

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО АВТОМОБИЛЬНЫМ
ДОРОГАМ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ,
СТРОИТЕЛЬСТВУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ
ДОРОГ**

На правах рукописи

УДК 624.113

Эргашева Дилсуз Истамовна

**«Обоснование рациональной формы поперечного профиля
неповоротного отвала бульдозера»**

Диссертация

на соискание степени магистра

5А310601 – «Наземные транспортные системы»

(Строительно-дорожные машины)»

Научный руководитель:

проф.Шукуров Р.У

Ташкент -2018

Разрешение.

Тема диссертации: **«Обоснование рациональной формы поперечного профиля неповоротного отвала бульдозера»**

Я, Эргашева Дилсуз Истамовна разрешаю библиотеку Ташкентского института по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог производить выкопировки моей магистерской диссертации в целом или ее отдельных разделов в установленном ректором ТИПСЭАД порядке.

В случае если материалы моей диссертации будут использоваться для коммерческих целей или для получения прибыли необходимо получение дополнительного разрешения для чего прошу поставить меня в известность по адресу: Кашкадарьинский область, Каршинский район, Кухинур-62

Оглавление

Введение.....	4
Глава I. Состояние вопроса. Цели и задачи исследования.	
1.1.Обзор и анализ конструкции бульдозерных рабочих органов.....	9
1.2.Обзор технических решений по разработки конструкции рабочих органов бульдозерного оборудования.....	26
1.3. Требования к рабочим органам бульдозерных оборудований.....	38
Цели и задачи исследования.....	42
Выводы по главе I.....	43
Глава II. Экспериментальные исследования взаимодействия с различными формы поперечными профилями неповоротного отвала бульдозера с грунтом.	
2.1. Методика проведения экспериментов на моделях отвалов бульдозеров.....	44
2.2. Расчет производительности бульдозера.....	59
2.3 Расчет объема призмы волочения отвала бульдозера.....	66
2.4.Аналитическое исследование расчета формы поперечного профиля неповоротного отвала бульдозера.....	70
Выводы по главе II.....	73
Глава III. Результаты исследований и их оценка.	
3.1.Результаты экспериментальных данных.....	74
3.2.Оценка технико-экономических показателей и область применения.....	87
Выводы по главе III.....	91
Общие выводы и рекомендации.....	92
Использованная литература.....	94
Приложение.	

ВВЕДЕНИЕ

В постановление Президента Республики Узбекистана отмечается, что в целях дальнейшего совершенствования задач по реализации проектов перспективного развития Узбекской национальной автомагистрали, автомобильных дорог общереспубликанского и местного значения и обеспечение надежного функционирования автомобильных дорог, тоннелей, мостов и путепроводов с учетом расширения использования местных материалов, внедрение современных технологий дорожного строительства и эффективной эксплуатации дорожно-строительной техники и транспортных систем [1].

Разрешение сети автомобильных дорог с твердым покрытием, реконструкция и совершенствование существующих магистралей, увеличение объемов промышленного и гражданского строительства, повышение эффективности использования техники – это проблемы, имеющие огромное народнохозяйственное значение для нашей страны.

В дорожных, строительных организациях, управлениях механизации сосредоточено большое количество машин, отличающихся по назначению, производительности, уровню надежности. Машинный парк эксплуатационных организаций пополняется современной высокопроизводительной, энергонасыщенной техникой, оснащенной системами автоматического управления, гидравлическими, пневматическими и электрическими системами привода рабочего оборудования. Эффективная эксплуатация машин возможна только при условии проведения качественного технического обслуживания, восстановления вышедших из строя элементов и модернизации конструкций. Переход предприятий по эксплуатации дорожно-строительной техники и оборудования на новые экономические методы хозяйствования и прогрессивные формы организации труда работающих, также предъявляет новые требования к организации производственно-технической базы и вызывает необходимость реконструкции зон

хранения, обслуживания, ремонта машин, складских помещений и Коренная организационная и техническая реконструкция народного хозяйства неминуемо ведёт к интенсификации использования землеройной, строительной, дорожной техники. В сложившихся сложных условиях развития отечественного машиностроения формируется тенденция увеличения потребности техники и ремонтных воздействиях, что в сочетании с замедлением темпов развития системы технического и сервисного обслуживания, ремонта машин вызывает существенное повышение потерь всех видов ресурсов техники вызвали необходимость формирования новой концепции обеспечения качества и эффективности использования машин в условиях ограничения минимума затрат на обеспечение ресурса, запланированного заводом-изготовителем. Интенсивное поступление в Узбекистан в последние годы импортной техники также вынуждает пересмотреть ранее сложившиеся подходы к организации и технологии эксплуатации.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указами Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»[2].

Землеройные машины, оснащенные отвальными рабочими органами, как наиболее универсальные, применяются для всех видов строительства. В последние годы значительное внимание стало уделяться повышению производительности землеройных машин, оснащенных отвальными рабочими органами, путём модернизации и совершенствования рабочего оборудования.

В этих условиях большое значение имеют разработки и внедрения новых высоко эффективных землеройных машин. Исследования и разработка машин для землеройных работ предлагают: синтез системы машин выражающийся в выборе структуры и значений основных параметров землеройных машин исходя из заданных свойств

конструкций и условий их эксплуатации, анализ системы, заключающийся в изучении ее свойств в зависимости от основных параметров и структуры землеройной машины. Одним из основных средств производства земляных работ с последующей транспортировкой грунта в отвал, находящий большое применение в строительстве являются бульдозеры. Бульдозеры благодаря своей универсальности широко распространены в строительстве. Они могут работать самостоятельной машиной при выполнении различных земляных работ, так и в составе комплекса машин. Широкое и эффективное использование бульдозеров объясняется простотой конструкции высокой производительностью при небольших (100-м) дальностях транспортирования грунта низкой себестоимостью выполнения работ, высокой маневренностью. К сожалению потенциал бульдозеров используется далеко не полностью из-за не приспособляемости конструкции машин к работе в различных природно-климатических и производственных условиях[3].

Наличие значительного количества бульдозеров находящихся в настоящее время в эксплуатации обуславливает необходимость дальнейшего усовершенствования рабочего процесса на границах традиционной схемы при которой изменения в конструкции рабочего оборудования могут быть осуществлены в условиях эксплуатации. Для сохранения универсальности бульдозеров и расширения области их эффективного применения, совершенствование рабочего процесса осуществлялось путём установки на бульдозер оборудование различных схем установки отвалов. Принцип системного подхода при анализе рабочего процесса бульдозеров и оценке его эффективности позволил применить в настоящей работе комплексный метод исследования сочетающий изучение системы «рабочий орган-грунт» на моделях с использованием математического эксперимента и методов физического моделирования в совокупности с проверкой результатов. Такой метод

исследовании представляет перспективным в деле интенсификации поиска оптимального решения, особенно на стадии оценки научно-технических идей, позволяющим за относительно короткий срок с минимальными затратами получить необходимую информацию по изучению физической сущности явлений происходящих при взаимодействии новых рабочих органов с грунтом, выявить влияние определяющих параметров на количественные показатели процесса, с помощью выбора рациональной формы поперечного профиля неповоротного отвала бульдозера»

У бульдозеров существенно повышается их использование по времени и расширяется область применения. Этому же способствует использование для грунтовых условий различных схемах, осуществлялось путем установки отвала рациональной формы поперечного профиля неповоротного бульдозера.

Такая, конструкция позволяет улучшить накопительную и удерживающую способность рабочего оборудования, оказать меньшее удельное сопротивление копанию за счет совместного резания грунта ножом отвала и высвободившийся резерв тяговой мощности направить на увеличение объема призмы волочения. Однако, в настоящее время вопросы взаимодействия бульдозерного отвала землеройные машины, оснащенные отвальными рабочими органами, как наиболее универсальные, значительное внимание стало уделяться повышению производительности бульдозеров с различными профилями отвалами.

Основой создания эффективных и экономичных (энергоэффективных) землеройных машин является решение вопроса снижения удельной энергоёмкости процесса копания грунта. Так, для бульдозера этот вопрос тесно связан с характеристиками отвального рабочего органа, поскольку от формы поперечного профиля отвала зависит сопротивление копанию и перемещению призмы грунта. В этом случае особый интерес представляют вопросы совершенствования

рабочего оборудования, выбора рациональных параметров отвальных рабочих органов, то есть таких геометрических параметров неповоротного бульдозерного отвала, при которых достигается наименьшая удельная энергоёмкость рабочего процесса.

Повышение энергоэффективности рабочих процессов бульдозеров посредством совершенствования геометрических параметров поперечного профиля отвала является актуальной научно-технической задачей.

Объект исследования — процессы взаимодействия поперечного профиля неповоротного отвала бульдозера с грунтом в процессе копания.

Предмет исследования - выявление закономерностей влияния формы поперечного профиля отвала бульдозера на удельную энергоёмкость копания грунта.

Глава I Состояние вопроса и задачи исследования.

1.1. Обзор и анализ конструкции бульдозерных оборудований.

Анализ развития бульдозеров и в частности анализ патентных материалов, показывает следующие основные тенденции в развитии рабочих органов: увеличение их размеров и емкости соответственно повышению мощности машин; разделение на функциональные элементы и узлы в соответствии с особенностями процессов взаимодействия с грунтом; применение устройств, интенсифицирующих копание, транспортирование и разгрузку грунта; применение устройств, обеспечивающих оптимизацию параметров в процессе работы в зависимости от выполняемых операций; применение новых физических методов разрушения грунтов[4].

Проработаны основные вопросы, связанные конфигурацией поперечного профиля отвальных рабочих органов, раскрытые в работах А.И. Недорезова, Д.И. Фёдорова, А.А. Яркина, Д.П. Волкова и Т.И. Аскарходжаева, А.А. Кабашева и др. Установлено, что при определении оптимальных параметров профиля отвала бульдозера принимают в качестве критерия наименьшее сопротивление копанию при наибольшем объёме призмы волочения. Рациональный поперечный профиль должен иметь переменную кривизну в нижней части отвальной поверхности.

Совершенствование отвальных рабочих органов тесно связано с проблемой взаимодействия рабочих органов с разрабатываемой средой, исследованной в работах К.А. Артемьева, В.И. Баловнева, А.Л.Баладинского, Ю.А.Ветрова, А.М.Завьялова, А.Н.Зеленина, И.А. Недорезова, А.С. Слюсарева, Л.А. Хмара и др. На основе анализа этих работ выделены направления дальнейших исследований и сформулирована цель работы.

Бульдозер - землеройная машина, состоящая из базового тягача бульдозерного (навесного) оборудования, предназначенная для резания и перемещения грунта и планировки разрабатываемой поверхности.

Бульдозеры как навесное оборудование на тракторы, тягачи и другие базовые машины широко распространены, что объясняется простотой их конструкции, высокой производительностью, возможностью их использования в самых разнообразных грунтовых и климатических условиях и относительно низкой стоимостью, выполненных работ. Применяются они в дорожном, железнодорожном, горнорудном, мелиоративном и ирригационном строительстве[5].

Для большинства современных гусеничных бульдозеров экономически выгодная дальность перемещений и настоящее время ее превышает 60-80 м, колесных 100-150 м [6]

Бульдозеры классифицируются по следующим признакам:

- назначения;
- вес;
- мощность;
- силе тяги базовой машины;
- типу двигателя;
- отдельным конструктивным признакам;
- системе управления рабочим органом и др.

По назначению бульдозеры делятся на бульдозеры общего назначения, приспособленные для выполнения разнообразных землеройно-планировочных и строительных работ в различных грунтовых условиях, и на бульдозеры специального назначения, которые предназначаются для выполнения определенных видов работ.

Классификация бульдозеров по номинальному тяговому усилию представлено в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Типы	N в кВт (л. с)	T _{кв} T
Малогабаритные	До 15 (20)	До 2,5
Легкие	15,5 -60 (21 - 80)	2,6 - 7,5
Средние	60 - 108 (81 - 147)	14,5
Тяжелые	110-220(150-300)	30,0
Сверхтяжелые	Больше 220 (больше 300)	Больше 30

По типу двигателя базовой машины бульдозеры разделяются на гусеничные и колесные. Колесные бульдозеры создаются на базе колесных тракторов, колесных тягачей автомобилей и специализированных самоходных машин (автогрейдеров и др.) [7,8,9]

По размещению рабочего органа бульдозерного оборудования на базовой машине различают бульдозеры с передним и задним расположением отвала. По типу механизма управления бульдозеры разделяются на бульдозеры с гидравлическим, канатным и смешанным управлением.

В бульдозерах с гидравлическим управлением отвал внедряется в грунт принудительно в результате усилий, развиваемых гидросистемой. Эти усилия могут достигать 40% и более от общего веса трактора. При гидравлическом управлении отвалу могут быть заданы четыре положения: подъем, принудительное опускание, плавающее положение, фиксированное положение[10].

Различают: бульдозер с неповоротным отвалом, т.е. бульдозер отвал которого имеет неизменное положение в горизонтальной плоскости, перпендикулярное продольной оси машины; бульдозер с поворотным отвалом, т.е. бульдозер, у которого можно изменять положение отвала в горизонтальной плоскости[11].

Основные параметры бульдозеров:

За главный параметр бульдозеров принимается номинальное тяговое усилие трактора или тягача[12].

Основные параметры бульдозеров приняты:

- эксплуатационный вес бульдозера;
- скорости рабочего и обратного хода;
- среднее удельное давление ходовой части на грунт и смещение центра давления;
- удельное горизонтальное усилие и вертикальное давление на режущей кромке лопаты, определяющее возможность разработки

бульдозером грунтов с различным сопротивлением копанию.

Бульдозер послойно срезает грунт и одновременно перемещает его волоком по поверхности земли к месту укладки.

Бульдозеры применяют для возведения насыпей из грунтов боковых резервов, разработки выемок, грубого планирования поверхностей земляных сооружений, для засыпки рвов, траншей, обваловки сооружений, а также для подготовительных работ валки отдельных деревьев, срезки кустарника, корчевания отдельных пней и камней. Бульдозеры используют также для распределения грунтовых отвалов при работе экскаваторов и землевозов, образования штабелей сыпучих материалов (песка, щебня) и их подачи к перерабатывающим агрегатам, для снегоочистки, формирования террас на косогорах, производства вскрышных работ в карьерах, изменяют положение на направляющих рамы и фиксируются закладными штырями. Задние проушины толкателей можно переставлять по высоте относительно ползунов, изменяя, таким образом, угол резания. Опуская проушину одного толкателя и поднимая проушину другого, можно произвести поперечный перекося отвала[13].

У бульдозера с неповоротным отвалом (рис. 1.1) отвал 1 крепится посредством универсальных шарниров 8 к толкающему устройству в виде двух брусьев 7 коробчатого сечения, задние концы которых соединены с помощью упряжных шарниров 8 с балками 5 ходового устройства базового трактора 4. Шарниры позволяют толкающим брусьям поворачиваться в вертикальной и горизонтальной плоскостях при перекося отвала. Подъем и опускание отвала осуществляются с помощью двух гидроцилиндров двойного действия 3, штоки которых шарнирно прикреплены к отвалу через кронштейны. Отвал в рабочем положении удерживают гидрораскос 2 и винтовой жесткий раскос 10, которые установлены в плоскостях соответственно левого и правого толкающих брусьев. Нагрузка между толкающими брусьями равномерно

распределяется механизмом 9 компенсации перекоса, обеспечивающим устойчивость отвала в горизонтальной плоскости.

Проанализированы предшествующие работы по оптимизации поперечного профиля неповоротного отвала бульдозера. Основными параметрами неповоротного отвала бульдозера являются: ширина отвала B , высота отвала H , угол резания α (угол между плоскостью ножа и горизонталью), угол наклона отвала E (угол между линией, соединяющей режущую кромку ножа и верхнюю кромку отвальной поверхности), угол опрокидывания

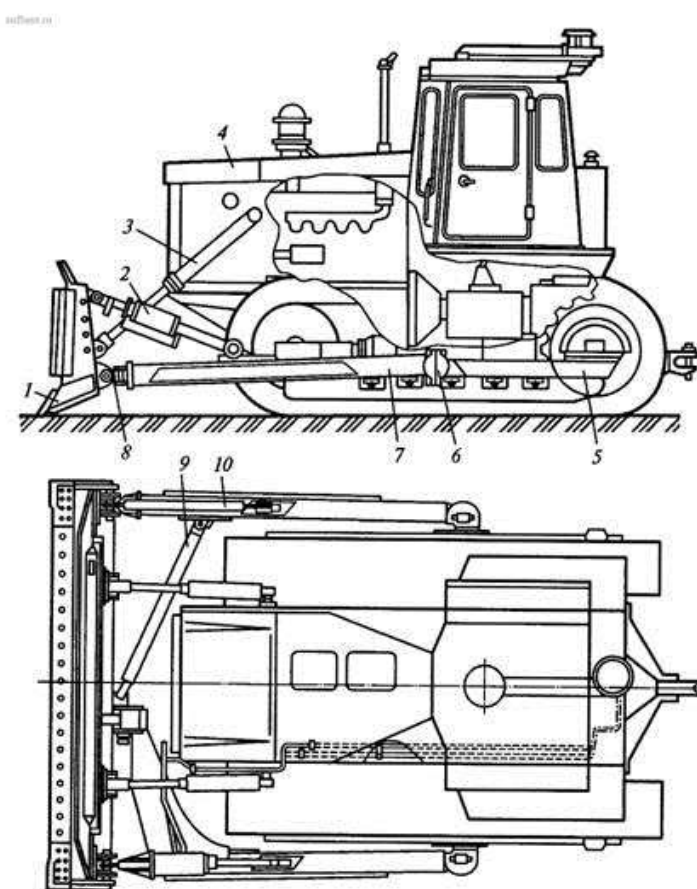


Рис.1.1. Бульдозер с неповоротным отвалом

Гидрораскос осуществляет перекос отвала в поперечной плоскости путем поворота его на угол до $+12^\circ$ и представляет собой гидроцилиндр двойного действия с гидрозамком, который включен в гидросистему трактора. Винтовой раскос служит для механического изменения угла резания ножей.

У поворотного бульдозера отвал 1 монтируется на универсальной

толкающей раме 7, охватывающей снаружи трактор 4 и состоящей из двух жестко соединенных между собой полурам прямоугольного сечения. Рама крепится к ходовым тележкам трактора с помощью упряжных шарниров 5. На раме вместо отвала может быть установлено различное сменное оборудование с гидравлическим управлением - кусторез, древовал, корчеватель-собиратель, плужный снегоочиститель и др. Поворотный отвал соединен с толкающей рамой посредством центрального шарового шарнира 10 и двух боковых толкателей 8 с винтовыми раскосами 2, обеспечивающими различное положение отвала относительно рамы. При одинаковом изменении длины раскосов от среднего положения регулируют угол резания ножей. Угол поперечного перекоса отвала в вертикальной плоскости регулируется путем изменения межцентрового расстояния проушин раскосов.

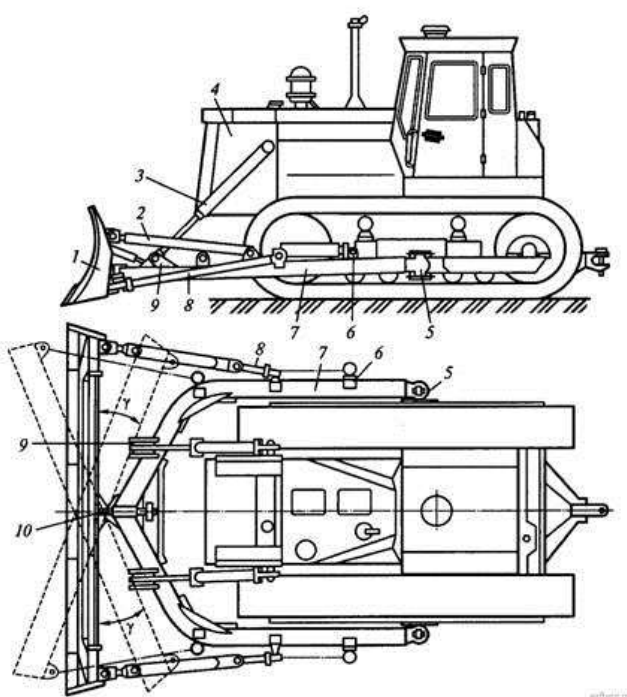


Рис.1.2. Бульдозер с поворотным отвалом

Отвал может быть установлен в плане под углом в обе стороны от продольной оси машины и под прямым углом к ней. Для установки отвала в три положения (прямое, правое и левое) на верхней полке каждой полурамы установлены по три опорных кронштейна 6, в которых шарнирно крепятся толкатели. На скошенной части полурам установлены

кронштейны 9 для крепления гидроцилиндров 3 подъема-опускания отвала. У некоторых моделей бульдозеров изменение угла поворота отвала в плане и регулировка угла перекоса отвала осуществляются с помощью гидроцилиндров.

В зависимости от выполняемых функций можно выделить бульдозеры общего назначения, выполняющие землеройно-планировочные и другие строительные работы в обычных грунтовых и климатических условиях, и специальные, предназначенные для выполнения специальных работ — разравнивания кавальеров, для подземных и подводных разработок и др.

В зависимости от номинального тягового усилия, предусматривает шесть типоразмеров гусеничных бульдозеров с неповоротным и поворотным отвалами классов 4, 6, 10, 15, 25 и 35 тс [14].

Типаж на колесные бульдозеры предусматривает шесть типоразмеров машин с номинальным тяговым усилием 0,9; 1,4; 3; 6; 9 и 15 тс, мощностью соответственно 40—55; 50—80; 130—150; 180—200; 240—300 и 375—430 л. с. [15]

Серийно выпускаются пневмоколесные бульдозеры (в незначительном количестве) класса 3 тс; гусеничные бульдозеры ДЗ-29 (Д-535) и ДЗ-42 (Д-606) класса 3 тс; ДЗ-101 класса 4 тс; ДЗ-53 (Д-686), ДЗ-54С (Д-687С), ДЗ-27С (Д-532С) (в незначительном количестве), ДЗ-17 (Д-492А) и ДЗ-18 (Д-493А) класса 10 тс; ДЗ-24А (Д-521А), ДЭ-35С (Д-575С), ДЗ-25 (Д-522) (в незначительном количестве) класса 15 тс и ДЭ-34С (Д-572С) класса 25 тс. Осваиваются пневмоколесные бульдозеры ДЗ-102, гусеничные бульдозеры ДЗ-104 класса 4 тс и ДЗ-109 класса 10 тс, а также бульдозеры на тракторах Т-220, Т-330 и Т-500 соответственно классов 15; 25 и 35 тс.

По конструкции отвала различают оборудование с неповоротным отвалом, постоянно установленным под прямым углом к продольной оси базовой машины, и с поворотным отвалом, который может быть

установлен под определенным углом в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Бульдозеры с поворотным отвалом часто называют универсальными.

В зависимости от назначения отвалы могут иметь различную форму, а также приставные козырьки, уширители, открывки, выступающий средний нож.

По типу привода подъема и опускания отвала различают бульдозеры с канатным и гидравлическим управлением.

Основными узлами бульдозера являются отвал, толкающее устройство и система управления отвалом.

Отвал представляет собой сварную конструкцию, состоящую из лобового листа, козырька, нижней и верхней коробок жесткости, ребер, приваренных к нижней коробке, боковых стенок и проушин, служащих для соединения отвала с толкающим устройством.

Лобовой лист сварен из двух листов: верхнего, изогнутого по радиусу определенной кривизны, и нижнего, прямого, расположенного наклонно к горизонту, обычно под углом порядка 60° . К нижнему листу болтами крепятся сменные ножи — два крайних 1,3 и один средний, которые имеют двустороннюю заточку, что позволяет по мере износа переворачивать или менять их местами.

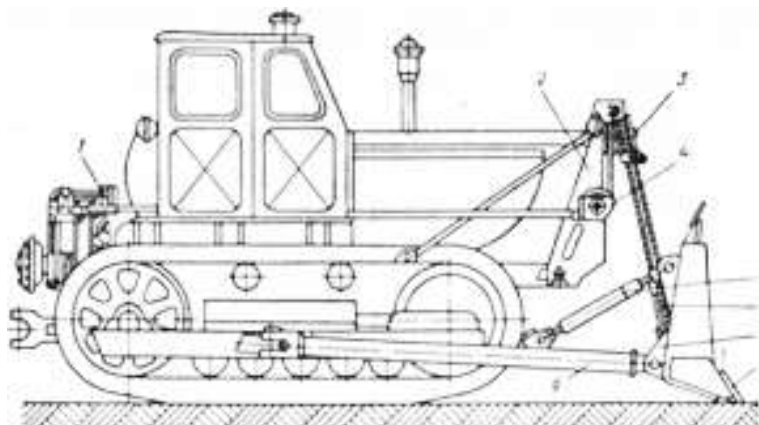


Рис.1.3 Бульдозер ДЗ-53 с неповоротным отвалом и с канатным приводом: 1 — приводная лебедка; 2 передняя стойка; 3 неподвижная обойма полиспаста; 4 — направляющий блок; 5 — винтовые раскосы; 6 — подвижная обойма полиспаста; 7 — отвал; 8 — ножи; 9 — толкающие брусья

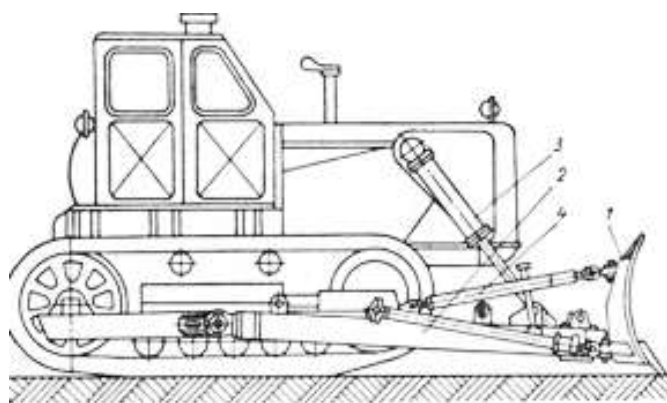


Рис.1.4. Бульдозер ДЗ-18 с поворотным отвалом и гидравлическим приводом:
1 — отвал; 2 — универсальная рама; 3 — гидроцилиндры подъема и опускания отвала; 4 — толкатель

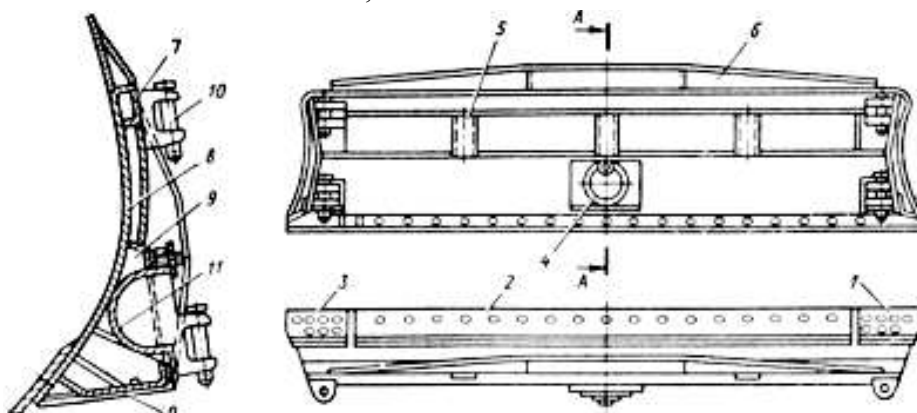


Рис.1.5. Отвал бульдозера ДЗ-18:

1 — крайний правый нож; 2 — средний нож; 3 — крайний левый нож; 4 — крышка; 5 — вертикальная связь; 6 — козырек; 7 - верхняя коробка жесткости; 8 — лобовой лист; 9 - нижняя коробка жесткости; 10 — пальцы крепления; 11 — шаровое гнездо

Нижняя коробка жесткости выполняется из листовой стали, обычно в виде трехгранной призмы. Верхняя коробка представляет собой балку квадратного сечения. Вертикальная жесткость отвала создается связями. Сзади отвала приварены проушины для крепления его к толкающим брускам и раскосам. На боковых щеках отвала могут устанавливаться уширители, увеличивающие объем перемещаемого грунта. Сверху к лобовому листу приварен козырек, укрепленный ребрами, препятствующий пересыпанию грунта через отвал при подъемах и толчках.

У бульдозеров класса 3 тс (ДЗ-29, ДЗ-42 и др.) сзади в середине отвала приварен кронштейн для шарнирного соединения отвала со штоком гидроцилиндра, головка, которого снабжена шаровым

подшипником. У бульдозеров класса 10 тс с неповоротным отвалом (ДЗ-54) последний снабжен проушинами для соединения со штоками гидроцилиндров, толкающими брусьями и раскосами.

У бульдозеров класса 10 тс с поворотным отвалом (ДЗ-18) для соединения с шаровой головкой универсальной рамы вварено в коробку шаровое гнездо, снабженное пластиной. Для соединения отвала с толкателями используют проушины с пальцами. У бульдозеров класса 15 тс (ДЗ-25) отвал вместо шарового гнезда снабжен проушиной, которая входит на наголовник универсальной рамы и шарнирно соединена с ним вертикальным штырем. Отвал по краям имеет дополнительные проушины для соединения со штоками гидроцилиндров поворота отвала в плане.

У бульдозеров с неповоротным отвалом (ДЗ-53) он крепится к двум толкающим брусьям, расположенным с обеих сторон трактора (тягача). Толкающие брусья представляют собой балки прямоугольного или круглого сечения с проушинами для установки отвала и раскосов, а также для крепления бульдозерного оборудования к базовой машине.

Соединение отвала с брусьями бывает жестким или шарнирным. В первом случае — у бульдозеров класса 3 тс (ДЗ-29 и др.) толкающие брусья приварены к отвалу. К их противоположным концам приварены вильчатые ловители. С помощью ловителей и штырей толкающие брусья шарнирно соединены с цилиндрическими цапфами на концах поперечной балки. Последняя крепится в середине трактора к лонжеронам рамы с помощью двух стремянок и упоров, препятствующих ее смещению в продольном направлении [13].

В другом случае — у бульдозеров класса 10 тс (ДЗ-54 и др.) отвал с толкающими брусьями соединяется с помощью винтовых раскосов 5 трубчатого сечения, обеспечивающих изменение угла резания (в пределах 10°) и угла поперечного перекоса (в пределах 4°). Для соединения с опорными шарнирами толкающих брусьев на рамах гусеничных тележек установлены плиты с опорными пальцами. У бульдозера класса 25 тс

установлены сферические опорные шарниры толкающих брусьев.

Толкатели выполнены в виде брусьев коробчатого или трубчатого сечения и винтовых раскосов, которые связаны между собой шарнирными соединениями, обеспечивающими возможность изменения расстояний между местами крепления к раме и отвалу. Толкатели соединены с проушинами на отвале при помощи пальцев и крестовин. В трубу раскоса спереди вварен вкладыш с внутренней резьбой, а сзади — втулка с проушиной; в середине через трубу проходит рукоятка, с помощью которой изменяют длину раскоса. Резьбовая часть винта раскоса защищена от пыли уплотнением.

При помощи винта с вилкой брус соединен со шкворнем, укрепленным в кронштейне на раме. Штоки гидроцилиндров перекоса отвала неподвижно закреплены на направляющих. Ползуны, а вместе с ними и опорные пальцы универсальной рамы перемещаются в результате передвижения гильз цилиндров.

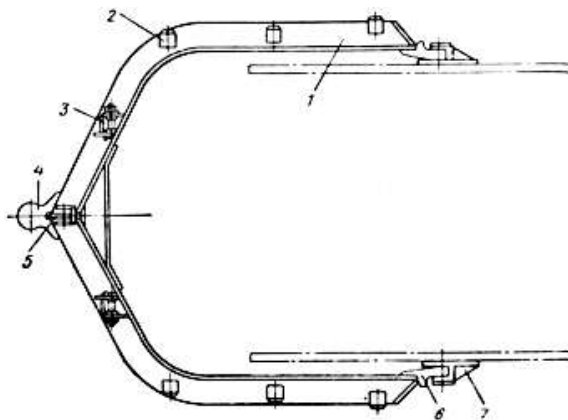


Рис.1.6. Универсальная рама бульдозера ДЗ-18:

1 — полурама; 2 — кронштейн для соединения с толкателем; 3 — проушина для соединения со штоком гидроцилиндра; 4 — шаровая головка; 5 — проушина для соединения с облойкой блоков; 6 — проушина рамы; 7 — опора

У бульдозеров с поворотным отвалом класса 4 тс (ДЗ-104) и осваиваемых бульдозеров классов 25 и 35 тс угол поворота отвала в плане, а также угол его перекоса изменяют с помощью гидроцилиндров. В связи с этим изменена и конструкция универсальной рамы. Так, у бульдозера ДЗ-25 рама вместо кронштейнов для соединения с толкателями имеет по бокам направляющие, по которым перемещаются

ползуны толкателей. В направляющих предусмотрены пазы, в которые вставляются фиксаторы положения отвала в плане. Главные рабочие движения бульдозера состоят из опускания и подъема отвала при помощи канатного или гидравлического привода.

Схема канатного привода дана на рис. 1.7. Он состоит из лебедки и системы блоков, служащих для подвода каната от лебедки к отвалу и образующих полиспаст, который в несколько раз повышает тяговое усилие лебедки. На бульдозерах обычно ставят однобарабанные лебедки (на заднем мосту трактора), которые приводятся от вала отбора мощности через соединительный валик.

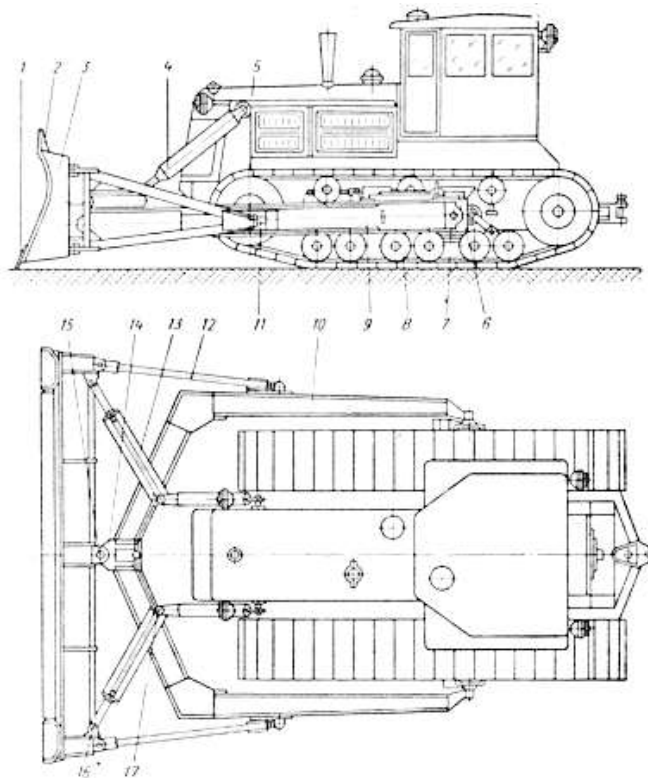


Рис.1.7. Бульдозер ДЗ:25:

- 1 — ножи; 2 — козырек; 3 — отвал; 4 — гидроцилиндры подъема и опускания отвала; 5 — трактор; 6 — направляющие ползунных опорных пальцев; 7 — опорные шарниры; 8 — гидроцилиндры перекоса отвала; 9 — направляющие ползунных толкателей; 10 - универсальная рама; 11 — ползун толкателя; 12 — толкатели; 13 — гидроцилиндры поворота отвала в плане; 14 — наголовник; 15 — штырь; 16 и 17 - проушины

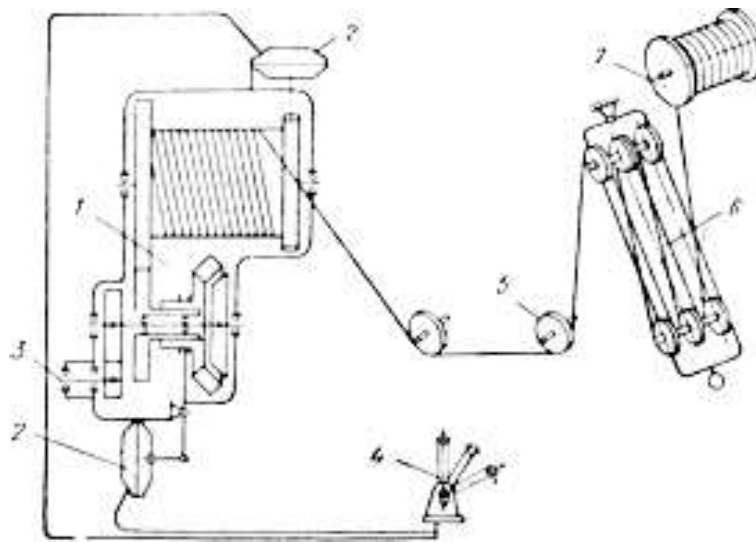


Рис.1.8. Схема канатного привода бульдозера:

1 — лебедка; 2 — пневмо цилиндры; 3 — вал отбора мощности трактора; 4 — рукоятка управления лебедкой; 5 — направляющие блоки; 6 — блок полиспаста; 7 — барабан с запасным канатом

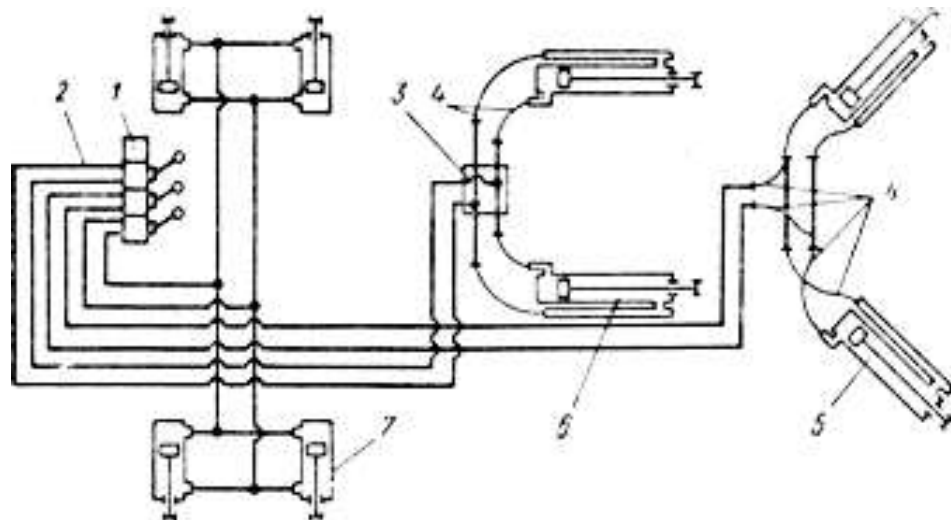


Рис.1.9. Схема гидравлического привода бульдозера: 1 — гидрораспределитель; 2 — металлические трубопроводы; 3 — переходный патрубок; 4 — рукава высокого давления; 5 — гидроцилиндры подъема и опускания отвала; 6 — гидроцилиндры поворота отвала в плане; 7 — гидроцилиндры перегиба отвала

У бульдозеров с канатно-блочной системой управления для установки обойм блоков оборудуется передняя стойка 2, состоящая из двух вертикальных балок, связанных между собой вверху поперечной балкой, а внизу полосой. Для предохранения радиатора спереди к стойке прикреплен щит.

При наличии гидравлического привода подъема и принудительное опускание отвала осуществляются с помощью гидроцилиндров. Гидропривод осуществляется от гидросистемы базового трактора через

гидрораспределитель, систему трубопроводов, гибких рукавов высокого давления и гидроцилиндров. Гидроцилиндры двустороннего действия обеспечивают подъем и опускание отвала, его фиксацию в необходимом положении и так называемое «плавающее» положение, при котором отвал под действием собственного веса может занимать любое положение, опираясь ножами на поверхность грунта.

Наряду с подъемом и опусканием отвала гидрофицируются операции поперечного перекоса отвала, изменения угла резания, поворота отвала в плане, а в некоторых случаях и угла установки уширителей.

В зависимости от уклона поверхности на пульте управления задается угол наклона толкающего бруса, соответствующий положению режущей кромки ножей отвала на уровне опорной поверхности гусениц. Датчик углового положения при изменении угла наклона толкающего бруса подает электрический сигнал в блок управления. Этот сигнал преобразуется и обеспечивает подачу тока в один из электрозолотников, в результате рабочая жидкость поступает в соответствующие полости гидроцилиндров подъема и опускания, отвала.

Рабочий цикл бульдозера следующий: при движении машины вперед отвал с помощью системы управления заглубляется в грунт, срезает ножами слой грунта и перемещает впереди себя образовавшуюся грунтовую призму волоком по поверхности земли к месту разгрузки; после отсыпки грунта отвал поднимается в транспортное положение, машина возвращается к месту набора грунта, после чего цикл повторяется. Максимально возможный объем призмы волочения современные бульдозеры набирают на участке длиной 6...10 м.

Преимущественное распространение получили гусеничные бульдозеры, обладающие высокими тяговыми усилиями и проходимостью. Чем выше тяговый класс машины, тем больший объем земляных работ она способна выполнять и разрабатывать более прочные грунты.

К основным параметрам бульдозерного оборудования относятся высота без козырька H и длина B отвала (м), радиус кривизны отвала, основной угол резания, задний угол отвала, угол заострения ножей, угол перекоса отвала и угол поворота (у поворотных машин) отвала в плане (град), высота подъема отвала над опорной поверхностью h_1 и глубина опускания отвала ниже опорной поверхности h_2 (м), напорное T и вертикальное P усилия на режущей кромке (кН), скорости подъема v_n и опускания v_o отвала.

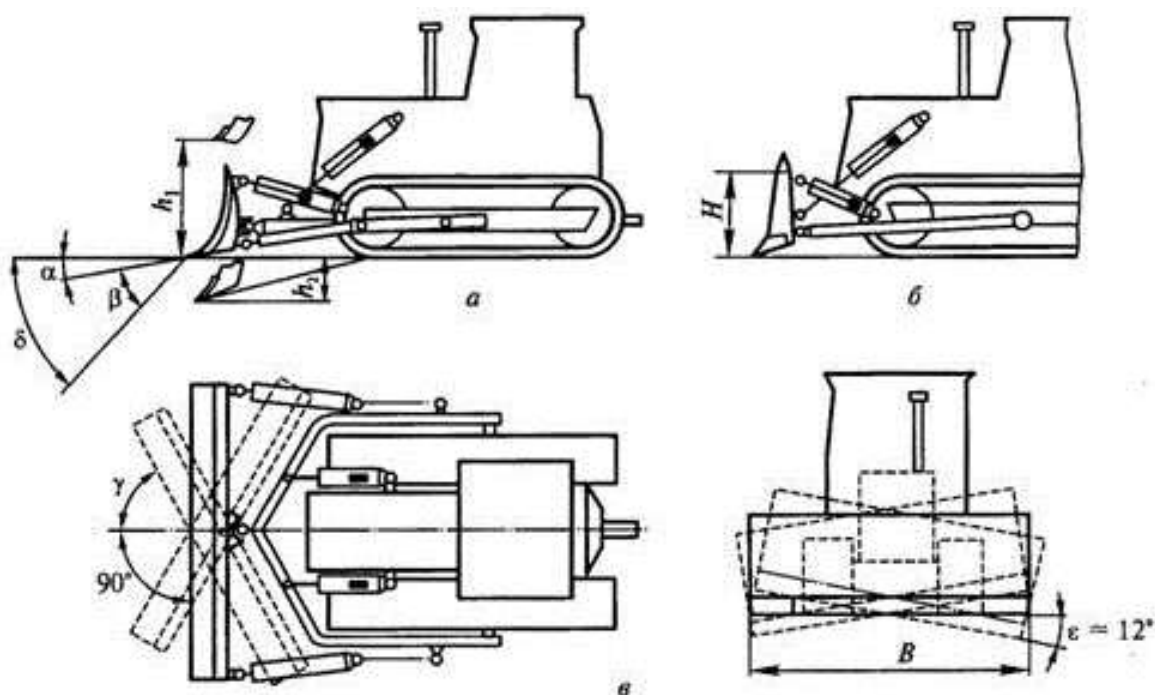


Рис.1.10.Конструктивные особенности неповоротных и поворотных бульдозеров.

Управляют отвалом с помощью рукоятки гидрораспределителя. Движением «от себя» отвал опускают и ставят в плавающее положение, движением «на себя» поднимают его, движением вправо - правый перекос, влево - левый.

- ширина отвала B ; высота отвала H ; угол резания α , где находится в пределах 40 - 750; угол опрокидывания $\psi=30 - 800$; задний угол γ ; угол наклона $\epsilon_0=70 - 900$; угол установки козырька Z_k ; радиус кривизны отвальной поверхности R ; высота отвала с козырьком B_k ; длина прямой части отвальной поверхности a ;

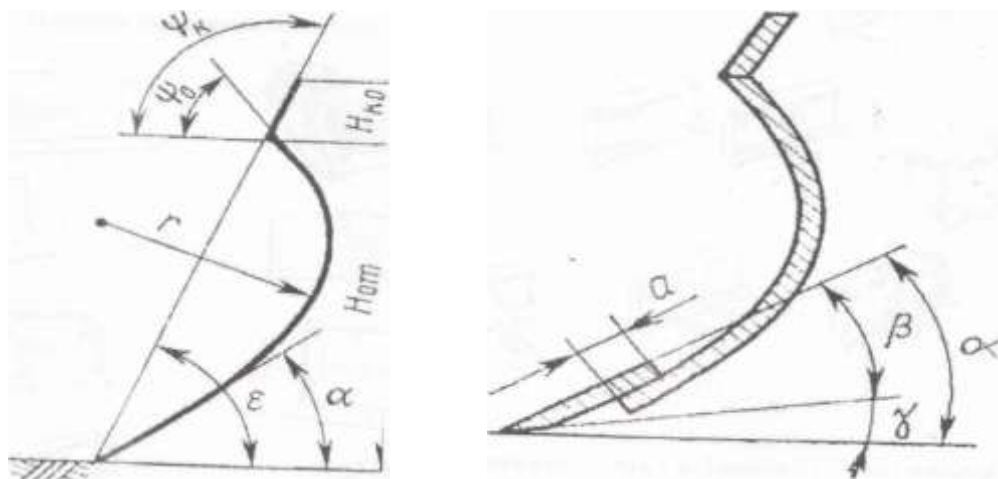


Рис.1.11 Основные параметры традиционного отвала бульдозера.

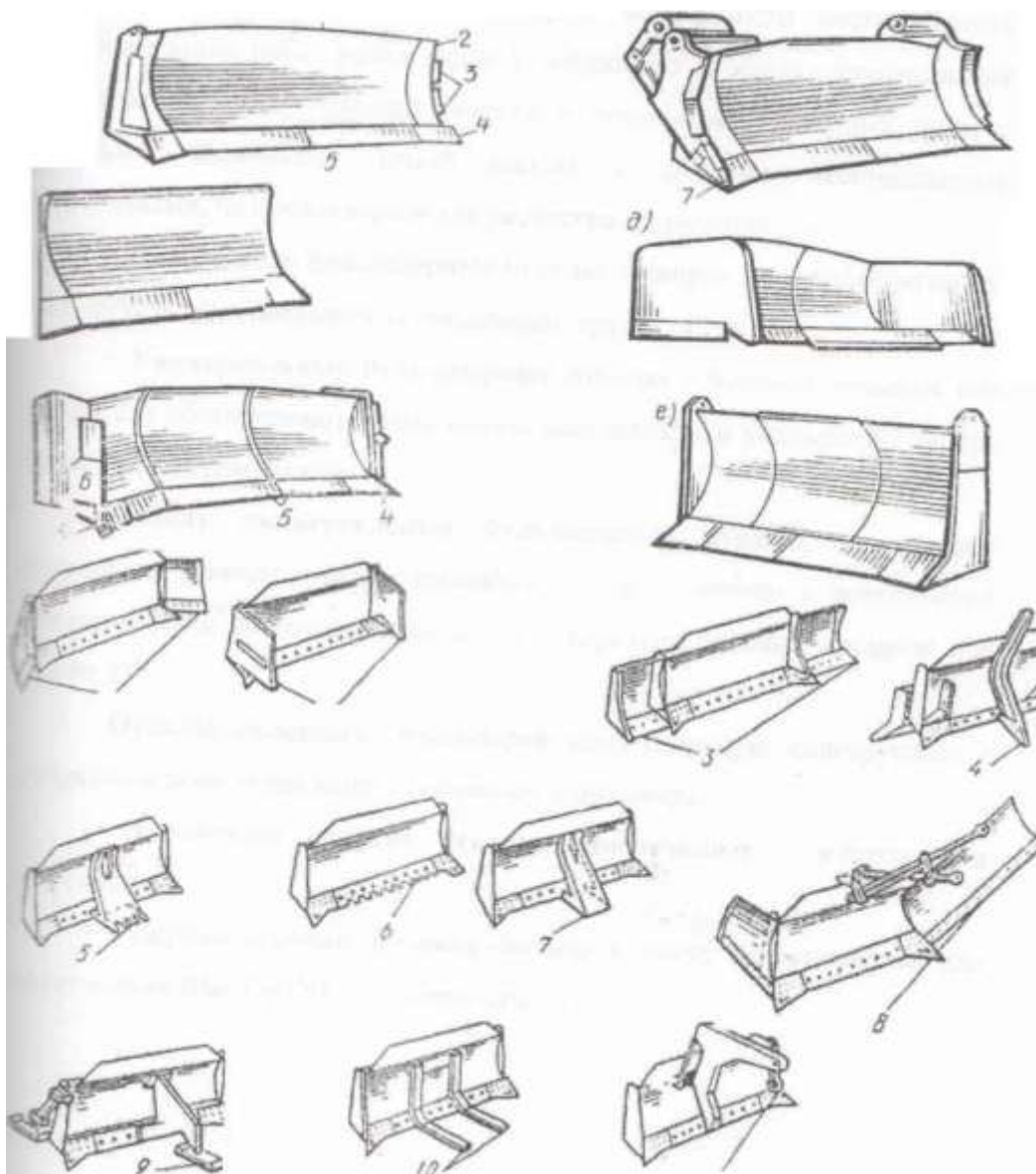


Рис.1.12. Основные параметры отвала бульдозера
 1-уширители, 2-открылки, 3-удлинители, 4-рыхлительный зуб,
 5-кирковщик, 6- гребенчатые ножи, 7-канавная наставка, 8-откосник,
 9-опорная лыжа, 10-грузовые вилы, 11-грузоподъемный крюк.

- Отвал с изменяемым углом поворота и перекоса (РАТ) - поставляется по заказу для модели Д6Р. Расширяет возможности окончательных планировочных работ рытья канав V-образного профиля обваловывания бульдозерных работ средней тяжести и тяжелые бульдозерных работ с важным материалом тиной песком и другими необразивными материалами, не предназначен для расчистки территорий
- Поворотные бульдозерные отвалы поворот - вправо/влево на углом 25° толкающая рама позволяет устанавливать другие орудия
- Универсальные бульдозерные отвалы - боковые косынки под углом 25°: обеспечивают повышенную вместимость и уменьшение потерь грунта при перемещении.

Полу универсальные бульдозерные отвалы – сочетают присущую прямым отвалам способность к заглаблению с повышенной вместимостью, обеспечиваемой за счет коротки боковых косынок под углом 35°.

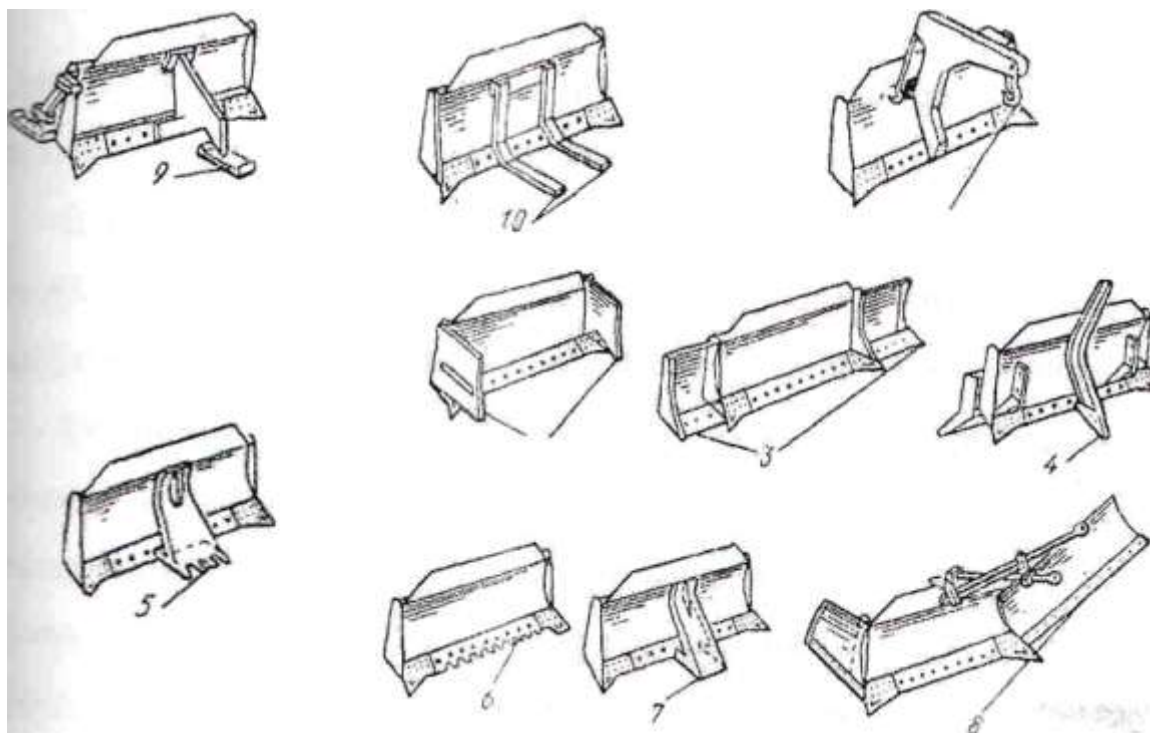


Рис.1.13. Дополнительное оборудование бульдозеров:

1 -уширители, 2 - открывки, 3 - удлинители, 4 - рыхлительный зуб, 5- кирковщик, 6- грубенчатые ножи, 7-канавная наставка, 8-откосник, 9- опорная лыжа, 10- грузовые вилы, 11-грузоподъемный

В связи с вышеперечисленным, а также необходимостью хранения съемных зубьев, неудобством в эксплуатации, связанным с ручной остановки и регулировкой их, в настоящее время они не получили широкого распространения.

Благодаря высокому значению кВт/м³ рыхлителя прямой отвал может легко перемещать тяжелые материалы. Он удобен маневренности и может легко различными материалами.

Универсальные отвалы- используется для планировочных работ в грунтах с нарушенной структурой. Эффективно используется при перемещении больших масс материалов в значительные расстояния.

Данные отвал имеет меньший показатель кВт/м сравнительно, чем других типов отвала, но широко применяется в коммунальном хозяйстве.

Короткие прямые отвалы - снабжают амортизаторами, предназначают для бульдозеров - толкателей, толкающих при работе землеройно - транспортные машины для получения большего тягового усилия толкающие брусья таких отвалов устанавливаются с внутренней стороны гусеничных тележек.

1.2. ОБЗОР ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКЦИИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ БУЛЬДОЗЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.

Совершенствование формы отвала в плане имеет своей целью снижение энергоёмкости рабочего процесса бульдозере, а также обеспечение перемещения увеличенной призмы волочения с минимальными потерями грунта в боковые валики.

Анализ научно - технических и патентной информации в области интенсификации традиционных методов копания грунта с передачей энергии тягача к рабочему органу через движитель позволяет отметить, совершенствование обычных лобовых бульдозерных отвалов исходило в направлениях, обеспечивающих повышение объёма грунта призме волочения, механизации и операций по перестановке отвала и снижение энергоёмкости рабочего процесса. Эти направления предусматриваются специализацию бульдозерного рабочего оборудования, совершенствование профиля отвальной поверхности и формы отвала в плане применение устройств, снижающих потери грунта копания и перемещении, а также придание рабочему органу качества, Влияющих оптимизировать параметры в процессе работы в зависимости от грунтовых условий [16].

Важная роль отводится следователями вопросам улучшения технологии рабочего процесса, бульдозеров это может быть достигнуто снижением энергоёмкости процесса копания путём улучшения профиля отвальной поверхности и формы отвала в плане. Однако реализовать единую оптимальную форму вала затруднительно, поскольку она должна изменяться в соответствии характером грунтовых условий и видом земляных работ. При этом форма отвала должна удовлетворять не только операции копания перемещения грунта, так как она в значительной степени определяет, эффективность работы бульдозера. В связи с этим, задача совершенствования профиля и формы отвала требуется

комплексного изучения всего рабочего процесса бульдозера в целом.

Эффективность рабочего процесса может быть существенно повышена при оснащении отвалов устройствами, снижающими потери грунта при копании и транспортировании. На практике для этой цели применяют рациональные формы поперечного профиля неповоротного отвала бульдозера получили широкое распространение. Применение более совершенных гидроуправляемых отвалов позволяет легко устанавливать их в различных положениях в зависимости от условия эксплуатации. [15].

Определённый эффект даёт применение на бульдозерах отвалов с изменяющимся углом резания и отвалов с гибкой лобовой поверхностью. Рабочие органы такого типа относятся к наиболее сложным механическим системам, параметры которых могут оптимизироваться в зависимости от условий эксплуатации. В будущем развитие этого направления может найти практическое отражение в конструкциях рабочего оборудования бульдозеров [17] .

Таким образом, можно заключить, что в настоящее время одним из перспективных направлений интенсификации рабочего процесса бульдозеров остается совершенствование формы отвала с использованием традиционных методов воздействия на грунт (резание и копание), посредством передачи энергии к отвалу через движитель.

Срезание (вырезание) грунта, т. е. отделение его от основного массива, — главная операция, без выполнения которой невозможна работа бульдозера, как и всех планировочных и землеройных машин.

Разработка грунта неповоротным бульдозером рассматривается как резание его при помощи простого клина перемещающ в грунте, оказывает давление острием режущей кромки и передней плоскостью (рис. 1.14).

Срез грунта ведется последовательными циклами, причем вначале грунт уплотняется перед режущим органом машины перпендикулярно поверхности.

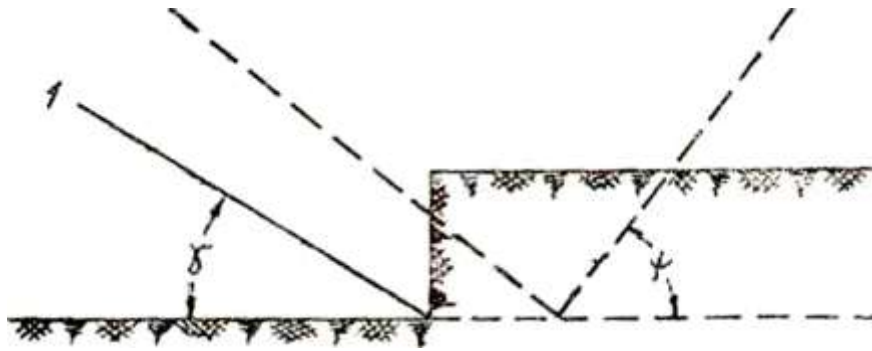


Рис.1.14. Деформация грунта под действием клина:
1-начальное положение клина; 2- положение клина и момент Скола грунта.

Давление клина на грунт, соответствующее некоторой критической величине деформации, преодолевает сопротивление грунта сдвигу по поверхности, наклонной к горизонту под углом ψ . Происходит отрыв части грунта от общего массива, разрушение его и сдвиг по поверхности режущего рабочего органа машины. Характер деформации грунта зависит от его влажности, плотности и связности. Твердый сухой грунт откалывается кусками небольшой величины. Задернованный грунт при капиллярной влажности отрывается в виде пласта и изгибается, поступая на рабочую поверхность клина. В процессе резания грунта одновременно происходят деформации уплотнения и сдвига.

Впервые теоретическое исследование величины сопротивления грунта резанию тонкими стружками применительно к работе плуга проведено В. Н. Горячкиным. Установив, что сопротивление

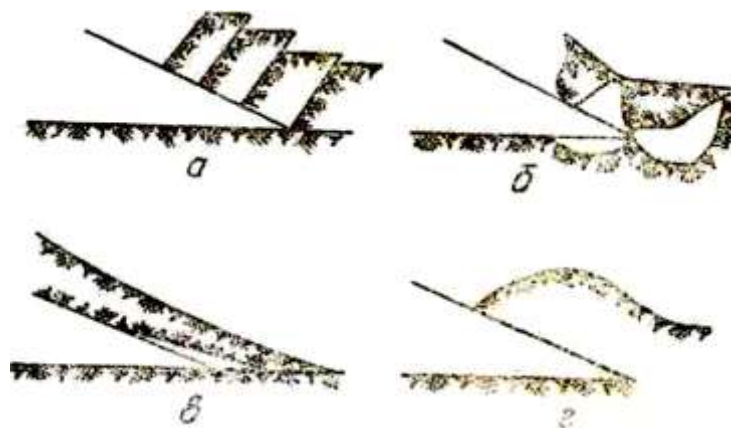


Рис1-15. Форма стружки грунта в зависимости от его влажности и связности

Резанию пропорционально площади вырезанной стружки, он предложил так называемую рациональную формулу для определения сопротивления, возникающего при работе сельскохозяйственного плуга,

$$P_1 = \mu_1 G + K h b + \varepsilon h b v^2, \text{ кг}, \quad (1)$$

где P_1 — касательная сила тяги плуга; μ_1 — коэффициент трения плуга о грунт, равный 0,25—0,4; G — масса плуга, кг; K — удельное сопротивление грунта резанию; находится опытным путем; для плуга $K=2000—10000$ кг/м²; h — толщина вырезаемого пласта грунта; для плуга $h = 0,15—0,20$ м; b — ширина резания; для плуга $b = 0,2+0,3$ м; ε — коэффициент, учитывающий сопротивление, возникающее при отбрасывании вырезанного пласта грунта; в среднем $\varepsilon = 0,1$ К; v — скорость движения плуга, м/с.

Первый член этой формулы учитывает силу трения плуга в борозде, второй — силу сопротивления резанию, третий — усилие, затрачиваемое на отбрасывание пласта в сторону.

Вместе с тем в предложенной формуле не отражено влияние на удельное сопротивление резанию таких параметров рабочего органа, как угол резания, толщина режущей кромки и др. Тем не менее тяговых расчетах землеройных машин для определения усилия резания пользуются вторым членом формулы В.Н. Горячкина.

Н.Г. Домбровский и др. ввели понятие коэффициента удельного сопротивления копанию. Касательная сила сопротивления грунта при копании

$$P_1 = K_1 b h, \quad (2)$$

где, K_1 — коэффициент удельного сопротивления копанию. Его значения (кг/см²) оказались следующими: табл. 1.2.

Коэффициенты удельного сопротивления по Н.Г. Домбровскому

Таблица-1.2

Грунт	Отвал бульдозера
I категория	
Песок рыхлый, сухой	0,15 – 0,25
Песок, супесь, суглинок легкий (влажный)	0,3 – 0,7
II категория	
Суглинок, гравий мелкий, средний легкий (влажный)	0,6 – 1,3
III категория	
Глина средняя или тяжелая, разрыхленная, суглинок плотный	1,25 – 1,95
IV категория	
Глина тяжелая	2,0 – 3,0

Касательная сила сопротивления копанию рассматривается

Н.Г. Домбровским как сумма трех сил:

$$P_1 = P_{ш} + P_p + P_n, \quad (3)$$

где, $P_{ш}$ — сопротивление трению рабочего органа о грунт; P_p — сопротивление грунта резанию; P_n — сопротивление перемещению призмы волочения и движению грунта в ковше.

Суммарное сопротивление копанию и величины, его составляющие, определяются экспериментальным путем. Скорость копания до 2,5—3,5 м/с практически не влияет на сопротивление копанию.

В предложенной Н. Г. Домбровским формуле не учитывается влияние затупления режущих кромок рабочих органов на силу сопротивления копанию. Из-за степени абразивного воздействия грунта меняются сопротивление резанию, производительность машин и энергоемкость разработки грунта [17].

Усилие резания ножом шириной 150 мм с углом резания 30— 37°30' при площадке износа шириной 70 мм возрастает на 60— 90% при глубине резания 20 см и на 220—230% при глубине резания 5 см. Дополнительное

сопротивление приблизительно пропорционально ширине площадки износа. По отношению к лобовому сопротивлению увеличение усилия резания на каждые 10 мм ширины площадки составляет 14—45% в пределах глубины резания 20—5 см.

Дополнительное сопротивление медленно возрастает с увеличением глубины резания, но и при нулевой глубине оно имеет значительную величину, поэтому вместе с основными сопротивлениями ножу определяют уменьшение удельного сопротивления, резанию с увеличением глубины резания.

Для ножа шириной 70 мм увеличение глубины резания с 5 до 20 см дает уменьшение удельного сопротивления резанию более чем вдвое, поэтому разработку грунтов целесообразнее вести срезанием стружки наибольшей толщины, обеспечиваемой мощностью двигателя землеройной машины.

Сопротивление будет возрастать с повышением плотности грунта.

В плотных гравелистых грунтах, грунтах с каменными включениями, а также в аргиллитах, алевролитах и др. площадки износа и затупления должны сильно увеличивать сопротивление резанию.

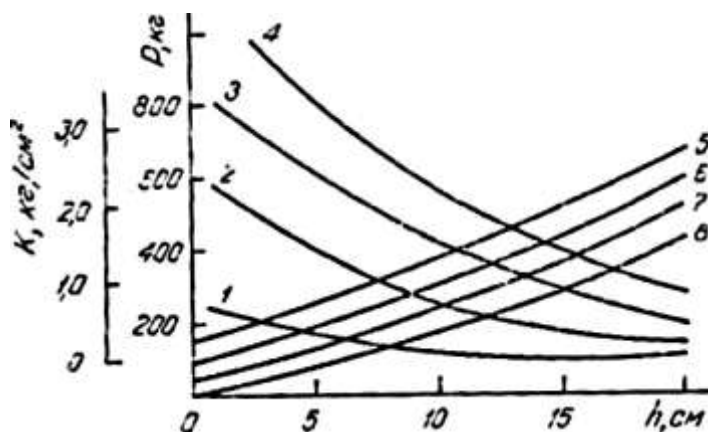


Рис1.16. Зависимость сопротивления резанию от износа ножа и глубины резания:

1-4-удельное сопротивление; 5-8- сила сопротивления резанию; 1 и 8 –при остром ноже; 2 и 7 – при затуплении $r=5$ мм; 3 и 6 – при площадке износа $x=40$ мм; 4 и 5 – при площадке износа $x=70$ мм.

В рыхлых супесях и пластичных влажных глинах влияние износа не должно сказываться меньше.

В зависимости от характера износа ножей бульдозера в разных типах грунтов появляется необходимость делать заточку или наплавку для поддержания рабочих органов в нормальном техническом состоянии.

Рассмотрение действия сил при установившемся движении начато с простого клина при следующих допущениях: клип абсолютно острый, т. е. давление лезвия на грунт минимальное и трение задней грани клипа о грунт исключено. В этих условиях на плоский клин действуют сопротивление грунта, собственная масса клина и связь в вертикальном направлении.

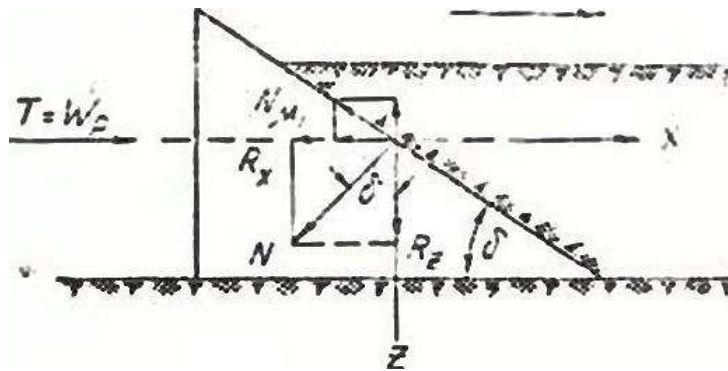


Рис1-17. Схема взаимодействия сил при работе плоского (простого) клина.

На плоский клин со стороны грунта оказывает давление равнодействующая нормальных сил N и сила трения $\mu_1 N$ по рабочей грани клина. Проектируя эти силы на оси X и Z , получим

$$R_x N \sin \delta + \mu_1 N \cos \delta, \quad (4)$$

$$R_z N \cos \delta, -\mu_1 N \sin \delta \quad (5)$$

где, R_x определяет потребное тяговое усилие $T=W$, которое получают в опытах или путем расчета по формулам, R_p -принимается равной W_p . Тогда абсолютное значение равнодействующей нормальных сил определится по формуле

$$N = \frac{R_x}{\sin \delta + \mu_1 \cos \delta} = \frac{W_p}{\sin \delta + \mu_1 \cos \delta}. \quad (6)$$

Направление (знак) и величина силы R_z зависят от значений коэффициента внешнего трения μ_1 и угла резания δ . Например, при $\delta > 45^\circ$ и определенных значениях μ_1 происходит выталкивание клина, т. е. $R_z < 0$,

тогда для обеспечения равновесия необходимо приложить дополнительную силу (массу клина), с усилием передаваемую через связь рабочего органа с машиной.

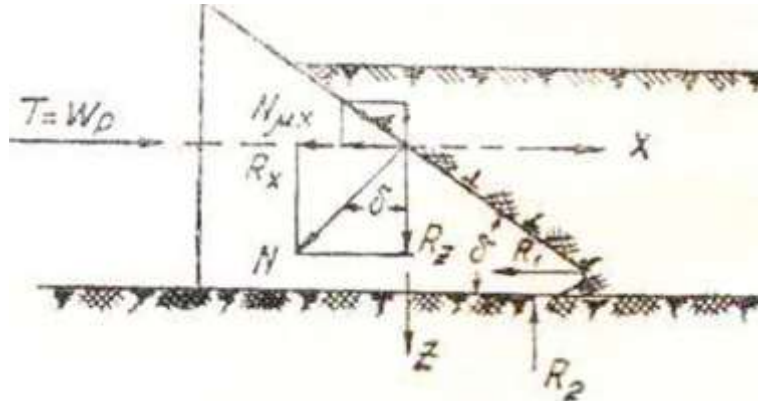


Рис 1-18. Схема взаимодействия сил при работе плоского (простого) клина с учетом его затупления.

В частном случае, когда $\cos \delta = \mu_1 \sin \delta$, т. е. $\varphi = 90^\circ - \delta$, имеем $R_z = 0$.

Для определения отношения R_z / R_x делим уравнение на уравнение;

$$\frac{R_z}{R_x} = \frac{\cos \delta - \mu_1 \sin \delta}{\sin \delta - \mu_1 \cos \delta} = \frac{1 - \operatorname{tg} \varphi_1 \operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \delta + \operatorname{tg} \varphi_1} = \operatorname{ctg}(\varphi_1 + \delta), \quad (7)$$

где φ ; — угол внешнего трения.

Если рассматривать действие сил на простой клин при установившемся процессе резания в действительных условиях, т. е. с учетом его затупления, то к силам, действующим на клин, добавится сопротивление грунта R_z направленное вверх.

Удельное сопротивление грунта резанию K и предельная несущая способность грунта K^1 ($\text{кг}/\text{см}^2$) зависят от категории грунта: при I K равно 0,25; K^1 25; при II — соответственно 0,6 и 6,0, при III — 1,0 и 10,0, при IV — 1,4 и 14,0.

Значение сопротивления грунта K_2 (кг/см) от ширины клина при разных углах резания зависит от категории грунта: [16]

Таблица-1.3

Угол резания, град	I	II	III
25	0,25	0,56	0,87
30	0,50	1,12	1,74
35	0,78	1,76	2,74
37	0,89	2,00	3,11
40	1,14	2,56	3,98
45	1,51	3,40	5,28
50	2,10	4,72	7,34
55	2,67	6,00	9,33
60	3,49	7,84	12,20
65	4,45	10,00	15,55

Следует учесть, что в этом случае на наклонную плоскость клина будет передаваться не вся сила тяги, идущая на резание, часть ее будет восприниматься режущей кромкой клина, тогда равнодействующая нормальных сил к наклонной поверхности клина (см. рис. 1.18, 1.19) будет определяться по формуле:

$$N = \frac{W_p - R_1}{\sin \delta + \mu_1 \cos \delta} = \frac{W_p - K'(zB + \mu_1 \cdot B)}{\sin \delta + \mu_1 \cos \delta}, \quad (8)$$

Бульдозеры, имеющие неповоротный отвал, перемещают грунт только вперед перед отвалом, в то время как универсальные (с поворотным отвалом) могут перемещать грунт как перед собой, так и в обе стороны, что позволяет засыпать траншеи и разрабатывать уступы.

На энергоёмкость процесса формирования призмы волочения и перемещения грунта влияет геометрия отвала.

Чем меньше угол резания γ , тем меньше энергоёмкость процесса резания грунта. Однако угол резания γ нельзя устанавливать меньше 50° ,

так как для нормальной работы отвала обязательно, чтобы задний угол был не меньше 30° . Такая величина заднего угла необходима потому, что при работе бульдозера на поверхности с резко меняющимися уклонами, отвал может опереться на тыльную часть. При заднем угле меньше 50° получается незначительный угол заострения, что влияет на прочность режущей части ножа. Угол ρ_0 между горизонталью и касательной верхней кромки отвала определяет условия обрушения грунта, перемещающегося вверх по отвалу. При уменьшении этого угла радиус кривизны верхнего участка отвала становится меньше, что повышает сопротивление движению грунта по отвалу и увеличивает нормальную составляющую, под действием которой грунт прижимается к отвалу. Угол наклона отвала определяет форму призмы волочения. При малом угле наклона отвала грунт может пересыпаться через отвал, так как во многих случаях призма волочения будет выше отвала. С увеличением этого угла ухудшаются условия движения грунта вверх по отвалу, увеличивается прилипание и повышается общая энергоемкость. Угол установки козырька влияет на формирование стружки грунта в верхней части, а также на объем призмы волочения: он принимается равным $90-100^\circ$.

Высота отвала H_k с козырьком определяет объем призмы набираемого на отвал грунта. Длину неповоротного отвала (не менее 50 мм с каждой стороны) назначают с учетом перекрытия габарита базовой машины по ширине или наиболее выступающих в стороны элементов толкающей рамы. Длину поворотного отвала (не менее 50 мм с каждой стороны) выбирают из расчета перекрытия габарита по ширине базовой машины или толкающей рамы при максимально повернутом в плане отвале. Высота прямого участка отвала а обычно равна высоте ножа, и этот участок оказывает значительное влияние на формирование стружки.

На увеличении производительности бульдозеров существенно сказывается применение открылков, которые крепятся тягами или управляются гидроцилиндрами из кабины машиниста. С целью

сокращения потерь грунта следует транспортировать его по одному и тому же следу, что способствует образованию по бокам валиков, предохраняющих от потери грунта при последующих проходах бульдозера.

Перемещение грунта в траншее также увеличивает производительность бульдозера, так как потери грунта с призмы волочения при этом незначительны. При спаренной работе бульдозеров за счет увеличения призмы волочения производительность бульдозеров увеличивается на 20%. Расстояние между краями двух отвалов составляет 20—25 мм[18].

Способ производства работы в значительной степени влияет на производительность бульдозеров. Так, резание тонкой стружкой применяется при разработке всех видов грунтов, при резании на подъеме и для грунтов со значительным сопротивлением резанию. Гребенчатый способ с поперечным заглублением и выглублением отвала ножа используется при разработке твердых и пересохших грунтов со средним значением сопротивления резанию. Клиновой способ с переходом от наибольшего среза к наименьшему применяется при разработке нескольких грунтов. При подъеме 10% производительность бульдозеров уменьшается на 40—50% по сравнению с производительностью на горизонтальном участке, а при работе под уклон производительность повышается.

1.3. ТРЕБОВАНИЯ К РАБОЧИМ ОРГАНАМ БУЛЬДОЗЕРНЫХ ОБОРУДОВАНИЙ

Рабочие органы бульдозерного оборудование предназначено в общем случае для отделения грунта от массива и направления его в отвал. Рабочие органы определяют характер процесса отделения грунта от массива и его продвижение в отвал, что несомненно влияет на динамичность процесса резания грунта. Конструкция и основные параметры режущих органов в значительной мере определяют числовые значения основных характеристик случайных процессов изменения составляющих усилия резания грунта. При взаимодействии с грунтом рабочие поверхности отвалов и ножей подвергается интенсивному абразивному изнашиванию что приводит к росту сопротивления резанию и его динамичности. На процесс взаимодействия режущих кромок с грунтом влияют, кроме того все характеристики физико-механических свойств разрабатываемых грунтов. Обобщая положения об особенностях взаимодействия рабочих органов бульдозеров можно сформулировать следующие основные требования к рабочим оборудованию бульдозеров:

- соответствие к назначению (выполняемым видам земляных работ и грунтовым условиям);
- обеспечение минимальной энергоемкости процесса разработки грунта;
- обеспечение необходимой прочности и долговечности;
- обеспечение простотой изготовления монтажа, демонтажа и ремонт;
- не дефицитность и невысокая стоимость материала рабочего оборудования.

Значительные объёмы земляных работ, выполняемые в дорожном строительстве, мелиорации и на открытых горных разработках, требуют не только количественного роста парка землеройных машин, но и повышения их технического уровня на базе новых научно-технических

решений. Совершенствование рабочих процессов является одним из определяющих направлений повышения эффективности землеройных машин и бульдозеров в частности.

Повышение эффективности рабочего процесса бульдозеров может быть достигнуто либо дальнейшего усовершенствования рабочего процесса в границах традиционной технологической схемы, либо разработкой принципиально новых методов воздействия на среду. Необходимо отметить, что новые методы разрушения грунтов не получили ещё практического применения и не могут пока заменить традиционные методы резания и копания, совершенствования которых остаётся актуальной задачей[18-19].

В границах традиционной технологической схемы разработки грунтов бульдозерами возможны два варианта реализации энергии базового тягача: передача энергии к рабочему органу через двигатель; передача энергии непосредственно к рабочему органу минуя движитель.

Создание первых рабочих органов активного действия показывает, что их может быть достигнуто увеличением рабочих скоростей и типоразмеров машин, а также совершенствованием рабочего оборудования и режимов работы[20].

Тенденция роста рабочих скоростей обусловлена, прежде всего, возможностью существенного повышения производительности. Однако рост скоростей ограничивается рядом конструктивных и технологических факторов. Среди них, в первую очередь, необходимо отметить технические возможности существующих систем автоматического регулирования рабочих процессов, а также рост динамических нагрузок, действующих на узлы и элементы бульдозерного оборудования. Кроме того, установлено, что существует граница рабочей скорости, при достижении которой производительность бульдозера практически прекращает повышаться. Направление, связанной с укрупнением бульдозерных агрегатов, важным резервом повышения

производительности. В настоящее время парк землеройно-транспортных машин перегружен моделями малой и средней мощности, что не позволяет применять наиболее прогрессивные технологические приёмы. С ростом типоразмера машины снижаются удельные эксплуатационные и капитальные вложения, повышается эффективность рабочего процесса. Однако не следует забывать, что для более крупного типоразмера машин требуется соответствующие объёмы работ. Известно также, что увеличение типоразмеров землеройно-транспортных машин на определённом выделит перспективное направление, характеризующегося совершенствованием формы отвалов в плане для увеличения объёма призмы волочения и уменьшения потер грунта в боковые валики при минимальной энергоёмкости рабочего процесса. На основании проведённого в этом направлении обзора конструкций и патентно-технических решений сделано заключение о перспективности при различных схемах установки отвалов различной формы в настоящее время наибольшее развитие.

Эффективность этих отвалов во многом определяется особенностями их взаимодействия с грунтом, которые должны учитываться при определении основных параметров отвалов и рациональных областей их применения.

Пути повышения эффективности бульдозеров

Специализация машин и оборудования, в соответствии с используемой техникой и специфике объекта строительства и условиям эксплуатации является важным фактором интенсификации строительного производства, проявление которого характеризует одну из особенностей развития землеройно-транспортных машин на современном этапе. Специализация нашла своё отражение в тенденциях развития рабочих органов бульдозеров, следствием чего явилось дальнейшее расширение номенклатуры бульдозерного оборудования (отвалы с рыхлительными гидроуправляемыми зубьями, сферические и полусферические отвалы, валы для угля работы от стенки и др. **Важная роль отводится следователями вопросам улучшения технологии рабочего процесса, у бульдозеров это может быть достигнуто снижением энергоемкости процесса копания путём улучшения профиля отвальной поверхности и формы отвала в плане. Однако реализовать единую оптимальную форму вала затруднительно, поскольку она должна изменяться в соответствии характером грунтовых условий и видом земляных работ.** При этом форма отвала должна удовлетворять не только операции копания перемещения грунта, так как она в значительной степени определяет, эффективность работы бульдозера. В связи с этим, задача совершенствования профиля и формы отвала требуется комплексного изучения всего рабочего процесса бульдозера в целом.

Определённый эффект даёт применение на бульдозерах отвалов с изменяющимся копания углом резания и отвалов с гибкой лобовой поверхностью. Рабочие органы такого типа относятся к наиболее сложным механическим системам, параметры которых могут оптимизироваться в зависимости от условий эксплуатации. В будущем развитие этого направления может найти практическое отражение в конструкциях рабочего оборудования бульдозеров [21] .

Таким образом, можно заключить, что в настоящее время одним из перспективных направлений интенсификации рабочего процесса

бульдозеров остается совершенствование формы отвала с использованием традиционных методов воздействия на грунт (резание и копание), посредством передачи энергии к отвалу через движитель.

Цель и задачи исследования

На современном этапе около 45% от общего объема земляных работ выполняется бульдозерами. Особую актуальность в связи с этим приобретает тенденция развития конструкции бульдозеров, направленная на повышение производительности и универсальности бульдозерного оборудования и основанная на традиционных методах воздействия. Сложившаяся структура парка машин для земляных работ определяет преимущественное применение традиционного способа разработки грунтов с помощью бульдозеров.

Анализ существующих теоретических и экспериментальных исследований в области совершенствования формы отвала показывает, осуществляющим рациональным формы поперечного профиля отвала неповоротного бульдозера, другая часть исследований ограничена различными схемами ножей и установки сравнительных испытаний на производительность. В рассмотренных работах не исследовалось влияние основных параметров формы поперечного профиля отвалов и дисков на сопротивление грунта копанию, легкость при транспортировке и при копании, а также энергоёмкость процесса. Отсутствуют обоснования рациональных параметров, областей применения и технико-экономической эффективности отвала с использованием рациональной формы поперечного профиля отвала неповоротного бульдозера требуют дальнейшего уточнения вопросы взаимодействия таких типов отвалов с грунтом.

Отмеченное состояние вопроса обусловило цель и задачи данного исследования.

Целью работы является обоснование рациональных параметров и областей применения бульдозерного оборудования при различных

установках на основе исследования их профилей и формы поперечного профиля отвала неповоротного бульдозера.

Для достижения поставленной цели необходимо сделать следующее:

1. Исследовать методами вариационного исчисления форму поперечного профиля неповоротного отвала бульдозера при перемещении призмы волочения.
2. Разработать методику выбора рациональных геометрических параметров рабочего органа отвального типа.
3. Провести экспериментальные исследования процесса копания грунта опытными образцами отвалов бульдозера.
4. Сопоставить результаты теоретических исследований с экспериментальными данными и установить степень адекватности моделей.
5. Проанализировать результаты исследований, сделать выводы.

ГЛАВА II

Экспериментальные взаимодействия отвала бульдозера рациональной формы поперечными профилями.

2.1. Методика проведения экспериментов на моделях отвалов бульдозеров

Грунтовой канал (Рис 2.1.) представленную железный емкостью прямоугольного сечения, заполнению разрыхленным и уплотненным грунтом. По верхней плоскости грунтового канала проложены винтовая пара по которым движется рабочая тележка под действием тягового усилия лебедки с электроприводом. В нижней части тележки смонтирована тяговая рама с отвалом для разравнивая грунта на средней части тележки при посредстве поперечных балок, имеющих отверстие и прорези, крепятся модели рабочих органов крепление лабораторной установки к тележке предусматривает возможность ее перестановки как в вертикальный, так и в горизонтальной плоскости для проведения параллельных проходов модели по ширине грунтового канала.

Теоретический анализ процессов взаимодействия отвалов бульдозера с грунтом может быть выполнен, основе физической и математической теории пластичности и теории предельного состояния грунта [20].

В. И. Баловневым выполнено теоретическое исследование процесса копания на базе плоской задачи теории предельного состояния сыпучей среды со сцеплением. Получены аналитические зависимости для определения сопротивления копанию и основных параметров рабочих органов при послойном резании грунтов [21].

На основе теории предельного состояния сыпучей среды со сцеплением В. С. Березиным были получены аналитические зависимости для определения суммарной силы сопротивления копанию неповоротным отвалом бульдозера, оснащённым плоским выступающим ножом:

$$P_k = \left\{ b_1 \left[\frac{\gamma h}{2} + C_0 \operatorname{ctg} \rho \frac{(H-h)^2 \cdot \gamma_p \cdot \cos 2\rho \cdot 2q\rho}{K_\psi} + \gamma_p (H-h) \right] + (B + b_1) \left[\gamma \frac{h-h_1}{2} + C_0 \operatorname{ctg} \rho + \frac{(H-h)^2 \cdot \gamma_p \cdot \cos 2\rho \cdot tq\rho}{K_\psi h} + \gamma_p (H+h) \right] (h-h_1) \right\} + \gamma_p \cdot \cos^2 \rho \left[\frac{(H-h)^2}{2} + (B-b_1) \right] \quad (9)$$

где B и b_1 – соответственно ширина и глубина копания выступающим средним ножом.

Установлено, что при использовании бульдозера с классом тяги 100 кН при разработке грунта, категории ширина отвала должна находиться в пределах:

- для глин ($\rho=5-200$)-1,0-1,2 м;
- для суглинков ($\rho=20-300$)-1 м;
- для супесей ($\rho=30-400$)-0,75-1,4 м

Толщина листа определяется из условий обеспечения способности изаглублению на грунтах I-III категории и составляет для бульдозера с классом тяги **100** кН $v_n=0,018$ м. Оснащение отвала бульдозера выступающим средним: ножом позволяет повысить производительность при разработке прочных грунтов на 15 - **20** %.

Оценку эффективности копания грунта неповоротным отвалом бульдозера с выступающим средним ножом А.В. Рубайлов предложил производить по выражениям []:

$$K_{\text{эф коп}} = 1 - \frac{P_{01}^{\text{ВСН}}}{P_{01}^{\text{мп}}} \quad (10)$$

$$K_{\text{пfn}} = \frac{P_{02}^{\text{ВСН}}}{P_{02}^{\text{мп}}} \quad (11)$$

Где, $P_{01}^{\text{мп}}$ и $P_{01}^{\text{ВСН}}$ - горизонтальные, составляющие сопротивления копанию с., ответственно для отвалов традиционной конструкции и оснащенных в ступающим средним ножом;

$P_{02}^{\text{мп}}$ и $P_{02}^{\text{ВСН}}$ – вертикальная составляющая сопротивления грунта наиболее выступающем элементом конструкции внизу на **ТИЛЬНОЙ** стороне отвала.

Основные расчетные положения копание бульдозерными отвалами с дисками.

По мнению А.Н. Зеленина «основной задачей конструирования рабочих органов землеройных машин является изыскание методов и средств снижения энергоёмкости» процессов разработки грунта. При циклическом режим работы землеройно-транспортных машин, в частности, бульдозеров, эффективность их обусловлена операциями копания и транспортирования грунта и холостого хода машины, причём все операции рабочего цикла, начиная от момента заглубления рабочего органа и отделения стружки и кончая заключительными этапами возвращения агрегата в забой, должны протекать с наименьшими энергетическими затратами. При увеличении дальности транспортирования грунта энергоёмкость последних двух операций интенсивно повышается и они становятся определяющими в балансе энергоёмкости рабочего процесс а бульдозера. Анализ выражения показывает, что одними из методов снижения энергоёмкость процессов транспортирования грунта и холостого хода может являться повышение накапливающей и удерживающей способностей рабочего органа бульдозера.

Основным недостатком конструкции неповоротного лобового отвала бульдозера следует считать его низкую удерживающую способность, и как следствие этого - высокие затраты энергии на перемещение 1 м грунта. Значительные потери грунта в боковые валики при транспортировании обуславливают необходимость дополнительного непрерывного копания для пополнения призмы волочения. Без такого дополнительного подрезания грунта набранная призма волочения теряется на расстоянии 6 - 8м []. Вместе с тем, копание грунта при перемещении существенно повышает энергоёмкость рабочего процесса бульдозера и кроме того, оно не всегда возможно по условиям производства работ.

Снижение эффективности бульдозерных агрегатов от несовершенства конструкции неповоротного лобового отвала в настоящее

время пытаются восполнять применением дополнительного оборудования отвалу и совершенствованием технологии производства земляных работ. Существует ряд технологических способов, позволяющих повысить эффективность операции транспортирования призмы волочения. Из них наиболее известны и находят применение следующие: работа бульдозера по одному следу, в траншее, спаренная работа двух-трёх бульдозеров и перемещение Двойной и тройной призмы волочения на части длины пути транспортирования грунта []. Отмеченные способы производства работ позволяют несколько снизить потери грунта в боковые валики. Однако необходимо отметить, что им присущ ряд таких крупных недостатков, как ограниченная скорость холостого хода, высокая энергоёмкость процесса, повышенная утомляемость машиниста, низкая производительность при разработке перемычек траншей и т.д. Применение дополнительного оборудования к отвалу в виде открьлков, удлинителей и уширителей в некоторых конкретных условиях эксплуатации повышает эффективность бульдозеров, однако развитие этого направления не решает вопроса полностью вследствие узкой специализации оборудования и его несовершенства с точки зрения учёта особенностей характера всех протекающих при копании и транспортировании грунта процессов. Наиболее эффективным и целесообразным методом повышения накапливающей и удерживающей способностей рабочего органа бульдозера следует считать совершенствование формы овала в плане.

Удерживающую способность отвалов при перемещении грунта принято характеризовать потерями на боковые валики и представленным в виде функции дальности транспортирование (выражение 2.8). При этом показатель интенсивности потерь, входящих в выражение (2.8)., считается постоянным для данных типа грунта и рабочего органа и не зависящим от дальности транспортирования (6,20,21,26). Это положение обусловило появление противоречивых сведений о величине показателя л

(от 0,005 до 0,07 для лобовых отвалов), поскольку в действительности, как это показали наблюдения за процессом транспортирования призмы волочения, величина потерь грунта в боковые валики значительно изменяется по длине пути перемещения.

В этой связи представляет интерес разработка аналитического метода расчета величины потерь грунта в боковые валики в зависимости от дальности транспортирования и свойств грунта.

Величину потерь грунта целесообразно определять на базе анализа уравнения объемов, которое для любого момента транспортирования призмы волочения может быть представлено в следующем виде:

$$V_{np} = V_{np}^{L_{tpi}} + 2V_{б.в}^{L_{tpi}} \quad (12)$$

Где $V^{L_{tpi}}$ -объем призмы волочения на L_{tpi} метре пути транспортирования:

$V_{б.в}^{L_{tpi}}$ -объем бокового валика грунта до L_{tpi} метра пути транспортирования.

Для упрощения задачи предполагается, что форма (профиль) призмы волочения на участке пути транспортирования, где имеет место неравенство $H_{np} > H_0$ в выражении (2.9.) следует принимать следующие значения коэффициентов.

Высота боковых валиков условно считается пропорциональной высоте призмы волочения.

Начальные условия процесса транспортирования (положение 1) характеризуются следующими соотношениями (рис. 2.1)

$$V_{np}^n = V_{np}; \quad V_{б.л}^n = 0; \quad L_{np}^n = 0 \quad (13)$$

$$H_{np}^k \operatorname{ctg} \varphi_0 \leq \left(\frac{B-e}{2 \operatorname{ctg} \varphi} \right) \sqrt{0,5} \quad (14)$$

Потери грунта в боковые валики при транспортировании призмы волочения отвалом сферического типа, прекращаются когда заложения призмы становится меньше косо установленных секций. Это положение может быть записано следующим образом.

$$H_{np}^k \operatorname{ctg} \varphi_0 \leq \left(\frac{B-e}{2 \cos \alpha \gamma} \right) \quad (15)$$

Объем призмы волочения при этом устанавливается по выражению. Высота призмы определяется по формуле (15), а коэффициенты d_1 , d_2 , d_3 и d_4 принимаются в зависимости от ее величины по (10) или (11). Объем грунта в боковых валиках к моменту прекращения потерь представляется в виде

$$V_{6.e}^k = d_1 \left[H_{np}^3 - \left(\frac{B-b}{2 \cos \alpha_y} \right)^3 \right] + d_2 \left[\left[H_{np}^2 - \left(\frac{B-b}{2 \cos \alpha_y} \right)^2 \right] \right] + d_3 + H_{np} - d_4 \quad (16)$$

С другой стороны объем валиков может быть определен по формуле

$$V_{6.e}^k = \frac{2ctg\Phi_0}{L_{np}^k ((L_{np})dL_{np})^2} \quad (17)$$

где L_{tp} - длина пути транспортирования до момента прекращения потерь грунта в боковые валики:

$H_{bi}=f(L_{tp})$ – функция изменения высоты боковых валиков по пути транспортирования.

Наблюдения за процессом транспортирования призмы волочения показали, что изменение высоты боковых валиков по пути перемещения может быть описано полиномом второй степени

$$H_{bi}=t_i L_{tp}^2 + t_3 \quad (18)$$

Где, t_b , t_j , t_s - соответствующие эмпирические коэффициенты, определяемые на основании экспериментальных материалов. В математической модели сделано допущение, что величины данных коэффициентов зависят от параметров отвала и типа грунта [21].

Приравнивая правые части выражения (14) и (15) и проделав некоторые преобразования, получим зависимость для определения длины пути транспортирования призмы волочения до момента окончания потерь грунта в боковые валики.

$$L_{np}^k = \frac{2ctg\Phi_0 \left(\int_0^{np} f(tp) dL_{tp} \right)^2}{d_1 \left[H_{np}^3 - \left(\frac{B-b}{2 \cos \alpha_y ctg\Phi_0} \right)^3 \right] + d_2 \left[H_{np}^2 - \left(\frac{B-b}{2 \cos \alpha_y ctg\Phi_0} \right)^2 \right] + d_3 H_{np} - d_4} \quad (19)$$

Величину коэффициента, учитывающего потери грунта в боковые валики при перемещении, принято выражать в функции дальности транспортирования.

На основе положений разработанным проф. Баловневым В.И. были предложены аналитические зависимости для определения горизонтальной составляющей усилия копания бульдозерными отвалами с боковыми направляющими дисками.

При этом величина сопротивления копанию боковыми направляющими дисками отвала находилась последующей зависимости оборудования с боковыми направляющими дисками.

$$P_{pa} = 2(P_1^A \cos \alpha + N_{01} / \cos \beta \sin \alpha + \mu \cos \beta \cos \alpha) \quad (20)$$

где P_1^A - сопротивление возникающее в результате взаимодействия режущей кромки вращающейся диска с грунтом;

N_{01} - сила давления пласта возникающего на боковые поверхности диска погруженного грунта; α - угол захвата; β - угол наклона;

μ - коэффициент трения грунта по металлу;

Объем призмы волочения зависит главным образом от параметров отвала и угла естественного откоса грунта и может быть определен

$$V_{пр} = 1,2 \frac{H_{omb}^2}{2} \operatorname{tg} \phi_0 (b + 2r \sin \alpha) + 0,8_{omb} (b - r \sin \alpha) r \cos \alpha \quad (21)$$

Где, H_{omb} - высота отвала; ϕ_0 - угол естественного откоса; b - ширина лобовой части отвала; r - радиус диска.

С целью подтверждения достоверности аналитической зависимости и определения рациональных конструктивных параметров бульдозерного оборудования с рациональной формы поперечного профиля отвала были проведены экспериментальные исследования.

Расчетный анализ копания грунта бульдозерными отвалами при использовании различных схем установки отвалов

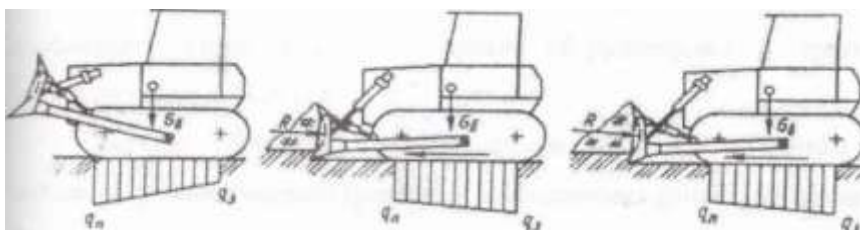


Рис. 2.1. Схемы для определения центра давления

Положение центра давления, т. е. точки приложения

равнодействующей всех нормальных реакций грунта на гусеничный движитель бульдозера, определяют для следующих основных случаев. Бульдозер стоит на горизонтальной поверхности, отвал поднят в транспортное положение на высоту **0,6** м (рис. 2.1, а); движется по горизонтальной поверхности с максимально возможным объемом призмы волочения при одновременном резании грунта (рис. 2.1,б); движется в траншее по горизонтальной поверхности без срезания грунта, но с максимально возможным объемом призмы волочения (рис. 2.1, в).

Номинальное тяговое усилие бульдозера

$$T_{н.б} = \varphi_{кр} G_{сц} \quad (22)$$

где $\varphi_{кр}$ - коэффициент сцепления базовой машины с оборудованием, соответствующий допустимым буксованию движителей и тяговому КПД (для гусеничных сельскохозяйственных тракторов $\varphi_{кр} = 0,62$ [20], для промышленных - 0,90); $G_{сц}$ - сцепной вес бульдозера в рабочем состоянии

$$(G_{сц} = m_{сц} g). \quad (23)$$

При навешивании на базовый трактор только бульдозерного оборудования сцепная масса $m_{сц} = (1,17-1,22) m_{б.м}$

где $\varphi_{кр}$ - коэффициент сцепления базовой машины с оборудованием, соответствующий допустимым буксованию движителей и тяговому КПД (для гусеничных сельскохозяйственных тракторов $\varphi_{кр} = 0,62$ [], для промышленных - 0,90); $G_{сц}$ - сцепной вес бульдозера в рабочем состоянии

$$(G_{сц} = m_{сц} g). \quad (24)$$

При навешивании на базовый трактор только бульдозерного оборудования сцепная масса $m_{сц} = (1,17-1,22) m_{б.м}$ где $m_{б.м}$ - эксплуатационная масса базовой машины без навесного оборудования. Если навешивается спереди бульдозерное, а сзади - рыхлительное оборудование, то $m_{сц} = (1,35-1,45) m_{б.м}$.

Эксплуатационная масса бульдозера $m_{б} = m_{б.м} + m_{б.о}$, где, $m_{б.о}$

эксплуатационная масса бульдозерного оборудования (со смазочным материалом, маслом в гидросистеме и др). Для гусеничных бульдозеров

$$m_6 = m_{сц} \quad (25)$$

Скорость рабочего хода бульдозера при отсутствии автоматизированного управления бульдозерным оборудованием и трактором составляет 2,5-3,0 км/ч [21].

Скорость обратного хода бульдозера выбирают с учетом типа подвески гусениц базового трактора и расположения центра масс машины. В следствии значительных продольных и поперечных колебаний бульдозера, скорость обратного хода при полужесткой и балансирной подвеске гусениц не может быть более 5-6 км/ч, а при эластичной и балансирно - звеньевой 7-8 км/ч. Расположение центра масс бульдозера при отвале в транспортном положении ограничивает возможные транспортные скорости такими же значениями.

Среднее статическое давление бульдозера

$$q = G_6 / (2L_{он}b), \quad (26)$$

где, G_6 - эксплуатационный вес бульдозера; $L_{он}$ - длина опорной поверхности гусениц с учетом полного погружения почвозацепов; b - ширина гусениц.

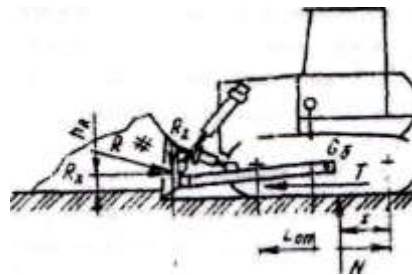


Рис. 2.2. Схема сил при определении давления центра

При определении центра давления тяговое усилие T и горизонтальную составляющую результирующей сил сопротивления на отвале принимают

$$T = R_x = K_T T_{н.б.} \quad (27)$$

Где, K_T - коэффициент использования тягового усилия; $T_{н.б.}$ - номинальное тяговое усилие бульдозера.

В средних грунтовых условиях при оптимальных параметрах профиля зальной поверхности, обеспечивающих протекание процесса

копания с непрерывным формированием и движением стружки, коэффициент использования тягового усилия принимают

$$K_T = 0,8.$$

Вертикальная составляющая результирующей сил сопротивления на отвале

$$R_z = R_x \operatorname{tg} \nu \quad (28)$$

где ν - угол наклона результирующей сил сопротивления на отвале.

При копании грунта плотной структуры $\nu = 17^\circ$ [] (см. рис. 2.1,б), при копании грунта в разрыхленном состоянии и перемещении разрыхленного грунта в траншее $\nu = 0$ (см. рис. 2.1, в).

Расстояние от режущей кромки ножа отвала до точки приложения результирующей сил сопротивления на отвале при копании грунта плотной структуры $h_R = 0,17$ Н, при копании грунта в разрыхленном состоянии и перемещении разрыхленного грунта в траншее $h_R = 0,27$ Н, где Н - высота отвала без козырька. Расстояние d_1 определяют конструктивно, учитывая координаты точки приложения результирующей сил сопротивления на отвале. По координате x находят смещение центра давления от середины опорной поверхности гусениц, которое для всех расчетных случаев не должно превышать $1/2$ от длины этой опорной поверхности.

Координата центра давления характеризует распределение нормальных реакций грунта на опорные поверхности гусениц и тягово-сцепные качества базовой машины при работе с бульдозером.

При смещении центра давления от середины опорной поверхности гусениц давление по ее длине принимают действующим по закону — трапеции, центр тяжести которой условно лежит на одной вертикали с центром давления. Условные удельные нагрузки на передней и задней кромках опорной поверхности гусениц определяют с учетом типа подвески опорных катков.

Определение центра давления бульдозеров с повернутым в плане отвалом дополнительно про изводят только для случая, когда бульдозер с

максимально поднятым отвалом стоит на предельном уклоне или подъеме.

Удельное напорное усилие на режущей кромке ножа отвала

$$Q_r = T_{н.б} / B, \quad (29)$$

где $T_{н.б}$ - номинальное тяговое усилие бульдозера; B - длина ножа отвала.

Вертикальное давление на режущей кромки ножа отвала

$$q_B = R_{23} / F, \quad (30)$$

где R_{23} - наибольшее вертикальное усилие на режущей кромке ножа отвала по условиям опрокидывания базовой машины относительно задних кромок опорных поверхностей гусениц; F — опорная площадь режущей кромки ножей отвала.

Площадь F и вертикальное давление q_B определяют для неизношенных (рис. 2.3, сечение а-а) и изношенных (рис. 2.3) ножей при основном угле резания γ_a .

У современных бульдозеров удельное напорное усилие составляет 40-100 кН/м режущей кромки ножей отвала, увеличиваясь с повышением номинального тягового усилия.

Длину отвала бульдозера с неповоротным отвалом выбирают минимально возможной с учетом перекрытия габарита базовой машины по ширине или наиболее выступающих в стороны элементов толкающей рамы не менее чем на **100-200** мм с каждой стороны.

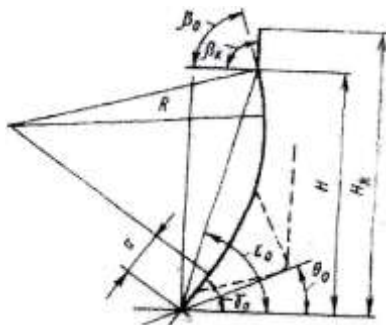


Рис.2.3. Схема по определению параметров ножа бульдозера.

Высоту отвала определяют по тяговому усилию бульдозера при скорости, подходящей для бульдозерных работ, параметрам отвальной поверхности и грунтовыми условиями, для которых предназначен

бульдозер. Высота козырька (по вертикали) составляет **0,1** - 0,30 от высоты a . При определении высоты отвала с козырьком обеспечивают в с портном положении отвала с одной стороны определенный угол въезда, с другой-достаточно хорошую видимость пространства перед бульдозером.

Основные параметры профиля показаны на рис. 2.3, где, H - высота отвала без козырька; γ_0 - угол резания при основной установке отвала; β_0 - угол опрокидывания при основной установке отвала; ϵ_0 - угол наклона при основной установке отвала; R - радиус кривой части отвальной поверхности.

Дополнительные параметры профиля отвала следующие (см. рис. 2.4): H_k - высота отвала с козырьком (расстояние по вертикали между верхней кромкой козырька в середине и режущей кромкой среднего ножа); R_k - угол установки козырька при основном положении отвала (угол между горизонталью и плоскостью козырька); θ_0 - задний угол при основной установке отвала (угол между горизонталью и линией, соединяющей режущую кромку среднего ножа с наиболее выступающим элементом конструкции внизу на тыльной стороне отвала).

Для отвалов общего назначения используют несколько отличные (по углу резания и кривизне) от оптимальных основные параметры отвальной поверхности.

В таблице № 2.1 приведены основные параметры профиля отвальной поверхности для отвалов общего назначения следующие:

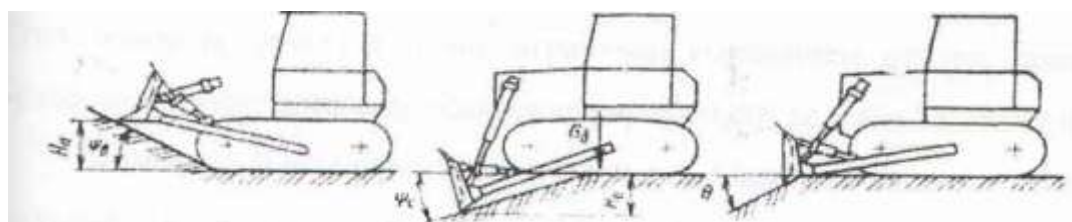
Таблица-2.1.

Отвал	неповоротный	Поворотный
Угол резания	55	50-55
Наклона отвала	75	75
Опрокидывания	70-75	65-75
Установки козырька	75-100	75-100
Радиус кривой части отвальной поверхности.....н (0,8-0,9) R		

Длина прямой части внизу отвальной поверхности. По ширине ножей рекомендуемый диапазон регулирования угла резания $\pm 10-160$ при принудительном его изменении и $\pm 4-5^\circ$ - при ручном [21].

При этом повышается энергоемкость процесса и увеличивается залипание, но существенно уменьшается переваливание грунта за отвал, которое может вызвать серьезные повреждения конструкции машины. Радиус кривой части отвальной поверхности R , высота отвала H и углы резания ν_0 , опрокидывания ϵ_0 и наклона ς , отвала связаны между собой зависимостью

$$R = H \frac{\sin \epsilon_0 + \vartheta_0}{\sin \epsilon_0 \left[1 - \sin \left(\beta_0 + \vartheta_0 - \frac{\pi}{2} \right) \right]} \quad (31)$$



а) при подъеме б) при спуске в) в начале спуска

Рис.2.4. Схемы положения бульдозера при определении заднего угла θ , угла въезда ψ_B , высоты подъема и опускания H_0 отвала;

При рекомендуемых значениях углов отвальной поверхности для неповоротного отвала зависимость может быть приведена к виду $R=0,99H$, а для поворотного отвала - $R=0,81H$.

Угол заострения ножей (обычно 30°) влияет на вертикальное давление на режущей кромке.

Угол между средней и боковыми секциями сферических отвалов принимают равным 15° . Открывки прямых неповоротных отвалов для работы в легких условиях располагают под углом 300 к отвалу, а их ножи на расстоянии примерно $0,1 H$ от режущей кромки отвала. Стыковку отвальных поверхностей отвала, удлинителей и открывков осуществляют по возможности без уступов, способствующих залипанию. Рекомендуемый диапазон регулирования угла поворота отвала $0-16^\circ$ при

гидрофицированном перекосе отвала и $0-6^\circ$ -при ручном. [23]

Угол поворота отвала в плане ограничен смещением центра давления бульдозера вперед, поэтому обычно его принимают равным 25° , хотя при этом грунт плохо сдвигается в сторону. Максимальную высоту подъема $H_{\text{п}}$ и опускания. Но неповоротных и поворотных отвалов бульдозеров общего назначения выбирают с учетом работы при определенных изменениях угла поверхности, по которой происходит движение, т. е. из тех же соображений, что и задний угол отвала (см. рис. 2.6). Высоту подъема выбирают по углу въезда, который должен быть не менее 20° с учетом просадки подвески ходовой части базовой машины.

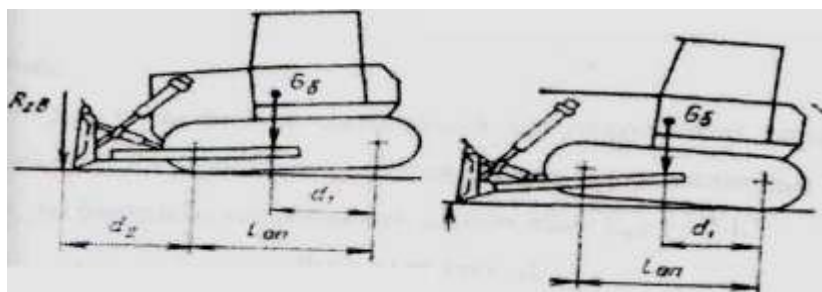


Рис. 2.5. Схемы сил, действующих на бульдозер при определении вертикального усилия: а – заглубления; б - выглубления

Опускание отвала ниже опорной поверхности ходовой части базовой машины выбирают таким, чтобы угол между опорной поверхностью гусениц и линией, соединяющей режущую кромку опущенного отвала с центром давления, был не менее 20° .

При работе бульдозера на неровной поверхности возникают такие положения, когда независимо от машиниста на отвал действует усилие, определяемое массой машины. Поэтому усилия выглубления R_{zB} и заглубления R_{z3} отвала определяют по условиям опрокидывания в статическом положении (рис. 2.5, а и б)

$$R_{z3} = \frac{G(L_{on} + d_1)}{L_{on} + d_2} \quad R_{zB} = \frac{Gd_1}{d_2} \quad (32)$$

Где, L_{on} - длина опорной поверхности гусениц; d_1 -расстояние от центра масс бульдозера до оси опорного элемента; d_2 – расстояние от режущей кромки до оси опорного элемента.

Наибольшим является усилие выглубления R_{ZB} по которому с учетом скорости подъема и определяют необходимое давление и диаметр гидроцилиндров.

Динамическое воздействие бульдозера на разрабатываемую среду учитывают эмпирическими коэффициентами динамичности, полученными при скорости движения 0,7- 0,8 м/с и скорости управления отвалом 0,25-4 м/с.

Для горизонтальной составляющей сил сопротивления копанию $K_{дг}=2,4-2,6$; для вертикальных составляющих сил сопротивления $K_{дв}= 1,3-1,4$; для боковых составляющих сил сопротивления: $K_{дб}= 1,2-1,3$

Основой для создания конкурентоспособных и экономичных ЗТМ является задача снижения энергоемкости процесса копания. Как один из вариантов решения данной проблемы можно рассмотреть вопрос совершенствования существующего рабочего оборудования и выбора его рациональных параметров. В предыдущих исследованиях [20] нами был рассмотрен процесс заглубления режущего инструмента рабочего органа в грунт и получены следующие результаты: форма профиля режущего инструмента зависит от физико-механических свойств разрабатываемого грунта и параметров процесса заглубления. В данной диссертации рассматривается еще один из компонентов процесса копания - перемещение грунта перед отвалом. Вопрос определения рациональной формы поперечного профиля рабочих органов отвального типа является актуальной проблемой. В работах рекомендуется форма поперечного профиля переменной кривизны, увеличивающейся книзу. Эта форма обеспечивает, по мнению авторов, минимальную энергоемкость процесса копания.

2.2. Расчет производительности бульдозера.

Производительность бульдозера является одним из основных критериев его эффективности, можно определить расчётным методом или экспериментально. При рассмотрении этого параметра обычно выделяют: техническую (расчётную по технической заданию), эксплуатационную и сменную производительность.

Техническую производительность бульдозера, как правило, подтверждают (определяют) в рамках эксплуатационных испытаний при разработке траншей или блоков и укладке грунта в кавальеры. Размеры траншей, блоков и кавальеров должны быть установлены в рабочей программе – методике испытаний.

Очевидно, что производительность зависит от характеристик грунта, на котором они работают. Чем выше категория грунта (сопротивление внедрению рабочего оборудования), тем ниже производительность конкретного агрегата. Также для разных классов трактора и грунтовых условий имеется своя рациональная высота и соответственно вместимость (объём призмы волочения) конкретного отвала.

Для трактора (бульдозера) класса 10 и средних типов грунта (2-3 категории) рекомендуемая вместимость полусферического отвала составляет порядка 5 м³, а для лёгких грунтов - 5,9 м³. При этом (изменение вместимости отвала с 5 до 5,9 м³) возможное повышение производительности бульдозера может составить до 17%.

Сменное время работы агрегата должно включать в себя время, затрачиваемое на: основную работу и подготовку машины к ней, транспортные переезды, ежесменное техническое обслуживание и устранение отказов.

Производительность за 1 ч сменного времени $P_{см}$ (м³/ч) рассчитывают по формуле:

$$P_{см} = \frac{V_{гр}}{T_{см}} \quad (33)$$

где, $V_{гр}$ – объём выполненных работ, м³; $T_{см}$ – сменная продолжительность работ, ч.

Эксплуатационное время работы агрегата должно включать в себя сменное время работы на проведение периодического технического обслуживания и время на устранение отказов.

Производительность за 1 ч эксплуатационного времени Π_3 (м^3) рассчитывают по формуле:

$$\Pi_3 = \frac{V_{\text{гр}}}{T_3} \quad (34)$$

где, T_3 – эксплуатационная время работы, ч.



Рис. 2.6. Бульдозер Б10М (на базе трактора Т10М) на испытаниях по производительности

Основные направления повышения производительности обычно включают в себя комплекс мероприятий по повышению мощности двигателя внутреннего сгорания агрегата с соответствующим увеличением тягового усилия, параметров бульдозерного рабочего оборудования (в первую очередь вместимости отвала), удлинением ходовой части.

Оптимальные удельные тяговые усилия обеспечивающие максимальную производительность на грунтах различной плотности, оснащённые трансмиссией [4,5]:

- механической ступенчатой:

$$\varphi_{\text{кр.опт}} = 0,7 \text{ (грунт II и III категорий);}$$

$$\varphi_{\text{кр.опт}} = 0,64 \text{ (грунт I категории);}$$

- масса приведена без учёта; устройств защиты машиниста от падающих предметов и при опрокидывании трактора, массы ЗИП, ряда дополнительного, вспомогательного оборудования по ГОСТ 26803-86; [8]

- имеется серийное исполнение с отвалом вместимостью 5,85 м³.

- гидромеханической:

$$\varphi_{\text{кр.опт}} = 0,48-0,81 \text{ (грунт II и III категорий);}$$

$$\varphi_{\text{кр.опт}} = 0,39-0,66 \text{ (грунт I категории);}$$

- электромеханической (при одной рабочей передаче):

$$\varphi_{\text{кр.опт}} = 0,41-0,81.$$

В РДМУ 23.82.3-86 [9] приведён расчёт комплексного показателя «мощностного потенциала производительности». Мощностной потенциал производительности оценивает мощность двигателя. Характер протекания его скоростной характеристики, характеристику трансмиссии, число передач, скорость холостого хода, продолжительность реверсирования с точки зрения обеспечения наибольшей эффективности трактора при агрегатировании его рабочим оборудованием в эксплуатационном диапазоне тяговых усилий. По физической сущности мощностной потенциал производительности представляет собой среднюю цикловую мощность или энергию, которую трактор передаёт рабочему оборудованию в единицу времени цикла для использования её при разрушении и перемещении грунта. Если трактор оснащён орудиями нециклического действия, то мощностной потенциал производительности представляет собой среднюю мощность тяги на крюке.

Испытания по определению показателей производительности обычно проводятся по ГОСТ 23734-98 [8] и методике, предусмотренной РД 23-82-2-86[9], где оцениваются показатели часовой производительности при различных видах работ. В процессе определения производительности одинаковые виды работ (опыты) проводятся несколько раз, после чего определяются средние значения

полученных показателей.

Как правило, экспериментальная оценка технической производительности приводится при разработке 40-метровых траншей челночным способом с отсыпкой грунта в кавальер. При этом определяются следующие параметры: количество циклов; продолжительность отдельных элементов каждого цикла (рабочий ход и остановка после него, обратный ход и остановка после него); длина рабочего и обратного ходов в каждом цикле.

После окончания разработки определяются её размеры по ширине и глубине через каждые 2 м. плотность (категория) грунта определяется с помощью плотномера ДорНИИ на поверхности, в середине и на дне траншеи после её отрывки (разработки).

Производительность при испытаниях оценивают по формулам (1-3) по результатам полученных в ходе испытаний параметров (объём выполненных работ и затраченное на него время).

Расчётная оценка производительности бульдозера.

Рассчитать теоретическую часовую производительность в рабочем цикле можно по формуле:

$$П_{ч} = \frac{Q_{ep} 3600 K_1 K_2}{\left(\frac{L_{px}}{v_{px}} + \frac{L_{xx}}{v_{px}} + t_{oct}\right)} K_3 \quad (35)$$

где, $П_{ч}$ – часовая производительность (объём разработанного грунта в час), $м^3/ч$; Q_{ep} – средний объём призмы перемещённого отвалом грунта за цикл, $м^3$; L_{px} – и L_{xx} – длина рабочего и холостого (обычно при откате задний ход) хода на траншейной разработке грунта, м; v_{px} и v_{px} – скорость рабочего и холостого хода бульдозера на траншейной разработке грунта, м/с; t_{oct} – среднее время остановок за один цикл работы, с; K_1 – коэффициент использования бульдозера по времени; K_2 – коэффициент, учитывающий влияние уклона местности; K_3 – коэффициент изменения характеристик грунта (категории, плотности и др.).

При расчёта по формуле (35) могут использоваться и другие

коэффициенты, например, приведённые в работе [21].

Из формулы (35) следует, что повысить производительность можно путём увеличения:

- Вместимости отвала (при достаточной для реализации соответствующего набора грунта тяге);
- Рабочей скорости трактора (при сохранении тяговых показателей); при этом уменьшается длительность цикла.

Методика [] для расчёта производительности при разных исходных данных: от случая, когда известны все характеристики трактора, до случая, когда имеется их минимум (только масса и мощность). Методика позволяет учитывать влияние на производительность конструктивных параметров трактора и его рабочего оборудования, а также условий его эксплуатации (грунтовых, климатических, производственных). В этой методике также приводятся значения ряда поправочных коэффициентов при расчёте производительности (коэффициенты погодных условий, квалификации, неоднородности и разрыхления грунта и др.).

Приведём пример расчёта производительности конкретного трактора для заданных условий.

Определим среднюю часовую производительность бульдозера Б10 (с гидроцилиндром перекоса), перемещающего обычный грунт по траншейному методу (средний объём призмы грунта, перемещаемого прямым отвалом за цикл – 4 м^3) на среднее расстояние 40 м без уклона (время цикла – 70 с). Ясная погода, день, отсутствуют пыль, туман, снегопад ($K_{\text{ц}}=1$). Квалификация машиниста – высокая ($K_{\text{м}}=1$). Коэффициент использования рабочего времени равен 50 мин/ч ($K_1=0,83$).

Определим часовую производительность бульдозера по формуле(36):

$$P_{\text{ч}} = \frac{4 \cdot 3600 \cdot 0,83}{70} = 170,7 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (36)$$

Оценка теоритической производительности бульдозера.

Определим этот параметр на примере расчёта производительности бульдозера, осуществляемого по методике компании Caterpillar [27] с

помощью существующих функциональных зависимостей производительности и поправочных коэффициентов. Аналогично проводится оценка производительности большинства бульдозеров других зарубежных фирм.

При этом основная формула для расчёта: производительность бульдозера ($\text{м}^3/\text{ч}$) = максимальная производительность поправочные коэффициенты.

Учитывая, что производительность бульдозеров соответствующего тягового класса других современных ведущих производителей близка к производительности подобных агрегатов компании Caterpillar, эти кривые производительности в первом приближении можно применять для расчёта производительности любого современного бульдозера.

Для получения расчётной производительности в м^3 разработанного грунта необходимо вычисленную ранее скорректированную производительность умножить на соответствующие от условий работы гусеничного бульдозера, приведённые в табл. 2.

Пример расчёта производительности конкретного трактора для заданных условий. Определим среднюю часовую производительность бульдозера Cat D8T/8SU, перемещающего плотно слежавшуюся глину на среднее расстояние 45 м под уклоном 15% по траншейному методу.

Поправочные коэффициенты, зависящие от условий работы гусеничного бульдозера.

Таблица - 2.2.

Условия работы	Коэффициент
Классификация машиниста:	
Высокая	1,00
Средняя	0,75
низкая	0,60
Грунт:	
Рыхлый в отвале	1,20
Трудно срезаемый, мёрзлый	0,80/0,70*
Трудно перемещаемый, слежавшийся (сухой, несвязанный) или очень липкий	0,80
скальный грунт, разрыхлённый или после взрыва	0,06-0,08
Траншейная работа	1,20
Видимость (пыль, дождь, снег, туман, темнота)	0,80
Коэффициент	
50 мин/ч	0,83
40 мин/ч	0,67
Бульдозерное оборудование (скорректировать на основе вместимости отвала по SAE относительно базового отвала, использованного в графиках расчётной производительности бульдозера)	Определяется изменением конструкции относительно базового отвала (например, W-образного или увеличенной вместимости); для поворотного отвала – 0,5...0,75 от производительности прямого отвала

Расчётная масса материала (плотность) составляет 1600 кг/м^3 грунта.

Классификация машиниста – средняя, коэффициент использования рабочего времени 50 мин/ч.

Нескорректированная максимальная производительность – $458 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Применяемые поправочные коэффициенты в зависимости от условий работы:

- 0,80 – плотно слежавшаяся глина, представляющая собой «трудно среземый» материал;
- 1,30 - поправка на уклон;
- 1,20 – траншейная работа;
- 0,75 – средняя квалификация машиниста;
- 0,83 – коэффициент использования рабочего времени (50 мин/ч);
- 0,86(1370/1600) – поправка на массу по плотности грунта.

$$\text{Производительность} = 458 \cdot 0,80 \cdot 1,20 \cdot 0,75 \cdot 0,83 \cdot 0,86 = 306 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Подобным образом по известным соответствующим расчётным зависимостям производительности, полученным на основе результатов многочисленных исследований в различных рабочих условиях, с учётом поправочных коэффициентов рассчитывается производительность бульдозеров других компании.

2.3. Методика расчет объема призмы волочения отвалов бульдозеров.

Настоящая методика устанавливает порядок расчета объема призм бульдозерных отвалов.

Передняя поверхность отвала считается плоской и вертикальной; объем, прилегающей к криволинейной поверхности отвала, не учитывается (см.Рисунок 2.7)

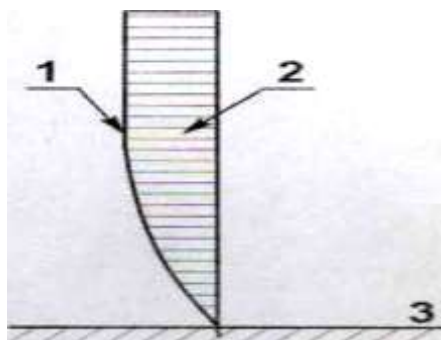


Рис.2.7. Объем, прилегающий к криволинейной поверхности отвала

1 - криволинейная поверхность отвала;

- 2 - объем, прилегающий к криволинейной поверхности отвала:
- 3 - опорная плоскость отсчета (GRP)

Площадь отвала A_m - площадь в квадратных метрах проекции отвала (за исключением выступов боковых ножей) на вертикальную плоскость, параллельную среднему участку режущей кромки отвала (Рисунок 2.8)

Отвал установлен в среднее по углу наклона положение, режущая кромка находится на опорной плоскости отсчета (GRP).

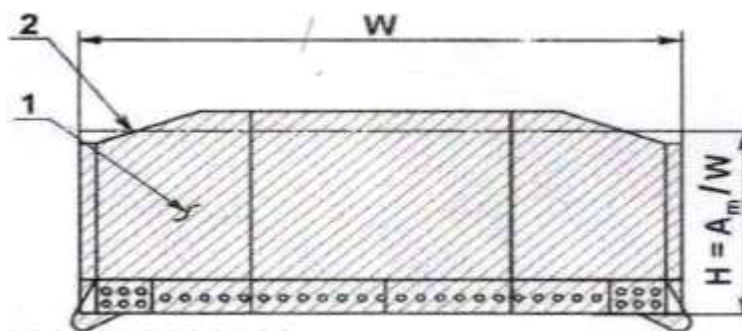


Рис.2.8. Размеры и площадь проекции прямого, полусферического и сферического отвалов:

1- площадь проекции A_m (прямой, полусферический и сферические отвалы). 2- эффективный **контур** отвала (только для прямых отвалов)

Длина отвала W - расстояние в метрах от одного конца отвала до другого, не считая боковых ножей.

Эффективная высота отвала H - высота в метрах по вертикали, которая при умножении на длину отвала W дает площадь проекции, равную A_m , т.е. $H=A_m/W$ (Рисунок 2.9) .

Эффективный контур отвала - упрощенное изображение передней поверхности отвала в виде вертикальной плоскости с размерами W и H применяемое для вычисления объема призмы волочения. Площадь проекции отвала A_m - то же, что для прямого неповоротного отвала.

Длина отвала W — то же, что для прямого неповоротного отвала.
 Эффективная высота отвала H — то же, что для прямого неповоротного отвала

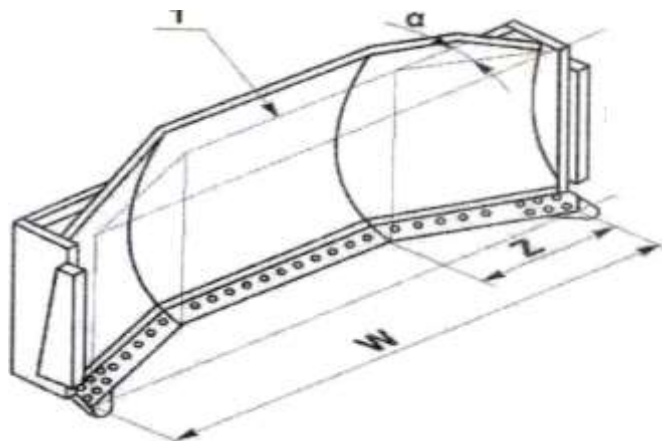


Рис. 2.9.

Эффективный контур отвала — упрощенное изображение передней поверхности отвала применяемое для вычисления объема призмы волочения. Образуется пересекающимися вертикальными плоскостями, проходящими через режущую кромку отвала на уровне GRP при установке отвала в среднее по углу наклона положение. Угол установки боковой части отвала α — угол в градусах, измеряемый у режущей кромки отвала, находящегося на GRP, при среднем по углу положении отвала. Угол определяет направление пересекающихся плоскостей, образующих эффективный контур отвала (рисунок)

Длина боковой части отвала Z - длина в метрах боковой части, измеряемая параллельно длине отвала (Рисунок).

Бульдозерное оборудование с поворотным отвалом, установленным в прямое положение

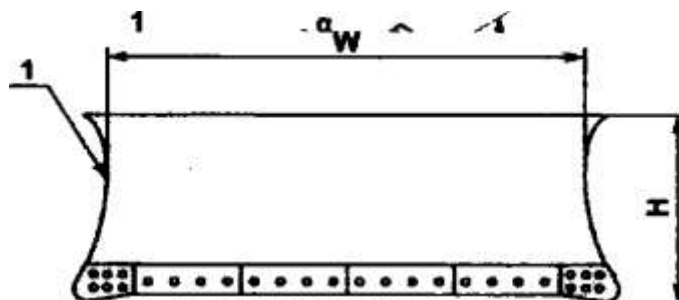


Рис. 2.10. Размеры поворотного отвала: 1 - эффективный контур отвала.

Длина отвала W - длина в метрах отвала (Рисунок 2.10).

Эффективная высота отвала H - высота в метрах по вертикали при установке отвала в среднее по углу наклона положение (Рисунок 2.10).

Эффективный контур отвала - упрощенное изображение передней поверхности отвала в виде вертикальной плоскости с размерами W и H (Рисунок 2.10) применяемое для вычисления объема призмы волочения.

Условные обозначения и формулы для вычисления объема призмы волочения

V_s -объем призмы волочения для прямого, поворотного, полусферического и сферического отвалов, вычисленный с использованием упрощенного изображения передней поверхности отвала, V_u - объем контура полусферического и сферического отвалов, учитывающий угол установки и длину их боковых частей, V_1 - объем призмы волочения прямого и поворотного отвалов, V_2 -объем призмы волочения полусферического и сферического отвалов

Формулы для вычисления объема призмы волочения

Объем призмы волочения неповоротного (прямого) и поворотного отвалов

$$V_1 = V_s, \quad V_s = 0,8 W H^2. \quad (37)$$

Объем призмы волочения полусферического и сферического отвалов.

$$V_2 = V_s + V_u, \quad V_s = 0,8 W H^2, \quad V_u = ZH(W-Z) \operatorname{tg} a. \quad (38)$$

Расчет призмы волочения отвалов бульдозеров по SAE J1265

Вместимость неповоротного отвала $V_s = 0.8 W H^2$

Вместимость сферического отвала $V_u = VS + ZH(W-Z) \operatorname{tg} a$.

Где: W - длина отвала; H - эффективная высота отвала Z - длина боковой части отвала, (косынок); a - угол установки боковой части отвала (косынок).

Основные параметры отвалов

Табл-2.3.

Параметр	7823-4607090	7823-4607090-01	7823-4607090-02
W, мм	4860	4700	4690
H, мм	1530	1570	1530
Z, мм	1400	-	550
α, град	30	-	30
V _s , м ³	0,8x4,86x1,53 ² =9,1	0,8x4,7x1,57 ² =9,27	0,8x4,69x1,53 ² =8,72
V _ц , м ³	9.1+1.4x1.53(4.86- -1.4)xtg30 ⁰ =13.38		0.88+0.55x1.53x(4.69- -0.55)xtg30 ⁰ =10.79

2.4. Аналитическое исследование расчета формы профиля неповоротного отвала бульдозера.

Исследуем влияние формы поперечного профиля бульдозерного отвала на энергоемкость процесса перемещения призмы грунта. Под рациональной формой поперечного профиля бульдозерного отвала мы будем понимать такую его конфигурацию, при которой обеспечивается наименьшая энергоемкость процесса перемещения призмы грунта. Для определения рациональной формы поперечного профиля рассмотрим два случая:

1- случай, когда поперечный профиль имеет постоянный радиус кривизны R, т. е.

$$x^2 + y^2 = R^2; \quad (39)$$

2 - случай - в качестве поперечного профиля, реализующего форму поперечного профиля переменной кривизны, увеличиваются книзу, рассматриваем часть логарифмы такой спирали, которая в полярной системе ординат описывается уравнением:

$$r = r_0 e^{k\varphi} \quad (40)$$

где, $0 \leq \varphi \leq \varphi_{\text{л}}$ r_0 и k - параметры, зависящие от высоты отвала и физико-механических свойств разрабатываемого грунта.

При этом считаем, что исследуемый процесс происходит в одинаковых условиях (при одинаковых грунтовых условиях, равной толщине стружки, величина пути в обоих случаях фиксирована, и т. д.). Тогда энергоёмкость рассматриваемого процесса будет пропорциональна величине горизонтальной составляющей сопротивления перемещению призма грунта.

Пусть кривая L , заданная уравнением $y = y(x)$, есть образующая профиля рабочего органа отвального типа. Горизонтальная составляющая сопротивления перемещению призмы грунта определяется согласно, как:

$$W^1 = \int_L [P(x, y) (\sin \arctg(y')) + \mu_0 \cos \arctg(y')) + (v + u) \frac{dm}{dt}] ds \quad (41)$$

где, $y' = (S-y)$ - высота призмы грунта, где за начало берется верхняя точка тела, определяющая его высоту S :

$$\mu_0 = \sin p_0. \quad (42)$$

где, P_0 , - угол внешнего трения; m - масса грунта в призме; v и u - скорости перемещения рабочего органа и частиц присоединяемых масс грунта соответственно;

d_s - элементарная площадка поверхности профиля рабочего органа.

Величина изменения массы грунта в призме определяется следующим образом:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{1}{3} \chi B \xi v (2S + y)(S - y), \quad (43)$$

v — агрегатная скорость машины; χ — коэффициент линейности:

ξ - коэффициент, устанавливающий связь между агрегатной скоростью приращения основания призмы грунта; B - ширина резания.

Выражение величины давления на границе $y=y(x)$ имеет вид

$$P = k \chi u v^2 \quad (44)$$

где, k - постоянная, зависящая от физико-механических свойств грунта.

Введем следующие обозначения:

$$K_2 = 1/3(v+u)xB\xi v. \quad (45)$$

Тогда, с учетом этих обозначений, горизонтальная составляющая сопротивления перемещению призмы грунта принимает вид:

$$W^1 = \int_0^y [K_1 y (\sin \arctg(y')) + K_2 (2S + y)(S - y)] ds. \quad (46)$$

Будем считать, что кривая, описывающая конфигурацию поперечного профиля рабочего органа, является возрастающей функцией, т.е. $y'(x) > 0$. Тогда используя основные соотношения для обратных тригонометрических функций:

$$\arctg \alpha = \arcsin \frac{\alpha}{\sqrt{1+\alpha^2}} = \arccos \frac{1}{\sqrt{1+\alpha^2}} \quad (47)$$

выражение может быть приведено к виду:

$$W^1 = \int_0^y [K_1 y \left(\frac{y'}{1+(y')^2} \right) + \frac{\mu_0}{1+(y')^2} + K_2 (2S^2 - Sy - y^2)] ds. \quad (48)$$

В первом случае, когда профиль является дугой окружности, выражение горизонтальной составляющей сопротивления перемещению призмы грунта будет иметь вид:

$$-r_0^2 K_2 \int e^{3k\varphi} \sin^2 \varphi d\varphi \quad (49)$$

Для вычисления сопротивления перемещению призмы грунта выбираем числовые значения коэффициентов. Пусть высота и ширина отвала равны соответственно: $H=0.8$ м и $B=1$ м. $v=0.5$ м/с, $u=0.3$ м/с. С целью упрощения расчетов коэффициентов по формулам (46) положим, что $K_1 = v^2$, $K_2 = 1/3(v+u)v$. В первом случае будем рассматривать дугу окружности, где $-0.4 \leq y \leq 0.4$. Тогда числовое значение сопротивления перемещению призмы грунта вычисленное: по формуле (48), будет равно $W^1_{\text{окр}} = 0.175446$ кН. Во втором случае, согласно формулам, приведенным в работе []. имеем $r_0 = 0.13$ м, $0 \leq \rho \leq 70^\circ$, тогда по формуле (50), получим

$$W^1_{\text{сп}} = 0.154265 \text{ кН.} \quad (50)$$

Очевидно, что

$$W^1_{\text{сп}} < W^1_{\text{окр}}$$

Выводы по главе II.

1. Объем призмы волочения, и показатель интенсивности потерь грунта в боковые валики при перемещении существенно влияют на энергоёмкость производительность бульдозера.
2. В качестве критерия оценивающего эффективности конструкции принимается показатель $K_{эф}$, оценивающей процесс копания и транспортирования с учетом вероятности их выполнения в полном рабочем цикле.
3. Копания грунта бульдозерными отвалами рациональной формы поперечного профиля не требует значительных материальных затрат и позволяют трансформировать их в адаптирующийся.
4. Для каждой расчетной схемы установки отвалов рациональной формы поперечного профиля определяют активные цели действующие на рабочей оборудования и машину.
5. Объем призмы волочения, и показатель потерь грунта в боковые валики при транспортирования существенно влияют на энергоёмкость рабочего процесса бульдозера, причем их влияния интенсивно возрастает с увеличением дальности транспортирования и перемещения грунта.

Глава 3

Экспериментальные взаимодействия отвала бульдозера рациональной формы поперечного с грунтам.

3.1. Результаты экспериментальных данных

Грунтовой канал (Рис 3.1.) представленную емкостью прямоугольного сечения, заполнению разрыхленным и уплотненным грунтом. По верхней плоскости грунтового канала проложены винтовая пара по которым движется рабочая тележка под действием тягового усилия лебедки с электроприводом. В нижней части тележки смонтирована тяговая рама с отвалом для разравнивая грунта на средней части тележки при посредстве поперечных балок, имеющих отверстие и прорези, крепятся модели рабочих органов крепление лабораторной установки к тележке предусматривает возможность ее перестановки как в вертикальный, так и в горизонтальной плоскости для проведения параллельных проходов модели по ширине грунтового канала.



3.1. Грунтовой канал кафедры ЭРДМ и О



Рис. 3.2. Подготовка грунтового канала к эксперименту

Техническая характеристика грунтового канала.

Ширина 100 см

Длина 300 см

Глубина 35 см

Скорость рабочей тележки 0,30 м/с

Подготовка грунта заключается в доведении грунта до однородного состояния, необходимом увлажнении, разравнивания грунта, уплотнения и проверке плотности грунта.

До однородного состояния грунт доводится при помощи его предварительного разрыхления на всю ширину грунтового канала одновременно. Для этого ножи отвала опускаются с помощью механизма на глубину, превышающую максимальную глубину копания, предусматриваемой методикой предстоящего эксперимента, на 4 ... 6 см. затем осуществляется последовательные проходы тележки. В процессе эксперимента про водят необходимое увлажнение грунта, через систему увлажнения при движений техники с постоянной тележки с постоянной скоростью. Влажность грунта вычисляем по формуле:

$$W=(G_1 -G_2)G_2^{-1}\cdot 100\% \quad (51)$$

где, G_1 и G_2 - соответственно сила тяжести влажного и сухого грунта отбираю в трех точках по ширине грунтового конвертера и через 0,5 м по его длине. После этого при последовательных проходах тележки грунт разравнивают опущенным отвалом.

На угол захвата 45 ... 50°, а при последнем проходе на угол захвата 90°. затем грунт уплотняют катком.

Необходимое число проходов должно заданной плотности грунта S , определяемой стандартным Ударником ДОРНИИ (рис. 3.3).

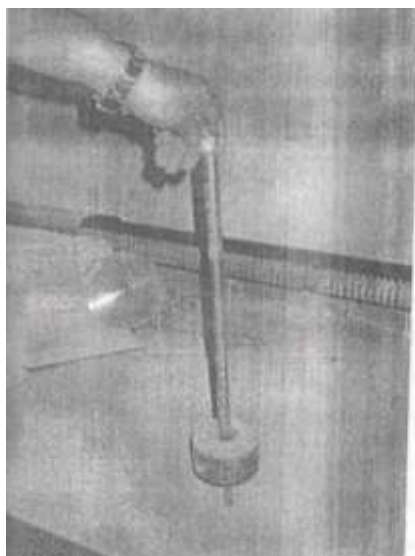


Рис. 3.3 Ударник ДОРНИИ

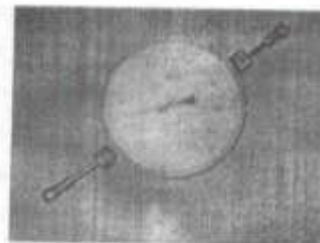


Рис. 3.4. Динамометр ДПУ-О2-2

После подготовки грунта на тележки закрепляет опытные отвалы в нужном положении и проводят последовательные проходы, каждый раз регулируя ее на необходимые уровне переменных факторов согласно намеченному плану эксперимента.

Изменение сил пружинным прибором (рис. 3.4.) Основана на исследование упругости свойств пружин которые являются чувствительными элементами этих приборов. Измеряемая сила копания, приложенная к пружине, вызывает его упругую деформацию.

Для изучения процессов взаимодействия бульдозерных отвалов различных рациональной формы поперечного профиля с грунтом на моделях применяют методы геометрического (пропорциональность линейных размеров и равенство углов) и физического моделирования. Моделирование есть замена изучения интересующего нас явления в натуре изучением аналогичного явления на модели меньшего или большего масштаба.

Сохраняя пропорциональность линейных размеров натуре (н) и модель (м) $l = l_n / l_m$ равенство соответствующих углов ($\alpha_n = \alpha_m$) можно осуществить приближенное физическое моделирование при сокращении варианте системы критериев подобия.

$$\Pi_1 = C j_r^{-1} e^{-1}; \quad \Pi_2 = \beta_r; \quad \Pi_3 = V^2 q^{-1} e^{-1} \quad (52)$$

где, C - сцепление грунта; j_r - объемная сила тяжести грунта;
 q - ускорение свободного падения; β_r - угол внутреннего трения;
 l - линейный размер; V - скорость;

Это даёт относительную погрешность приближенного моделирование в пределах 10... 15%, не превышающую соответствующей погрешности при испытаниях оригинала в естественных грунтах.

Минимальные линейные размеры модели рабочего оборудования бульдозере (максимальный масштабный коэффициент) при приближенном физическом моделировании определяются предельно допустимым минимальным объемом грунта, взаимодействующего с оборудованием (этот объем должен быть: $AU=200d^3$ где d - размер фракции грунта) и точностью методов измерения.

Полученные результаты эксперимента на моделях грунтового канала

Таблица 3.1.

Схема расположения	Сухой грунт без уплотнения	Грунт с влажностью $W=10.2\%$	Грунт влажный и уплотненный
	$C=0,8$	$C=3$	$C=6$
традиционный Отвал	$P_{K1}=150Н$	$P_{Ю}=770Н$	$P_{Ю}=1120Н$
Отвал рациональной формы	$P_{Ю}=120Н$	$P_{K2}=760Н$	$P_{Ю}=1080Н$

Изменения усилий копания от плотности грунта при различных схемах установки отвала бульдозера.

Взаимо-корреляционная связь при копании грунта на грунтовом канале бульдозерными отвалами рациональной формы поперечного с грунтом.

$$K_B = \frac{P_p^3}{P_p} \quad (53)$$

$$K_{3,1} = \frac{P_{pIII}}{P_I} = 1 \quad K_{3,1} = 0,96 \quad K_{3,1} = 0,91$$

$$K_{4,2} = \frac{P_{pIV}}{P_{II}} = 1 \quad K_{4,2} = 0,91 \quad K_{4,2} = 0,87$$

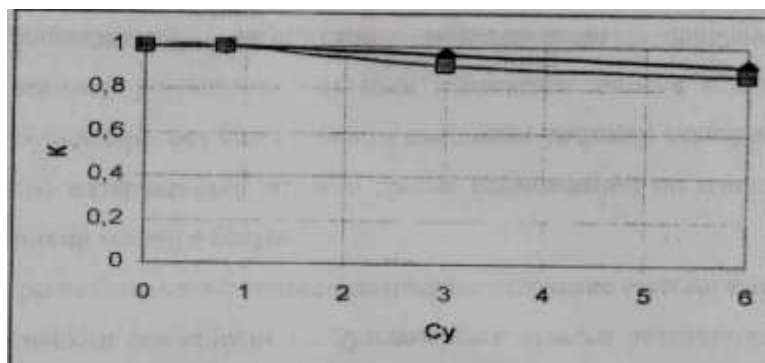


Рис 3.5. Зависимость взаимокорреляционной связи сопротивления резанию

1. Традиционный отвал

2. Рациональной формы поперечного профиля отвала

от C_y при различных отвалах бульдозера с рациональной формы поперечного профиля.

Определяем взаимокорреляционную связь при копании грунта на грунтовом канале отвалами бульдозера с рациональной формы поперечного профиля. Приближенное физическое моделирование приводит к существенному упрощению методики проведения опытов с моделями отвала бульдозера, без значительного изменения точности экспериментов, снижению материальных затрат и сроков исследований по сравнению с испытаниями машин в натуре.

Сравнительные экспериментальные исследования с целью выявления эффективности применения на бульдозерных отвалах бульдозера с рациональной формы поперечного профиля преследует выявление градиента влияния.

Результаты показали что, эффективность бульдозерных отвала бульдозера с рациональной формы поперечного профиля с различными

по критерию K_{ϕ} при разработки малосвязанных и связанных грунтов, соответственно на 23 и 12% выше эффективность отвалов по сравнению традиционными отвалами.

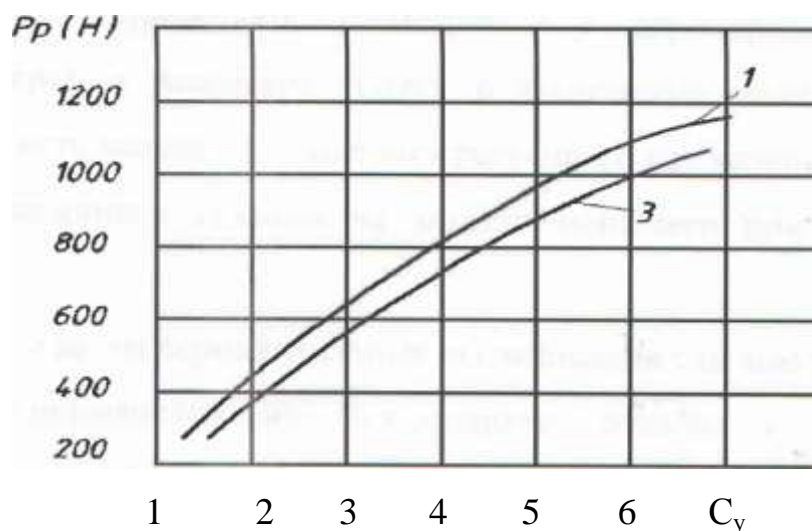


Рис. 3.6. Отвал бульдозера с различной формы:

1-традиционный, 2-рациональной формы

Результаты эксперимента бульдозерного оборудования отвала с рациональной формы поперечного профиля

Для изучения определения эффективности бульдозерного оборудования с отвал бульдозера с рациональной формы поперечного профиля грунтом реализация этих положений основывается на повышении эффективности исследования и сокращении сроков внедрения достижения науки и техники в производство и модульного принципа создания систем машин.

На моделях применяют геометрическое (пропорциональность линейных размеров и равенство углов), и физическое моделирование. Моделирование есть замена изучения интересующего нас явления в натуре изучением аналогичного явления на модели меньшего или большего масштаба.

Сравнительные экспериментальные исследования с целью выявления эффективности применения на бульдозерных отвалах с рациональной формы поперечного профиля искомых, для каждого бульдозерного отвала имеются эффективная глубина резания. Угол находится в пределах 40-

50° угол опрокидывания 70-75°, угол наклона 75-80°. Как показали, проведенные исследования в грунтовом канале с увеличением резания снижается усилия копания. Наибольший эффект дают отвал бульдозера с рациональной формы поперечного профиля по горизонтали, вертикали, резания с изменяемыми углами резания, анализируется их производительность.

Моделирование в пределах 10...15%, не превышающую соответствующей погрешности при испытаниях оригинала в естественных грунтах[].

Минимальные линейные размеры модели рабочего оборудования бульдозера(максимальный масштабный коэффициент), при приближенном физическом моделировании определяются предельно допустимым минимальным объемом грунта, взаимодействующего с оборудованием (этот объем должен быть: $AU=200d^3$ где d- размер фракции грунта) и точностью методов измерения. Приближенное физическое моделирование приводит к существенному упрощению методики проведения опытов с моделями отвала бульдозера, без значительного изменения точности экспериментов, снижении материальных затрат и сроков исследований по сравнению с испытаниями машин в натуре.

Сравнительные экспериментальные исследования с целью выявления эффективности применения на бульдозерных отвалах с рациональной формы поперечного профиля, для каждого бульдозерного отвала имеются эффективная глубина резания. Угол находится в пределах 40-50° угол опрокидывания 70-75°, угол наклона 75-80°. Как показали, проведенные исследования в грунтовом канале с увеличением резания снижается усилия копания. Наибольший эффект дают неповоротные отвалы бульдозера с рациональной формы поперечного профиля смещением по горизонтали, вертикали, резания с изменяемыми углами резания, анализируется их производительность.

Расчет объема грунта с отвалом бульдозера с рациональной формы поперечного профиля

$$V_{\text{рац}} = 13,6 \cdot 60 + 2(13,5 \cdot 60 + 12,2 \cdot 60 + 11,5 \cdot 50) / 7 \cdot 60 = 816 + 2 \cdot 2117 / 7 \cdot 60 = 5050 / 7 \cdot 60 = 43285 \text{ см}^3 = 0,043 \text{ м}^3$$

Расчет объема грунта традиционным отвалом

$$V_{\text{трад.}} = 12,3 \cdot 60 + 2(12,5 \cdot 60 + 10,7 \cdot 60 + 10 \cdot 60) / 7 \cdot 60 = 738 + 2 \cdot 1992 / 7 \cdot 60 = 4722 / 7 \cdot 60 = 40747 \text{ см}^3 = 0,04 \text{ м}^3$$

Расчет объема грунта неповоротного отвала отвал бульдозера с рациональной формы поперечного профиля:

$$V_{\text{неповорот.}} = 36210 = 0,036 \text{ м}^3$$
$$V_{\text{неп}} = 15100 + 36210 = 51310 = 0,05 \text{ м}^3$$

В качестве объектов исследования были изготовлены следующие экспериментальные отвалы с поперечными профилями:

- 1) Постоянной кривизны;
- 2) Переменной кривизны, увеличивающейся книзу.

Отвал с поперечным профилем переменной кривизны представлял собой часть логарифмической спирали, которая в полярной системе координат описывается уравнением $\rho = 0,48e^{0,1\varphi}$.

За основные параметры профилей отвалов были приняты: угол резания $\alpha = 55^\circ$, угол опрокидывания $\delta = 75^\circ$, высота отвала $H = 100$ мм, ширина отвала $B = 250$ мм.

Исследования проводились на грунте – суглинке тяжёлом пылеватом, имеющем следующий гранулометрический состав: глинистых частиц – 9,1%, песчаных частиц – 35%; пылеватых частиц – 55,92. Влажность грунта 12-15%. Число ударов по ударнику ДорНИИ $C_y = 4$. Плотность грунта $\gamma = 1900-2010 \text{ кг/м}^3$, угол внутреннего трения $\rho = 28-33^\circ$, удельное сцепление $C = 0,025-0,03$ МПа.

В результате испытаний моделей были определены характер изменения и численные значения величин $P_{1г}$, P_M , P_B в зависимости от пройденного пути.

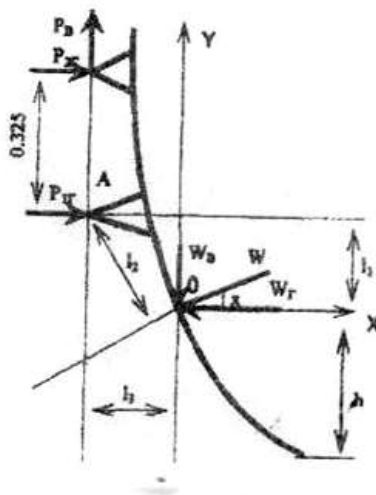


Рис.3.7. Расчетная схема отвала.

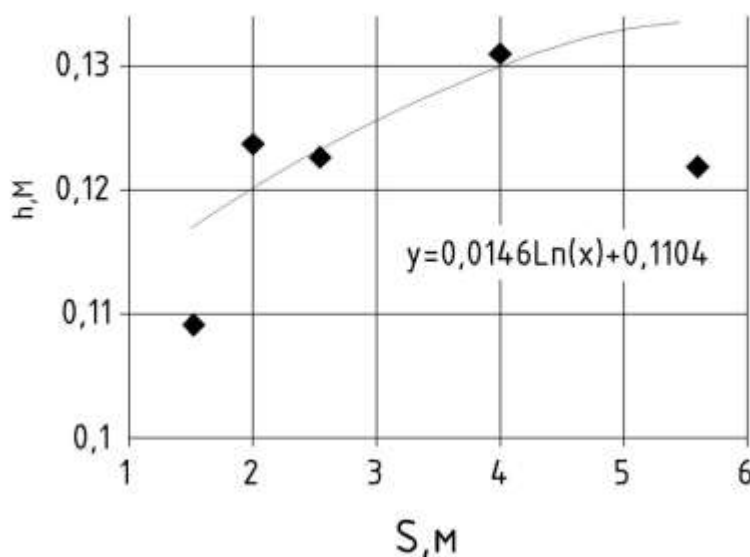


Рис. 3.8. Изменение расстояния от точки приложения результирующей сил сопротивления на отвале с поперечным профилем переменной кривизны по пути копания

Было установлено, что среднее значение расстояния от режущей кромки ножа до точки приложения результирующей сил на отвале:

При копании грунта отвалом с поперечным профилем переменной кривизны

$$h=0,14R;$$

при копании грунта отвалом с поперечным профилем постоянной кривизны
 $h=0,22R$

В третьей главе проведён анализ адекватности модели. Адекватность теоретических зависимостей проверялась по критерию Пирсона. Расхождение результатов экспериментальные теоретических исследований не превышает 5-7%.

Горизонтальная составляющая сопротивления грунта копанию бульдозерным отвалом с постоянной кривизной поперечного профиля увеличивается на 8-10%. Объем грунта в призме волочения для отвала с поперечным профилем переменной кривизны возрастает на 15-17%, когда отвал бульдозера имеет переменную кривизну (рис3.9).

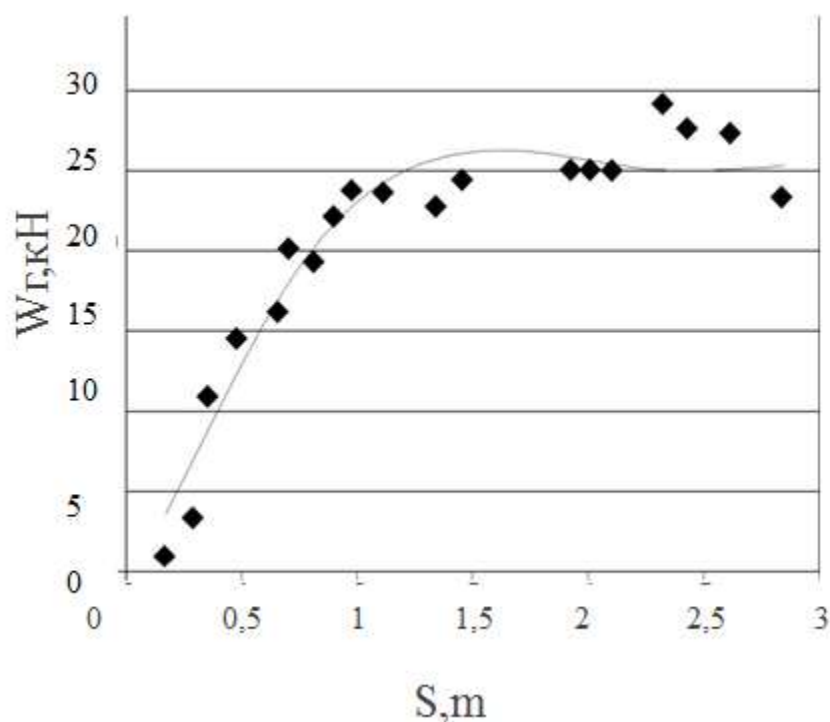


Рис.3.9. Изменение горизонтальной составляющей суммарного сопротивления копания грунта

$W_{г}$ вдоль поперечного профиля переменной кривизны от пути S : 1- эксперимент*, 2-аппроксимирующая линия, заданная уравнением

$$y=0,8x^3-103x^3+42^{\wedge}ж-5$$

Отвала бульдозера традиционной системы; отвал бульдозера с

$$1992/7*60= 4722/7*60 = =40747\text{см}^3 = 0,04\text{см}^3$$

Расчет объема грунта неповоротного отвала отвал бульдозера с рациональной формы поперечного профиля:

$$V_{\text{не поворот}} = 36210 = 0,036\text{см}^3$$

$$V_{\text{неп}} = 15100+36210 = 51310 = 0,05\text{см}^3$$

Результаты обработки экспериментальных данных

таблица 3.3.

Тип отвала	V	V'	V _{сумма}	V _н - V _і	%
Традиционный	9500	40474	69974	18664	36
отвал бульдозера с рациональной формы поперечного профиля	9500	3285	72785	21474	42

3.2 Оценка технико-экономических показателей и область применения

Использование физического моделирования при проведении экспериментов дает значительный экономический эффект. Он обусловлен следующими факторами:

- сокращения материальных затрат;
- снижение трудоемкости работ;
- повышение качества разрабатываемых объектов;

Ожидаемый экономический эффект в данном случае получается за счет увеличения производительности с применением на отвалах бульдозеров рациональной формы поперечного сечения отвала.

Назначение, условия работы бульдозера и силы, действующие на его рабочий орган (нож) особенно применение отвала бульдозера с рациональной формы поперечного сечения увеличение

производительности и снижение энергетических и материальных затрат в увлажненных, а также уплотненных грунтах с третьей категории.

Определяем взаимокорреляционную связь при копании грунта на грунтовом канале бульдозерными отвалами с рациональной формы поперечного профиля.

Сравнение результатов экспериментальных отвалов неповоротного бульдозера.

Таблица. 3.4

Форма отвалов	C=1	C=3	C=6
Традиционный отвал	$P_{K1}=150H$	$P_{K1}=610H$	$P_{K1}=900H$
Отвал рациональной формы поперечного профиля	$P_{Ю}=120H$	$P_{K2}=580H$	$P_{K2}=860H$

Приближенное физическое моделирование приводит к существенному упрощению методики проведения опытов с моделями отвала бульдозера, без значительного изменения точности экспериментов, снижении материальных затрат и сроков исследований по сравнению с испытаниями машин в натуре.

Сравнительные экспериментальные исследования с целью выявления эффективности применения на бульдозерных отвалах с рациональной формы поперечного профиля преследует выявления градиента влияния.

Результаты показали что, эффективность бульдозерных отвалов бульдозера с рациональной формы поперечного профиля с различными по критерию K_{ϕ} при разработки малосвязанных и связанных грунтов, соответственно на 23 и 12% выше эффективность отвалов по сравнению традиционными отвалами.

Рассмотрим автокорреляционную функцию отношения граничных

значений:

$$K_{C1}^1 = \frac{C_{II}}{C_1} = \frac{18}{7} = 2,57$$

$$K_{C2}^1 = \frac{C_{III}}{C_{II}} = \frac{23}{15} = 1,6$$

Отношение те полученные на стенде физического моделирования по трем физическом состояниям равна

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{3}{0,8} = 3,71$$

$$\frac{C_3}{C_2} = \frac{6}{3} = 2$$

Из графика можно сделать гипотетический вывод от том что, третье состояние по опыту с физическим моделированием характеризует разработку третьей категории грунта.

Соппротивление резанию при установки отвала бульдозера с рациональной формы поперечного профиля снизился на

$$P = \frac{90-82}{90} * 100 = \frac{800}{90} = 8,9\%$$

Для технико-экономического анализа рассмотрим возможность увеличение объема призмы волочения за счет уменьшения соппротивления резанию грунта и влияние через него на производительность бульдозера. Соппротивление копанию бульдозерами равна:

$$P_K = P_6 + P_{mp} + P_{np} = \kappa B h_1 + V_{np} \cdot \gamma_2 \cos^2 \delta \mu_1 + V_{np} \gamma_2 \mu_2 = \kappa B h_1 + V_{np} \gamma_2 (\cos^2 \delta \mu_1 + \mu_2) \quad (54)$$

Применительно к III категории грунта (P_p - соппротивлении резанию, P_{TB} - трении грунта по отвалу, P_{np} - соппротивление перемещению призмы волочения) на примере бульдозера на базе трактора Т130 (отвал высотой 1300 мм и длиной 3200 мм)

$$K_{ш} = 170000 \text{ Н/М}^2,$$

$$\mu_1 = 0,8;$$

$$\mu_2 = 0,5;$$

$$h_1 = 0,2 \text{ м};$$

$$B = 3,2 \text{ м};$$

$$H = 1,3 \text{ м}$$

$$\gamma_2 = 15000 \text{ Н/м}^3;$$

$$\delta = 550,$$

$$V_{np0} = LH^2/2K_{np} = 3.2 * 1,5/2,$$

$$l = 2,7 \text{ м}^3$$

III категории грунта принимаем $K_{np} = 1$

$$P_k = 170000 * 3,2 - 0,2 + ((3,2 * 1,32)/(2 * 1)) * 15000 = 108800 + 30780 = 139500 \text{ Н}$$

При уменьшении сопротивления резанию 8,9% , при использовании его для увеличения объема призмы волочения, уравнения для нахождения объема призмы волочения имеет:

$$P_v = 108800 * 0,911 + V_{np} * 15000(0,57^2 * 0,8 + 0,5) = 99117 +$$

$$+ V_{np} * 15000 * 0,76 = 99117 + 11400V_{np} = (139500 - 99117)/11400 = 3,54 \text{ м}^3$$

Увеличение объема призмы волочения составляет

$$P_v = (3,54 - 2,7)/3,5(4) * 100 = (0,64/3,54) * 100 = 23,72\%$$

Если не изменить составляющих времени цикла работы бульдозера увеличения призмы волочения, пропорционально влияет на показатель производительности; т.е, увеличивается эффективность использования бульдозера.

Анализ оценки эффективности является основанием для принятия обоснованностью решения о параметрах и эксплуатационных характеристиках проектируемого объекта, определении его технического уровня, а также уровня существующих образцов. Сравнительные экспериментальные исследования с целью выявления эффективности применения на бульдозерных отвалах различной конструкции были проведены на моделях бульдозерных отвалов, опытного типа.. Результате показали что, эффективности по критерию $K_{эф}$ при разработки малосвязанных грунтов, соответственно 8 ... 10 % выше серийного отвала.

Производительность бульдозера определяется уравнением:

$$\Pi = \frac{3600V_{\phi}K_B K_{увл}}{T_{ц}} \quad (55)$$

Из литературных источников принимаем;

$$V_{\phi} = \frac{BH^2}{2K_{np}K_p} \quad (56)$$

$$B=3,24\text{м}$$

$$H=1,3\text{м};$$

$$K_{\text{пр}}=1;$$

$$K_{\text{пр}}=109$$

при разработки грунтов первое категорий бульдозера на базе трактор (Т-130)

$$K_{\text{в}}=0,85 \text{ и}$$

$$K_{\text{укл}}=1,0$$

$$T_{\text{ц}}=1_p/V_1 + \ln N_2 + (1_p + \ln)/V_3 + 2t_n + t_0 + t_c,$$

$$1_p=10\text{м},$$

$$V_1=0,5\text{м/с},$$

$$1_{\text{п}}=80\text{м},$$

$$V_2=1\text{м/с},$$

$$V_3=2,2 \text{ м/с},$$

$$t_n=10 \text{ с}, \quad t_0=1\text{с}, \quad t_c=4 \text{ с}.$$

По выше приведенным данным имеем:

$$T_{\text{ц}}=10/5 + 80/1 + (10+80)/2,2 + 2*10 + 1 + 4 = 20 + 80 + 40,9 + 5 = 165,9 \text{ сек.}$$

Технологическая часовая производительность бульдозера при копании грунта будет равна

$$\underline{\underline{П}} = \frac{3600 * \frac{3,2 * 1,3^2}{2,1 * 1,9} * 0,85 * 10}{165,9} = \frac{3600 * 2,48 * 0,85}{165,9} = \frac{7588,8}{165,9} = 45,74 \text{ м}^3/\text{час}$$

Из опыта на стенде физического моделирования, увеличение объемов призмы волочения по сравнению с неповоротным отвалом при использовании серийного отвала составила 36% и при использовании бульдозера с рациональной формы поперечного профиля отвала 42%.

При неизменности составляющих времени цикла работы бульдозера 165,9 (м/с) производительность

- бульдозера с традиционным отвалом составляет,

$$П=45,74 * 1,36 = 62,2 \text{ см}^3/\text{час}$$

- бульдозера с отвалом рациональной формы поперечного профиля

отвалом составляет,

$$П=45,74 * 1,42=64,95 \text{ см}^3/\text{час}$$

Эксперименты показали что потеря грунта на боковые валики имели следующие

- при установки традиционного отвала 22 см
- при установки отвала 19см

Но в геометрическом объем отвалом бульдозера с рациональной формы поперечного профиля набирался грунт объемом 29500см^3 по сравнению с 15100 см^3 в неповоротном традиционном отвал. Установка опытного отвала увеличивая объем по сравнению с традиционного на $42 - 36=6\%$, резко снизил потери на боковые валики.

Из показателей производительностью и наблюдению в экспериментах делается вывод о том что, при разработке легких грунтов отвалом бульдозера с рациональной формы поперечного профиля, резко улучшается эффективность использования бульдозеров.

Выводы по главе III

1. Относительная погрешность моделирования должно быть в пределах 10-15%.
2. Физическое моделирование позволило снижению материальных затрат и сроков исследований по сравнению с испытаниями машин в натуре.
3. Критерия эффективности K_{ϕ} при разработки малосвязанных связных грунтов, соответственно на 23 и 12% выше по сравнению традиционными отвалами при установке отвалов бульдозера с рациональной формы поперечного профиля.
4. При исследованиях в грунтовом канале угол резания находится в пределах $40-50^{\circ}$, угол опрокидывания $70-75^{\circ}$, угол наклона $75-80^{\circ}$.
5. Увеличение производительности бульдозера оборудованного с рациональной формой отвала бульдозера с поперечного профиля сравнению традиционными бульдозерами. На малосвязанных и связных грунтах составили соответственно 20% и 18%.

Общие выводы и рекомендации

1. На основе анализа направлений интенсификации рабочего процесса бульдозеров можно сделать вывод с тем, что совершенствование рабочего органа с использованием традиционных методов воздействия на среду по средством передачи энергии к рабочему органу через движитель остается перспективным направлением повышения эффективности бульдозеров.

2. Процесс резания оказывает существенное влияние на характер взаимодействия отвала при различных конструкциях с грунтом и форму поверхности отвала.

3. В экспериментальных исследованиях отвала бульдозера с рациональной формы поперечного профиля сопротивление резанию снизилось на 8...10%.

Использование с экономии энергии 8...10% за счет отвала бульдозера с рациональной формы поперечного профиля позволяет увеличить объем призмы волочения на 23%.

4. Рациональное использование отвалом бульдозера рациональной формы поперечного профиля могут изменяться в зависимости от типоразмеров машин, состояния и характера разрабатываемых грунтов.

5. Эффективность отвалов бульдозера с рациональной формы поперечного профиля по критерию K_{ϕ} при разработке малосвязанных и связных грунтов соответственно на 23 и 12% выше эффективность отвалов по сравнению традиционными отвалами.

6. Эффективность бульдозерного оборудования отвалов на основании анализа экспериментальных исследований процесса взаимодействия рабочего органа со средой по тем критериям оценки эффективности конструкции было установлены рациональные геометрические параметры.

7. Эффективность применения бульдозерного оборудования рациональной формой в зависимости от технологии производства работ,

наиболее эффективно при разработке и перемещении малосвязанного и лессового сухого грунтов.

8. Экспериментальные исследования выявили преимущества отвала с переменной кривизной по сравнению с отвалом, имеющим постоянную кривизну поперечного профиля. В результате процесс копания грунта происходит с наименьшими удельными энергозатратами. Снижение удельной энергоёмкости процесса копания является средством для возможного увеличения призмы волочения при сохранении рабочей скорости и прочих равных условиях рабочего процесса бульдозера.

9. Анализ проведённых теоретических исследований на предмет адекватности даёт хорошую сходимость с результатами экспериментальных исследований. Расхождение между теоретическими и экспериментальными данными не превышает 7%.

10. Экономическая эффективность от внедрения единицы новой техники (бульдозера, оснащённого отвалом с переменной кривизной поперечного профиля) составила 217,6 тыс. сумов в год (по ценам на 2017 г.).

11. Разработанная методика может быть рекомендована широкого использования в качестве обучающей программы в ВУЗах, на кафедрах соответствующего профиля, а также при выполнении курсовых и выпускных проектов по курсу «Машины для земляных работ», раздел «Бульдозеры».

Список использованной литературы

1. Постановления Президента Республики Узбекистан от (№ ПП-2500 от 26.08.2016)
2. Постановления Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № УП-4947
3. Постановления Президента Республики Узбекистан от 14 февраля 2017 г., № УП-4954
4. Аскарходжаев т.н. Пути повышения производительности машин для земляных работ. - Ташкент: Фан, 1988-96 с.
5. Геращенко В.В. Алексеева В.В устройство для управления бульдозером. Строительные и дорожные машины, 2001. №7.
6. Шлойдо А.Г., Валедницкий Ю.Б. Бульдозеры и бульдозеры и рыхлителями. Строительные и дорожные машины. 1988, с 14, 15, 18.
7. Позин Б.М. Совершенствование параметров промышленных гусеничных тракторов (теория, эксперимент, внедрение): дис.техн.наук. М.: МАДИ, 1991. 63с
8. ГОСТ 23734-98. Тракторы промышленные. Методы испытаний.
9. РДМУ 23.82.3-86. Методические указания. Тракторы промышленные и лесопромышленные. Определение показателей качества ГОСТ 4.373-85.
10. Баловнев В.И., Хмара Л.А. Интенсификация земляных работ в дорожном строительстве. М.Транспорт. 1983 с.[4, 5]
11. Калинин В. С. и др. Современные тенденции развития бульдозеров за рубежом. - М.: ИНИИТЭ строймаш, вып.2, 1985.-49 с.
12. Шлойдо Г. А. и др. Современные бульдозеры с рыхлителями на за рубежом. - М.: ИНИИТЭ строймаш, вып.2, 1985.-49 с.
13. Komatsu Д-21 А-5 Bulldozer. Komatsu, 1992-pp-4
14. Машины для земляных работ: учебник для студентов вузов, обуч. по направлению 270100 «строительство»/А.И. Доценко, Г.Н.Карасев [и др.].-2012

15. Машины для земляных работ: учебник для студентов вузов по спец. «Строительные и дорожные машины и оборудование»/Ю.А.Ветров [и др.]; ред. Ю.А. Ветров. - 1976
16. Машины для земляных работ: учебник для студентов вузов/Н.Г. Гаркави[и др.]; ред. Н.Г. Гаркави. -1982
17. Машины для земляных работ. Конструкция. Расчет. Потребительские свойства: учеб. пособие для вузов/ В.И. Баловнев [и др.]; ред. В.И. Баловнев; Белгород гос. Технолог.ун-т им. В.Г. Шухова. Кн. 1: Экскаваторы и землеройно-транспортные машины. -2011.
18. Белецкий, Борис Федорович. Строительные машины и оборудование: учебное пособие [для студентов вузов. Обучающихся по направлению подготовки «строительство»]/Б.Ф.Белецкий, И.Г. Булгакова. –Изд. 3-е, стер. – Санкт-Петербург; Москва; Краснодар; Лань, 2012.
19. Забегалов, Георгий Васильевич. Бульдозеры, скреперы, грейдеры: Учебник для ПТУ/Г.В.Забегалов, Э.Г.Ронинсон. – 2-е изд., прераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1991.-334 с.
20. Michael R. Lindeburg P.E. Civil Engineering Reference Manual for the PE Exam. PPI. USA 2015.
20. R.Robinson, U.Danielson, M.Snaith. Road Maintenance Management, Concepts and Systems. Taylor & Francis. Oxford 2013.
21. Справочная энциклопедия дорожника. Строительства и реконструкция автомобильных дорог. I том. М. 2005. 1519 стр.
22. Костюченко В.И. разработка критериев и методов оценки эффективности промышленных тракторов: дисс. канд. тех.наук. челябинск: ЮУрГУ, 2000,294с.
23. www.bobcat.com .
24. www.komatsu.co.jp
25. www.cat.com .
26. [www. Caterpillar.ru](http://www.Caterpillar.ru)
27. www.buildozer.ru