ТПР}} = \mu_1 G_{\text{Г}}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТПР}} = 0,9 * 19662 = 17696 \text{ Н}.$$

Вага призми волочіння ґрунту знаходиться з виразу:

$$G_{\text{Г}} = V_{\text{ПР}} \gamma_{\text{ГР}} g, \text{ Н};$$

$$G_{\text{Г}} = 1,179 * 1700 * 9,81 = 19662 \text{ Н}.$$

Об'єм призми волочіння ґрунту:

$$V_{\text{ПР}} = b_{\text{В}} H_{\text{В}}^2 / 2k, \text{ м}^3;$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

$$\frac{2,17 \cdot 0,5^2}{2 \cdot 0,23} = 1,179 \text{ м}^3.$$

Опір від тертя ґрунту по відвалу:

$$P_{\text{ТГВ}} = \mu_2 (G_{\text{ГН}} + F_{\text{ТН}}), \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТГВ}} = 0,4 \cdot (11278 + 14495) = 10309 \text{ Н}.$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова сили тяжіння призми волочіння ґрунту:

$$G_{\text{ГН}} = G_{\text{Г}} \cos(\alpha_{\text{Н}} - \alpha_{\text{НЗ}}) \text{ Н};$$

$$G_{\text{ГН}} = 19662 \cdot 0,5736 = 11278 \text{ Н}.$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова опору сили тертя призми волочіння по поверхні ґрунту:

$$F_{\text{ТН}} = P_{\text{ТПР}} \sin \alpha_{\text{Н}}, \text{ Н};$$

$$F_{\text{ТН}} = 17696 \cdot 0,8191 = 14495 \text{ Н}.$$

Опір від тертя ножової системи по ґрунту:

$$P_{\text{ТНГ}} = \mu_2 P_{02}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТНГ}} = 0,4 \cdot 4882 = 1953 \text{ Н}.$$

Опір руху трактора:

$$P_{\text{Т}} = P_{\text{КОЧ}} + P_{\text{В}}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{Т}} = 4002 + 789 = 4791 \text{ Н}.$$

Опір коченню ходового обладнання трактора:

$$P_{\text{КОЧ}} = G_{\text{Б}} f, \text{ Н};$$

$$P_{\text{КОЧ}} = 40025 \cdot 0,1 = 4002 \text{ Н}.$$

Опір від вітрового навантаження:

$$P_{\text{В}} = p_{\text{В}} A_{\text{В}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} B_{\text{М}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} (0,6 \dots 0,7) B, \text{ Н};$$

$$P_{\text{В}} = 200 \cdot 2,45 \cdot 1,61 = 789 \text{ Н}.$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3.2. Komatsu D65E-12, 3 категорія ґрунту

Умова руху бульдозера:

$$T_{зчд} \geq T_N \geq \sum_{i=1}^n P_i;$$

$$372560 \text{ Н} = 372560 \text{ Н} = 372560 \text{ Н}.$$

Динамічна сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зчд} = T_{зч} k_d, \text{ Н};$$

$$T_{зчд} = 186280 * 2 = 372560 \text{ Н}.$$

Статична сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зч} = G_{зч} \phi_{зч}, \text{ Н};$$

$$T_{зч} = 232850 * 0,8 = 186280 \text{ Н}.$$

Зчіпна вага машини:

$$G_{зч} = G_B = mg, \text{ Н};$$

$$G_{зч} = G_B = 23736 * 9,81 = 232850 \text{ Н}.$$

Сумарна маса бульдозера:

$$m = m_T + m_{BO} = 19780 + 3956 = 23736 \text{ кг}.$$

Сила тяги бульдозера за двигуном:

$$T_{N_2} = N_2 / \vartheta_2, \text{ Н};$$

$$T_{N_2} = \frac{112531}{1,111} = 101288 \text{ Н}.$$

Потужність на привідній зірочці гусеничного ходу:

$$N_2 = N_1 \eta_{\text{МЕХ}}, \text{ Вт};$$

$$N_2 = 132390 * 0,85 = 112531 \text{ Вт}.$$

Визначаємо товщину стружки копання ґрунту бульдозером з новим двигуном.

Сумарний опір руху машини у навантаженому робочому стані:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{BO} + P_T, \text{ Н};$$

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + P_{\text{ТПР}} + P_{\text{ТГВ}} + 0,4 * 0,2 P_{01} + P_T = T_{N_2} = T_{зчд} = 372560 \text{ Н}.$$

Усі складові рівняння (2.7) виразимо через P_{01} .

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + 90247 + 52576 + 0,4 * 0,2 P_{01} + 25139 = 372560 \text{ Н.}$$

Звідси:

$$1,28P_{01} = 204598 \text{ Н;}$$

$$P_{01} = 159842 \text{ Н.}$$

Дотична складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{01} = k_{\text{пит}} A_{\text{стр}}, \text{ Н;}$$

Звідси:

$$A_{\text{стр}} = \frac{P_{01}}{k_{\text{пит}}} = \frac{159842}{300000} = 0,53 \text{ м}^2.$$

Площа поперечного перерізу стружки ґрунту:

$$A_{\text{стр}} = b_{\text{В}} h_{\text{стр}}, \text{ м}^2.$$

Звідси:

$$h_{\text{стр}} = \frac{A_{\text{стр}}}{b_{\text{В}}} = \frac{0,53}{3,46} = 0,154 \text{ м.}$$

Нормальна складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{02} = (0,1 \dots 0,2) P_{01} = [\sigma_{\text{ЗМ}}] A_{\text{ЗМ}}, \text{ Н;}$$

$$P_{02} = 0,2 * 159842 = 31968 \text{ Н.}$$

Площа проекції лобової поверхні ножа на горизонтальну площину:

$$A_{\text{ЗМ}} = \frac{P_{02}}{[\sigma_{\text{ЗМ}}]}, \text{ м;}$$

$$A_{\text{ЗМ}} = \frac{31968}{240000} = 0,133 \text{ м.}$$

Звідси:

$$l_{\text{Н}} = \frac{A_{\text{ЗМ}}}{b_{\text{В}} * \cos \alpha_{\text{Н}}}, \text{ м;}$$

$$l_{\text{Н}} = \frac{0,133}{3,46 * 0,5736} = 0,067 \text{ м.}$$

Опір від тертя ґрунтової призми по ґрунту:

$$P_{\text{ТПР}} = \mu_1 G_{\text{Г}}, \text{ Н;}$$

$$P_{\text{ТПР}} = 0,9 * 100275 = 90247 \text{ Н.}$$

Вага призми волочіння ґрунту знаходиться з виразу:

$$G_{\text{Г}} = V_{\text{ПР}} \gamma_{\text{ГР}} g, \text{ Н;}$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

$$G_{\Gamma} = 6,013 * 1700 * 9,81 = 100275 \text{ Н.}$$

Об'єм призми волочіння ґрунту:

$$V_{\text{ПР}} = b_{\text{В}} H_{\text{В}}^2 / 2k, \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{ПР}} = \frac{3,46 * 1,425^2}{2 * 0,41} = 6,013 \text{ м}^3.$$

Опір від тертя ґрунту по відвалу:

$$P_{\text{ТГВ}} = \mu_2 (G_{\text{ГН}} + F_{\text{ТН}}), \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТГВ}} = 0,4 * (57517 + 73922) = 52576 \text{ Н.}$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова сили тяжіння призми волочіння ґрунту:

$$G_{\text{ГН}} = G_{\Gamma} \cos(\alpha_{\text{Н}} - \alpha_{\text{НЗ}}) \text{ Н};$$

$$G_{\text{ГН}} = 100275 * 0,5736 = 57517 \text{ Н.}$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова опору сили тертя призми волочіння по поверхні ґрунту:

$$F_{\text{ТН}} = P_{\text{ПР}} \sin \alpha_{\text{Н}}, \text{ Н};$$

$$F_{\text{ТН}} = 90247 * 0,8191 = 73922 \text{ Н,}$$

Опір руху трактора:

$$P_{\text{Т}} = P_{\text{КОЧ}} + P_{\text{В}}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{Т}} = 23285 + 1854 = 25139 \text{ Н.}$$

Опір коченню ходового обладнання трактора:

$$P_{\text{КОЧ}} = G_{\text{Б}} f, \text{ Н};$$

$$P_{\text{КОЧ}} = 232850 * 0,1 = 23285 \text{ Н.}$$

Опір від вітрового навантаження:

$$P_{\text{В}} = p_{\text{В}} A_{\text{В}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} B_{\text{М}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} (0,6 \dots 0,7) B, \text{ Н};$$

$$P_{\text{В}} = 200 * 3,165 * 2,93 = 1854 \text{ Н.}$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

2.3.3. Komatsu D155A-5, 3 категорія ґрунту

Умова руху бульдозера:

$$T_{зчд} \geq T_N \geq \sum_{i=1}^n P_i;$$

$$607435 \text{ Н} = 607435 \text{ Н} = 607435 \text{ Н}.$$

Динамічну силу тяги бульдозера за зчепленням можна знайти за формулою:

$$T_{зчд} = T_{зч} k_d, \text{ Н};$$

$$T_{зчд} = 303718 * 2 = 607435 \text{ Н}.$$

Статична сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зч} = G_{зч} \phi_{зч}, \text{ Н};$$

$$T_{зч} = 379647 * 0,8 = 303718 \text{ Н}.$$

Зчіпна вага бульдозера:

$$G_{зч} = G_B = mg, \text{ Н};$$

$$G_{зч} = G_B = 38700 * 9,81 = 379647 \text{ Н}.$$

Сумарна маса бульдозера:

$$m = m_T + m_{БО};$$

$$m = 27900 + 10800 = 38700 \text{ кг}.$$

Сила тяги бульдозера за двигуном:

$$T_{N_2} = \frac{N_2}{\vartheta_2} = \frac{191250}{1,111} = 172142 \text{ Н}.$$

Потужність на привідній зірочці гусеничного ходу:

$$N_2 = N_1 \eta_{\text{МЕХ}}, \text{ Вт};$$

$$N_2 = 225000 * 0,85 = 191250 \text{ Вт}.$$

Визначаємо товщину стружки копання ґрунту бульдозером з новим двигуном.

Сумарний опір руху машини у навантаженому робочому стані:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{БО} + P_T, \text{ Н};$$

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + P_{\text{ТПР}} + P_{\text{ТГВ}} + 0,4 * 0,2 P_{01} + P_T = T_{N_2} = T_{зчд} = 607435 \text{ Н}.$$

Усі складові рівняння (2.7) виразимо через P_{01} .

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + 204126 + 118918 + 0,4 * 0,2 P_{01} + 40065 = 607435 \text{ Н}.$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Звідси:

$$1,28P_{01} = 244326 \text{ Н};$$

$$P_{01} = 190880 \text{ Н}.$$

Дотична складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{01} = k_{\text{пит}} A_{\text{стр}}, \text{ Н}.$$

Звідси:

$$A_{\text{стр}} = \frac{P_{01}}{k_{\text{пит}}} = \frac{190880}{300000} = 0,64 \text{ м}^2.$$

Площа поперечного перерізу стружки ґрунту:

$$A_{\text{стр}} = b_{\text{В}} h_{\text{стр}}, \text{ м}^2;$$

Звідси:

$$h_{\text{стр}} = \frac{A_{\text{стр}}}{b_{\text{В}}} = \frac{0,64}{3,955} = 0,16 \text{ м}.$$

Нормальна складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{02} = (0,1 \dots 0,2) P_{01} = [\sigma_{3\text{М}}] A_{3\text{М}}, \text{ Н};$$

$$P_{02} = 0,2 * 190880 = 38176 \text{ Н}.$$

Площа проекції лобової поверхні ножа на горизонтальну площину:

$$A_{3\text{М}} = \frac{P_{02}}{[\sigma_{3\text{М}}]}, \text{ м};$$

$$A_{3\text{М}} = \frac{38176}{240000} = 0,159 \text{ м}.$$

Звідси:

$$l_{\text{Н}} = \frac{A_{3\text{М}}}{b_{\text{В}} * \cos \alpha_{\text{Н}}}, \text{ м};$$

$$l_{\text{Н}} = \frac{0,159}{3,955 * 0,5736} = 0,07 \text{ м}.$$

Опір від тертя ґрунтової призми по ґрунту:

$$P_{\text{ТПР}} = \mu_1 G_{\text{Г}}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТПР}} = 0,9 * 226807 = 204126 \text{ Н}.$$

Вага призми волочіння ґрунту знаходиться з виразу:

$$G_{\text{Г}} = V_{\text{ПР}} \gamma_{\text{ГР}} g, \text{ Н};$$

$$G_{\text{Г}} = 13,6 * 1700 * 9,81 = 226807 \text{ Н}.$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Об'єм призми волочіння ґрунту:

$$V_{\text{ПР}} = b_B H_B^2 / 2k, \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{ПР}} = \frac{3,955 \cdot 1,72^2}{2 \cdot 0,43} = 13,6 \text{ м}^3.$$

Опір від тертя ґрунту по відвалу:

$$P_{\text{ТГВ}} = \mu_2 (G_{\text{ГН}} + F_{\text{ТН}}), \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТГВ}} = 0,4 \cdot (130096 + 167200) = 118918 \text{ Н}.$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова сили тяжіння призми волочіння ґрунту:

$$G_{\text{ГН}} = G_{\text{Г}} \cos(\alpha_{\text{Н}} - \alpha_{\text{НЗ}}) \text{ Н};$$

$$G_{\text{ГН}} = 226807 \cdot 0,5736 = 130096 \text{ Н}.$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова опору сили тертя призми волочіння по поверхні ґрунту:

$$F_{\text{ТН}} = P_{\text{ПР}} \sin \alpha_{\text{Н}}, \text{ Н};$$

$$F_{\text{ТН}} = 204126 \cdot 0,8191 = 167200 \text{ Н},$$

Опір від тертя ножової системи по ґрунту:

$$P_{\text{ТНГ}} = \mu_2 P_{02}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТНГ}} = 0,4 \cdot 38176 = 15270 \text{ Н}.$$

Опір руху трактора:

$$P_{\text{Г}} = P_{\text{КОЧ}} + P_{\text{В}} = 37965 + 2100 = 40065 \text{ Н}.$$

Опір коченню ходового обладнання трактора:

$$P_{\text{КОЧ}} = G_{\text{Б}} f, \text{ Н};$$

$$P_{\text{КОЧ}} = 379647 \cdot 0,1 = 37965 \text{ Н}.$$

Опір від вітрового навантаження:

$$P_{\text{В}} = p_{\text{В}} A_{\text{В}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} B_{\text{М}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} (0,6 \dots 0,7) B, \text{ Н};$$

$$P_{\text{В}} = 200 \cdot 3,5 \cdot 3 = 2100 \text{ Н}.$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

2.3.4. Komatsu D375A-2, 3 категорія ґрунту

Умова руху бульдозера:

$$T_{зчд} \geq T_N \geq \sum_{i=1}^n P_i;$$

$$1012392 \text{ Н} > 1012392 \text{ Н} = 1012392 \text{ Н}.$$

Динамічну силу тяги бульдозера за зчепленням можна знайти за формулою:

$$T_{зчд} = T_{зч} k_d, \text{ Н};$$

$$T_{зчд} = 506196 * 2 = 1012392 \text{ Н}.$$

Статична сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зч} = G_{зч} \phi_{зч}, \text{ Н};$$

$$T_{зч} = 632745 * 0,8 = 506196 \text{ Н}.$$

Зчіпна вага бульдозера:

$$G_{зч} = G_B = mg, \text{ Н};$$

$$G_{зч} = G_B = 64500 * 9,81 = 632745 \text{ Н}.$$

Сумарна маса бульдозера:

$$m = m_T + m_{BO};$$

$$m = 47500 + 17000 = 64500 \text{ кг}.$$

Сила тяги бульдозера за двигуном:

$$T_{N_2} = N_2 / \vartheta_2, \text{ Н};$$

$$T_{N_2} = \frac{337365}{1,111} = 303659 \text{ Н}.$$

Потужність на привідній зірочці гусеничного ходу:

$$N_2 = N_1 \eta_{\text{МЕХ}}, \text{ Вт};$$

$$N_2 = 396900 * 0,85 = 337365 \text{ Вт}.$$

Визначаємо товщину стружки копання ґрунту бульдозером з новим двигуном.

Сумарний опір руху машини у навантаженому робочому стані:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{BO} + P_T, \text{ Н};$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + P_{ТПР} + P_{ТГВ} + 0,4 * 0,2 P_{01} + P_T = T_{N_2} = T_{ЗчД} = 1012392 \text{ Н.}$$

Усі складові рівняння (2.7) виразимо через P_{01} .

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + 362192 + 210748 + 0,4 * 0,2 P_{01} + 66802 = 1012392 \text{ Н.}$$

Звідси:

$$1,28P_{01} = 372650 \text{ Н;}$$

$$P_{01} = 291133 \text{ Н.}$$

Дотична складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{01} = k_{\text{пит}} A_{\text{стр}}, \text{ Н.}$$

Звідси:

$$A_{\text{стр}} = \frac{P_{01}}{k_{\text{пит}}} = \frac{291133}{300000} = 0,97 \text{ м}^2.$$

Площа поперечного перерізу стружки ґрунту:

$$A_{\text{стр}} = b_{\text{В}} h_{\text{стр}}, \text{ м}^2;$$

Звідси:

$$h_{\text{стр}} = \frac{A_{\text{стр}}}{b_{\text{В}}} = \frac{0,97}{4,695} = 0,207 \text{ м.}$$

Нормальна складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{02} = (0,1 \dots 0,2) P_{01} = [\sigma_{\text{ЗМ}}] A_{\text{ЗМ}}, \text{ Н;}$$

$$P_{02} = 0,2 * 291133 = 58227 \text{ Н.}$$

Площа проекції лобової поверхні ножа на горизонтальну площину:

$$A_{\text{ЗМ}} = \frac{P_{02}}{[\sigma_{\text{ЗМ}}]}, \text{ м;}$$

$$A_{\text{ЗМ}} = \frac{58227}{240000} = 0,243 \text{ м.}$$

Звідси:

$$l_{\text{Н}} = \frac{A_{\text{ЗМ}}}{b_{\text{В}} * \cos \alpha_{\text{Н}}}, \text{ м;}$$

$$l_{\text{Н}} = \frac{0,243}{4,695 * 0,5736} = 0,09 \text{ м.}$$

Опір від тертя ґрунтової призми по ґрунту:

$$P_{\text{ТПР}} = \mu_1 G_{\text{Г}}, \text{ Н;}$$

$$P_{\text{ТПР}} = 0,9 * 401324 = 362192 \text{ Н.}$$

Вага призми волочіння ґрунту знаходиться з виразу:

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

$$G_{\Gamma} = V_{\text{ПР}} \gamma_{\text{ГР}} g, \text{ Н};$$

$$G_{\Gamma} = 24,06 * 1700 * 9,81 = 401324 \text{ Н.}$$

Об'єм призми волочіння ґрунту:

$$V_{\text{ПР}} = b_{\text{В}} H_{\text{В}}^2 / 2k, \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{ПР}} = \frac{4,695 * 2,195^2}{2 * 0,47} = 24,06 \text{ м}^3.$$

Опір від тертя ґрунту по відвалу:

$$P_{\text{ТГВ}} = \mu_2 (G_{\text{ГН}} + F_{\text{ТН}}), \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТГВ}} = 0,4 * (230199 + 296671) = 210748 \text{ Н.}$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова сили тяжіння призми волочіння ґрунту:

$$G_{\text{ГН}} = G_{\Gamma} \cos(\alpha_{\text{Н}} - \alpha_{\text{НЗ}}) \text{ Н};$$

$$G_{\text{ГН}} = 401324 * 0,5736 = 230199 \text{ Н.}$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова опору сили тертя призми волочіння по поверхні ґрунту:

$$F_{\text{ТН}} = P_{\text{ПР}} \sin \alpha_{\text{Н}}, \text{ Н};$$

$$F_{\text{ТН}} = 362192 * 0,8191 = 296671 \text{ Н.}$$

Опір від тертя ножової системи по ґрунту:

$$P_{\text{ТНГ}} = \mu_2 P_{02}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТНГ}} = 0,4 * 58227 = 23291 \text{ Н.}$$

Опір руху трактора:

$$P_{\text{Т}} = P_{\text{КОЧ}} + P_{\text{В}} = 63724 + 3078 = 66802 \text{ Н.}$$

Опір коченню ходового обладнання трактора:

$$P_{\text{КОЧ}} = G_{\text{Б}} f, \text{ Н};$$

$$P_{\text{КОЧ}} = 632745 * 0,1 = 63724 \text{ Н.}$$

Опір від вітрового навантаження:

$$P_{\text{В}} = p_{\text{В}} A_{\text{В}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} B_{\text{М}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} (0,6 \dots 0,7) B, \text{ Н};$$

$$P_{\text{В}} = 200 * 4,335 * 3,55 = 3078 \text{ Н.}$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Таблиця 2.12

Прийняті значення коефіцієнтів і параметрів для ґрунту третьої категорії

$\phi_{зч}$	f	μ_1	μ_2	$\gamma_{ГР},$ кг/м ³	$[\sigma_{зМ}],$ Па	$p_B,$ Па
0,8	0,1	0,9	0,4	1700	240000	200

Таблиця 2.13

Вихідні розрахункові дані для ґрунту третьої категорії

Марка бульдозера	$m_T, \text{т}$	$m_B, \text{т}$	$b_B, \text{м}$	$H_B, \text{м}$	H/b	$h_{СТР},$ м	$H_M, \text{м}$	$B_K, \text{м}$	$V_{ПР}, \text{м}^3$	$G_T, \text{Н}$
Комatsu D21A-7	3,64	4,08	1,61	0,5	0,23	0,037	2,45	1,31	1,179	19662
Комatsu D65E-12	19,78	28,736	3,46	1,425	0,41	0,154	3,165	2,05	6,013	100275
Комatsu D155A-5	27,9	38,7	3,955	1,720	0,43	0,16	3,5	2,1	13,6	226807
Комatsu D375A-2	47,5	64,5	4,695	2,195	0,47	0,207	4,335	2,5	24,06	401324

Таблиця 2.14

Розраховані значення питомих опорів для ґрунту третьої категорії

Марка бульдозера	$P_{ТПР}, \text{Н}$	$P_{ТВ}, \text{Н}$	$P_{ЗАТ}, \text{Н}$	$P_{КОЧ}, \text{Н}$	$P_B, \text{Н}$
Комatsu D21A-7	17696	10309	0	4002	789
Комatsu D65E-12	90247	52576	0	23285	1854
Комatsu D155A-5	204126	118918	0	37965	2100
Комatsu D375A-2	362192	210748	0	63724	3078

					ДІП.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Таблиця 2.15

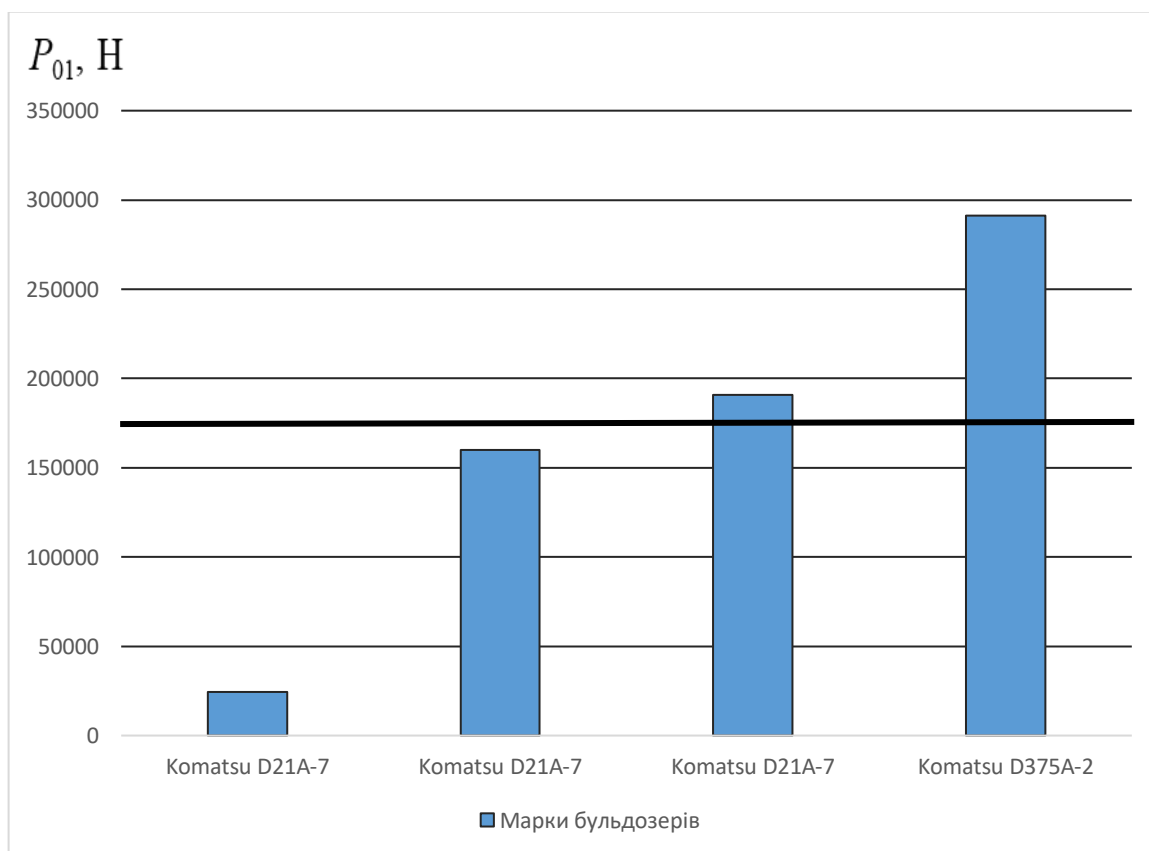
Розраховані значення $T_{зч}$, P_{01} , k_{nut} для ґрунту третьої категорії

Марка бульдозера	Бульдозер		
	$T_{зч}$, Н	P_{01} , Н	k_{nut} , МПа
Комatsu D21A-7	32020	24409	0,3
Комatsu D65E-12	186280	159842	0,3
Комatsu D155A-5	303718	190880	0,3
Комatsu D375A-2	506196	291133	0,3

Таблиця 2.16

Енергоємність роботи машини для ґрунту третьої категорії

Марка бульдозера	Бульдозер	
	$\frac{P_{01}}{G_T}$	$\frac{P_{01}}{V_{ПП}}$
Комatsu D21A-7	1,24	20703
Комatsu D65E-12	1,59	26583
Комatsu D155A-5	0,84	14035
Комatsu D375A-2	0,72	12100

Рис. 2.9. Діаграма залежності P_{01} від марки бульдозерів, 3 категорія ґрунту

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІПТ.630000.308.МРПЗ

Арк.

76

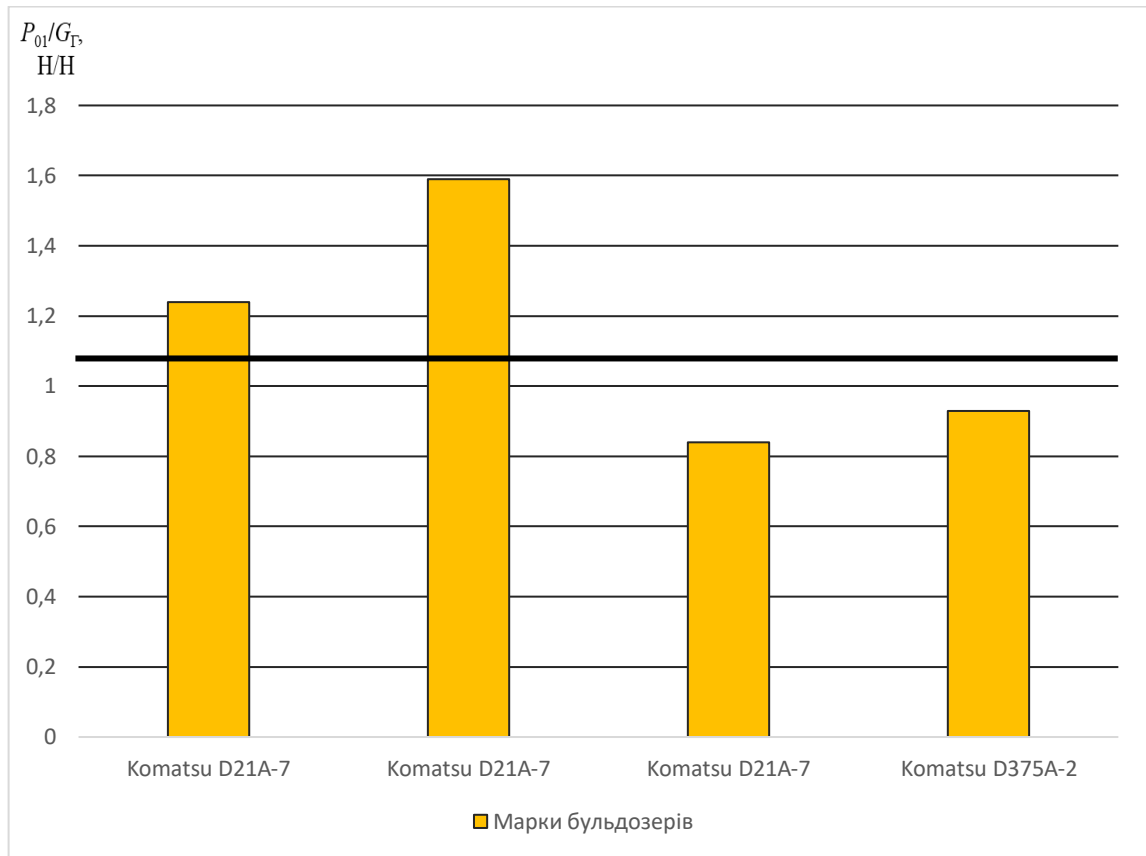


Рис. 2.10. Діаграма залежності $\frac{P_{01}}{G_{Г}}$ від марки машини, 3 категорія ґрунту

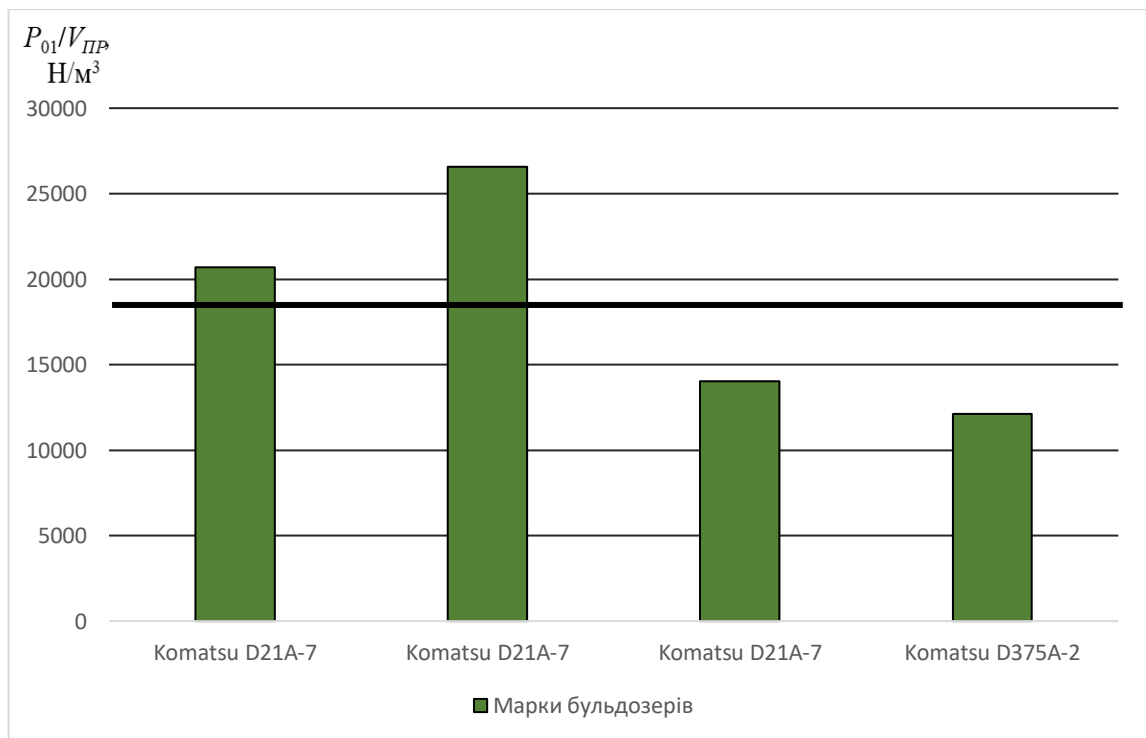


Рис. 2.11. Діаграма залежності $\frac{P_{01}}{V_{ПП}}$ від марки машини, 3 категорія ґрунту

2.4. Обґрунтування розробки математичних моделей

2.4.1. Komatsu D21A-7, 4 категорія ґрунту

Умова руху бульдозера:

$$T_{зчд} \geq T_N \geq \sum_{i=1}^n P_i;$$

$$64040 \text{ Н} > 64040 \text{ Н} = 64040 \text{ Н}.$$

Динамічна сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зчд} = T_{зч} k_d, \text{ Н};$$

$$T_{зчд} = 32020 * 2 = 64040 \text{ Н}.$$

Статична сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зч} = G_{зч} \phi_{зч}, \text{ Н};$$

$$T_{зч} = 40025 * 0,8 = 32020 \text{ Н}.$$

Зчіпна вага бульдозера:

$$G_{зч} = G_B = mg, \text{ Н};$$

$$G_{зч} = G_B = 4080 * 9,81 = 40025.$$

Сумарна маса бульдозера:

$$m = m_T + m_{BO};$$

$$m = 3640 + 440 = 4080 \text{ кг}.$$

Сила тяги бульдозера за двигуном:

$$T_{N_2} = N_2 / \vartheta_2, \text{ Н};$$

$$T_{N_2} = \frac{25330}{1,111} = 22799 \text{ Н}.$$

Потужність на привідній зірочці гусеничного ходу:

$$N_2 = N_1 \eta_{\text{МЕХ}}, \text{ Вт};$$

$$N_2 = 29800 * 0,85 = 25330 \text{ Вт}.$$

Визначаємо товщину стружки копання ґрунту бульдозером з новим двигуном.

Сумарний опір руху машини у навантаженому робочому стані:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{BO} + P_T, \text{ Н};$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + P_{ТПР} + P_{ТГВ} + 0,4 * 0,2 P_{01} + P_T = T_{N_2} = T_{ЗЧД} = 64040 \text{ Н.}$$

Усі складові рівняння (2.7) виразимо через P_{01} .

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + 17696 + 10309 + 0,4 * 0,2 P_{01} + 4791 = 64040 \text{ Н.}$$

Звідси:

$$1,28P_{01} = 31244 \text{ Н;}$$

$$P_{01} = 24409 \text{ Н.}$$

Дотична складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{01} = k_{\text{пит}} A_{\text{стр}}, \text{ Н;}$$

Звідси:

$$A_{\text{стр}} = \frac{P_{01}}{k_{\text{пит}}} = \frac{24409}{400000} = 0,061 \text{ м}^2.$$

Площа поперечного перерізу стружки ґрунту:

$$A_{\text{стр}} = b_{\text{В}} h_{\text{стр}}, \text{ м}^2;$$

Звідси:

$$h_{\text{стр}} = \frac{A_{\text{стр}}}{b_{\text{В}}} = \frac{0,06}{2,17} = 0,028 \text{ м.}$$

Нормальна складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{02} = (0,1 \dots 0,2) P_{01} = [\sigma_{\text{ЗМ}}] A_{\text{ЗМ}}, \text{ Н;}$$

$$P_{02} = 0,2 * 24409 = 4882 \text{ Н.}$$

Площа проекції лобової поверхні ножа на горизонтальну площину:

$$A_{\text{ЗМ}} = \frac{P_{02}}{[\sigma_{\text{ЗМ}}]}, \text{ м;}$$

$$A_{\text{ЗМ}} = \frac{4882}{320000} = 0,015 \text{ м.}$$

Звідси:

$$l_{\text{Н}} = \frac{A_{\text{ЗМ}}}{b_{\text{В}} * \cos \alpha_{\text{Н}}}, \text{ м;}$$

$$l_{\text{Н}} = \frac{0,015}{2,17 * 0,5736} = 0,012 \text{ м.}$$

Опір від тертя ґрунтової призми по ґрунту:

$$P_{\text{ТПР}} = \mu_1 G_{\text{Г}}, \text{ Н;}$$

$$P_{\text{ТПР}} = 0,9 * 19662 = 17696 \text{ Н.}$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Вага призми волочіння ґрунту знаходиться з виразу:

$$G_{\Gamma} = V_{\text{ПР}} \gamma_{\text{ГР}} g, \text{ Н};$$

$$G_{\Gamma} = 1,179 * 1700 * 9,81 = 19662 \text{ Н.}$$

Об'єм призми волочіння ґрунту:

$$V_{\text{ПР}} = b_{\text{В}} H_{\text{В}}^2 / 2k, \text{ м}^3;$$

$$\frac{2,17 * 0,5^2}{2 * 0,23} = 1,179 \text{ м}^3.$$

Опір від тертя ґрунту по відвалу:

$$P_{\text{ТГВ}} = \mu_2 (G_{\text{ГН}} + F_{\text{ТН}}), \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТГВ}} = 0,4 * (11278 + 14495) = 10309 \text{ Н.}$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова сили тяжіння призми волочіння ґрунту:

$$G_{\text{ГН}} = G_{\Gamma} \cos(\alpha_{\text{Н}} - \alpha_{\text{НЗ}}) \text{ Н};$$

$$G_{\text{ГН}} = 19662 * 0,5736 = 11278 \text{ Н.}$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова опору сили тертя призми волочіння по поверхні ґрунту:

$$F_{\text{ТН}} = P_{\text{ПР}} \sin \alpha_{\text{Н}}, \text{ Н};$$

$$F_{\text{ТН}} = 17696 * 0,8191 = 14495 \text{ Н.}$$

Опір від тертя ножової системи по ґрунту:

$$P_{\text{ТНГ}} = \mu_2 P_{02}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТНГ}} = 0,4 * 4882 = 1953 \text{ Н.}$$

Опір руху трактора:

$$P_{\text{Т}} = P_{\text{КОЧ}} + P_{\text{В}}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{Т}} = 4002 + 789 = 4791 \text{ Н.}$$

Опір коченню ходового обладнання трактора:

$$P_{\text{КОЧ}} = G_{\text{Б}} f, \text{ Н};$$

$$P_{\text{КОЧ}} = 40025 * 0,1 = 4002 .$$

Опір від вітрового навантаження:

$$P_{\text{В}} = p_{\text{В}} A_{\text{В}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} B_{\text{М}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} (0,6 \dots 0,7) \text{ В} = 200 * 2,45 * 1,61 = 789 \text{ Н.}$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

2.4.2. Komatsu D65E-12, 4 категорія ґрунту

Умова руху бульдозера:

$$T_{зчд} \geq T_N \geq \sum_{i=1}^n P_i;$$

$$372560 \text{ Н} = 372560 \text{ Н} = 372560 \text{ Н}.$$

Динамічна сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зчд} = T_{зч} k_d, \text{ Н};$$

$$T_{зчд} = 186280 * 2 = 372560 \text{ Н}.$$

Статична сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зч} = G_{зч} \phi_{зч}, \text{ Н};$$

$$T_{зч} = 232850 * 0,8 = 186280 \text{ Н}.$$

Зчіпна вага машини:

$$G_{зч} = G_B = mg, \text{ Н};$$

$$G_{зч} = G_B = 23736 * 9,81 = 232850 \text{ Н}.$$

Сумарна маса бульдозера:

$$m = m_T + m_{BO};$$

$$m = 19780 + 3956 = 23736 \text{ кг}.$$

Сила тяги бульдозера за двигуном:

$$T_{N_2} = N_2 / \vartheta_2, \text{ Н};$$

$$T_{N_2} = \frac{112531}{1,111} = 101288 \text{ Н}.$$

Потужність на привідній зірочці гусеничного ходу:

$$N_2 = N_1 \eta_{\text{МЕХ}}, \text{ Вт};$$

$$N_2 = 132390 * 0,85 = 112531 \text{ Вт}.$$

Визначаємо товщину стружки копання ґрунту бульдозером з новим двигуном.

Сумарний опір руху машини у навантаженому робочому стані:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{BO} + P_T, \text{ Н};$$

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + P_{ТПР} + P_{ТГВ} + 0,4 * 0,2 P_{01} + P_T = T_{N_2} = T_{зчд} = 372560 \text{ Н}.$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

Усі складові рівняння (2.7) виразимо через P_{01} .

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + 90247 + 52576 + 0,4 * 0,2 P_{01} + 25139 = 372560 \text{ Н.}$$

Звідси:

$$1,28P_{01} = 204598 \text{ Н;}$$

$$P_{01} = 159842 \text{ Н.}$$

Дотична складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{01} = k_{\text{пит}} A_{\text{стр}}, \text{ Н;}$$

Звідси:

$$A_{\text{стр}} = \frac{P_{01}}{k_{\text{пит}}} = \frac{159842}{400000} = 0,4 \text{ м}^2.$$

Площа поперечного перерізу стружки ґрунту:

$$A_{\text{стр}} = b_{\text{В}} h_{\text{стр}}, \text{ м}^2;$$

Звідси:

$$h_{\text{стр}} = \frac{A_{\text{стр}}}{b_{\text{В}}} = \frac{0,4}{3,46} = 0,115 \text{ м.}$$

Нормальна складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{02} = (0,1 \dots 0,2) P_{01} = [\sigma_{\text{ЗМ}}] A_{\text{ЗМ}}, \text{ Н;}$$

$$P_{02} = 0,2 * 159842 = 31968 \text{ Н.}$$

Площа проекції лобової поверхні ножа на горизонтальну площину:

$$A_{\text{ЗМ}} = \frac{P_{02}}{[\sigma_{\text{ЗМ}}]}, \text{ м;}$$

$$A_{\text{ЗМ}} = \frac{31968}{320000} = 0,1 \text{ м.}$$

Звідси:

$$l_{\text{Н}} = \frac{A_{\text{ЗМ}}}{b_{\text{В}} * \cos \alpha_{\text{Н}}}, \text{ м;}$$

$$l_{\text{Н}} = \frac{0,1}{3,46 * 0,5736} = 0,05 \text{ м.}$$

Опір від тертя ґрунтової призми по ґрунту:

$$P_{\text{ТПР}} = \mu_1 G_{\text{Г}}, \text{ Н;}$$

$$P_{\text{ТПР}} = 0,9 * 100275 = 90247 \text{ Н.}$$

Вага призми волочіння ґрунту знаходиться з виразу:

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

$$G_{\Gamma} = V_{\text{ПР}} \gamma_{\text{ГР}} g, \text{ Н};$$

$$G_{\Gamma} = 6,013 * 1700 * 9,81 = 100275 \text{ Н.}$$

Об'єм призми волочіння ґрунту:

$$V_{\text{ПР}} = b_{\text{В}} H_{\text{В}}^2 / 2k, \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{ПР}} = \frac{3,46 * 1,425^2}{2 * 0,41} = 6,013 \text{ м}^3.$$

Опір від тертя ґрунту по відвалу:

$$P_{\text{ТГВ}} = \mu_2 (G_{\text{ГН}} + F_{\text{ТН}}), \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТГВ}} = 0,4 * (57517 + 73922) = 52576 \text{ Н.}$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова сили тяжіння призми волочіння ґрунту:

$$G_{\text{ГН}} = G_{\Gamma} \cos(\alpha_{\text{Н}} - \alpha_{\text{НЗ}}) \text{ Н};$$

$$G_{\text{ГН}} = 100275 * 0,5736 = 57517 \text{ Н.}$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова опору сили тертя призми волочіння по поверхні ґрунту:

$$F_{\text{ТН}} = P_{\text{ПР}} \sin \alpha_{\text{Н}}, \text{ Н};$$

$$F_{\text{ТН}} = 90247 * 0,8191 = 73922 \text{ Н.}$$

Опір від тертя ножової системи по ґрунту:

$$P_{\text{ТНГ}} = \mu_2 P_{02}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТНГ}} = 0,4 * = \text{ Н.}$$

Опір руху трактора:

$$P_{\text{Т}} = P_{\text{КОЧ}} + P_{\text{В}}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{Т}} = 23285 + 1854 = 25139 \text{ Н.}$$

Опір коченню ходового обладнання трактора:

$$P_{\text{КОЧ}} = G_{\text{Б}} f, \text{ Н};$$

$$P_{\text{КОЧ}} = 232850 * 0,1 = 23285 \text{ Н.}$$

Опір від вітрового навантаження:

$$P_{\text{В}} = p_{\text{В}} A_{\text{В}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} B_{\text{М}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} (0,6 \dots 0,7) B, \text{ Н};$$

$$P_{\text{В}} = 200 * 3,165 * 2,93 = 1854 \text{ Н.}$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

2.4.3. Komatsu D155A-5, 4 категорія ґрунту

Умова руху бульдозера:

$$T_{зчд} \geq T_N \geq \sum_{i=1}^n P_i;$$

$$607435 \text{ Н} = 607435 \text{ Н} = 607435 \text{ Н}.$$

Динамічну силу тяги бульдозера за зчепленням можна знайти за формулою:

$$T_{зчд} = T_{зч} k_d, \text{ Н};$$

$$T_{зчд} = 303718 * 2 = 607435 \text{ Н}.$$

Статична сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зч} = G_{зч} \phi_{зч}, \text{ Н};$$

$$T_{зч} = 379647 * 0,8 = 303718 \text{ Н}.$$

Зчіпна вага бульдозера:

$$G_{зч} = G_B = mg, \text{ Н};$$

$$G_{зч} = G_B = 38700 * 9,81 = 379647 \text{ Н}.$$

Сумарна маса бульдозера:

$$m = m_T + m_{Б0};$$

$$m = 27900 + 10800 = 38700 \text{ кг}.$$

Сила тяги бульдозера за двигуном:

$$T_{N_2} = N_2 / \vartheta_2, \text{ Н};$$

$$T_{N_2} = \frac{191250}{1,111} = 172142 \text{ Н}.$$

Потужність на привідній зірочці гусеничного ходу:

$$N_2 = N_1 \eta_{\text{МЕХ}}, \text{ Вт};$$

$$N_2 = 225000 * 0,85 = 191250 \text{ Вт}.$$

Визначаємо товщину стружки копання ґрунту бульдозером з новим двигуном.

Сумарний опір руху машини у навантаженому робочому стані:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{Б0} + P_T, \text{ Н};$$

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + P_{\text{ТПР}} + P_{\text{ТГВ}} + 0,4 * 0,2 P_{01} + P_T = T_{N_2} = T_{зчд} = 607435 \text{ Н}.$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

Усі складові рівняння (2.7) виразимо через P_{01} .

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + 204126 + 118918 + 0,4 * 0,2 P_{01} + 40065 = 607435 \text{ Н.}$$

Звідси:

$$1,28P_{01} = 244326 \text{ Н;}$$

$$P_{01} = 190880 \text{ Н.}$$

Дотична складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{01} = k_{\text{пит}} A_{\text{стр}}, \text{ Н;}$$

Звідси:

$$A_{\text{стр}} = \frac{P_{01}}{k_{\text{пит}}} = \frac{190880}{400000} = 0,48 \text{ м}^2.$$

Площа поперечного перерізу стружки ґрунту:

$$A_{\text{стр}} = b_{\text{В}} h_{\text{стр}}, \text{ м}^2;$$

Звідси:

$$h_{\text{стр}} = \frac{A_{\text{стр}}}{b_{\text{В}}} = \frac{0,48}{3,955} = 0,12 \text{ м.}$$

Нормальна складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{02} = (0,1 \dots 0,2) P_{01} = [\sigma_{\text{ЗМ}}] A_{\text{ЗМ}}, \text{ Н;}$$

$$P_{02} = 0,2 * 190880 = 38176 \text{ Н.}$$

Площа проекції лобової поверхні ножа на горизонтальну площину:

$$A_{\text{ЗМ}} = \frac{P_{02}}{[\sigma_{\text{ЗМ}}]}, \text{ м;}$$

$$A_{\text{ЗМ}} = \frac{38176}{320000} = 0,12 \text{ м.}$$

Звідси:

$$l_{\text{Н}} = \frac{A_{\text{ЗМ}}}{b_{\text{В}} * \cos \alpha_{\text{Н}}}, \text{ м;}$$

$$l_{\text{Н}} = \frac{0,12}{3,955 * 0,5736} = 0,05 \text{ м.}$$

Опір від тертя ґрунтової призми по ґрунту:

$$P_{\text{ТПР}} = \mu_1 G_{\text{Г}}, \text{ Н;}$$

$$P_{\text{ТПР}} = 0,9 * 226807 = 204126 \text{ Н.}$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

Вага призми волочіння ґрунту знаходиться з виразу:

$$G_{\Gamma} = V_{\text{ПР}} \gamma_{\Gamma\text{P}} g, \text{ Н};$$

$$G_{\Gamma} = 13,6 * 1700 * 9,81 = 226807 \text{ Н.}$$

Об'єм призми волочіння ґрунту:

$$V_{\text{ПР}} = b_{\text{В}} H_{\text{В}}^2 / 2k, \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{ПР}} = \frac{3,955 * 1,72^2}{2 * 0,43} = 13,6 \text{ м}^3.$$

Опір від тертя ґрунту по відвалу:

$$P_{\text{ТГВ}} = \mu_2 (G_{\text{ГН}} + F_{\text{ТН}}), \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТГВ}} = 0,4 * (130096 + 167200) = 118918 \text{ Н.}$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова сили тяжіння призми волочіння ґрунту:

$$G_{\text{ГН}} = G_{\Gamma} \cos(\alpha_{\text{Н}} - \alpha_{\text{НЗ}}) \text{ Н};$$

$$G_{\text{ГН}} = 226807 * 0,5736 = 130096 \text{ Н.}$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова опору сили тертя призми волочіння по поверхні ґрунту:

$$F_{\text{ТН}} = P_{\text{ПР}} \sin \alpha_{\text{Н}}, \text{ Н};$$

$$F_{\text{ТН}} = 204126 * 0,8191 = 167200 \text{ Н.}$$

Опір від тертя ножової системи по ґрунту:

$$P_{\text{ТНГ}} = \mu_2 P_{02}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{ТНГ}} = 0,4 * 38176 = 15270 \text{ Н.}$$

Опір руху трактора:

$$P_{\text{Т}} = P_{\text{КОЧ}} + P_{\text{В}}, \text{ Н};$$

$$P_{\text{Т}} = 37965 + 2100 = 40065 \text{ Н.}$$

Опір коченню ходового обладнання трактора:

$$P_{\text{КОЧ}} = G_{\text{Б}} f, \text{ Н};$$

$$P_{\text{КОЧ}} = 379647 * 0,1 = 37965 \text{ Н.}$$

Опір від вітрового навантаження:

$$P_{\text{В}} = p_{\text{В}} A_{\text{В}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} B_{\text{М}} = p_{\text{В}} H_{\text{М}} (0,6 \dots 0,7) B, \text{ Н};$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

$$P_B = 200 * 3,5 * 3 = 2100 \text{ Н.}$$

2.4.4. Komatsu D375A-2, 4 категория грунту

Умова руху бульдозера:

$$T_{зчд} \geq T_N \geq \sum_{i=1}^n P_i;$$

$$1012392 \text{ Н} > 1012392 \text{ Н} = 1012392 \text{ Н.}$$

Динамічну силу тяги бульдозера за зчепленням можна знайти за формулою:

$$T_{зчд} = T_{зч} k_d, \text{ Н};$$

$$T_{зчд} = 506196 * 2 = 1012392 \text{ Н.}$$

Статична сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зч} = G_{зч} \phi_{зч}, \text{ Н};$$

$$T_{зч} = 632745 * 0,8 = 506196 \text{ Н.}$$

Зчіпна вага бульдозера:

$$G_{зч} = G_B = mg, \text{ Н};$$

$$G_{зч} = G_B = 64500 * 9,81 = 632745 \text{ Н.}$$

Сумарна маса бульдозера:

$$m = m_T + m_{БО};$$

$$m = 47500 + 17000 = 64500 \text{ кг.}$$

Сила тяги бульдозера за двигуном:

$$T_{N_2} = N_2 / \vartheta_2, \text{ Н};$$

$$T_{N_2} = \frac{337365}{1,111} = 303659 \text{ Н.}$$

Потужність на привідній зірочці гусеничного ходу:

$$N_2 = N_1 \eta_{\text{МЕХ}}, \text{ Вт};$$

$$N_2 = 396900 * 0,85 = 337365 \text{ Вт.}$$

Визначаємо товщину стружки копання ґрунту бульдозером з новим двигуном.

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

Сумарний опір руху машини у навантаженому робочому стані:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{\text{Б0}} + P_{\text{T}}, \text{ Н};$$

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + P_{\text{ТПР}} + P_{\text{ТГВ}} + 0,4 * 0,2 P_{01} + P_{\text{T}} = T_{N_2} = T_{\text{ЗчД}} = 1012392 \text{ Н.}$$

Усі складові рівняння (2.7) виразимо через P_{01} .

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{01} + 0,2P_{01} + 362192 + 210748 + 0,4 * 0,2 P_{01} + 66802 = 1012392 \text{ Н.}$$

Звідси:

$$1,28P_{01} = 372650 \text{ Н};$$

$$P_{01} = 291133 \text{ Н.}$$

Дотична складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{01} = k_{\text{пит}} A_{\text{стр}}, \text{ Н};$$

Звідси:

$$A_{\text{стр}} = \frac{P_{01}}{k_{\text{пит}}} = \frac{291133}{400000} = 0,73 \text{ м}^2.$$

Площа поперечного перерізу стружки ґрунту:

$$A_{\text{стр}} = b_{\text{В}} h_{\text{стр}}, \text{ м}^2;$$

Звідси:

$$h_{\text{стр}} = \frac{A_{\text{стр}}}{b_{\text{В}}} = \frac{0,73}{4,695} = 0,155 \text{ м.}$$

Нормальна складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{02} = (0,1 \dots 0,2) P_{01} = [\sigma_{\text{ЗМ}}] A_{\text{ЗМ}}, \text{ Н};$$

$$P_{02} = 0,2 * 291133 = 58227 \text{ Н.}$$

Площа проекції лобової поверхні ножа на горизонтальну площину:

$$A_{\text{ЗМ}} = \frac{P_{02}}{[\sigma_{\text{ЗМ}}]}, \text{ м};$$

$$A_{\text{ЗМ}} = \frac{58227}{320000} = 0,18 \text{ м.}$$

Звідси:

$$l_{\text{Н}} = \frac{A_{\text{ЗМ}}}{b_{\text{В}} * \cos \alpha_{\text{Н}}}, \text{ м};$$

$$l_{\text{Н}} = \frac{0,18}{4,695 * 0,5736} = 0,07 \text{ м.}$$

Опір від тертя ґрунтової призми по ґрунту:

$$P_{\text{ТПР}} = \mu_1 G_{\text{T}}, \text{ Н};$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

$$P_{ТПР} = 0,9 * 401324 = 362192 \text{ Н.}$$

Вага призми волочіння ґрунту знаходиться з виразу:

$$G_{Г} = V_{ПР} \gamma_{ГР} g, \text{ Н;}$$

$$G_{Г} = 24,06 * 1700 * 9,81 = 401324 \text{ Н.}$$

Об'єм призми волочіння ґрунту:

$$V_{ПР} = b_{В} H_{В}^2 / 2k, \text{ м}^3;$$

$$V_{ПР} = \frac{4,695 * 2,195^2}{2 * 0,47} = 24,06 \text{ м}^3.$$

Опір від тертя ґрунту по відвалу:

$$P_{ТГВ} = \mu_2 (G_{ГН} + F_{ТН}), \text{ Н;}$$

$$P_{ТГВ} = 0,4 * (230199 + 296671) = 210748 \text{ Н.}$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова сили тяжіння призми волочіння ґрунту:

$$G_{ГН} = G_{Г} \cos(\alpha_{Н} - \alpha_{НЗ}) \text{ Н;}$$

$$G_{ГН} = 401324 * 0,5736 = 230199 \text{ Н.}$$

Нормальна до площини передньої грані ножа складова опору сили тертя призми волочіння по поверхні ґрунту:

$$F_{ТН} = P_{ТПР} \sin \alpha_{Н}, \text{ Н;}$$

$$F_{ТН} = 362192 * 0,8191 = 296671 \text{ Н.}$$

Опір від тертя ножової системи по ґрунту:

$$P_{ТНГ} = \mu_2 P_{02}, \text{ Н;}$$

$$P_{ТНГ} = 0,4 * 58227 = 23921 \text{ Н.}$$

Опір руху трактора:

$$P_{Т} = P_{КОЧ} + P_{В}, \text{ Н;}$$

$$P_{Т} = 63724 + 3078 = 66802 \text{ Н.}$$

Опір коченню ходового обладнання трактора:

$$P_{КОЧ} = G_{Б} f, \text{ Н;}$$

$$P_{КОЧ} = 632745 * 0,1 = 63724 \text{ Н.}$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

Опір від вітрового навантаження:

$$P_B = p_B A_B = p_B H_M B_M = p_B H_M (0,6 \dots 0,7) B = 200 * 4,335 * 3,55 = 3078 \text{ Н.}$$

Таблиця 2.17

Прийняті значення коефіцієнтів і параметрів для ґрунту четвертої категорії

$\varphi_{3ч}$	f	μ_1	μ_2	$\gamma_{ГР},$ кг/м ³	$[\sigma_{3М}],$ Па	$p_B,$ Па
0,8	0,1	0,9	0,4	1700	240000	200

Таблиця 2.18

Вихідні розрахункові дані для ґрунту четвертої категорії

Марка бульдозера	$m_T, \text{ Т}$	$m_B, \text{ Т}$	$b_B, \text{ М}$	$H_B, \text{ М}$	H/b	$h_{СТР}, \text{ М}$	$H_M, \text{ М}$	$B_K, \text{ М}$	$V_{ПР}, \text{ М}^3$	$G_T, \text{ Н}$
Комatsu D21A-7	3,64	4,08	1,61	0,5	0,23	0,028	2,45	1,31	1,179	19662
Комatsu D65E-12	19,78	28,736	3,46	1,425	0,41	0,115	3,165	2,05	6,013	100275
Комatsu D155A-5	27,9	38,7	3,955	1,720	0,43	0,12	3,5	2,1	13,6	226807
Комatsu D375A-2	47,5	64,5	4,695	2,195	0,47	0,155	4,335	2,5	24,06	401324

m_T – маса трактора

m_B – сумарна маса бульдозера

Таблиця 2.19

Розраховані значення питомих опорів для ґрунту четвертої категорії

Марка бульдозера	$P_{ПР}, \text{ Н}$	$P_{ТВ}, \text{ Н}$	$P_{ЗАТ}, \text{ Н}$	$P_{КОЧ}, \text{ Н}$	$P_B, \text{ Н}$
Комatsu D21A-7	17696	10309	0	4002	789
Комatsu D65E-12	90247	52576	0	23285	1854
Комatsu D155A-5	204126	118918	0	37965	2100
Комatsu D375A-2	362192	210748	0	63724	3078

Таблиця 2.20

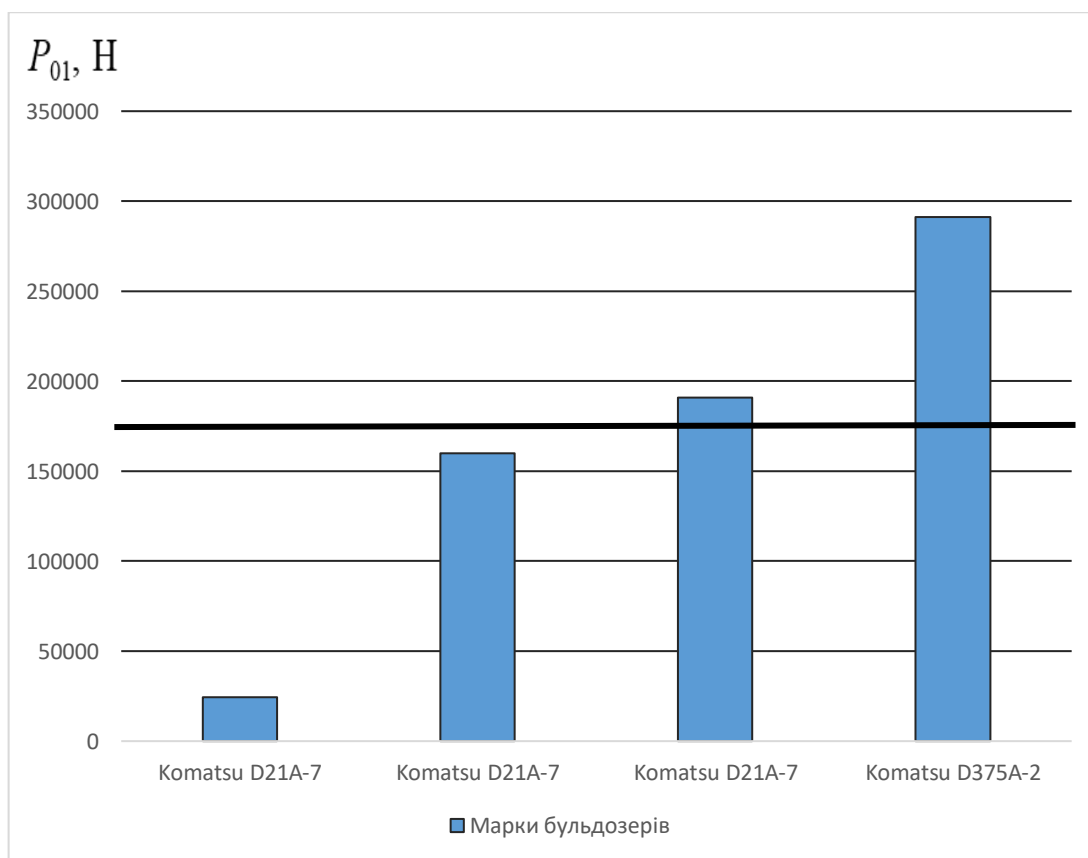
Розраховані значення $T_{зч}$, P_{01} , k_{num} для ґрунту четвертої категорії

Марка бульдозера	Бульдозер		
	$T_{зч}$, Н	P_{01} , Н	k_{num} , МПа
Komatsu D21A-7	32020	24409	0,4
Komatsu D65E-12	186280	159842	0,4
Komatsu D155A-5	303718	190880	0,4
Komatsu D375A-2	506196	291133	0,4

Таблиця 2.21

Енергоємність роботи машини для ґрунту третьої категорії

Марка бульдозера	Бульдозер	
	$\frac{P_{01}}{G_T}$	$\frac{P_{01}}{V_{HP}}$
Komatsu D21A-7	1,24	20703
Komatsu D65E-12	1,59	26583
Komatsu D155A-5	0,84	14035
Komatsu D375A-2	0,72	12100

Рис. 2.12. Діаграма залежності P_{01} від марки бульдозерів, 3 категорія ґрунту

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

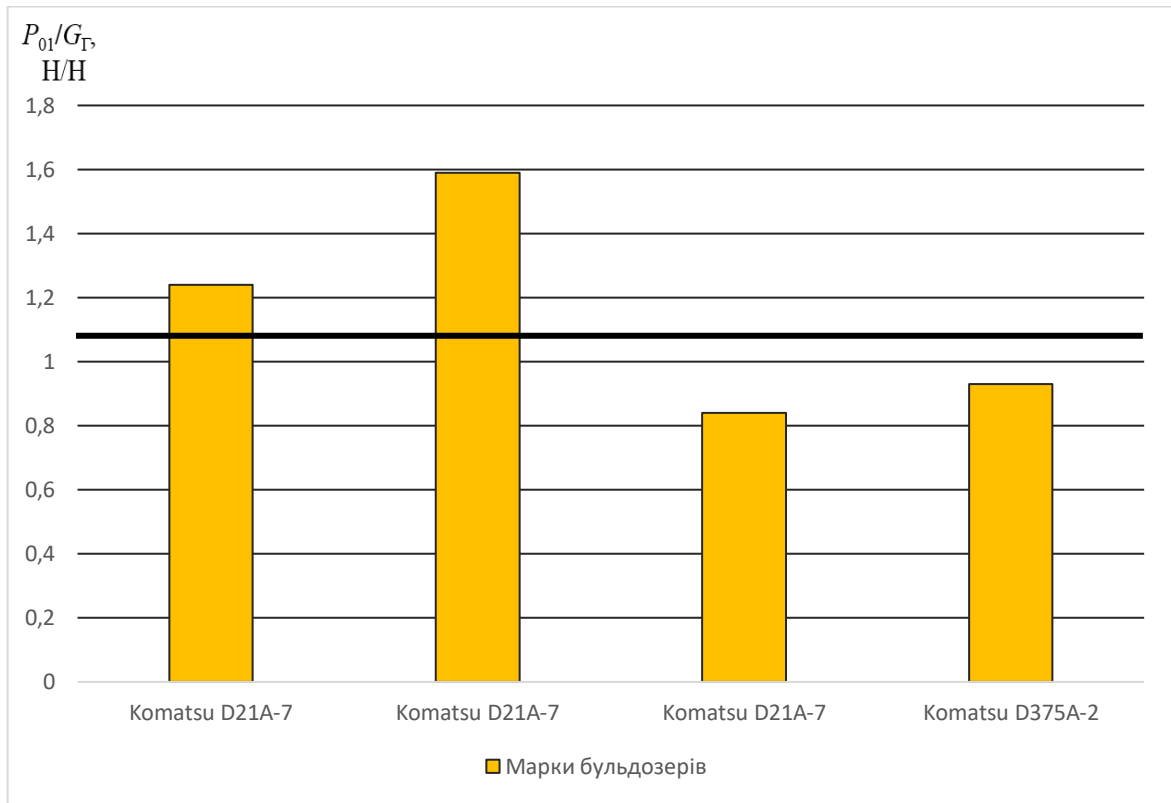


Рис. 2.13. Діаграма залежності $\frac{P_{01}}{G_{Г}}$ від марки машини, 3 категорія ґрунту

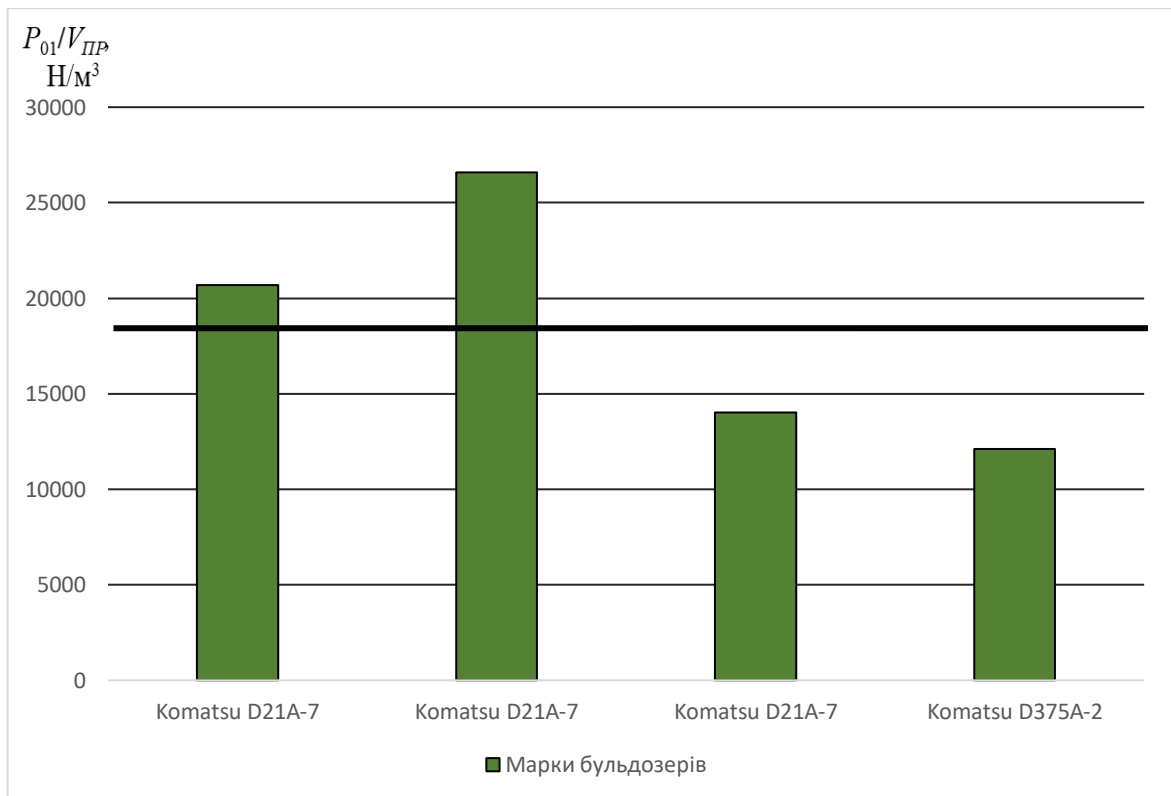


Рис. 2.14. Діаграма залежності $\frac{P_{01}}{V_{ПР}}$ від марки машини, 3 категорія ґрунту

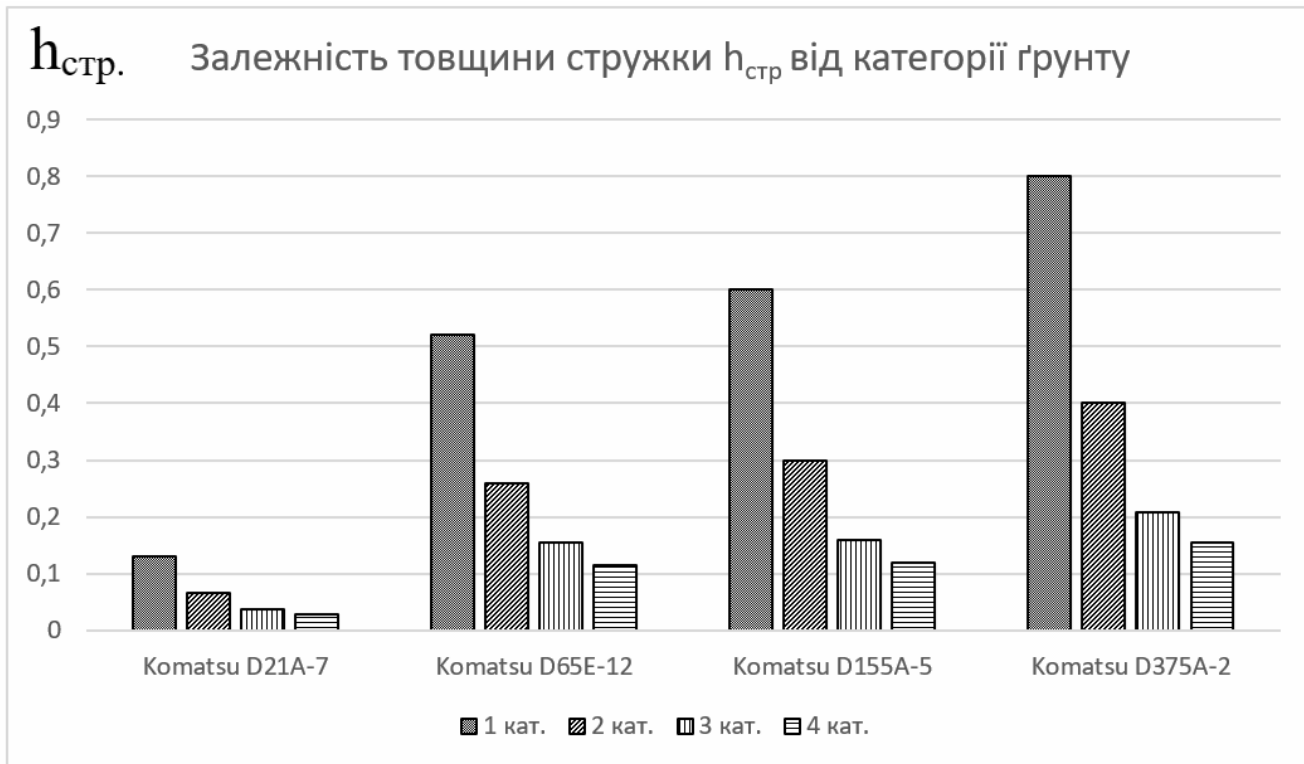


Рис. 2.15. Залежність товщини стружки $h_{стр.}$ від категорії ґрунту

2.5. Висновки за розділом

Через відсутність деяких параметрів доводилося відштовхуватися від того, що сумарний опір копання ґрунту був прирівняний до сили тяги за зчепленням, таким чином створюючи максимально можливі жорсткі умови для роботи бульдозерів.

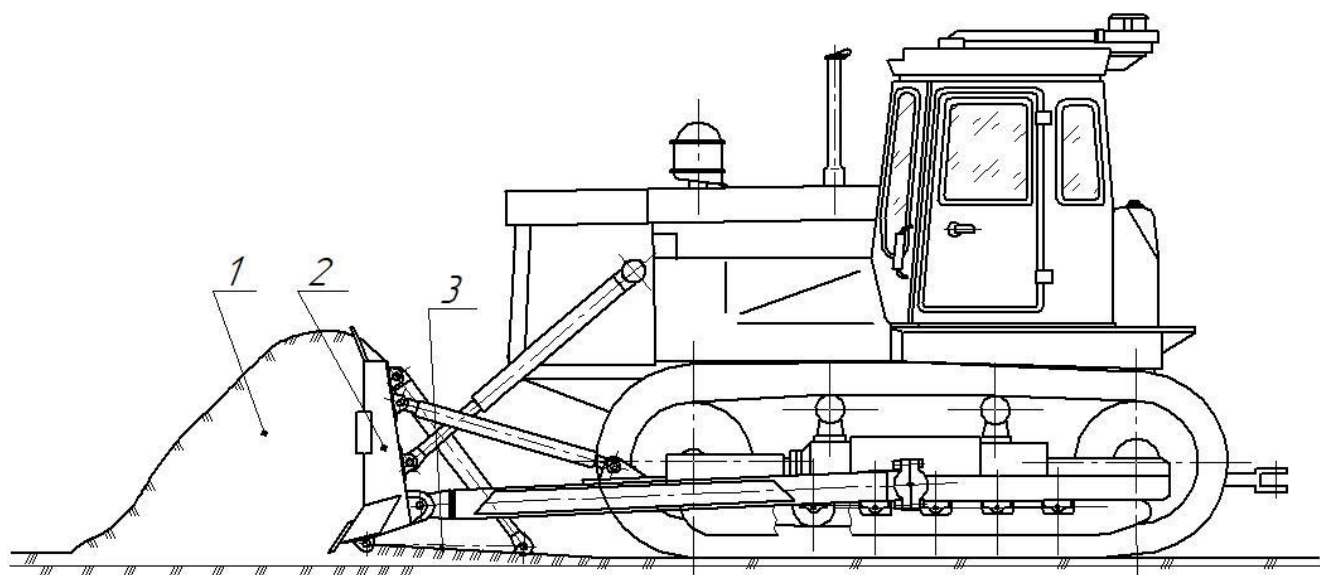
Розрахунки показали, що в більшості випадків сили тяги бульдозера за двигуном недостатньо для копання ґрунту при наявному сумарному опорі руху машини. В такому випадку, коли потужність двигуна не дозволяє рівномірно рухатися, ривки можуть бути тимчасовим способом справлятися із завданням.

Для зменшення сумарного опорі руху можна ще сильніше зменшити швидкість руху бульдозера чи товщину стружки копання ґрунту.

3. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ БУЛЬДОЗЕРНИМ ОБЛАДНАННЯМ З УЩІЛЬНЮВАЛЬНОЮ ПЛИТОЮ

3.1. Розрахунок параметрів процесу ущільнення ґрунту бульдозерним обладнанням з широкою короткою ущільнювальною плитою

На рисунку 3.1 показана розрахункова схема до процесу поступового ущільнення ґрунту, який знаходиться в призмі 1 перед відвалом 2, ущільнювальною широкою короткою плитою 3. Особливістю цього процесу є те, що припиняється копання ґрунту, відвал 2 підіймається на висоту, яка відповідає товщині відсипаного ґрунту для наступного його ущільнення, а ущільнювальна плита 3 опускається в робоче положення.



1 – призма волочіння ґрунту; 2 – відвал; 3 – вібраційна плита;

Рис. 3.1. Розрахункова схема процесу ущільнення ґрунту завідвальною короткою широкою плитою

Нашими дослідженнями встановлено, що ступінь ущільнення ґрунту з стану, в якому він знаходиться при копанні, до максимального ущільнення визначено як 15...40% від його початкового об'єму. Тобто кінцевий об'єм ґрунту зменшується від початкового залежно від категорії ґрунту (рис. 3.2).

$$h_{\text{нас.г}} = 0,6h_{\text{ущ.г}}, \quad (3.1)$$

де $h_{\text{нас.г}}$ – висота насипного ґрунту, $h_{\text{ущ.г}}$ – висота ущільненого ґрунту.

						ДІП.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			94

Попередньо прийmemo $h_{\text{нас.г}} = h_{\text{стр}}$. Тобто довжина відсипання та ущільнення ґрунту з усього об'єму призми буде дорівнювати довжині копання при наборі повної призми ґрунту.

Числові значення висоти насипного та ущільненого ґрунту занесено до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Значення висоти насипного ґрунту $h_{\text{нас.г}}$ та висоти ущільнювального ґрунту $h_{\text{ущ.г}}$

Машини та параметри	1 категорія ґрунту		2 категорія ґрунту		3 категорія ґрунту		4 категорія ґрунту	
	$h_{\text{нас.г}}, \text{ м}$	$h_{\text{ущ.г}}, \text{ м}$	$h_{\text{нас.г}}, \text{ м}$	$h_{\text{ущ.г}}, \text{ м}$	$h_{\text{нас.г}}, \text{ м}$	$h_{\text{ущ.г}}, \text{ м}$	$h_{\text{нас.г}}, \text{ м}$	$h_{\text{ущ.г}}, \text{ м}$
Комatsu D21A-7	0,05	0,03	0,05	0,03	0,018	0,01	0,014	0,008
Комatsu D65E-12	0,3	0,18	0,15	0,09	0,08	0,05	0,06	0,036
Комatsu D155A-5	0,3	0,18	0,15	0,09	0,08	0,05	0,06	0,036
Комatsu D375A-2	0,4	0,24	0,2	0,12	0,1	0,06	0,1	0,06

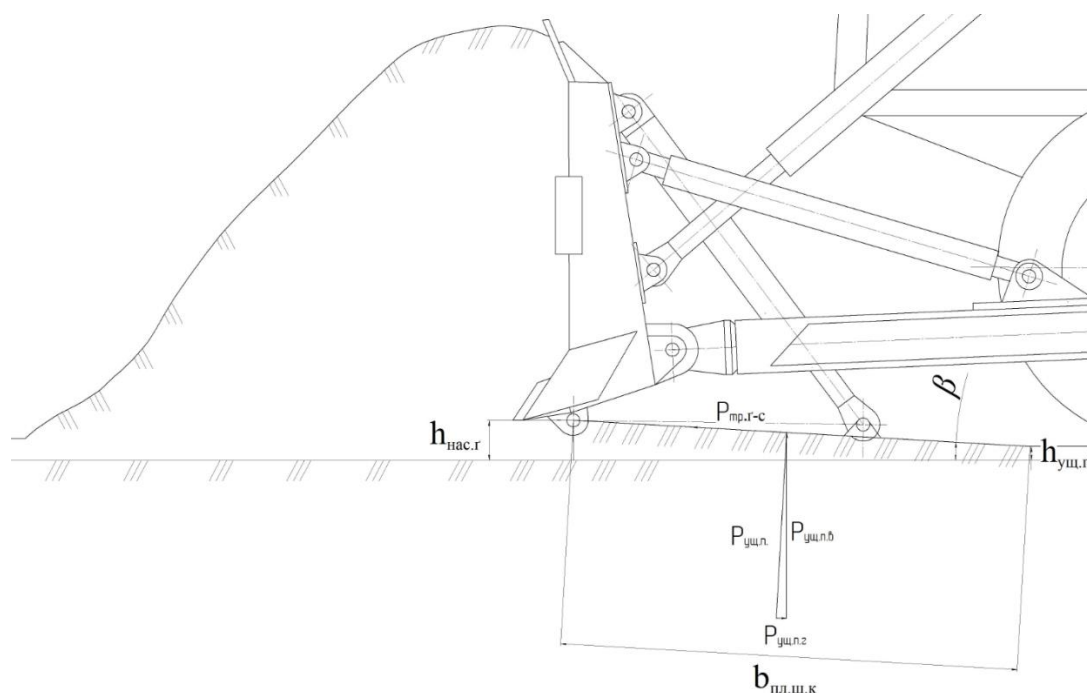
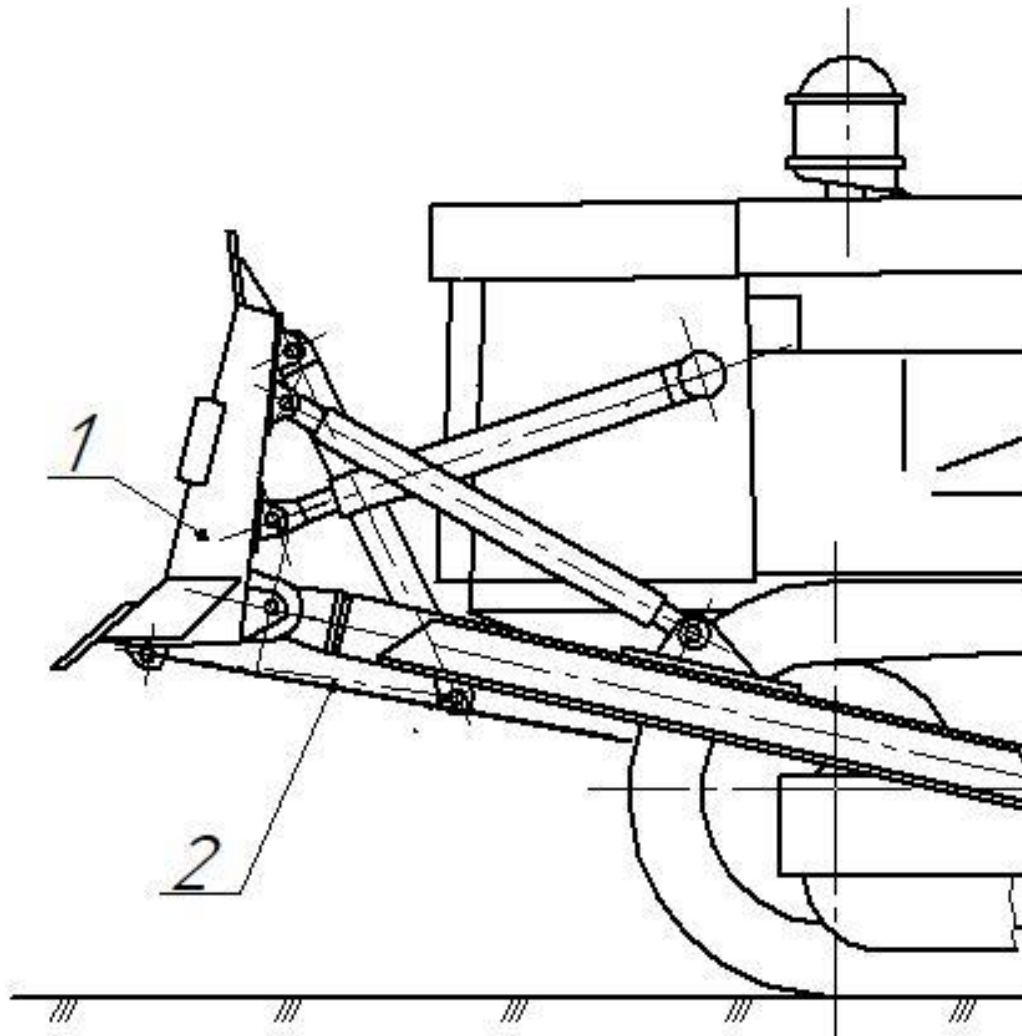


Рис. 3.2. Зосереджена сила $P_{\text{ущ.п}}$ та її складові, профіль стружки при ущільненні ґрунту віброплитою, кут нахилу віброплити

Геометрія плити вибирається залежно від ширини відвала, ширини колії та відстані між тильною стороною відвала і гусеницями трактора так, щоб плита

могла вільно повертатися в своєму шарнірі відносно відвала і не зачепляти гусениці.

Прийmemo ширину короткої широкої плити $b_{\text{пл.ш.к}}$ рівною ширині відвала, а її довжину $l_{\text{пл.ш.к}}$ для всіх машин однаковою і рівною 415 мм (на основі попереднього геометричного розрахунку). На рисунках 3.3 – 3.7 зображено різне положення короткої широкої вібраційної плити у залежності від транспортного положення бульдозерного обладнання.



1 – відвал; 2 – вібраційна плита;

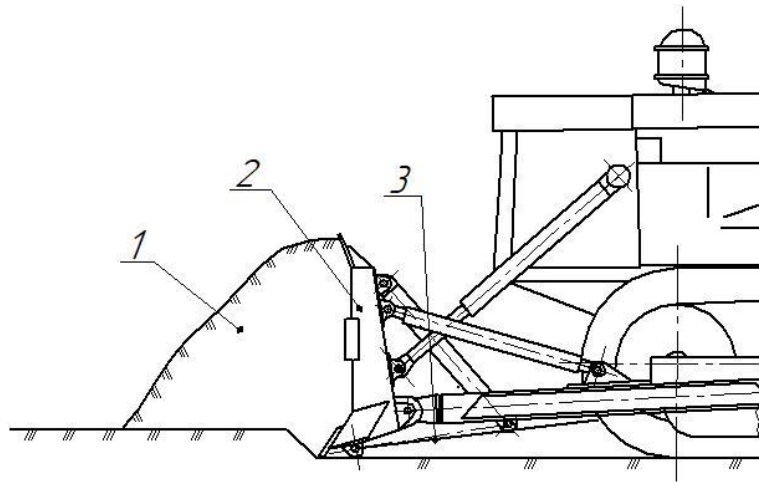
Рис. 3.3. Транспортне положення бульдозерного обладнання і ущільнювальної широкої короткої віброплити

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІТ.630000.308.МРПЗ

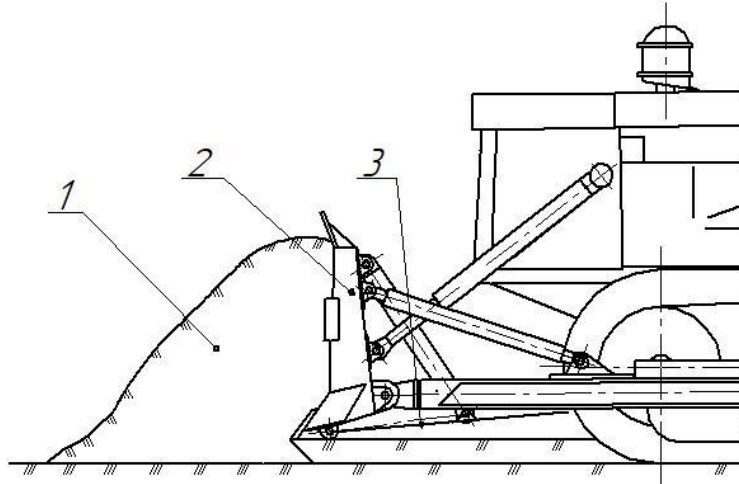
Арк.

96



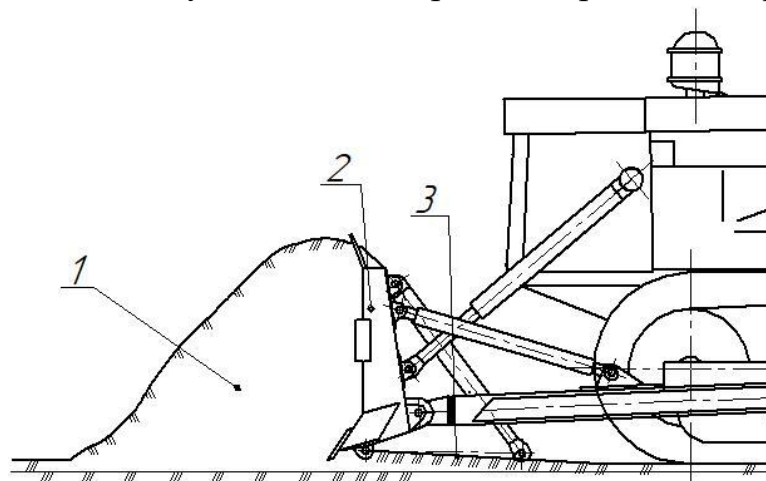
1 – призма волочіння ґрунту; 2 – відвал; 3 – вібраційна плита;

Рис. 3.4. Копання ґрунту бульдозерним обладнанням з широкою короткою ущільнювальною віброплитою у транспортному положенні



1 – призма волочіння ґрунту; 2 – відвал; 3 – вібраційна плита;

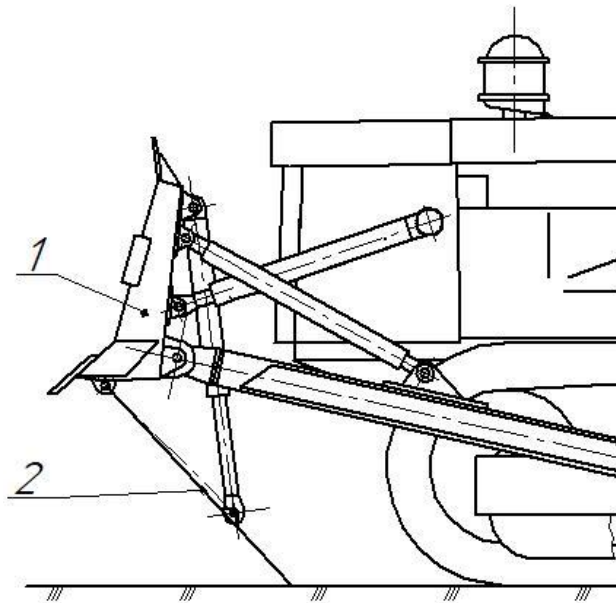
Рис. 3.5. Переміщення і розподіл ґрунту з заданою товщиною бульдозерним обладнанням без ущільнення широкою короткою віброплитою



1 – призма волочіння ґрунту; 2 – відвал; 3 – вібраційна плита;

Рис. 3.6. Переміщення і розподіл ґрунту з заданою товщиною бульдозерним обладнанням з ущільненням широкою короткою віброплитою

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



1 – відвал; 2 – вібраційна плита;

Рис. 3.7. Положення робочого обладнання бульдозера з максимальним опусканням широкої короткої віброплити

Визначимо площі відповідних плит, які контактують з ґрунтом, який потрібно ущільнити.

$$A_{\text{пл.ш.к}} = l_{\text{пл.ш.к}} * b_{\text{пл.ш.к}}, \quad (3.2)$$

де $A_{\text{пл.ш.к}}$, $l_{\text{пл.ш.к}}$, $b_{\text{пл.ш.к}}$ відповідно площа контакту віброплити з ґрунтом, довжина віброплити, ширина віброплити.

Параметри широкої короткої віброплити для обраних бульдозерів було занесено до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Параметри широкої короткої віброплити для обраних бульдозерів

Машини та параметри	$b_{\text{пл.ш.к}}$, м	$l_{\text{пл.ш.к}}$, м	$A_{\text{пл.ш.к}}$, м ²
Комatsu D21A-7	2,17	0,415	0,900
Комatsu D65E-12	3,46		1,435
Комatsu D155A-5	3,955		1,641
Комatsu D375A-2	4,695		1,948

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

Знаючи площу плити і категорію ґрунту визначимо зосереджену силу $P_{уц.п.}$, з якою ущільнений ґрунт буде тиснути на плиту, намагаючись підняти її догори і тим самим зменшити зчеплення гусениць з ґрунтом, що призведе до зменшення сили тяги за зчепленням, або буде чинити зустрічний опір руху машини (буде діяти як сила опору копання P_{01}). Розрахуємо зосереджену силу $P_{уц.п.}$, потім визначимо горизонтальну $P_{уц.п.г}$ і вертикальну $P_{уц.п.в}$ складові від сили $P_{уц.п.}$ (рис.3.2).

До розрахунку геометричних параметрів ущільнення ґрунту, використовуючи програму для креслення та моделювання, було зроблено рисунки, які наочно показують кут нахилу вібраційної плити в залежності від моделі бульдозера та категорії ґрунту (рис.3.8–3.11, цифри зліва позначають категорію ґрунту).

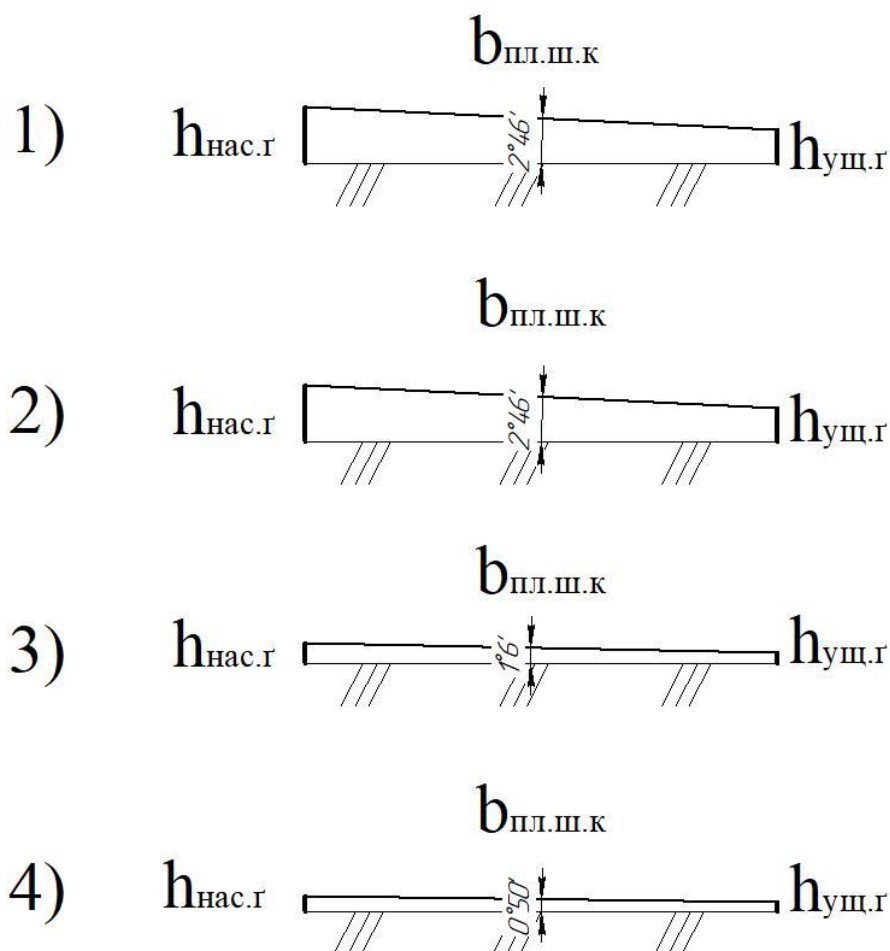


Рис. 3.8. Кут нахилу широкої короткої віброплити на бульдозері Komatsu D21A-7

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

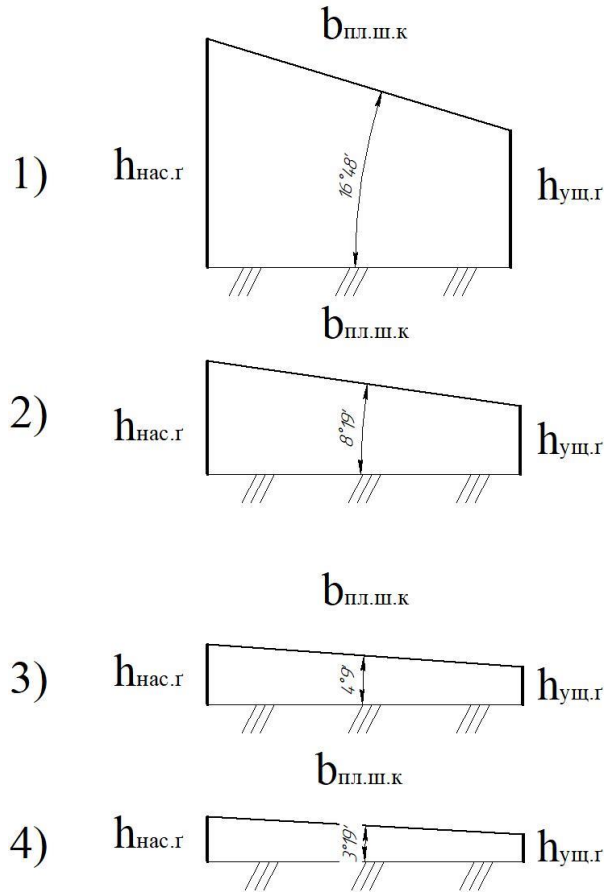


Рис. 3.9. Кут нахилу широкої короткої віброплити на бульдозері Komatsu D65E-12

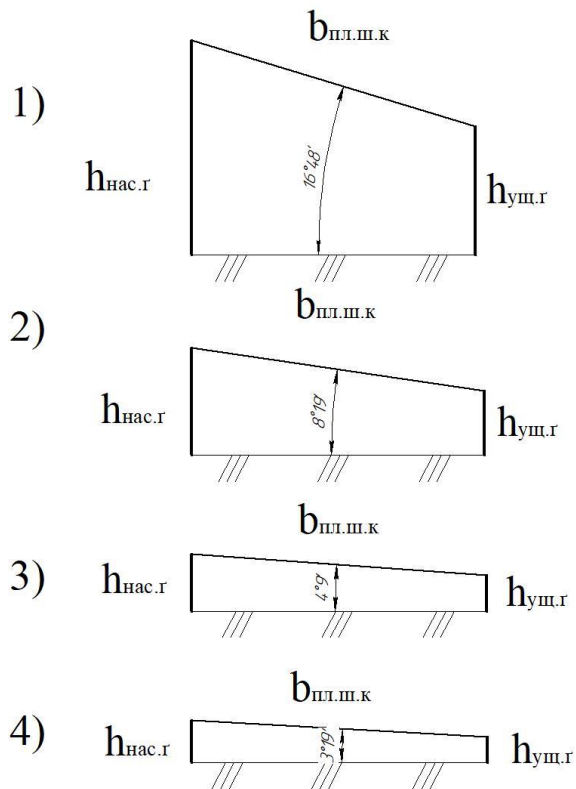


Рис. 3.10. Кут нахилу широкої короткої віброплити на бульдозері Komatsu D155A-5

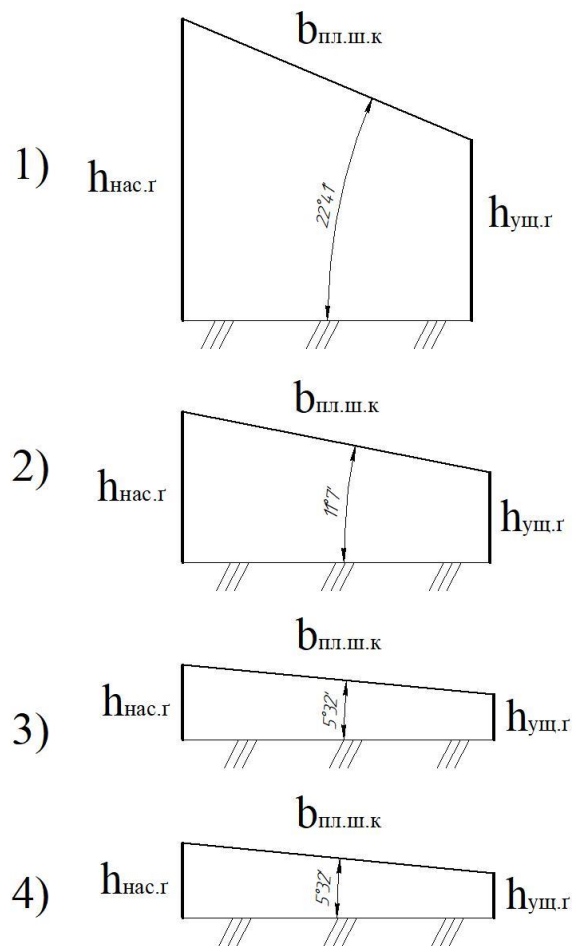


Рис. 3.11. Кут нахилу широкої короткої віброплити на бульдозері Komatsu D375A-2

Значення кута нахилу короткої широкої вібраційної плити занесено до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Значення кута нахилу короткої широкої вібраційної плити

Машини та параметри	1 категорія ґрунту	2 категорія ґрунту	3 категорія ґрунту	4 категорія ґрунту
	Кут нахилу вібраційної плити, β			
Комatsu D21A-7	2°46'	2°46'	1°6'	0°50'
Комatsu D65E-12	16°48'	8°19'	4°9'	3°19'
Комatsu D155A-5	16°48'	8°19'	4°9'	3°19'
Комatsu D375A-2	22°41'	11°7'	5°32'	5°29'

Зосереджена сила $P_{уц.п.}$:

$$P_{уц.п.} = A_{пл.ш.к} * [\sigma_{ЗМ}]. \quad (3.3)$$

Горизонтальна $P_{уц.п.г}$ і вертикальна $P_{уц.п.в}$ складові від сили $P_{уц.п.}$:

$$P_{уц.п.г} = P_{уц.п.} * \sin\beta; \quad (3.4)$$

$$P_{уц.п.в} = P_{уц.п.} * \cos\beta. \quad (3.5)$$

3.1.1. Komatsu D21A-7, 1 категорія ґрунту

$$P_{уц.п.} = 0,9 * 80000 = 72000 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.г} = 72000 * 0,0483 = 3478 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.в} = 72000 * 0,9988 = 71914 \text{ Н}.$$

3.1.2. Komatsu D65E-12, 1 категорія ґрунту

$$P_{уц.п.} = 1,435 * 80000 = 114800 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.г} = 114800 * 0,2887 = 33143 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.в} = 114800 * 0,9574 = 109909 \text{ Н}.$$

3.1.3. Komatsu D155A-5, 1 категорія ґрунту

$$P_{уц.п.} = 1,641 * 80000 = 131280 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.г} = 131280 * 0,2887 = 37900 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.в} = 131280 * 0,9574 = 125687 \text{ Н}.$$

3.1.4. Komatsu D375A-2, 1 категорія ґрунту

$$P_{уц.п.} = 1,948 * 80000 = 155840 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.г} = 155840 * 0,3858 = 60123 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.в} = 155840 * 0,9226 = 143778 \text{ Н}.$$

3.1.5. Komatsu D21A-7, 2 категорія ґрунту

$$P_{уц.п.} = 0,9 * 160000 = 144000 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.г} = 144000 * 0,0483 = 6955 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.в} = 144000 * 0,9988 = 143827 \text{ Н}.$$

3.1.6. Komatsu D65E-12, 2 категорія ґрунту

$$P_{уц.п.} = 1,435 * 160000 = 229600 \text{ Н};$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102

$$P_{\text{ущ.п.г}} = 229600 * 0,1448 = 33246 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.в}} = 229600 * 0,9895 = 227189 \text{ Н.}$$

3.1.7. Komatsu D155A-5, 2 категорія ґрунту

$$P_{\text{ущ.п}} = 1,641 * 160000 = 262560 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.г}} = 262560 * 0,1448 = 38019 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.в}} = 262560 * 0,9895 = 259803 \text{ Н.}$$

3.1.8 Komatsu D375A-2, 2 категорія ґрунту

$$P_{\text{ущ.п}} = 1,948 * 160000 = 311680 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.г}} = 311680 * 0,1929 = 60123 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.в}} = 311680 * 0,9810 = 305758 \text{ Н.}$$

3.1.9 Komatsu D21A-7, 3 категорія ґрунту

$$P_{\text{ущ.п}} = 0,9 * 240000 = 216000 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.г}} = 216000 * 0,0192 = 4147 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.в}} = 216000 * 0,9998 = 215957 \text{ Н.}$$

3.1.10 Komatsu D65E-12, 3 категорія ґрунту

$$P_{\text{ущ.п}} = 1,435 * 240000 = 344400 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.г}} = 344400 * 0,0725 = 24969 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.в}} = 344400 * 0,9974 = 343504 \text{ Н.}$$

3.1.11 Komatsu D155A-5, 3 категорія ґрунту

$$P_{\text{ущ.п}} = 1,641 * 240000 = 393840 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.г}} = 393840 * 0,0725 = 28553 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.в}} = 393840 * 0,9974 = 392816 \text{ Н.}$$

3.1.12 Komatsu D375A-2, 3 категорія ґрунту

$$P_{\text{ущ.п}} = 1,948 * 240000 = 467520 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.г}} = 467520 * 0,0965 = 45116 \text{ Н};$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

$$P_{\text{ущ.п.в}} = 467520 * 0,9954 = 465369 \text{ Н.}$$

3.1.13 Komatsu D21A-7, 4 категорія ґрунту

$$P_{\text{ущ.п}} = 0,9 * 320000 = 288000 \text{ Н;}$$

$$P_{\text{ущ.п.г}} = 288000 * 0,0145 = 4176 \text{ Н;}$$

$$P_{\text{ущ.п.в}} = 288000 * 0,9999 = 287971 \text{ Н.}$$

3.1.14 Komatsu D65E-12, 4 категорія ґрунту

$$P_{\text{ущ.п}} = 1,435 * 320000 = 459200 \text{ Н;}$$

$$P_{\text{ущ.п.г}} = 459200 * 0,0579 = 26588 \text{ Н;}$$

$$P_{\text{ущ.п.в}} = 459200 * 0,9982 = 458373 \text{ Н.}$$

3.1.15 Komatsu D155A-5, 4 категорія ґрунту

$$P_{\text{ущ.п}} = 1,641 * 320000 = 525120 \text{ Н;}$$

$$P_{\text{ущ.п.г}} = 525120 * 0,0579 = 30404 \text{ Н;}$$

$$P_{\text{ущ.п.в}} = 525120 * 0,9982 = 524175 \text{ Н.}$$

3.1.16 Komatsu D375A-2, 4 категорія ґрунту

$$P_{\text{ущ.п}} = 1,948 * 320000 = 623360 \text{ Н;}$$

$$P_{\text{ущ.п.г}} = 623360 * 0,0957 = 59655 \text{ Н;}$$

$$P_{\text{ущ.п.в}} = 623360 * 0,9954 = 620492 \text{ Н.}$$

Числові значення зосередженої сили $P_{\text{ущ.п}}$ та її складових занесено до таблиці 3.4 та 3.5.

Вище вказана зосереджена сила $P_{\text{ущ.п}}$ буде прикладена в центрі ущільнювальної плити перпендикулярно до її робочої поверхні з боку ґрунту.

Сила тертя ґрунту по сталі $P_{\text{тр.г-с}}$ визначається як добуток $P_{\text{ущ.п}}$ на коефіцієнт тертя ґрунту по сталі $\mu_2 = 0,4$. Цю силу будемо порівнювати з силою тертя ґрунту по ґрунту $P_{\text{тр.г-г}}$, яка визначається як добуток $P_{\text{ущ.г}}$ на коефіцієнт тертя ґрунту по ґрунту μ_1 відповідно категорії ґрунту.

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		104

Таблиця 3.4

Значення зосередженої сили $P_{уц.п}$ та її складових при 1 та 2 категорії ґрунту

Машини та параметри	1 категорія ґрунту			2 категорія ґрунту		
	$P_{уц.п}$	$P_{уц.п.г}$	$P_{уц.п.в}$	$P_{уц.п}$	$P_{уц.п.г}$	$P_{уц.п.в}$
Комatsu D21A-7	72000	3478	71914	144000	6955	143827
Комatsu D65E-12	114800	33143	109909	229600	33246	227189
Комatsu D155A-5	131280	37900	125687	262560	38019	259803
Комatsu D375A-2	155840	60123	143778	311680	60123	305758

Таблиця 3.5

Значення зосередженої сили $P_{уц.п}$ та її складових при 3 та 4 категорії ґрунту

Машини та параметри	3 категорія ґрунту			4 категорія ґрунту		
	$P_{уц.п}$	$P_{уц.п.г}$	$P_{уц.п.в}$	$P_{уц.п}$	$P_{уц.п.г}$	$P_{уц.п.в}$
Комatsu D21A-7	216000	4147	215957	288000	4176	287971
Комatsu D65E-12	344400	24969	343504	459200	26588	458373
Комatsu D155A-5	393840	28553	392816	525120	30404	524175
Комatsu D375A-2	467520	45116	465369	623360	59655	620492

З таблиці 3.4 і 3.5 можна зробити висновок, що для подальших розрахунків недоцільно розкласти зосереджені сили тиску $P_{уц.п}$ на її горизонтальні і вертикальні складові, тому що різниця в такому випадку буде невелика. В той же час, якщо брати більше значення опору ущільненого ґрунту таким чином, ми розраховуємо на більш жорсткі умови роботи машини.

						ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			105

Сила тертя ґрунту по сталі:

$$P_{\text{тр.г-с}} = P_{\text{уш.п}} * \mu_2. \quad (3.6)$$

Сила тертя ґрунту по ґрунту:

$$P_{\text{тр.г-г}} = P_{\text{уш.п}} * \mu_1. \quad (3.7)$$

3.1.17. Komatsu D21A-7, 1 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 72000 * 0,4 = 28800 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 72000 * 0,7 = 50400 \text{ Н}.$$

3.1.18. Komatsu D65E-12, 1 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 114800 * 0,4 = 45920 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 114800 * 0,7 = 80360 \text{ Н}.$$

3.1.19. Komatsu D155A-5, 1 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 131280 * 0,4 = 52512 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 131280 * 0,7 = 91896 \text{ Н}.$$

3.1.20. Komatsu D375A-2, 1 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 155840 * 0,4 = 62336 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 155840 * 0,7 = 109088 \text{ Н}.$$

3.1.21. Komatsu D21A-7, 2 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 144000 * 0,4 = 57600 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 144000 * 0,7 = 100800 \text{ Н}.$$

3.1.22. Komatsu D65E-12, 2 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 229600 * 0,4 = 91840 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 229600 * 0,7 = 160720 \text{ Н}.$$

3.1.23. Komatsu D155A-5, 2 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 262560 * 0,4 = 105024 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 262560 * 0,7 = 183792 \text{ Н}.$$

3.1.24. Komatsu D375A-2, 2 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 311680 * 0,4 = 124672 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 311680 * 0,7 = 218176 \text{ Н}.$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		106

3.1.25. Komatsu D21A-7, 3 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 216000 * 0,4 = 86400 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 216000 * 0,9 = 194400 \text{ Н.}$$

3.1.26. Komatsu D65E-12, 3 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 344400 * 0,4 = 137760 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 344400 * 0,9 = 309960 \text{ Н.}$$

3.1.27. Komatsu D155A-5, 3 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 393840 * 0,4 = 157536 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 393840 * 0,9 = 354456 \text{ Н.}$$

3.1.28. Komatsu D375A-2, 3 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 467520 * 0,4 = 187008 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 467520 * 0,9 = 420768 \text{ Н.}$$

3.1.29. Komatsu D21A-7, 4 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 288000 * 0,4 = 115200 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 288000 * 0,9 = 259200 \text{ Н.}$$

3.1.30. Komatsu D65E-12, 4 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 459200 * 0,4 = 183680 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 459200 * 0,9 = 413280 \text{ Н.}$$

3.1.31. Komatsu D155A-5, 4 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 525120 * 0,4 = 210048 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 525120 * 0,9 = 472608 \text{ Н.}$$

3.1.32. Komatsu D375A-2, 4 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 623360 * 0,4 = 249344 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 623360 * 0,9 = 561024 \text{ Н.}$$

Числові значення зосередженої сил тертя ґрунту по сталі і тертя ґрунту по ґрунту занесено до таблиці 3.6.

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		107

Значення сил тертя ґрунту по сталі $P_{тр.г-с}$ і тертя ґрунту по ґрунту $P_{тр.г-г}$ для короткої широкої плити (Н)

Машини та параметри	1 категорія ґрунту		2 категорія ґрунту		3 категорія ґрунту		4 категорія ґрунту	
	$P_{тр.г-с}$	$P_{тр.г-г}$	$P_{тр.г-с}$	$P_{тр.г-г}$	$P_{тр.г-с}$	$P_{тр.г-г}$	$P_{тр.г-с}$	$P_{тр.г-г}$
Komatsu D21A-7 (64040)	28800	50400	57600	100800	86400	194400	115200	259200
Komatsu D65E-12 (372560)	45920	80360	91840	160720	137760	309960	183680	413280
Komatsu D155A-5 (607435)	52512	91896	105024	183792	157536	354456	210048	472608
Komatsu D375A-2 (1012392)	62336	109088	124672	218176	187008	420768	249344	561024

Примітка: Після назви моделі бульдозера у дужках вказане значення сили тяги бульдозера за зчепленням $T_{зчд}$.

З таблиці 3.6 видно, що в кожному випадку сила тертя ґрунту по сталі $P_{тр.г-с}$ набагато менша ніж сила тертя ґрунту по ґрунту $P_{тр.г-г}$. Це означає, що буде відбуватися ковзання віброплити по ґрунту, і ґрунт не буде залипати на віброплиті. Тому ущільнення можливо для всіх обраних моделей бульдозерів для кожної з категорій ґрунту. В іншому випадку ґрунт пересувався б вперед разом із плитою і терся по ґрунту у основі віброплити. У цьому випадку ущільнення б не було.

З таблиці 3.6 можна побачити, що при 3-й категорії ґрунту бульдозер Komatsu D21A-7 має динамічну силу тяги за зчепленням $T_{зчд}$ меншу за силу тертя ґрунту по сталі $P_{тр.г-с}$. Це означає, що не буде відбуватися ущільнення, і замість цього ґрунт буде штовхатися віброплитою вперед. Тому в наступному підрозділі виконаний уточнювальний розрахунок, який показує, при якій категорії ґрунту буде можливо ущільнення віброплитою на бульдозері Komatsu D21A-7.

									Арк.
									108
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДІПТ.630000.308.МРПЗ				

3.2. Уточнювальний розрахунок категорії ґрунту, до якої можна максимально ущільнити ґрунт за рахунок сили тяги за зчепленням, короткою широкою вібраційною плитою

3.2.1. Komatsu D21A-7

Порівнюючи значення сили тертя ґрунту по сталі з силою тяги відповідної машини за зчепленням бачимо, що є значення, які перевищують рушійні можливості машини. При цьому уточнимо, до якої категорії ця машина може максимально ущільнити ґрунт, використавши свої максимальні тягові спроможності. Для цього порівнюємо силу тертя ґрунту по сталі і силу тяги за зчепленням та зробимо зворотній розрахунок.

$$P_{\text{тр.г-с}} = 216000 * 0,4 = 86400 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-с}} = P_{\text{ущ.п}} * 0,4 = 64040 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п}} = 64040 / 0,4 = 160100 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п}} = A_{\text{пл.ш.к}} * [\sigma_{3M}];$$

$$160100 = 0,9 * [\sigma_{3M}];$$

$$[\sigma_{3M}] = 160100 / 0,9 = 177889 \text{ Па};$$

$$k_{\text{пит}} = [\sigma_{3M}] / 0,8 = 177889 / 0,8 = 222361 \text{ Па}.$$

Максимальне ущільнення ґрунту можливе до напруження $k_{\text{пит}} = 222361$ Па, що знаходиться між 2 та 3 категоріями ґрунту.

3.3. Уточнювальний розрахунок категорії ґрунту, до якої можна максимально ущільнити ґрунт за рахунок сили тяги за двигуном, короткою широкою вібраційною плитою

3.3.1. Komatsu D21A-7

Порівнюємо силу тертя ґрунту по сталі і силу тяги за зчепленням та зробимо зворотній розрахунок.

$$P_{\text{тр.г-с}} = P_{\text{ущ.п}} * 0,4 = 22799 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п}} = 22799 / 0,4 = 56997 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п}} = A_{\text{пл.ш.к}} * [\sigma_{3M}];$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		109

$$56997 = 0,9 * [\sigma_{3M}];$$

$$[\sigma_{3M}] = 56997/0,9 = 63330 \text{ Па};$$

$$k_{\text{пит}} = [\sigma_{3M}]/0,8 = 63330/0,8 = 79163 \text{ Па}.$$

Максимальне ущільнення ґрунту можливе до напруження $k_{\text{пит}}=79163$ Па, що відповідає 1 категорії ґрунту.

3.4. Розрахунок параметрів процесу ущільнення ґрунту бульдозерним обладнанням з вузькою довгою ущільнювальною плитою

Прийmemo ширину довгої вузької плити $b_{\text{двп}}$ рівною ширині колії мінус ширина гусениці, а її довжину відповідно конкретній машині (на основі попереднього геометричного розрахунку).

Знайдемо приблизну ширину гусениць бульдозерів:

$$b_{\Gamma} = B_{\text{М}} - B_{\text{К}}, \text{ м.} \quad (3.8)$$

Ширина вузької довгої вібраційної плити:

$$b_{\text{пл.д.в}} = B_{\text{М}} - 2b_{\Gamma} - 2z, \text{ м,} \quad (3.9)$$

де z – зазор між віброплитою та гусеницями (приймемо $z = 0,05$ м).

Підставимо формулу (3.8) в формулу (3.9) для зручності розрахунку:

$$b_{\text{пл.д.в}} = B_{\text{М}} - 2(B_{\text{М}} - B_{\text{К}}) - 2z. \quad (3.10)$$

3.4.1. Komatsu D21A-7

$$b_{\text{пл.д.в}} = 1,61 - 2*(1,61 - 1,31) - 0,1 = 0,91 \text{ м.}$$

3.4.2. Komatsu D65E-12

$$b_{\text{пл.д.в}} = 2,93 - 2*(2,93 - 2,05) - 0,1 = 1,07 \text{ м.}$$

3.4.3. Komatsu D155A-5

$$b_{\text{пл.д.в}} = 3 - 2*(3 - 2,1) - 0,1 = 1,1 \text{ м.}$$

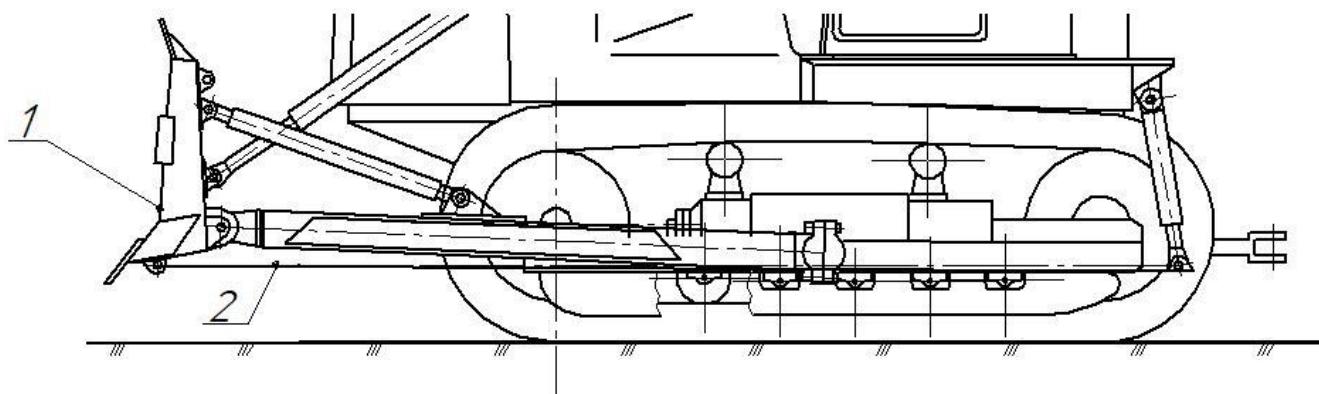
3.4.4. Komatsu D375A-2

$$b_{\text{пл.д.в}} = 3,55 - 2*(3,55 - 2,5) - 0,1 = 1,35 \text{ м.}$$

Ширину довгої вузької плити $b_{\text{пл.д.в}}$ розраховано вище, а її довжина $l_{\text{пл.д.в}}$ для всіх машин буде відповідною певним величинам (на основі попереднього

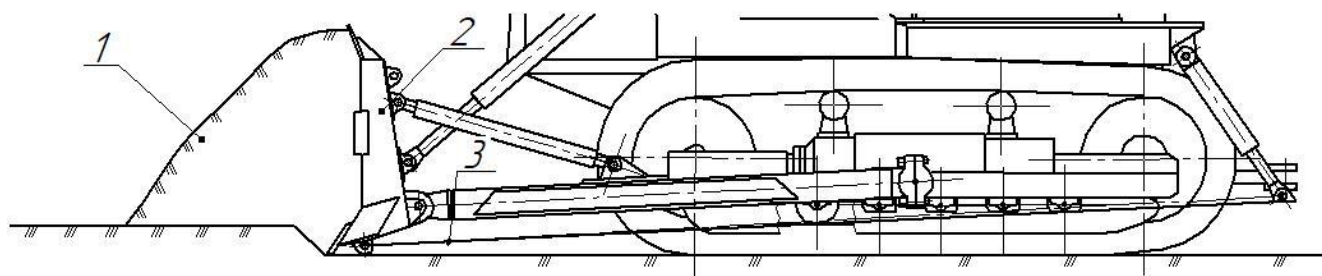
					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		110

геометричного розрахунку). Рисунки 3.12 – 3.16 зображують різне положення довгої вузької вібраційної плити у залежності від транспортного положення бульдозерного обладнання.



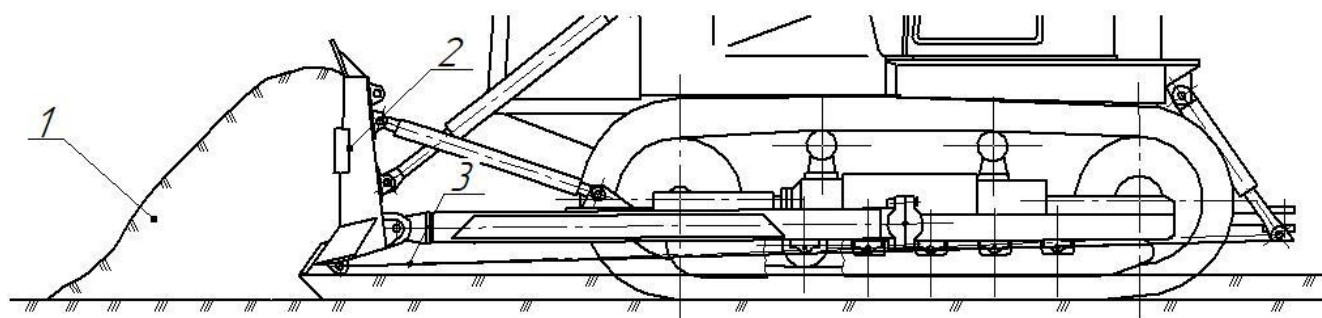
1 – відвал; 2 – вібраційна плита;

Рис. 3.12. Транспортне положення бульдозерного обладнання і ущільнювальної вузької довгої віброплити



1 – призма волочіння ґрунту; 2 – відвал; 3 – вібраційна плита;

Рис. 3.13. Копання ґрунту бульдозерним обладнанням з вузькою довгою ґрунтоущільнювальною віброплитою у транспортному положенні



1 – призма волочіння ґрунту; 2 – відвал; 3 – вібраційна плита;

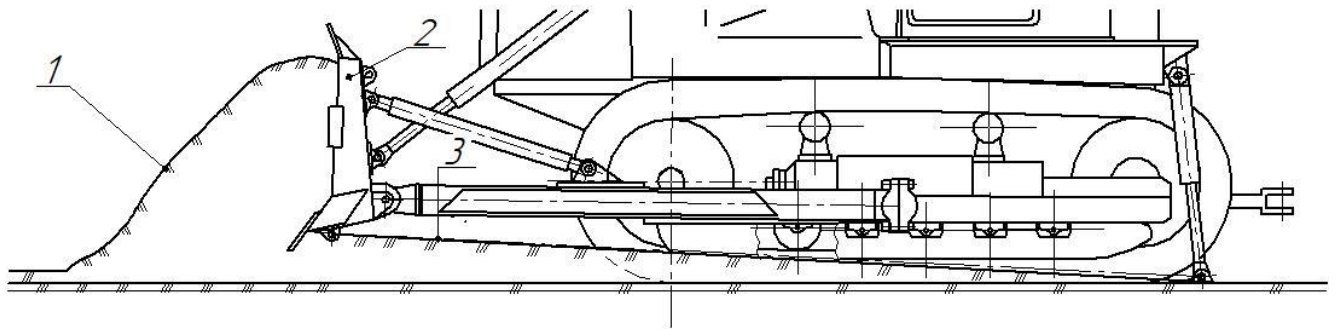
Рис. 3.14. Переміщення і розподіл ґрунту з заданою товщиною бульдозерним обладнанням без ущільнення вузькою довгою віброплитою

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІПТ.630000.308.МРПЗ

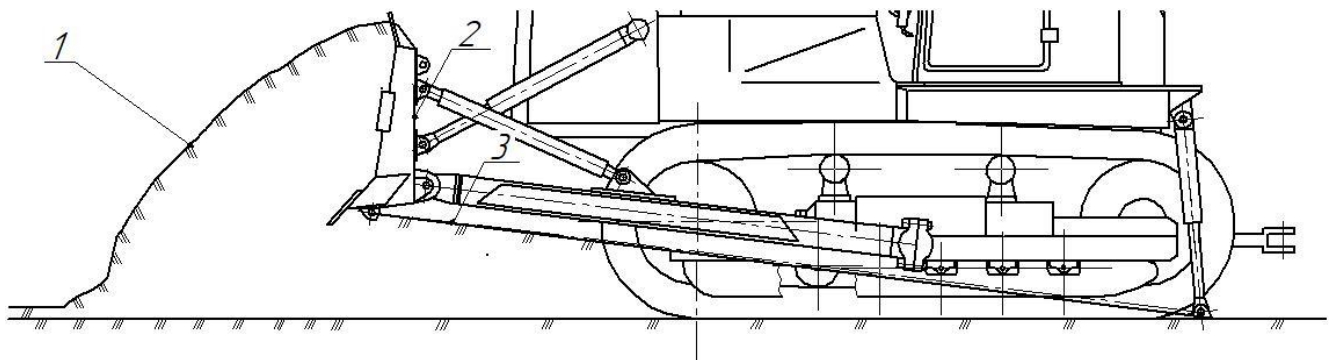
Арк.

111



1 – призма волочіння ґрунту; 2 – відвал; 3 – вібраційна плита;

Рис. 3.15. Переміщення і розподіл ґрунту з заданою товщиною бульдозерним обладнанням з ущільненням вузькою довгою віброплитою



1 – призма волочіння ґрунту; 2 – відвал; 3 – вібраційна плита;

Рис. 3.16. Положення робочого обладнання бульдозера з максимальним опусканням вузької довгої віброплити

Параметри довгої вузької віброплити для обраних бульдозерів занесено до таблиці 3.7.

Таблиця 3.7

Параметри довгої вузької віброплити для обраних бульдозерів

	$b_{\text{пл.д.в}}, \text{ м}$	$l_{\text{пл.д.в}}, \text{ м}$	$A_{\text{пл.д.в}}, \text{ м}^2$
Комatsu D21A-7	0,91	3,11	2,83
Комatsu D65E-12	1,07	4,89	5,23
Комatsu D155A-5	1,1	7,19	7,909
Комatsu D375A-2	1,35	8,89	12

До розрахунку геометричних параметрів ущільнення ґрунту, використовуючи програму для креслення та моделювання, було зроблено рисунки, які наочно показують кут нахилу вібраційної плити в залежності від моделі бульдозеру та категорії ґрунту (на рис. 3.17 - 3.20, цифри зліва позначають модель бульдозера, де 1 - Komatsu D21A-7, 2 - Komatsu D65E-12, 3 - Komatsu D155A-5, 4 - Komatsu D375A-2).

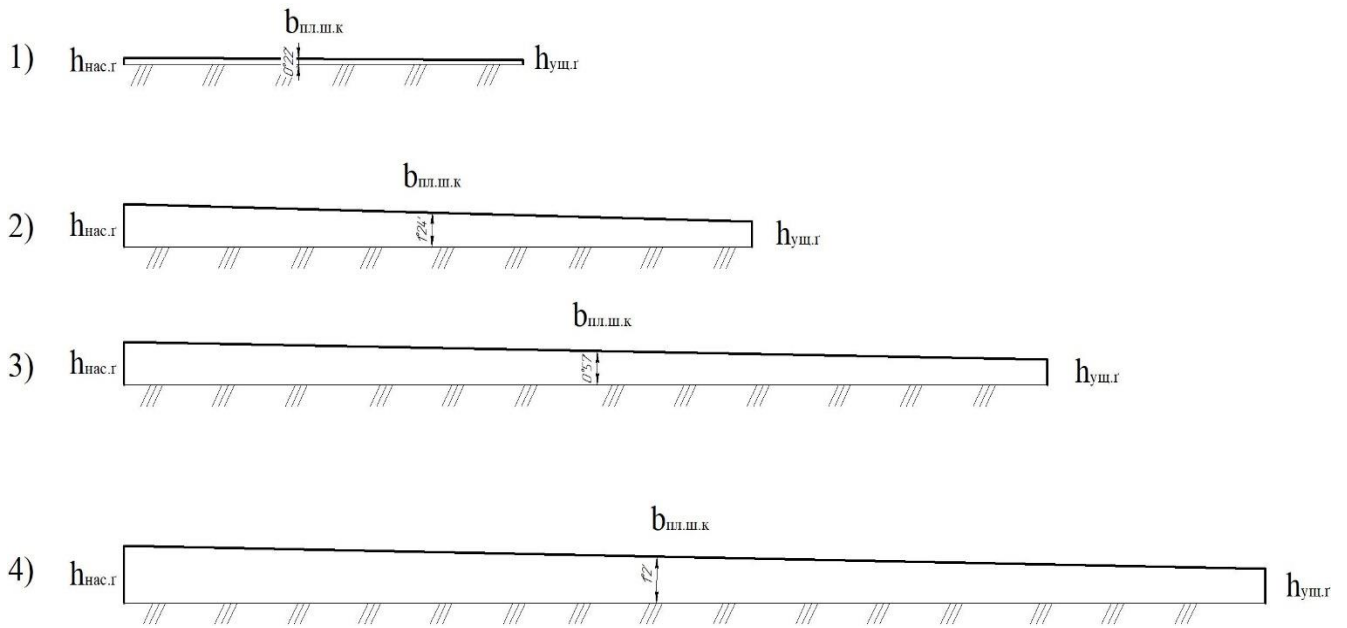


Рис. 3.17. Кут нахилу довгої вузької віброплити при 1 категорії ґрунту

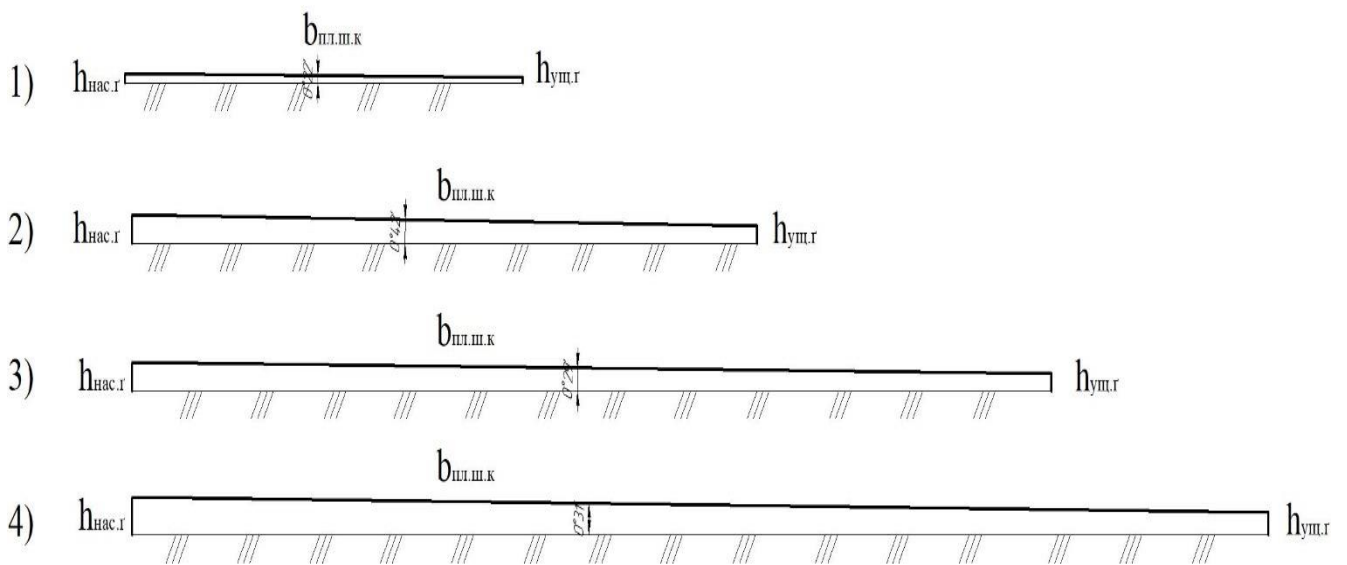


Рис. 3.18. Кут нахилу довгої вузької віброплити при 2 категорії ґрунту

					ДІП.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		113

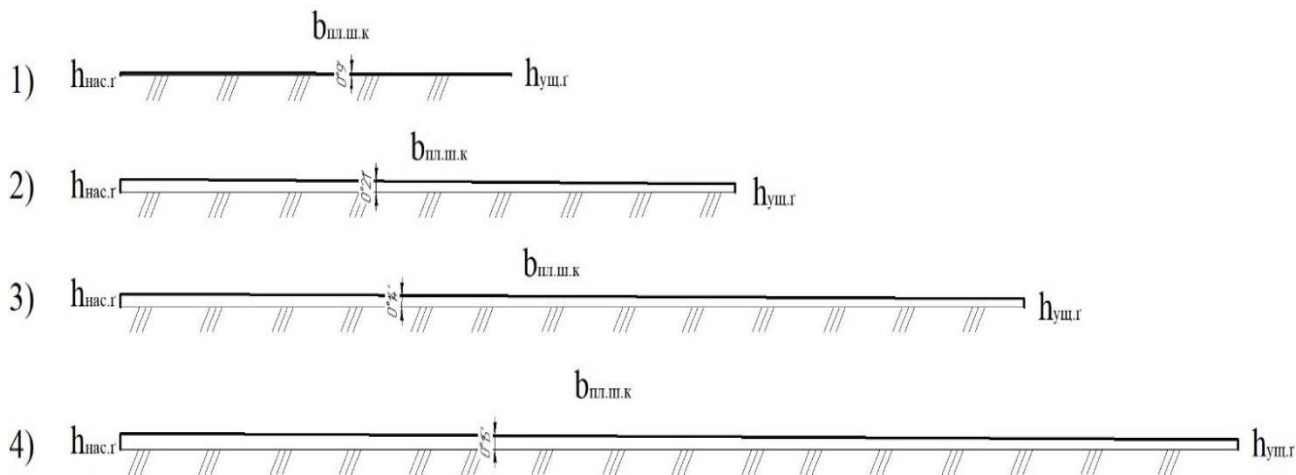


Рис. 3.19. Кут нахилу довгої вузької віброплити при 3 категорії ґрунту

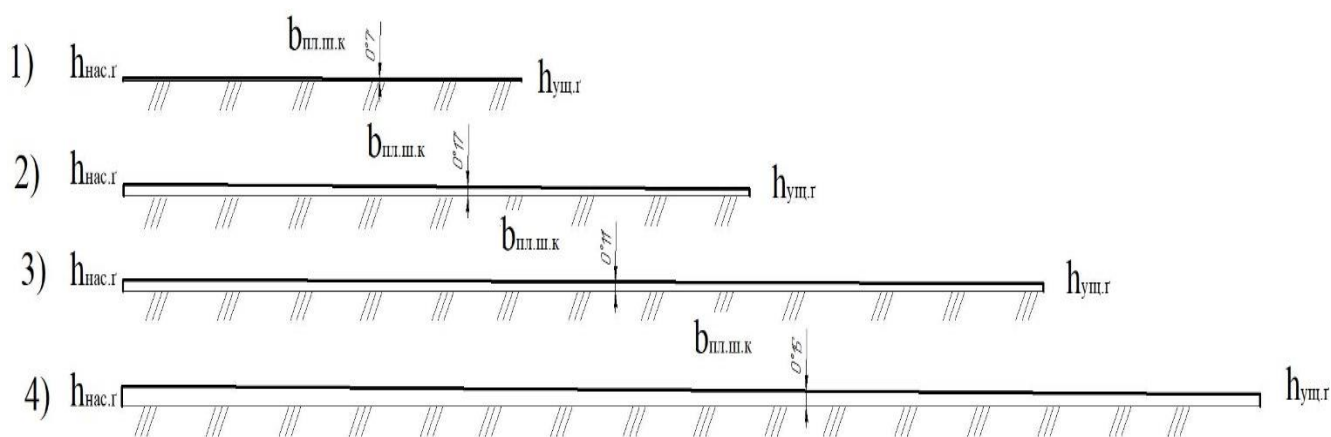


Рис. 3.20. Кут нахилу довгої вузької віброплити при 4 категорії ґрунту

Значення кута нахилу довгої вузької вібраційної плити занесено до таблиці 3.8.

Таблиця 3.8

Значення кута нахилу довгої вузької вібраційної плити

Машини та параметри	1 категорія ґрунту	2 категорія ґрунту	3 категорія ґрунту	4 категорія ґрунту
	Кут нахилу вібраційної плити, β			
Комatsu D21A-7	0°22'	0°22'	0°9'	0°7'
Комatsu D65E-12	1°24'	0°42'	0°21'	0°17'
Комatsu D155A-5	0°57'	0°29'	0°14'	0°11'
Комatsu D375A-2	1°2'	0°31'	0°15'	0°15'

Зосереджена сила $P_{уц.п}$:

$$P_{уц.п} = A_{пл.в.д} * [\sigma_{3M}].$$

Горизонтальна $P_{уц.п.г}$ і вертикальна $P_{уц.п.в}$ складові від сили $P_{уц.п}$:

$$P_{уц.п.г} = P_{уц.п} * \sin\beta;$$

$$P_{уц.п.в} = P_{уц.п} * \cos\beta.$$

3.4.5. Komatsu D21A-7, 1 категорія ґрунту

$$P_{уц.п} = 2,83 * 80000 = 226400 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.г} = 226400 * 0,0064 = 145 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.в} = 226400 * 0,9999 = 22638 \text{ Н}.$$

3.4.6. Komatsu D65E-12, 1 категорія ґрунту

$$P_{уц.п} = 5,23 * 80000 = 418400 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.г} = 418400 * 0,0244 = 10209 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.в} = 418400 * 0,9997 = 418274 \text{ Н}.$$

3.4.7. Komatsu D155A-5, 1 категорія ґрунту

$$P_{уц.п} = 7,909 * 80000 = 632720 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.г} = 632720 * 0,0166 = 10503 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.в} = 632720 * 0,9999 = 632087 \text{ Н}.$$

3.4.8. Komatsu D375A-2, 1 категорія ґрунту

$$P_{уц.п} = 12 * 80000 = 960000 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.г} = 960000 * 0,0180 = 17280 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.в} = 960000 * 0,9998 = 959808 \text{ Н}.$$

3.4.9. Komatsu D21A-7, 2 категорія ґрунту

$$P_{уц.п} = 2,83 * 160000 = 452800 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.г} = 452800 * 0,0064 = 2898 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.в} = 452800 * 0,9999 = 452755 \text{ Н}.$$

3.4.10. Komatsu D65E-12, 2 категорія ґрунту

$$P_{уц.п} = 5,23 * 160000 = 836800 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.г} = 836800 * 0,0122 = 10209 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.в} = 836800 * 0,9999 = 836716 \text{ Н}.$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		115

3.4.11. Komatsu D155A-5, 2 категорія ґрунту

$$P_{уш.п} = 7,909 * 160000 = 1265440 \text{ Н};$$

$$P_{уш.п.г} = 1265440 * 0,0084 = 10630 \text{ Н};$$

$$P_{уш.п.в} = 1265440 * 0,9999 = 1265313 \text{ Н}.$$

3.4.12. Komatsu D375A-2, 2 категорія ґрунту

$$P_{уш.п} = 12 * 160000 = 1920000 \text{ Н};$$

$$P_{уш.п.г} = 1920000 * 0,0090 = 17280 \text{ Н};$$

$$P_{уш.п.в} = 1920000 * 0,9999 = 1919808 \text{ Н}.$$

3.4.13. Komatsu D21A-7, 3 категорія ґрунту

$$P_{уш.п} = 2,83 * 240000 = 679200 \text{ Н};$$

$$P_{уш.п.г} = 679200 * 0,0090 = 6113 \text{ Н};$$

$$P_{уш.п.в} = 679200 * 0,9999 = 679132 \text{ Н}.$$

3.4.14. Komatsu D65E-12, 3 категорія ґрунту

$$P_{уш.п} = 5,23 * 240000 = 1255200 \text{ Н};$$

$$P_{уш.п.г} = 1255200 * 0,0026 = 3263 \text{ Н};$$

$$P_{уш.п.в} = 1255200 * 0,9999 = 1255074 \text{ Н}.$$

3.4.15. Komatsu D155A-5, 3 категорія ґрунту

$$P_{уш.п} = 7,909 * 240000 = 1898160 \text{ Н};$$

$$P_{уш.п.г} = 1898160 * 0,0041 = 7782 \text{ Н};$$

$$P_{уш.п.в} = 1898160 * 0,9999 = 1897970 \text{ Н}.$$

3.4.16. Komatsu D375A-2, 3 категорія ґрунту

$$P_{уш.п} = 12 * 240000 = 2880000 \text{ Н};$$

$$P_{уш.п.г} = 2880000 * 0,0044 = 12672 \text{ Н};$$

$$P_{уш.п.в} = 2880000 * 0,9999 = 2879712 \text{ Н}.$$

3.4.17. Komatsu D21A-7, 4 категорія ґрунту

$$P_{уш.п} = 2,83 * 320000 = 905600 \text{ Н};$$

$$P_{уш.п.г} = 905600 * 0,0020 = 1811 \text{ Н};$$

$$P_{уш.п.в} = 905600 * 0,9999 = 905509 \text{ Н}.$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		116

3.4.18. Komatsu D65E-12, 4 категорія ґрунту

$$P_{уц.п} = 5,23 * 320000 = 1673600 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.г} = 1673600 * 0.0049 = 8201 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.в} = 1673600 * 0,9999 = 1673433 \text{ Н}.$$

3.4.19. Komatsu D155A-5, 4 категорія ґрунту

$$P_{уц.п} = 7,909 * 320000 = 2530880 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.г} = 2530880 * 0.0032 = 8099 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.в} = 2530880 * 0,9999 = 2530627 \text{ Н}.$$

3.4.20. Komatsu D375A-2, 4 категорія ґрунту

$$P_{уц.п} = 12 * 320000 = 3840000 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.г} = 3840000 * 0.0044 = 16896 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.в} = 3840000 * 0,9999 = 3839616 \text{ Н}.$$

Числові значення зосередженої сили $P_{уц.п}$ та її складових занесено до таблиці 3.9 та 3.10.

Таблиця 3.9

Значення зосередженої сили $P_{уц.п}$ та її складових при 1 та 2 категорії ґрунту

Машини та параметри	1 категорія ґрунту			2 категорія ґрунту		
	$P_{уц.п}$	$P_{уц.п.г}$	$P_{уц.п.в}$	$P_{уц.п}$	$P_{уц.п.г}$	$P_{уц.п.в}$
Komatsu D21A-7	226400	145	22638	452800	2898	452755
Komatsu D65E-12	418400	10209	418274	836800	10209	836716
Komatsu D155A-5	632720	10503	632087	1265440	10630	1265313
Komatsu D375A-2	960000	17280	959808	1920000	17280	1919808

Значення зосередженої сили $P_{уц.п}$ та її складових при 3 та 4 категорії ґрунту

Машини та параметри	3 категорія ґрунту			4 категорія ґрунту		
	$P_{уц.п}$	$P_{уц.п.г}$	$P_{уц.п.в}$	$P_{уц.п}$	$P_{уц.п.г}$	$P_{уц.п.в}$
Komatsu D21A-7	679200	6113	679132	905600	1811	905509
Komatsu D65E-12	125520 0	3263	1255074	1673600	8201	1673433
Komatsu D155A-5	189816 0	7782	1897970	2530880	8099	2530627
Komatsu D375A-2	288000 0	12672	2879712	3840000	16896	3839616

Аналогічно з попередніми розрахунками знайдемо силу тертя ґрунту по сталі $P_{тр.г-с}$ та силу тертя ґрунту по ґрунту $P_{тр.г-г}$.

Сила тертя ґрунту по сталі:

$$P_{тр.г-с} = P_{уц.п} * \mu_2.$$

Сила тертя ґрунту по ґрунту:

$$P_{тр.г-г} = P_{уц.п} * \mu_1.$$

3.4.21. Komatsu D21A-7, 1 категорія ґрунту

$$P_{тр.г-с} = 226400 * 0,4 = 90560 \text{ Н};$$

$$P_{тр.г-г} = 226400 * 0,7 = 158480 \text{ Н}.$$

3.4.22. Komatsu D65E-12, 1 категорія ґрунту

$$P_{тр.г-с} = 418400 * 0,4 = 167360 \text{ Н};$$

$$P_{тр.г-г} = 418400 * 0,7 = 292880 \text{ Н}.$$

3.4.23. Komatsu D155A-5, 1 категорія ґрунту

$$P_{тр.г-с} = 632720 * 0,4 = 253088 \text{ Н};$$

$$P_{тр.г-г} = 632720 * 0,7 = 442904 \text{ Н}.$$

3.4.24. Komatsu D375A-2, 1 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 960000 * 0,4 = 384000 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 960000 * 0,7 = 672000 \text{ Н.}$$

3.4.25. Komatsu D21A-7, 2 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 452800 * 0,4 = 181120 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 452800 * 0,7 = 316960 \text{ Н.}$$

3.4.26. Komatsu D65E-12, 2 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 836800 * 0,4 = 334720 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 836800 * 0,7 = 585760 \text{ Н.}$$

3.4.27. Komatsu D155A-5, 2 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 1265440 * 0,4 = 506176 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 1265440 * 0,7 = 885808 \text{ Н.}$$

3.4.28. Komatsu D375A-2, 2 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 1920000 * 0,4 = 768000 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 1920000 * 0,7 = 1344000 \text{ Н.}$$

3.4.29. Komatsu D21A-7, 3 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 679200 * 0,4 = 271680 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 679200 * 0,9 = 611280 \text{ Н.}$$

3.4.30. Komatsu D65E-12, 3 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 1255200 * 0,4 = 502080 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 1255200 * 0,9 = 1129680 \text{ Н.}$$

3.4.31. Komatsu D155A-5, 3 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 1898160 * 0,4 = 759264 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 1898160 * 0,9 = 1708344 \text{ Н.}$$

3.4.32. Komatsu D375A-2, 3 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 2880000 * 0,4 = 1152000 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 2880000 * 0,9 = 2592000 \text{ Н.}$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		119

3.4.33. Komatsu D21A-7, 4 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 905600 * 0,4 = 362240 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 905600 * 0,9 = 815040 \text{ Н.}$$

3.4.34. Komatsu D65E-12, 4 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 1673600 * 0,4 = 669440 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 1673600 * 0,9 = 1506240 \text{ Н.}$$

3.4.35. Komatsu D155A-5, 4 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 2530880 * 0,4 = 1012352 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 2530880 * 0,9 = 2277792 \text{ Н.}$$

3.4.36. Komatsu D375A-2, 4 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 3840000 * 0,4 = 1536000 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 3840000 * 0,9 = 3456000 \text{ Н.}$$

Значення сил тертя ґрунту по сталі $P_{\text{тр.г-с}}$ і тертя ґрунту по ґрунту $P_{\text{тр.г-г}}$ для довгої вузької плити занесено до таблиці 3.11 і 3.12.

Таблиця 3.11

Значення сил тертя ґрунту по сталі $P_{\text{тр.г-с}}$ і тертя ґрунту по ґрунту $P_{\text{тр.г-г}}$ для довгої вузької плити для 1 і 2 категорії ґрунту

	1 категорія ґрунту		2 категорія ґрунту	
	$P_{\text{тр.г-с}}$, Н	$P_{\text{тр.г-г}}$, Н	$P_{\text{тр.г-с}}$, Н	$P_{\text{тр.г-г}}$, Н
Komatsu D21A-7 $T_{\text{зчд}} = 64040 \text{ Н}$ $T_{\text{N}} = 22799$	90560	158480	181120	316960
Komatsu D65E-12 $T_{\text{зчд}} = 372560 \text{ Н}$ $T_{\text{N}} = 101288$	167360	292880	334720	585760
Komatsu D155A-5 $T_{\text{зчд}} = 607435$ $T_{\text{N}} = 172142$	253088	442904	506176	885808
Komatsu D375A-2 $T_{\text{зчд}} = 1012392$ $T_{\text{N}} = 303659$	384000	672000	768000	1344000

Таблиця 3.12

Значення сил тертя ґрунту по сталі $P_{тр.г-с}$ і тертя ґрунту по ґрунту $P_{тр.г-г}$ для довгої вузької плити для 3 і 4 категорії ґрунту

	3 категорія ґрунту		4 категорія ґрунту	
	$P_{тр.г-с}$, Н	$P_{тр.г-г}$, Н	$P_{тр.г-с}$, Н	$P_{тр.г-г}$, Н
Komatsu D21A-7 $T_{зчд}=64040$ Н $T_N = 22799$	271680	611280	362240	815040
Komatsu D65E-12 $T_{зчд}=372560$ Н $T_N = 101288$	502080	1129680	669440	1506240
Komatsu D155A-5 $T_{зчд} = 607435$ $T_N = 172142$	759264	1708344	1012352	2277792
Komatsu D375A-2 $T_{зчд} = 1012392$ $T_N = 303659$	1152000	2592000	1536000	3456000

Примітка: В таблицях 3.11 і 3.12 жирним виділено цифри, коли опір тертя ґрунту по сталі перевищує силу тяги бульдозера за зчепленням.

3.5. Уточнювальний розрахунок категорії ґрунту, до якої можна максимально ущільнити ґрунт за рахунок сили тяги за зчепленням, довгою вузькою віброплитою

3.5.1. Komatsu D21A-7

Порівняємо силу тертя ґрунту по сталі і силу тяги за зчепленням та зробимо зворотній розрахунок.

$$P_{тр.г-с} = 226400 * 0,4 = 90560 \text{ Н};$$

$$P_{тр.г-с} = P_{ущ.п} * 0,4 = 64040 \text{ Н};$$

					ДІП.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		121

$$P_{\text{ущ.п}}=64040/0,4 = 160100 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п}} = A_{\text{пл.д.в}} * [\sigma_{3M}];$$

$$160100= 2,83 * [\sigma_{3M}];$$

$$[\sigma_{3M}] = 160100/2,83 = 56572 \text{ Па};$$

$$k_{\text{пит}}=[\sigma_{3M}]/0,8=56572 /0,8=70715 \text{ Па}$$

Максимальне ущільнення ґрунту можливе до напруження $k_{\text{пит}}=70715$ Па, що відповідає ґрунту 1 категорії.

3.5.2. Komatsu D65E-12

Порівняємо силу тертя ґрунту по сталі і силу тяги за зчепленням та зробимо зворотній розрахунок.

$$P_{\text{тр.г-с}} = 1255200*0,4 = 502080 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-с}} = P_{\text{ущ.п}}*0,4 = 372560 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п}}= \frac{372560}{0,4} = 931400 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п}} = A_{\text{пл.д.в}} * [\sigma_{3M}];$$

$$931400 = 5,23 * [\sigma_{3M}];$$

$$[\sigma_{3M}] = \frac{931400}{5,23} = 178088 \text{ Па};$$

$$k_{\text{пит}}= \frac{[\sigma_{3M}]}{0,8} = \frac{178088}{0,8} = 222610 \text{ Па}$$

Максимальне ущільнення ґрунту можливе до напруження $k_{\text{пит}} = 222610$ Па, що знаходиться між 2 та 3 категоріями ґрунту.

3.5.3. Komatsu D155A-5

Порівняємо силу тертя ґрунту по сталі і силу тяги за зчепленням та зробимо зворотній розрахунок.

$$P_{\text{тр.г-с}} = 1898160*0,4 = 759264 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-с}} = P_{\text{ущ.п}}*0,4 = 607435 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п}}= \frac{607435}{0,4} = 1518587 \text{ Н};$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		122

$$P_{\text{ущ.п}} = A_{\text{пл.д.в}} * [\sigma_{3M}];$$

$$1518587 = 7,909 * [\sigma_{3M}];$$

$$[\sigma_{3M}] = \frac{1518587}{7,909} = 192007 \text{ Па};$$

$$k_{\text{пит}} = \frac{[\sigma_{3M}]}{0,8} = \frac{192007}{0,8} = 240009 \text{ Па}.$$

Максимальне ущільнення ґрунту можливе до напруження $k_{\text{пит}}=240009$ Па, що знаходиться між 2 та 3 категоріями ґрунту.

3.5.4. Komatsu D375A-2

Порівняємо силу тертя ґрунту по сталі і силу тяги за зчепленням та зробимо зворотній розрахунок.

$$P_{\text{тр.г-с}} = 2880000 * 0,4 = 1152000 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-с}} = P_{\text{ущ.п}} * 0,4 = 1012392 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п}} = \frac{1012392}{0,4} = 2530980 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п}} = A_{\text{пл.д.в}} * [\sigma_{3M}];$$

$$2530980 = 12 * [\sigma_{3M}];$$

$$[\sigma_{3M}] = \frac{2530980}{12} = 210915 \text{ Па};$$

$$k_{\text{пит}} = \frac{[\sigma_{3M}]}{0,8} = \frac{210915}{0,8} = 263644 \text{ Па}.$$

Максимальне ущільнення ґрунту можливе до напруження $k_{\text{пит}}=263644$ Па, що знаходиться між 2 та 3 категоріями ґрунту.

3.6. Уточнювальний розрахунок категорії ґрунту, до якої можна максимально ущільнити ґрунт за рахунок сили тяги за двигуном, довгою вузькою віброплитою.

3.6.1. Komatsu D21A-7

Порівняємо силу тертя ґрунту по сталі і силу тяги за двигуном та зробимо зворотній розрахунок.

$$P_{\text{тр.г-с}} = P_{\text{ущ.п}} * 0,4 = 22799 \text{ Н};$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
						123
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{уц.п} = 22799 / 0,4 = 56997 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п} = A_{пл.д.в} * [\sigma_{3M}];$$

$$56997 = 2,83 * [\sigma_{3M}];$$

$$[\sigma_{3M}] = \frac{P_{уц.п}}{A_{пл.д.в}} = 56997 / 2,83 = 20140 \text{ Па};$$

$$k_{пит} = [\sigma_{3M}] / 0,8 = 20140 / 0,8 = 25175 \text{ Па}.$$

Максимальне ущільнення ґрунту можливе до напруження $k_{пит} = 25175 \text{ Па}$, що відповідає 1 категорії ґрунту.

3.6.2. Komatsu D65E-12

Порівняємо силу тертя ґрунту по сталі і силу тяги за двигуном та зробимо зворотній розрахунок.

$$P_{тр.г-с} = P_{уц.п} * 0,4 = 101288 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п} = \frac{101288}{0,4} = 253220 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п} = A_{пл.д.в} * [\sigma_{3M}];$$

$$253220 = 5,23 * [\sigma_{3M}];$$

$$[\sigma_{3M}] = \frac{P_{уц.п}}{A_{пл.д.в}} = \frac{253220}{5,23} = 48417 \text{ Па};$$

$$k_{пит} = \frac{[\sigma_{3M}]}{0,8} = \frac{48417}{0,8} = 60251 \text{ Па}.$$

Максимальне ущільнення ґрунту можливе до напруження $k_{пит} = 60251 \text{ Па}$, що відповідає 1 категорії ґрунту.

3.6.3. Komatsu D155A-5

Порівняємо силу тертя ґрунту по сталі і силу тяги за двигуном та зробимо зворотній розрахунок.

$$P_{тр.г-с} = P_{уц.п} * 0,4 = 172142 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п} = \frac{P_{тр.г-с}}{0,4} = \frac{172142}{0,4} = 430355 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п} = A_{пл.д.в} * [\sigma_{3M}];$$

$$430355 = 6,9 * [\sigma_{3M}];$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
						124
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$[\sigma_{3M}] = \frac{P_{уц.п}}{A_{пл.д.в}} = \frac{430355}{6,9} = 62370 \text{ Па};$$

$$k_{пит} = \frac{[\sigma_{3M}]}{0,8} = \frac{62370}{0,8} = 77963 \text{ Па.}$$

Максимальне ущільнення ґрунту можливе до напруження $k_{пит} = 78029$ Па, що відповідає 1 категорії ґрунту.

3.6.4. Komatsu D375A-2

Порівняємо силу тертя ґрунту по сталі і силу тяги за двигуном та зробимо зворотній розрахунок.

$$P_{тр.г-с} = P_{уц.п} * 0,4 = 303659 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п} = \frac{P_{тр.г-с}}{0,4} = \frac{303659}{0,4} = 759147 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п} = A_{пл.д.в} * [\sigma_{3M}];$$

$$759147 = 10,59 * [\sigma_{3M}];$$

$$[\sigma_{3M}] = \frac{P_{уц.п}}{A_{пл.д.в}} = \frac{759147}{10,59} = 71685 \text{ Па};$$

$$k_{пит} = \frac{[\sigma_{3M}]}{0,8} = \frac{71685}{0,8} = 89607 \text{ Па.}$$

Максимальне ущільнення ґрунту можливе до напруження $k_{пит} = 89607$ Па, що відповідає 1 категорії ґрунту.

Таблиця 3.13

Результати розрахунку напруження в ґрунті

Машини та параметри	$k_{пит}$ за зчепленням	$k_{пит}$ за двигуном
Komatsu D21A-7	70715	25175
Komatsu D65E-12	222610	60251
Komatsu D155A-5	240009	78029
Komatsu D375A-2	263644	89607

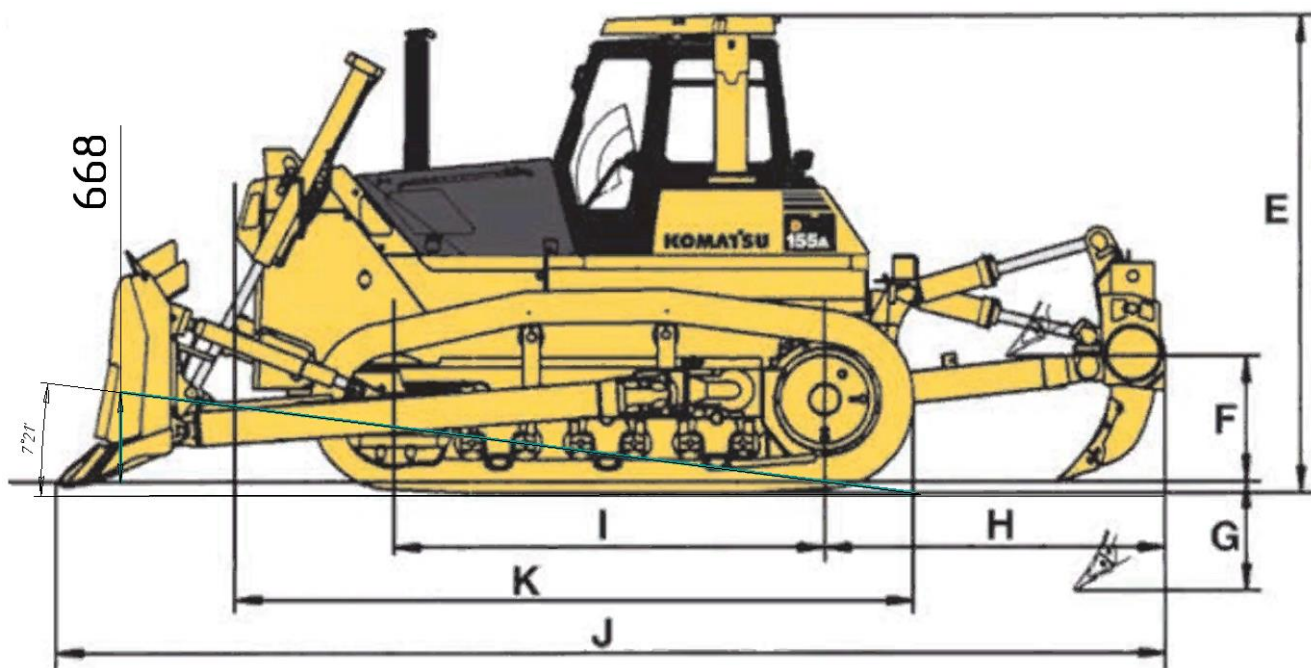


Рис. 3.23. Максимальний кут нахилу віброплити, встановленій на бульдозері Komatsu D155A-5

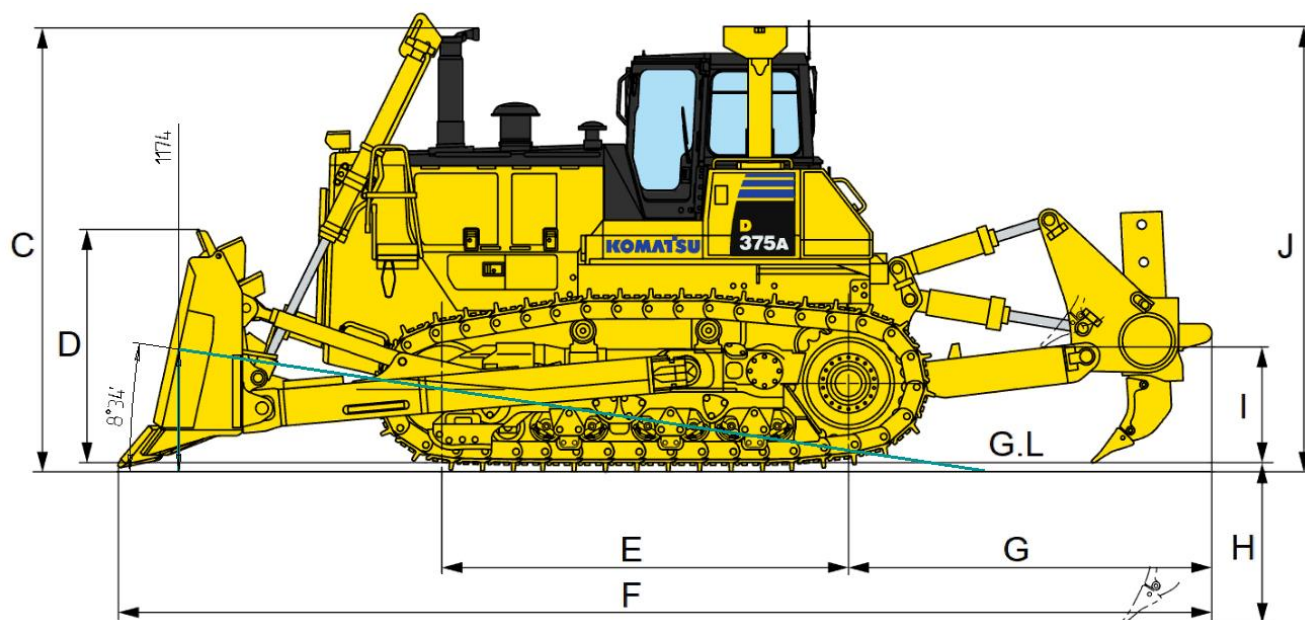


Рис. 3.24. Максимальний кут нахилу віброплити, встановленій на бульдозері Komatsu D375A-2

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІПТ.630000.308.МРПЗ

Арк.

127

Таблиця 3.14

Максимальний кут нахилу довгої вузької вібраційної плити

Машина та параметри	Komatsu D21A-7	Komatsu D65E-12	Komatsu D155A-5	Komatsu D375A-2
Максимальний кут нахилу вібраційної плити, β	9°1'	7°21'	7°21'	8°34'

Таблиця 3.15

Параметри довгої вузької віброплити для обраних бульдозерів

	$b_{\text{пл.д.в}}, \text{ м}$	$l_{\text{пл.д.в}}, \text{ м}$	$A_{\text{пл.д.в}}, \text{ м}^2$
Komatsu D21A-7	0,91	3,11	2,83
Komatsu D65E-12	1,07	4,89	5,23
Komatsu D155A-5	1,1	6,276	6,9
Komatsu D375A-2	1,35	7,845	10,59

Зосереджена сила $P_{\text{ущ.п.}}$:

$$P_{\text{ущ.п.}} = A_{\text{пл.д.в.}} * [\sigma_{3M}].$$

Горизонтальна $P_{\text{ущ.п.г}}$ і вертикальна $P_{\text{ущ.п.в}}$ складові від сили $P_{\text{ущ.п.}}$:

$$P_{\text{ущ.п.г}} = P_{\text{ущ.п.}} * \sin\beta;$$

$$P_{\text{ущ.п.в}} = P_{\text{ущ.п.}} * \cos\beta.$$

3.7.1. Komatsu D21A-7, 1 категорія ґрунту

$$P_{\text{ущ.п.}} = 2,83 * 80000 = 226400 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.г}} = 226400 * 0,1567 = 35477 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.в}} = 226400 * 0,9876 = 223593 \text{ Н}.$$

3.7.2. Komatsu D65E-12, 1 категорія ґрунту

$$P_{\text{ущ.п.}} = 5,23 * 80000 = 418400 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.г}} = 418400 * 0,1279 = 53462 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.в}} = 418400 * 0,9918 = 414572 \text{ Н}.$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		128

3.7.3. Komatsu D155A-5, 1 категорія ґрунту

$$P_{\text{ущ.п}} = 6,9 \cdot 80000 = 552000 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.г}} = 552000 \cdot 0,1279 = 70601 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.в}} = 552000 \cdot 0,9918 = 547474 \text{ Н}.$$

3.7.4. Komatsu D375A-2, 1 категорія ґрунту

$$P_{\text{ущ.п}} = 10,59 \cdot 80000 = 847200 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.г}} = 847200 \cdot 0,1490 = 126233 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.в}} = 847200 \cdot 0,9888 = 837711 \text{ Н}.$$

3.7.5. Komatsu D21A-7, 2 категорія ґрунту

$$P_{\text{ущ.п}} = 2,83 \cdot 160000 = 457600 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.г}} = 457600 \cdot 0,1567 = 71706 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.в}} = 457600 \cdot 0,9876 = 451926 \text{ Н}.$$

3.7.6. Komatsu D65E-12, 2 категорія ґрунту

$$P_{\text{ущ.п}} = 5,23 \cdot 160000 = 836800 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.г}} = 836800 \cdot 0,1279 = 107026 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.в}} = 836800 \cdot 0,9918 = 829938 \text{ Н}.$$

3.7.7. Komatsu D155A-5, 2 категорія ґрунту

$$P_{\text{ущ.п}} = 6,9 \cdot 160000 = 1104000 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.г}} = 1104000 \cdot 0,1279 = 141202 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.в}} = 1104000 \cdot 0,9918 = 1094947 \text{ Н}.$$

3.7.8. Komatsu D375A-2, 2 категорія ґрунту

$$P_{\text{ущ.п}} = 10,59 \cdot 160000 = 1694400 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.г}} = 1694400 \cdot 0,1490 = 252466 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.в}} = 1694400 \cdot 0,9888 = 1675423 \text{ Н}.$$

3.7.9. Komatsu D21A-7, 3 категорія ґрунту

$$P_{\text{ущ.п}} = 2,83 \cdot 240000 = 679200 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.г}} = 679200 \cdot 0,1567 = 106431 \text{ Н};$$

$$P_{\text{ущ.п.в}} = 679200 \cdot 0,9876 = 670778 \text{ Н}.$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		129

3.7.10. Komatsu D65E-12, 3 категорія ґрунту

$$P_{уц.п} = 5,23 * 240000 = 1255200 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.г} = 1255200 * 0,1279 = 160540 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.в} = 1255200 * 0,9918 = 1244907 \text{ Н}.$$

3.7.11. Komatsu D155A-5, 3 категорія ґрунту

$$P_{уц.п} = 6,9 * 240000 = 1656000 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.г} = 1656000 * 0,1279 = 211802 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.в} = 1656000 * 0,9918 = 1642421 \text{ Н}.$$

3.7.12. Komatsu D375A-2, 3 категорія ґрунту

$$P_{уц.п} = 10,59 * 240000 = 2541600 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.г} = 2541600 * 0,1490 = 378698 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.в} = 2541600 * 0,9888 = 2513134 \text{ Н}.$$

3.7.13. Komatsu D21A-7, 4 категорія ґрунту

$$P_{уц.п} = 2,83 * 320000 = 905600 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.г} = 905600 * 0,1567 = 141907 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.в} = 905600 * 0,9876 = 894370 \text{ Н}.$$

3.7.14. Komatsu D65E-12, 4 категорія ґрунту

$$P_{уц.п} = 5,23 * 320000 = 1673600 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.г} = 1673600 * 0,1279 = 214053 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.в} = 1673600 * 0,9918 = 1659876 \text{ Н}.$$

3.7.15. Komatsu D155A-5, 4 категорія ґрунту

$$P_{уц.п} = 6,9 * 320000 = 2208000 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.г} = 2208000 * 0,1279 = 282403 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.в} = 2208000 * 0,9918 = 2189894 \text{ Н}.$$

3.7.16. Komatsu D375A-2, 4 категорія ґрунту

$$P_{уц.п} = 10,59 * 320000 = 3388800 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.г} = 3388800 * 0,1490 = 504931 \text{ Н};$$

$$P_{уц.п.в} = 3388800 * 0,9888 = 3350845 \text{ Н}.$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		130

Таблиця 3.16

Значення зосередженої сили $P_{уц.п}$ та її складових при 1 та 2 категорії ґрунту при максимальному куту нахилу довгої вузької віброплити (Н)

Машини та параметри	1 категорія ґрунту			2 категорія ґрунту		
	$P_{уц.п}$	$P_{уц.п.г}$	$P_{уц.п.в}$	$P_{уц.п}$	$P_{уц.п.г}$	$P_{уц.п.в}$
Komatsu D21A-7	226400	35477	223593	457600	71706	451926
Komatsu D65E-12	418400	53462	414572	836800	107026	829938
Komatsu D155A-5	552000	70601	547474	1104000	141202	1094947
Komatsu D375A-2	847200	126233	837711	1694400	252466	1675423

Таблиця 3.17

Значення зосередженої сили $P_{уц.п}$ та її складових при 3 та 4 категорії ґрунту при максимальному куту нахилу довгої вузької віброплити (Н)

Машини та параметри	3 категорія ґрунту			4 категорія ґрунту		
	$P_{уц.п}$	$P_{уц.п.г}$	$P_{уц.п.в}$	$P_{уц.п}$	$P_{уц.п.г}$	$P_{уц.п.в}$
Komatsu D21A-7	679200	106431	670778	905600	141907	894370
Komatsu D65E-12	1255200	160540	1244907	1673600	214053	1659876
Komatsu D155A-5	1656000	211802	1642421	2208000	282403	2189894
Komatsu D375A-2	2541600	378698	2513134	3388800	504931	3350845

Сила тертя ґрунту по сталі:

$$P_{тр.г-с} = P_{уц.п} * \mu_2.$$

Сила тертя ґрунту по ґрунту:

$$P_{\text{тр.г-г}} = P_{\text{ущ.п}} * \mu_1.$$

3.7.17. Komatsu D21A-7, 1 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 226400 * 0,4 = 90560 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 226400 * 0,9 = 203760 \text{ Н.}$$

3.7.18. Komatsu D65E-12, 1 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 418400 * 0,4 = 167360 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 418400 * 0,9 = 376560 \text{ Н.}$$

3.7.19. Komatsu D155A-5, 1 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 552000 * 0,4 = 220800 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 552000 * 0,9 = 496800 \text{ Н.}$$

3.7.20. Komatsu D375A-2, 1 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 847200 * 0,4 = 338880 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 847200 * 0,9 = 762480 \text{ Н.}$$

3.7.21. Komatsu D21A-7, 2 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 457600 * 0,4 = 183040 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 457600 * 0,9 = 411840 \text{ Н.}$$

3.7.22. Komatsu D65E-12, 2 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 836800 * 0,4 = 334720 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 836800 * 0,9 = 753120 \text{ Н.}$$

3.7.23. Komatsu D155A-5, 2 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 1104000 * 0,4 = 440400 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 1104000 * 0,9 = 990900 \text{ Н.}$$

3.7.24. Komatsu D375A-2, 2 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 1694400 * 0,4 = 677760 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 1694400 * 0,9 = 1524960 \text{ Н.}$$

3.7.25. Komatsu D21A-7, 3 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 679200 * 0,4 = 271680 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 679200 * 0,9 = 611280 \text{ Н.}$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		132

3.7.26. Komatsu D65E-12, 3 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 1255200 * 0,4 = 502080 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 1255200 * 0,9 = 1129680 \text{ Н.}$$

3.7.27. Komatsu D155A-5, 3 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 1656000 * 0,4 = 662400 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 1656000 * 0,9 = 1490400 \text{ Н.}$$

3.7.28. Komatsu D375A-2, 3 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 2541600 * 0,4 = 1016640 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 2541600 * 0,9 = 2287440 \text{ Н.}$$

3.7.29. Komatsu D21A-7, 4 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 905600 * 0,4 = 362240 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 905600 * 0,9 = 815040 \text{ Н.}$$

3.7.30. Komatsu D65E-12, 4 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 1673600 * 0,4 = 669440 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 1673600 * 0,9 = 1506240 \text{ Н.}$$

3.7.31. Komatsu D155A-5, 4 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 2208000 * 0,4 = 883200 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 2208000 * 0,9 = 1987200 \text{ Н.}$$

3.7.32. Komatsu D375A-2, 4 категорія ґрунту

$$P_{\text{тр.г-с}} = 3388800 * 0,4 = 1355520 \text{ Н};$$

$$P_{\text{тр.г-г}} = 3388800 * 0,9 = 3049920 \text{ Н.}$$

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		133

Таблиця 3.18

Значення сил тертя ґрунту по сталі $P_{тр.г-с}$ і тертя ґрунту по ґрунту $P_{тр.г-г}$ для довгої вузької плити з максимальним нахилом при 1 і 2 категорії ґрунту

	1 категорія ґрунту		2 категорія ґрунту	
	$P_{тр.г-с}$, Н	$P_{тр.г-г}$, Н	$P_{тр.г-с}$, Н	$P_{тр.г-г}$, Н
Комatsu D21A-7 $T_{зчд}=64040$ Н	90560	203760	183040	411840
Комatsu D65E-12 $T_{зчд}=372560$ Н	167360	376560	334720	753120
Комatsu D155A-5 $T_{зчд} = 607435$ Н	220800	496800	440400	990900
Комatsu D375A-2 $T_{зчд} = 1012392$ Н	338880	762480	677760	1524960

Таблиця 3.19

Значення сил тертя ґрунту по сталі $P_{тр.г-с}$ і тертя ґрунту по ґрунту $P_{тр.г-г}$ для довгої вузької плити з максимальним нахилом при 3 і 4 категорії ґрунту

	3 категорія ґрунту		4 категорія ґрунту	
	$P_{тр.г-с}$, Н	$P_{тр.г-г}$, Н	$P_{тр.г-с}$, Н	$P_{тр.г-г}$, Н
Комatsu D21A-7 $T_{зчд}=64040$ Н	271680	611280	362240	815040
Комatsu D65E-12 $T_{зчд}=372560$ Н	502080	1129680	669440	1506240
Комatsu D155A-5 $T_{зчд} = 607435$ Н	662400	1490400	883200	1987200
Комatsu D375A-2 $T_{зчд} = 1012392$ Н	1016640	2287440	1355520	3049920

Примітка: В таблицях 3.18 і 3.19 жирним виділено цифри, коли опір тертя ґрунту по сталі перевищує силу тяги бульдозера за зчепленням.

3.8. Висновки за розділом

Таким чином розрахунки 3-го розділу показали, що при обраних початкових параметрах ущільнення ґрунту можливе, але в залежності від моделі бульдозера найвища ущільнювальна категорія ґрунту може відрізнитися. Зокрема Komatsu D21A-7, оснащений короткою широкою віброплитою, може ущільнювати ґрунт, що знаходиться між 2 та 3 категоріями. При оснащенні довгою вузькою плитою бульдозер Komatsu D21A-7 має можливість ущільнювати ґрунт, що відповідає ґрунту 1 категорії. Komatsu D65E-12, Komatsu D155A-5, Komatsu D375A-2 в свою чергу мають можливість ущільнювати ґрунт, що знаходиться між 2 та 3 категоріями.

Варто звернути увагу, що в розрахунках не враховувалася вібрація віброплити. Додаткове використання вібрації ущільнювальної плити може прискорити процес ущільнення ґрунту і збільшити кут нахилу плити по відношенню до максимального кута, що призведе до збільшення товщини ущільнювального шару ґрунту.

Застосовуючи бульдозер з короткою широкою ущільнювальною віброплитою, можна використовувати її в кінці процесу відсіпки ґрунту в місці, де ґрунт утворює похилу поверхню. Це можна робити за рахунок призми волочіння чи за рахунок самого відвалу і віброплити. В цьому випадку широка коротка віброплита буде нахилитися під більшим кутом, ніж потрібно для вертикального ущільнення ґрунту, таким чином ущільнюючи ґрунт вперед.

Бульдозер, обладнаний довгою вузькою плитою може значно допомогти при проходженні слабких ґрунтів, таких як чорнозем, піски, легкі суглинки, торфовища та інші. Віброплита збільшує площу контакту з поверхнею, перерозподіляючи вагу бульдозера рівномірніше. Це знижує тиск на ґрунт і зменшує ризик пробуксування та просідання. У разі ущільнення ґрунту віброплитою при русі машини, покращується несуча здатність слабких ґрунтів, запобігаючи їх розмиванню та деформації, що підвищує стійкість машини та знижує ймовірність застрягання. У разі застрягання машини у ґрунті ущільнювальна плита зменшує вертикальну

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		135

осадку машини і може використовуватися як лижа у разі її буксирування іншими машинами.

Довга вузька вібраційна плита може складатися з двох та більше з'єднаних шарнірно частин. Шарнірне з'єднання двох частин віброплити дозволяє адаптуватися до різних умов роботи. Кожна частина може працювати під різними кутами, що збільшує ефективність ущільнення. Це може бути корисним у складних умовах, наприклад, на нерівних або похилих ділянках. Поділ віброплити на дві частини може знизити навантаження на окремі елементи (наприклад, гідроциліндри), зменшуючи ризик перевантажень та поломок. Однак для такої конструкції можливо буде потрібна більш складна система управління для точної синхронізації роботи обох частин, щоб забезпечити їх ефективну взаємодію.

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		136

ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

Серед різних видів машин для земляних робіт – екскаватор, скрепер, грейдер, бульдозер. Бульдозер був обраний як потенційно можлива машина для модифікації.

Основний недолік вибору скрепера – це те, що він не має зручного місця для обладнання його віброплитою, і хоча віброплиту можна приєднати до задньої частини скрепера – тоді не має можливості виконувати керування по зміні кута нахилу ущільнення.

Грейдер має колісну ходову частину, і, на відміну від бульдозера, не має моделей, оснащених гусеницями. Гусениці рівномірніше розподіляють тиск на ґрунт через більшу площу контакту, крім того вони ефективніше ущільнюють пухкий ґрунт, на відміну від коліс, які можуть в ньому застрягнути.

Бульдозер, на думку автора, є найбільш перспективним вибором серед машин для земляних робіт, для оснащення його вібраційною плитою. Бульдозери мають широкий вибір моделей з гусеничним опорно-ходовим обладнанням. Встановлення віброплити за відвалом або під днищем машини дає можливість керування кутом нахилу віброплити за необхідністю. Конструкція бульдозера, оснащеного віброплитою, дає можливість одночасного ущільнення ґрунту разом із його розподілом чи навіть копанням. В останньому випадку дія вібрації плити на відвал може бути корисною. Вібрація створює зусилля, які зменшують силу зчеплення частинок ґрунту з робочою поверхнею відвала чи віброплити. Це полегшує його копання та ущільнення. Вібрація під час копання ґрунту збільшує на нього динамічний вплив і інтенсифікує процес копання. Відвал може легше врізатися у щільні ґрунти, знижуючи опір на ножовій системі. Тому буде потрібно менше зусиль для копання ґрунту відвалом, що може знизити навантаження на двигун.

Стосовно розподілення ґрунту – вібрація від віброплити може створити ефект створення миттєвого зазору між плитою і ґрунтом, що позитивно вплине на процес його розподілу і ущільнення через те, що зменшиться сила тертя ґрунту по плиті, яка заважає цьому процесу.

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		137

Але варто зазначити, що постійна вібрація збільшує навантаження на відвал, що може призвести до його прискореного зношування. Тому доцільно було б встановити між віброплитою та відвалом демпферні вставки, які гаситимуть коливання.

Таким чином можна зазначити, що бульдозер є більш універсальним для впровадження додаткового робочого органу.

В роботі запропоновано два варіанти віброплит для бульдозерів. Перший з них – це широка коротка віброплита, другий варіант – вузька довга.

Коротка широка віброплита має ширину приблизно рівну ширині відвала, а довжина підібрана так, щоб віброплита не торкалася гусениць у будь-яких положеннях. Доцільно використовувати бульдозер з короткою широкою ущільнювальною віброплитою, наприклад, в кінці процесу відсіпки ґрунту в місці, де ґрунт утворює похилу поверхню. Це можна робити за рахунок призми волочіння чи за рахунок самого відвалу і віброплити. В цьому випадку широка коротка віброплита буде нахилитися під більшим кутом, ніж потрібно для вертикального ущільнення ґрунту, таким чином ущільнюючи ґрунт вперед.

Ширина вузької довгої віброплити вибирається з урахуванням її розміщення у міжгусеничному просторі бульдозера під його днищем і за відвалом за умови незачіплення віброплитою рухомих частин рушія, а довжина вибирається такою, щоб можна було розмістити гідропривод керування плитою позаду бульдозера. Бульдозер, обладнаний довгою вузькою плитою може значно допомогти при проходженні слабких ґрунтів, таких, як чорнозем, піски, легкі суглинки, торфовища та інші. Віброплита збільшує площу контакту з поверхнею, перерозподіляючи вагу бульдозера рівномірніше. Це знижує тиск на ґрунт і зменшує ризик пробуксування та просідання. У разі ущільнення ґрунту віброплитою при русі машини, покращується несуча здатність слабких ґрунтів, запобігаючи їх розмиванню та деформації, що підвищує стійкість машини та знижує ймовірність застрягання. У разі застрягання машини у ґрунті

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		138

ущільнювальна плита зменшує вертикальну осадку машини і може використовуватися як лижа у разі її буксирування іншими машинами.

Розрахунки велися з урахуванням того, що сумарний опір руху машини буде максимальним. Таким чином створюються максимально можливі жорсткі умови для роботи бульдозерів.

В процесі розрахунків враховувалася категорія ґрунту, тягові можливості бульдозера за зчепленням і двигуном та товщина стружки при ущільненні ґрунту, яка початково вибиралася такою, як при його копанні.

За умови наявності тягових можливостей бульдозера товщина відсипаного ґрунту для наступного ущільнення може бути змінена як у більшу, так і меншу сторону.

За умови недостатності сили тяги за зчепленням чи двигуном для максимального ущільнення ґрунту до певної категорії розрахована можлива ступінь ущільнення ґрунту.

За результатами виконаної роботи виконані співставні діаграми, які вказують на область раціонального використання конкретних моделей бульдозерів.

У перспективі подальших досліджень пропонується детальніше зупинитися на розрахунку параметрів процесу ущільнення ґрунту запропонованим робочим обладнанням бульдозеру з детальним розрахунком вібраційного ущільнення ґрунту, тобто потрібно уточнити, як зміниться товщина ущільненого ґрунту за один прохід до максимальної ступені при використанні вібраційного режиму а також розрахувати параметри, що впливають на продуктивність бульдозера, і саму продуктивність, яку можна порівняти з продуктивністю машини, що працює в статичному режимі. Серед таких параметрів може бути швидкість руху машини, час циклу і його складові та товщина ущільнення ґрунту.

З точки зору розвитку запропонованої конструкції робочого обладнання варто звернути уваги на зменшення вартості її матеріалоемності за рахунок раціонального розподілу металу.

					ДПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
						139
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Машина для земляних робіт: навчальний посібник / [Хмара Л.А., Кравець С.В., Нічке Л.В., Назаров Л.В., Скоблюк М.П., Нікітін В.Г.]; під загальною редакцією проф. Хмари Л.А. та проф. Кравця С.В. – Рівне – Дніпропетровськ – Харків, 2010. – 557 с.

2. Блохін В.С. Основні параметри технологічних машин. Машина для земляних робіт: У 2 ч.: навч. посіб. / Блохін В.С., Маліч М.Г. – К.: Вища шк., 2006. – Ч. 1. – 497 с.

3. Блохін В.С. Основні параметри технологічних машин. Машина для земляних робіт: У 2 ч.: навч. посіб. / Блохін В.С., Маліч М.Г. – К.: Вища шк., 2009. – Ч. 2. – 455 с.

4. Блохін В. С. Машина для земляних робіт, передумови підвищення їх конкурентоздатності: навчальний посібник / Блохін В. С., Маліч М. Г. – Друк ВАТ «Видавництво «Зоря», 2005. – 292 с

5. Хмара Л. А. Модернізація та підвищення продуктивності будівельних машин / Хмара Л. А., Колесник М. П., Станевський В. П. – К.: Будівельник, 1992. – 152 с.

6. Блохін В.Г. Сучасний експеримент: підготовка, проведення, аналіз результатів / Блохін В.Г., Глубкін О.П., Гуров А.І., Ханін М.А. – М.: Радіо та зв'язок, 1997 – 231 с.

7. ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва.

8. ДБН А.3.2-2-2009. Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека в будівництві. Основні положення.

9. НПАОП 0.00-4.12-2005. Перелік робіт з підвищеною небезпекою.

10. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

11. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.

					ДІТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		140

12. Черевченко Д.А. Дослідження і розробка робочого обладнання бульдозера для ущільнення ґрунту / Черевченко Д.А., Главацький К.Ц. / Молода академія - 24. [Текст]:Т.І: зб. тез доп. Міжнар. наук.-техн. конф. студентів і молодих учених, Дніпро, 23-24 травня. 2024 р.-Дніпро: УДУНТ, 2024, 183 с. С. 75-76.

13. Черевченко Д.А. Дослідження і розробка робочого обладнання бульдозера для ущільнення ґрунту / Черевченко Д.А., Главацький К.Ц. / Наука і сталий розвиток транспорту 2024. [Текст]: Т.ІІ: зб. тез доп. Всеукр. наук.-техн. конф. студентів і молодих учених, Дніпро, 27 листоп. 2024 р.-Дніпро: УДУНТ, 2024.- 204 с. С. 142.

14. D.GUTZWILLER. Vibrating plate GPH [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://d-gutzwiller.com/en/produits/vibrating-plate-gph/>

15. Youtube. Vibrating Plate Compactor for Excavator [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=mKOx5Fn1glU>

16. Youtube. Vibratory Plate Compactor Work Tool Attachment at Work [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.youtube.com/watch?v=O_yKhkiTN9k

					ДІПТ.630000.308.МРПЗ	Арк.
						141
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		