

Кыргызско-Российский Славянский Университет имени Б. Ельцина

На правах рукописи
УДК 628.543:64.066(043)

ДЖУМАГАЛИЕВ ТАЛГАТ КУМАРГАЛИЕВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ВОДОВОДОВ В
СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

Специальность 05.23.04 – водоснабжение, канализация и строительные системы
охраны водных ресурсов

Диссертация
на соискание учебной степени кандидата
технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор, Абдурасулов И.

Алматы 2016

СОДЕРЖАНИЕ		Стр
ВВЕДЕНИЕ		4
ГЛАВА 1. Состояние строительства трубопроводных сетей систем водоснабжения и водоотведения и задачи их совершенствования		8
1.1 Сооружение магистральных водоводов в системе водоснабжения		8
1.2 Технология и механизация работ по сооружению внешних сетей водоснабжения и водоотведения		11
1.3 Анализ существующей технологии и механизации земляных работ, выполняемых с использованием бульдозеров		26
1.3.1. Постановка задач исследования		28
Выводы по главе 1		29
ГЛАВА 2. Исследования по совершенствованию технологии земляных работ при сооружении водоводов		31
2.1 Характеристики систем водоотведения и водоподготовки населенных пунктов РК и особенности их эксплуатации		31
2.2 Грунтовые условия горных и равнинных регионов Республики Казахстан		36
2.3 Совершенствование технологии проектирования, строительства и эксплуатации водопроводных и водоотводящих сетей		45
2.3.1. Диагностика трубопроводных сетей		47
2.3.2. Обоснование минимальной толщины стенки и расчет ресурса трубопроводов водопроводной сети		52
Выводы по главе 2		59
ГЛАВА 3. Оценка эффективности использования средств механизации (бульдозерных агрегатов) при сооружении объектов водоснабжения		60
3.1 Совершенствование конструкций рабочего оборудования современных бульдозеров		62
3.2 Теоретическое обоснование целесообразности применения модернизированного рабочего оборудования бульдозера		80
3.3 Оценка эффективности использования бульдозерных агрегатов при сооружении объектов водоснабжения и водоотведения		84
3.4 Сравнение вариантов механизации работ при засыпке траншей под водоводы		88
Выводы по главе 3		91
ГЛАВА 4. Результаты исследования режима работы бульдозера с модернизированным отвалом при строительстве водоводов		93
4.1 Экспериментальный стенд и его характеристики		93

4.2	Определение физико-механических свойств грунтов	96
4.3	Результаты изучения режимов работы модернизированного отвала бульдозера	100
4.4	Методика проведения и результаты производственных испытаний	109
4.5	Рекомендации по проектированию бульдозерного агрегата с модернизированным отвалом при засыпке траншей грунтом	114
4.6	Экономическая оценка эффективности применения модернизированного отвала бульдозерного агрегата	124
	Выводы по главе 4	125
	ВЫВОДЫ	128
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	130

ВВЕДЕНИЕ

В Республике Казахстан ежегодно наращиваются водохозяйственные работы, особенно по строительству и реконструкции магистральных водоводов в системе водоснабжения, проводимые на основе отраслевой программы «Питьевые воды». Строительство магистральных водоводов отличается большим разнообразием трудоемких работ, как по характеру, так и по условиям их проведения и объемам. Для выбора наиболее эффективных по стоимости и трудоемкости методов производства и механизации по укладке в заранее подготовленных траншеях водопроводных и канализационных труб необходимо изучить и оценить прогрессивные технологии, грунтовый фон места укладки водоводов с применением комплекта машин, механизмов и транспорта. Все это потребовало комплексного и системного подхода к решению проблемы водообеспечения страны, которое результативно выполняется в настоящее время.

Технология возведения водопроводных сооружений определяет теоретические основы и регламенты практической реализации выполнения отдельных видов строительных, монтажных и специальных работ, их взаимосвязки в пространстве и времени с целью получения готовой продукции в виде сооружений новых систем водоснабжения и водоотведения. При этом, земляные работы являются наиболее массовыми и трудоемкими в строительном производстве. Справиться с ними ручными способами невозможно и поэтому их в большинстве случаев выполняют только с помощью соответствующих подготовительных, землеройных и землеройно-транспортных машин.

Механизация работ по засыпке траншей без уплотнения преимущественно осуществляется с помощью бульдозеров. Технические возможности бульдозеров не всегда соответствуют требованиям технологии производства земляных работ, особенно по части совершенствования конструктивного исполнения рабочего органа машин, которые непосредственно взаимодействуют с разрабатываемой средой - грунтом.

Разнообразие направлений в области научных исследований по повышению эффективности землеройной машины объясняется важной народнохозяйственной задачей, связанной с созданием высокоэффективных рабочих органов и комплексов. Однако, до настоящего времени отсутствуют исследования бульдозеров с усовершенствованным сменным рабочим оборудованием. Предложенные пути решения вопроса ориентированы на обеспечения эффективной работы бульдозеров при перемещении и косом

резании грунта в поперечном направлении вдоль траншей для укладки водопровода.

В связи с чем, **целью работы** явились: изучение особенностей строительства трубопроводных сетей систем водоснабжения и водоотведения, определение влияния основных факторов на показатели эффективности технологических процессов и выдача предложений и рекомендаций по совершенствованию технологии засыпки траншей под водоводы с использованием новых бульдозерных агрегатов.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- анализ современных процессов прокладки трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения;
- установление основных факторов, влияющих на эффективность ведения земляных работ при строительстве трубопроводов под водоводы;
- определение влияния грунтового фона на выбор средств механизации и путей увеличения интенсивности процесса строительства трубопроводов;
- разработка и испытание модернизированного отвала бульдозерного агрегата;
- определение приемлемых вариантов механизации земляных работ с использованием бульдозерных агрегатов и установление экономически оправданного варианта их использования.

Объект исследований: процессы прокладки трубопроводов под водоводы с использованием усовершенствованных средств механизации в условиях РК;

Методы исследования. Использованы методы оценки эффективности новых технологий и техники в строительстве. Исследования параметров усовершенствованного рабочего органа бульдозера на основе системного анализа теории резания грунтов и многофакторного планирования экспериментов, методов физического моделирования изучаемых процессов в различных условиях.

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

Показана возможность и выбраны пути совершенствования технологии строительства водоводов в системах водоснабжения и водоотведения за счет применения усовершенствованного бульдозерного агрегата.

Установлены основные факторы, на основе разработанной классификации, влияющие на эффективность проведения земляных работ при строительстве водоводов.

Показано влияние установленного грунтового фона на выбор средств механизации при рытье и засыпке водопроводных траншей.

Разработана методика оценки используемых средств механизации при выполнении земляных работ по прокладке трубопроводов, позволившая сравнить варианты применения бульдозерных агрегатов.

Показана перспективность использования модернизированного отвала бульдозерного агрегата для эффективного выполнения работ по засыпке траншей.

Основные положения, выносимые на защиту:

- математическая модель процесса копания грунта с использованием усовершенствованного поворотного отвала англодозера;
- теоретическое и экспериментальное обоснования рациональных параметров бульдозерного агрегата с модернизированным отвалом;
- результаты сравнительного исследования вариантов механизации при боковой засыпке траншеи для водоводов;
- методика инженерного расчета.

Личный вклад автора заключается в разработке усовершенствованной технологии земляных работ при засыпке траншеи для водопроводов способом бокового перемещения грунта; в теоретическом обосновании основных рабочих параметров англодозера и установление их взаимосвязи с условиями грунта, а также в подготовке рекомендации по проектированию и использованию англодозера с дополнительным упорным ножом при строительстве магистральных водоводов.

Практическая ценность работы заключается в том, что принятая технология засыпки траншеи при строительстве водоводов значительно улучшает производство работ и позволяет использовать англодозер с сохранением курсовой устойчивости при боковом перемещении грунта.

При использовании усовершенствованной технологии с применением англодозера, оснащенного дополнительным ножом в ТОО «ПМК-46», в зависимости от вида и объема выполняемых земляных работ годовой экономический эффект составил 2213,0 тыс. тенге.

Физические модели рабочих органов англодозера с упорным ножом, методика изучения рабочего процесса подобного оборудования переданы на кафедру «Машины и оборудования» Таразского государственного университета имени М.Х. Дулати и используется в учебном процессе.

Апробация работы. Основные результаты работы и полученные результаты докладывались и обсуждались на Международной научно-практической конференции «Проблемы инновационного и конкурентоспособного развития агроинженерной науки на современном этапе» (г. Алматы, 2014), на Международной научно-практической конференции (г. Алматы, 2015), на Международной научно-практической конференции «Научно-образовательный потенциал нации и конкурентоспособность страны» (г. Актобе, 2016).

Публикации. Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований, составляющие содержание диссертационной работы освещены в 9 научных трудах, из которых 5 **научных докладов** - в сборниках Международных научно-практических конференции.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 разделов, заключения и списка использованных источников из 87 наименований, 4 приложений. Текстовая часть изложена на 128 страницах компьютерного набора, иллюстрируется 47 рисунками, 14 таблицами и 32 формулами.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ТРУБОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ И ЗАДАЧИ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

1.1 Сооружение магистральных водоводов в системе водоснабжения

Ежегодно наращиваются водохозяйственные работы, особенно по строительству и реконструкции магистральных водоводов в системе водоснабжения и водоотведения, проводимые на основе отраслевой программы «Питьевые воды» /1/. В рамках этой программы производится строительство новых водопроводных сетей, реконструкция существующих. На водопроводах, где требуется ремонт сооружений, частичная замена сетей, запорно-регулирующей арматуры проведены ремонтно-восстановительные работы замена оборудования. Осуществлен переход на использование современных надежных и экологически чистых материалов и технологий их сооружения на местах.

Объемы выполненных работ по указанной программе возросли с 6 миллиардов в 2002 году до 28 миллиардов тенге в 2008 году. В 2006-2015 годах программой охвачено 6190 сельских населенных пунктов, 47 малых городов, где требовалось улучшение водопроводной сети.

Благодаря этому, в сравнении с 2002 годом число населенных пунктов, обеспечивающихся питьевой водой из водопроводной сети увеличилось на 100 единиц или на 4,4%. При этом, число населенных пунктов, пользующихся привозной водой, уменьшилось на 246 единиц или на 6,3%. В целом по республике, независимо от источника водоснабжения обеспечение поселков и городов питьевой водой соответствующей санитарным нормам составляет порядка 81% /2/. А до восстановления, водопроводы введенные в эксплуатацию более 25-30 лет назад, были изношены на 70-75%. Число аварий достигало от 600 (Жамбылская область) до более 4000 (Карагандинская область) в год. В результате высокой аварийности снижалось качество подаваемой воды (вторичные загрязнения) и образовались большие непроизводительные потери за счет утечек. Все это потребовало комплексного и системного подхода к решению проблемы водообеспечения страны, которое результативно выполняется в настоящее время /3/.

Земляные работы являются наиболее массовыми и трудоемкими в строительном производстве. Справиться с ними ручными способами невозможно и поэтому их в большинстве случаев выполняют только с

помощью соответствующих подготовительных, землеройных и землеройно-транспортных машин /4/.

Технология возведения водопроводных сооружений определяет теоретические основы и регламенты практической реализации выполнения отдельных видов строительных, монтажных и специальных работ, их взаимоувязки в пространстве и времени с целью получения готовой продукции в виде сооружений новых систем водоснабжения и водоотведения /5,6,7,8,9/. Строительство таких сооружений существенно отличается от заводского или промышленного производства, и имеет ряд особенностей. Особенностью такого строительного производства является, в частности, то, что его продукция, как правило, неподвижна, а рабочие и орудия труда (машины, механизмы) перемещаются по мере завершения работ с одного участка или объекта на другой. Выполнение работ на строящихся объектах осуществляется под открытым небом, т. е. при непосредственном воздействии на работающих, строительные материалы, машины и механизмы погодных и климатических условий.

Перечисленные и другие специфические особенности строительства водопроводов систем водоснабжения и водоотведения требуют особого подхода к производству строительных работ, применения специфических технологий и методов их выполнения, причем часто в условиях водонасыщенных и неустойчивых грунтов/10/.

Строительство сетей и сооружений водоснабжения и водоотведения носит временной характер /11/. Временные земляные сооружения устраивают как необходимый элемент для последующих строительного-монтажных работ. Сооружение трубопроводных систем водоснабжения и водоотведения связаны с рытьем траншей - выемок, имеющие малые размеры поперечного сечения и большую длину. Основные требования к земляным сооружениям при их эксплуатации – они не должны изменять своей формы и основных размеров, давать просадок, размываться под действием текущей воды и поддаваться влиянию атмосферных осадков.

При устройстве современных систем водоснабжения и водоотведения городов, населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных предприятий почти всегда необходимо строить специальные водозаборные сооружения для забора поверхностных вод из рек и водоемов или добычи подземных артезианских вод. Технология строительства таких заглубленных водозаборных сооружений, часто в водонасыщенных и неустойчивых грунтах или даже в пределах довольно трудоемкая, сложная и специфичная, требующая применения специальных методов работ /12,13,14,15/.

Для подачи воды потребителям или на водоочистные сооружения прокладываются напорные водоводы из металлических или неметаллических труб больших диаметров, что сопряжено с необходимостью рытья для них траншей, иногда с креплением их стенок, а также с прокладкой труб сваркой или заделкой стыков, их испытанием и обратной засыпкой /15,16/. По ходу прокладки таких трубопроводов встречаются различные преграды – дороги, овраги, реки, каналы, в местах которых требуется устраивать переходы либо под ними, используя прокол, продавливание, горизонтальное бурение или щитовую проходку, либо по дну оврагов и речных преград – в виде дюкеров, либо над преградами, устраивая подвесные, висячие или самонесущие арочные переходы труб. Эти работы довольно сложны и специфичны.

Особой спецификой отличаются также работы по строительству комплексов сооружений водоочистных станций по очистке питьевой воды, включающих осветлители, фильтры, отстойники, резервуары и др., а также сооружений канализационных очистных станций, включающих первичные и вторичные радиальные отстойники, аэротенки, биофильтры и др., предназначенные для очистки и обезвреживания сточных вод /17,18, 19/.

Указанные емкости – монолитные или сборные железобетонные сооружения прямоугольной круглой (цилиндрической) формы являются, по существу, гидротехническими сооружениями, вследствие чего к ним предъявляются повышенные требования по водонепроницаемости, морозо- и водостойкости. Однако обеспечить это на практике, особенно при монтаже емкостных сооружений из сборных элементов (панелей) со стыками на сварке закладных деталей, трудно, так как при общей сравнительно небольшой толщине стен сооружений они имеют достаточно большую глубину их заложения в землю. Кроме того, жесткие требования строительных норм и правил (СНиП) относительной допускаемой утечки воды также усугубляют задачу качественного устройства данных емкостных сооружений /24-26/.

При этом разработка грунта (рытье, засыпка, уплотнение) является важнейшей (основной) операцией технологического процесса строительства трубопроводов для обеспечения водой. По ресурсоемкости и использованию средств механизации, это операция превосходит другие.

Земляные работы производятся целым рядом строительных машин специального и общего назначения. Тип машин, выбор и комплектование, режим их работы определяются не только конструктивными элементами укладываемой конструкции или изделия, но и свойствами объекта воздействия. Изучением процесса сооружения сетей внешнего водоснабжения и водоотведения занимались ряд исследователей, и, в целом, технология и оборудование для проведения таких работ достаточно разработаны.

Сооружение трубопроводов заключается в рытье траншей, перемещении в укладке нового трубопровода и засыпке траншеи. Однако применение традиционной техники и технологии, когда траншея под водопроводные сети осуществляется землеройной или землеройно-транспортной техникой, имеет ряд серьезнейших недостатков:

- неоправданно большие объемы земляных работ /6.7.8/;
- применение значительного количества технологических машин;
- низкие темпы выполнения земляных работ, связанные с технологическими машинами для укладки трубы, уплотнения грунтового слоя.

Отсюда возникла серьезная прикладная *проблема* — обеспечение высокоэффективного и безопасного выполнения земляных работ в линейных условиях сооружения трубопровода, для достижения соответствия темпов и минимальной себестоимости стратегически важных объектов транспортирования питьевой и технологической воды или аналогичных жидкостей. Следует заметить, что земляные работы в объеме строительного производства занимают значительный удельный вес. Для выполнения такого объема работ эксплуатируется значительный парк землеройной техники, поэтому повышение эффективности их использования имеет большое народнохозяйственное значение.

1.2 Технология и механизация работ по сооружению внешних сетей водоснабжения и водоотведения

В Республике Казахстан выполняются огромные объемы земляных работ, ежегодный объем таких работ достигает до 800 млн.м³ /3/. Это касается не только горнодобывающей промышленности или транспортных коммуникаций, но объектов гражданского строительства, включая сети водоснабжения и водоотведения. При этом разработка грунта (рытье, засыпка, уплотнение) является важнейшей (основной) операцией технологического процесса строительства трубопроводов для обеспечения водой. По ресурсоемкости и использованию средств механизации, это операция превосходит другие.

В последнее время во многих НИИ и вузах выполняется комплекс работ, связанных с разработкой технологии скоростного сооружения или капитального ремонта магистральных трубопроводов /14/ с использованием новой наукоемкой землеройной техники. Проектирование такой техники и технологии осуществляется на базе результатов теоретических и

экспериментальных исследований взаимодействия рабочего оборудования машин со средой, с учетом оценки напряженного его состояния.

Важная научно-прикладная задача состоит в создании с расширенными функциональными возможностями высокоэффективных землеройных машин для реализации технологии строительства магистральных трубопроводов водоснабжения и водоотведения /32,33,34/.

Структурно-логическая схема научного исследования должна быть связана с реализацией новой скоростной технологией сооружения трубопроводов, обоснованием необходимых технологических операций выполнения земляных работ, объединением специальных строительных машин в комплекс, формированием нескольких рабочих органов в ведущей машине, выбором основных параметров рабочего органа и их оптимизацией.

Такой подход позволяет понять, что реализация новой технологии и создание эффективных машин возможно лишь в случае рассмотрения закономерностей, описывающих взаимодействия элементов рабочего оборудования с грунтом, последующего формирования из них рабочих органов отдельных машин, затем объединения их в единый комплекс машин и обеспечения скоростного ведения строительных работ по новой технологии.

Научная проблема исследования состоит в отсутствии научных основ создания технологического комплекса высокоэффективных землеройных машин для работы в условиях скоростного строительства нового или капитального ремонта действующего трубопровода. А научная задача - в оптимизации конструктивных и технологических параметров специальных рабочих органов комплекса землеройных машин на основе определения характеристик напряженно-деформированного состояния среды в зоне рабочего оборудования и магистрального трубопровода. Решение задачи во многом зависит от технологии производства работ, на которое влияет целый ряд факторов. Поэтому есть смысл, вкратце, остановиться на разработке траншей под магистральные водоводы, и факторах, влияющих на них.

Известно /35,41-46/, что при выполнении земляных работ, основная часть состоит из следующих процессов: рытья, перемещения грунта и засыпки траншей. Объемы этих работ зависят от конструктивных параметров траншей, способов укладки труб от материала последних, грунтовых условий и, наконец, от средств механизации, применяемых для выполнения земляных работ. Согласно приведенной классификации факторов (см. рис. 1.1), для сооружения водоводов используют металлические, цементобетонные и керамические трубы, в последнее время получают применение полимерные и базальтопластиковые трубы.

Техника и технология строительства водоводов систем водоснабжения и водоотведения

Материал труб

Металлические цементобетонные керамические
Полипропиленовые базальтовые

Параметры трубопроводов

Диаметр, длина, глубина залегания, количество

Грунты

Скальные нескальные
Связные малосвязные несвязные
Глины суглинки супеси
Крупнообломочные песчаные
Сухие влажные мокрые
Категорийность

Размещение труб

Заглубленные на поверхности
Напорные безнапорные

Сооружение траншей

С вертикальными стенками, Трапециодальные сложные

Средства механизации

Экскаваторы непрерывного и циклического действия, траншеекопатели,
бульдозеры, краны, уплотнители грунтопрокалывающие установки

Машины для засыпки траншей

Экскаваторы циклического действия, бульдозеры,
с модернизированным или сменным рабочим оборудованием

Машины для уплотнения грунтов

Навесное уплотнительное оборудование, катки, виброплощадки

Рис.1.1. Классификация факторов, влияющих на технологию строительства водоводов.

Вид материала труб определяет их эксплуатационные характеристики, долговечность, методы монтажа и стоимость. Для рационального выбора материала труб для сетей водоснабжения и водоотведения необходимо руководствоваться конкретными условиями эксплуатации и технико-экономическими расчетами. Для обеспечения надежности и прочности материала труб должны быть определены оптимальные условия эксплуатации по давлению, температуре, характеру транспортируемой среды, а также по условиям прокладки трубопроводов, возможности подвижки грунтов, их коррозионной активности, наличия подземных вод и т.д /Орлов/.

Трубы, соединительные части и арматура должны отвечать требованиям государственных стандартов (ГОСТ), а в случаях отличия от них - техническим условиям (ТУ). Трубопроводы представляют собой некоторое количество взаимосвязанных, плотно соединенных между собой элементов:

Водопроводные и водоотводящие сети как объекты исследований:

- труб определенного диаметра, длины, толщины стенки, химического состава материала и качества поверхности;
- соединительных (фасонных) частей;
- арматуры, служащей для изменения и регулирования количества транспортируемого вещества;
- сооружений на сети (например, смотровых колодцев на трубопроводных сетях).

Трубопроводы классифицируют как напорные и безнапорные. Напорные трубопроводы транспортируют вещество под определенным давлением (напором), безнапорные — самотеком. Напорные трубопроводы всегда работают полным сечением, а безнапорные — при частичном заполнении живого сечения труб (0,6-0,9). Напорные трубопроводы могут прокладываться с любым уклоном, а самотечные с определенными уклонами в сторону перемещения транспортируемого вещества. Безнапорный режим течения воды при частичном наполнении, характерный для отвода бытовых сточных вод, обладает рядом преимуществ перед напорным режимом. При транспортировке бытовых сточных вод обеспечивается некоторый резерв в живом сечении трубопровода, необходимый для пропуска расхода больше расчетного, который может наблюдаться в пределах часа с максимальным расходом. Кроме того, через свободную от воды верхнюю часть сечения трубы осуществляется вентиляция всей разветвленной трубопроводной системы. При этом из трубопроводов непрерывно удаляются выделяющиеся из воды газы, которые вызывают коррозию трубопроводов и сооружений на них, осложняют эксплуатацию водоотводящих сетей. И, наконец, при безнапорном режиме движения жидкости улучшаются условия транспортирования с водой

нерастворенных примесей и самоочищение трубопроводов от отложений /22,23/.

На практике встречаются также комбинированные трубопроводы: с самотечными и напорными участками. Примером могут служить водоотводящие коллекторы, пересекающие водные протоки по их дну (дюкеры).

Различают траншеи с вертикальным, трапециодальным и сложным сечением (рис. 1.2). Способы разработки траншей различны. Траншеи отрывают многоковшовыми экскаваторами непрерывного действия и одноковшовыми циклического действия. Способы разработки траншей могут быть однопроходными и многопроходными (послойные). При первом способе полный профиль траншеи разрабатывают за одну проходку механизма, а при втором - за несколько. Отвал (резерв) грунта при разработке траншеи чаще всего размещают с левой стороны, а правую оставляют свободной для проезда и возможности выполнения сварочно-монтажных и изоляционных работ. Для предохранения стенок траншей от обрушения отвал грунта располагают на расстоянии 0,5 м и более от ближайшей бровки траншеи.

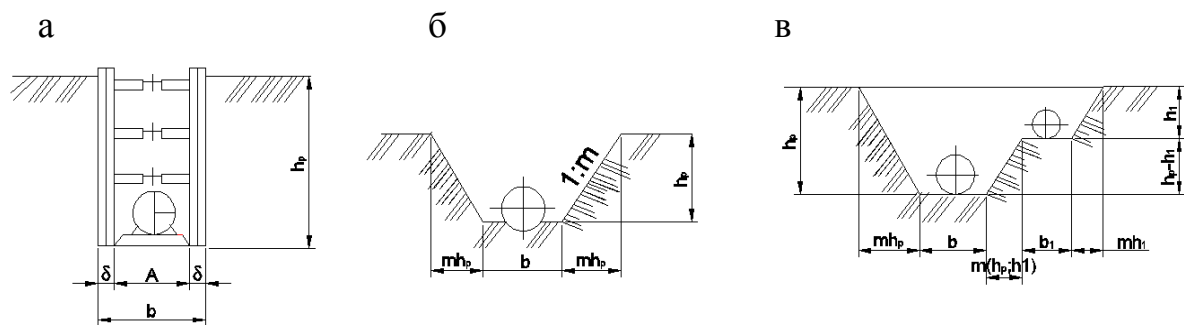


Рис.1.2. Схемы поперечных разрезов траншей под водопроводные трубы: а – траншей с вертикальными стенками и креплениями; б – трапециодальных; в – сложного сечения при совмещенной прокладке трубопроводов.

Прямоугольные траншеи с отвесными стенками имеют относительно минимальный объем земляных работ, небольшую ширину в плане, что облегчает строительство сооружения. К некоторым недостаткам таких траншей следует отнести необходимость устройства крепления стенок, которое предотвращает возможность обрушения стенок и обеспечивает безопасность работающих в траншее людей.

Рытье траншеи без крепления отвесных стенок допустимо в грунтах естественной влажности и при отсутствии грунтовых вод. /4,7,10/. Уклон

напорным водопроводным трубопроводам придается таким образом, чтобы оставалась возможность их опорожнения. При правильном уклоне трубопровода предотвращается возможность скопления воздуха в его внутренних полостях.

Разработка грунта, как правило, производится землеройными машинами и механизмами - экскаваторами или землеройно-транспортными - бульдозерами, скреперами, грейдерами. А перемещение грунта на небольшие расстояния - землеройно-транспортными машинами и механизмами, а засыпка грунта может быть выполнена с применением вышеперечисленной техники с уплотнением его и созданием проектных параметров земляного сооружения.

Траншеи с вертикальными стенками отрывают на глубину до 3 м с последующим креплением стенок. При разработке траншей в слабых грунтах крепления устанавливают сразу, т.е. вслед за экскаватором, а трубы опускают уже в закрепленные траншеи.

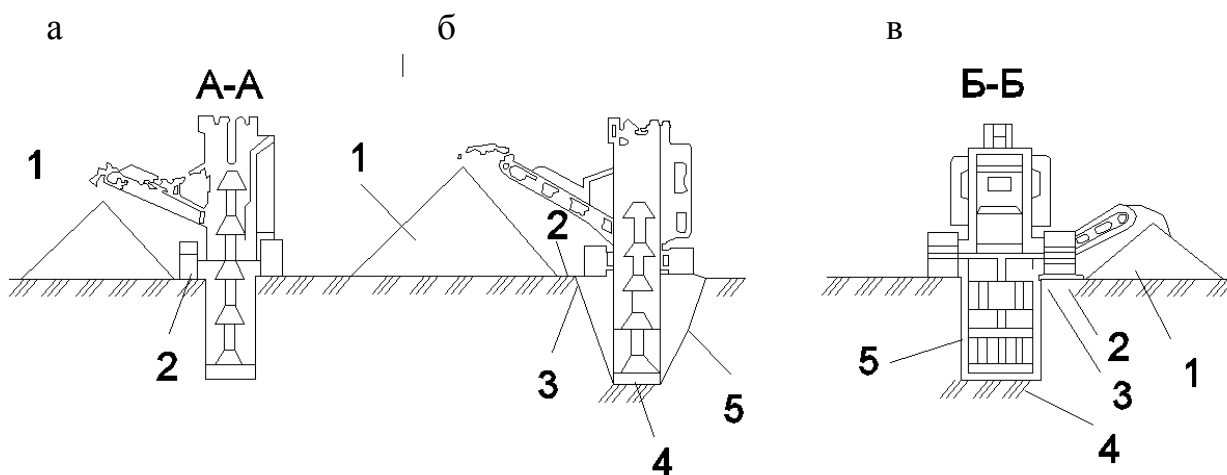


Рис. 1.3. Рытье траншей экскаваторами непрерывного действия:

1 – вырытый грунт, 2 – экскаватор, 3 – виды рабочих органов, 4 – разрез траншеи, 5 – откосы.

Для рытья таких траншей наиболее предпочтительно использование экскаваторов непрерывного действия /32,42/. Однако, сфера применения таких машин строго ограничено, на их выбор оказывают целый ряд факторов. Они достаточно дороги, относятся к классу высокоэффективных землеройных машин для работы в условиях скоростного строительства, на эффективность их использования большое влияние оказывает природно-климатические условия и грунтовый фон места строительства.

Поэтому для рытья траншей под водоводы преимущественно используются экскаваторы с обратной лопатой (рис.1.4 а), а укладка труб

(рис.1.4.б) осуществляется с помощью погрузчиков или других грузоподъемных машин.

На практике возможны следующие четыре схемы разработки траншеи одноковшовым экскаватором с обратной лопатой:

1) движение экскаватора по оси траншеи с односторонней выгрузкой грунта;

2) движение экскаватора параллельно оси траншеи со смещением в сторону отвала и односторонней выгрузкой грунта;

3) движение экскаватора по зигзагообразной схеме параллельно оси траншеи с двухсторонней выгрузкой грунта;

4) движение двух экскаваторов параллельно оси траншеи с двухсторонней выгрузкой грунта.

а



б



Рис. 1.4. Рытье траншеи с помощью экскаватора с обратной лопатой (а) и укладка трубы (б).

С использованием первой и второй схем разрабатывают относительно неглубокие и неширокие траншеи. Причем выбор схемы в основном зависит от соотношения между радиусом выгрузки применяемого экскаватора и требуемого радиуса выгрузки. Так, по первой схеме разрабатывают траншеи, если эти радиусы равны, а по второй - если радиус выгрузки экскаватора меньше требуемого радиуса выгрузки. В первом случае ось движения экскаватора совпадает с осью траншеи, во втором она сдвинута в сторону отвала на расстояние s , равное разнице радиусов. При этом должно подтвердиться условие равенства радиуса резания экскаватора расстоянию от бровки траншеи со стороны, противоположной отвалу грунта, до оси движения экскаватора.

Третью схему разработки грунта с зигзагообразным перемещением экскаватора применяют при отрывке широких траншей. При больших объемах земляных работ в таких условиях разработку грунта можно осуществлять двумя

параллельно работающими экскаваторами по четвертой схеме Вынутый грунт по третьей и четвертой схемам укладывают по обе стороны траншеи. Для создания на одной из берм монтажной зоны по укладке трубопровода, в комплект машин включают бульдозер, который перемещает грунт одного из отвалов в сторону от траншеи. При разработке траншеи боковой проходкой необходимо, чтобы соблюдалось равенство радиусов выгрузки и требуемого при условии, что ось перемещения экскаватора совпадает с направлением линии верхней бровки траншеи.

Траншеи в обводненной и заболоченной местности отрывают одноковшовыми экскаваторами, передвигающимися на специальных приспособлениях, а также на уширенных гусеницах. При прокладке трубопровода в горных условиях траншеи отрывают экскаватором с его анкерной бульдозером или без, причем сверху вниз или снизу вверх. При разработке траншей без анкерной экскаватора необходимо проверить его устойчивость на скольжение.

Разработку малых объемов работ осуществляют в ручную или с применением средств малой механизации [28,31]. Необходимость ручной разработки грунта иногда возникает в практике водопроводно-канализационного строительства, например, при подчистке дна траншей, при рытье приямков под стыки трубопроводов и т.п. Недоборы грунта на дне траншей после экскаваторной разработки до 25-30 см частично разрабатывают механизированным способом с помощью бульдозеров, экскаваторов со специальными зачистными ковшами или других планировочных машин. Остающийся недобор до проектной отметки в 5-7 см в целях обеспечения необходимого качества основания рекомендуется разрабатывать, т.е. подчищать, вручную.

Приямки для труб диаметром более 300 мм допускается отрывать до укладки труб с учетом фактической длины трубы. Приямки отрывают как вручную, так и механизированным способом с помощью экскаватора с грейфером или обратной лопатой. Поскольку ручная разработка грунта весьма трудоемка, необходимо изыскивать средства и способы выполнения их при помощи соответствующих машин и механизированного инструмента. При прокладке трубопроводов особую трудоемкость и сложность представляют работы по зачистке дна траншеи, а также устройству овального углубления, а также приямков для соединения труб.

Следует отметить, что благодаря созданным средствам малой механизации достигается снижение объемов трудоемких работ малого объема.

В качестве примера, может служить специальная машина МВ-15 на базе трактора Т-130БГ, которая производит планировку дна траншей, нарезку ложа

и отрывку прямков глубиной 0,35 и 0,5 м, стыковку труб и протаскивание центратора /7/.

Машину используют при прокладке железобетонных трубопроводов диаметром 1400-2000 мм. Технологический процесс подготовки основания под трубопровод (планировка дна, отрывка ложа и прямков) при этом механизирован и автоматизирован. При отсутствии такой машины для снижения трудоемкости операций целесообразно использовать простое прицепное устройство к бульдозеру.

Засыпка траншей. Поскольку большинство водопроводных и канализационных сооружений устраиваются в заглубленном и полузаглубленном виде, после их возведения выполняются значительные объемы работ по обратной их засыпке. Учитывая, что обратные засыпки траншей в большинстве случаев служат основанием дорог, отместок, а внутри зданий - основанием под полы, все они должны выполняться с обязательным уплотнением для обеспечения требуемой их несущей способности (прочность - устойчивость) и беспросадочности. Необходимая степень уплотнения грунта и высокое качество обратных засыпок на практике обеспечиваются послойным уплотнением грунта при условии отсыпки его слоями одинаковой толщины.

Засыпка траншеи с проложенным коллектором в большинстве случаев производится бульдозером (рис. 1.6) по челночной схеме или по поперечно-челночной (при засыпке больших по протяженности и глубоких траншей).

Коллекторы и тоннели, проложенные в песчаных грунтах, при одностороннем расположении резерва засыпают самопередвигающейся трамбовкой. При этом вначале устраивают съезды для малогабаритного бульдозера и подают грунт по обе стороны коллектора (рис. 1.6, б). Грунт в траншеях на участке 10-15 м по обе стороны от коллектора (тоннеля) разравнивают бульдозером, а в недоступных местах - малогабаритным бульдозером. Засыпку ведут послойно, причем толщину первого слоя принимают равной 1 м, а последующих - 0,4-0,6 м (рис. 1.6, в).

Подача грунта для засыпки коллекторов может также осуществляться экскаваторами, а разравнивание и уплотнение - так же, как и в первом случае.

Обратную засыпку траншеи следует вести сразу же после укладки труб, что позволит избежать обрушения стенок траншеи, заиливания труб в результате атмосферных осадков, а также пересушивания или переувлажнения грунта в отвалах.

Засыпку грунта в траншеи с трубопроводами рекомендуется выполнять бульдозерами (рис. 1.6., д, е). При этом вначале косыми проходами бульдозера предварительно уменьшают крутизну откоса отвала грунта, одновременно подавая его в первый слой засыпки. Грунт в траншею подают в объеме,

обеспечивающем заданную толщину отсыпаемого слоя, в соответствии с темпами его разравнивания и уплотнения.

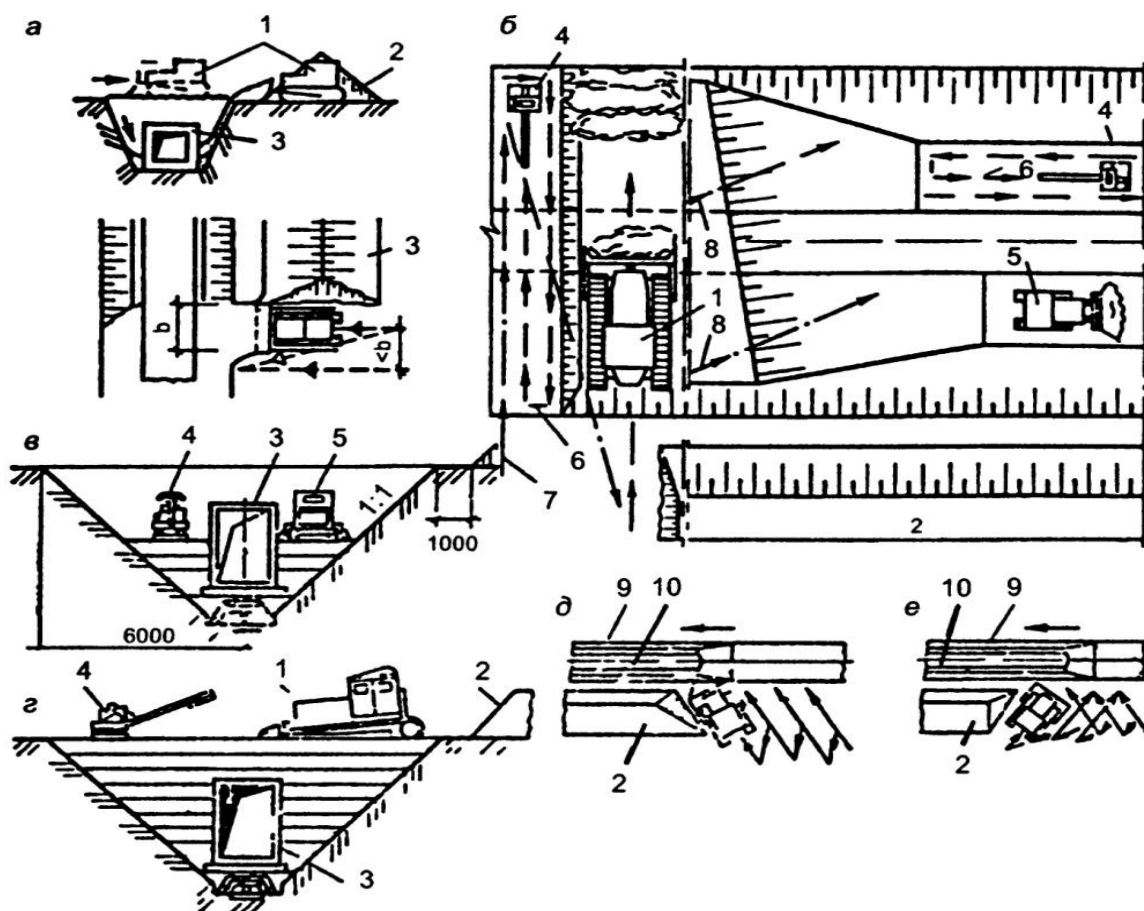


Рис. 1.6. Засыпка траншей коллекторов и трубопроводов:

а – общая схема засыпки бульдозером; б – засыпка песчаным грунтом; в – первоначальный этап засыпки пазух коллектора; г – засыпка слоев поверх коллектора; д – засыпка траншей бульдозером по косоперечной схеме; е – то же, по косоперекрестной схеме; 1 – бульдозер; 2 – резерв грунта; 3 – коллектор; 4 – вибротрамбовка; 5 – малогабаритный бульдозер; 6 – направление движения трамбовки; 7 – то же, бульдозера; 8 – съезд бульдозера; 9 – траншея; 10 – трубопровод.

Способ засыпки траншей с уложенным трубопроводом одноковшовым экскаватором (обратная засыпка) (рис. 1.7) используют как в обычных трассовых условиях, так и на заболоченных участках.

Для передвижения экскаватора по отвалу необходимо вначале двумя проходами бульдозера спланировать его верх на ширину до 7 м. Грунт спланированного отвала для засыпки траншеи разрабатывают экскаватором торцовым забоем при движении его на перекидных еланиях по оси отвала.

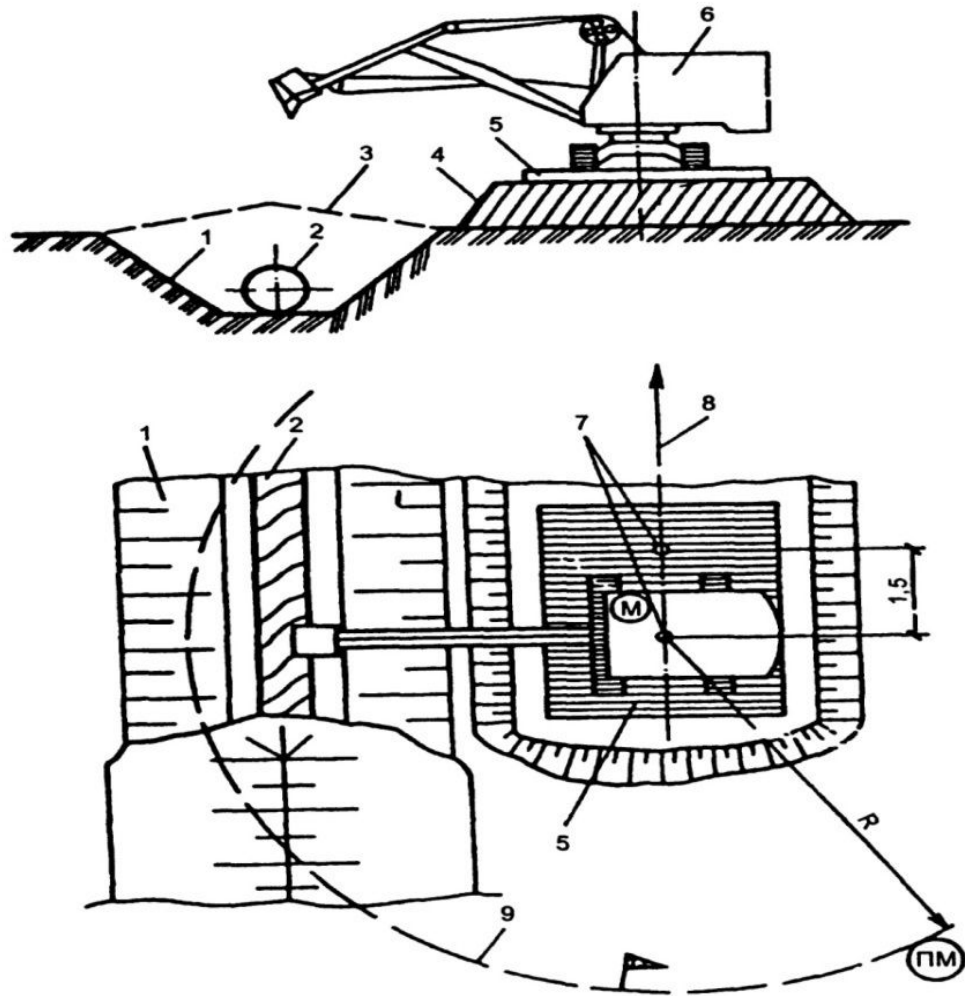


Рис. 1.7. Засыпка траншей с уложенным трубопроводом одноковшовым экскаватором:

1 – траншея; 2 – изолированный трубопровод; 3 – контур засыпки траншеи; 4 – спланированный отвал грунта; 5 – перекидные елани; 6 – экскаватор; 7 – стоянки экскаватора в процессе работы; 8 – направление и ось движения экскаватора; 9 – граница опасной зоны; М – машинист экскаватора; ПМ – помощник машиниста; R – радиус опасной зоны.

Для непрерывной засыпки траншей размельченным грунтом применяют траншеезасыпатели шнекового и роторного типов. Шнековые траншеезасыпатели обеспечивают засыпку траншей разрыхленным грунтом, не требуется расширения строительной полосы, создаются более удобные условия для работы машиниста /33,56/.

Наиболее эффективными являются роторные траншеезасыпатели, которые можно использовать как для засыпки трубопровода разрыхленным грунтом, так и для снятия растительного слоя, присыпки дна траншеи мягким грунтом перед укладкой трубопровода.

Работы по уплотнению грунта ведут при их влажности, близкой к оптимальной, при которой достигается наибольший эффект. Оптимальную влажность практически можно получить увлажнением сухих или подсушиванием излишне влажных грунтов. Механические методы уплотнения в зависимости от характера воздействия рабочих органов на грунт и конструктивного решения средств механизации делятся в основном на следующие виды: укатка, вибрирование, трамбование и комбинированный метод.

Уплотняют грунт в пазухах коллектора малогабаритной вибротрамбовкой параллельными проходами, число которых по одному следу определяют пробным уплотнением грунта. Вибротрамбовку с одной стороны коллектора на другую перемещают малогабаритным бульдозером. Засыпку и разравнивание грунта выше коллектора производят бульдозером, с помощью которого одновременно подают грунт для малогабаритного бульдозера (рис. 1.6. г).

Уплотнение грунтов в узких и глубоких пазухах шириной менее 1,4 м (предельный размер, допускающий работу малогабаритного бульдозера) связано с определенными трудностями. При этом следует выделить пазухи шириной 0,7-1,4 м, в которых может работать человек, и шириной до 0,7 м, в котором доступ рабочего невозможен.

Уплотняют грунт послойно подвесными вибротрамбующими плитами или свайными вибропогружателями на металлических поддонах, подвешенных к крану, а также с помощью пневмотрамбовок, работающих от передвижного компрессора. Засыпка въездных траншей, а также приямков и пазух котлованов чаще всего производится бульдозерами с уплотнением обычными грунтоуплотняющими машинами. Засыпку грунтом коллекторов и трубопроводов (особенно при прокладке их в пределах городской застройки или площадок водопроводно-канализационных сооружений) осуществляют с тщательным уплотнением. Обратные засыпки при этом могут осуществляться различными комплектами машин, что зависит от таких факторов, как вид засыпного грунта, удаленности их резервов и др.

Поэтому необходимо применять специализированное сменное оборудование к серийно выпускаемым одноковшовым экскаваторам и тракторам. Наиболее отвечает требованиям обратной засыпки и уплотнения грунта вибротрамбующее оборудование для одноковшового гидрофицированного экскаватора и трубоукладчика.

В первом случае оборудование навешивается взамен ковша на стрелу одноковшового гидрофицированного экскаватора (рис. 1.8, а). Рабочий орган включает ударную часть, состоящую из прямоугольной плиты массой 750 кг, трубчатых штанг и центробежного вибровозбудителя, которая

резинометаллическими амортизаторами соединяется с рамкой вибротрамбовки. Горизонтальный пояс из амортизаторов играет роль упругого элемента, а вертикальный - направляющего устройства подвески.

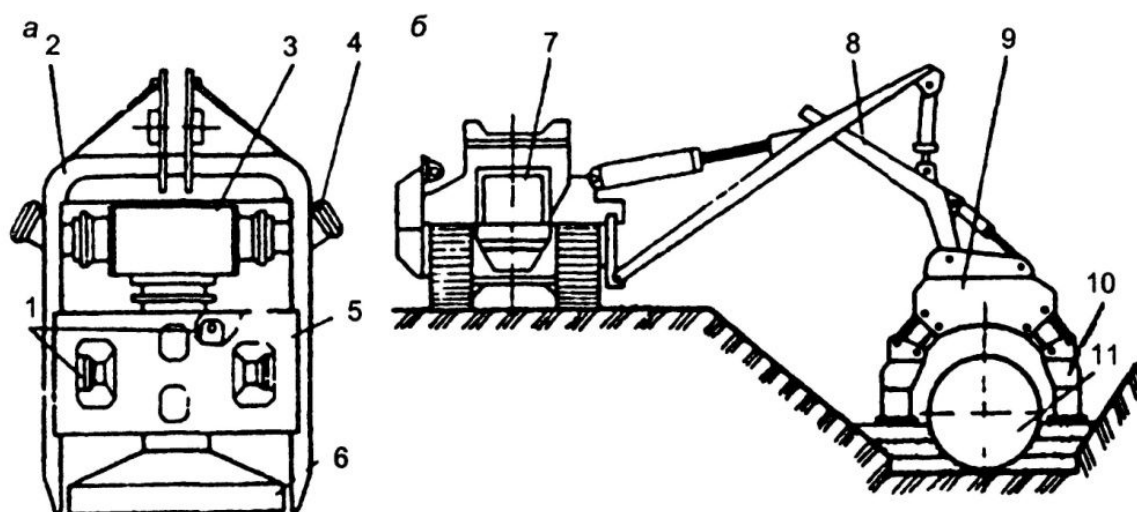


Рис. 1.8. Вибротрамбующее оборудование к одноковшовому экскаватору (а) и крану-трубоукладчику (б), используемое для уплотнения грунта обратной засыпки трубопровода:

1 – амортизаторы; 2 – рама; 3 – центробежный вибровозбудитель; 4 – гидромотор; 5 – коробчатый пояс; 6 – трамбуемая плита; 7 – кран-трубоукладчик; 8 – стрела; 9 – траверса; 10 – вибротрамбовка; 11 – труба.

При использовании для уплотнения обратной засыпки трубоукладчика с траверсой и двумя трамбовками (см. рис. 1.8, б) наиболее рациональна следующая последовательность работ. Отсыпают и разравнивают слой грунта по обе стороны трубопровода (прямки остаются незасыпанными) на всем участке, а затем уплотняют одновременно с обеих сторон. Отсыпку и уплотнение второго и последующих слоев грунта производят в том же порядке. Начало работы механизмов осуществляется с конца предыдущего уплотненного слоя.

После проведения предварительных испытаний прямки засыпают и уплотняют в той же последовательности.

Засыпка траншей с вертикальными стенками существенно затрудняется необходимостью выполнения работ в очень стесненных условиях. Пазухи между трубопроводами и стенками траншеи засыпают вручную местным грунтом, подаваемым с бровки бульдозером, слоями толщиной 0,1 м и уплотняют ручными электротрамбовками. После засыпки пазух до верха трубы последующие слои грунта разравнивают микробульдозером и уплотняют

электротрамбовкой слоями 0,3 м при числе проходов, определяемом опытным уплотнением.

Уплотнение грунтов в земляных сооружениях, когда внутри их образуются замкнутые полости, тупики и узкие проходы, значительно затрудняется, так как в них нельзя применить крупногабаритные машины. Поэтому обратную засыпку в таких условиях необходимо выполнять сразу же после возведения подземной части здания или сооружения, когда конструкции надземной части не препятствуют работе машин.

Грунт с помощью экскаватора, оборудованного грейфером или бульдозером подают на рабочую карту в пределах участка. Уплотняют грунт послойно подвесными вибротрамбующими плитами или свайными вибропогружателями на металлических поддонах, подвешенных к крану, а также с помощью пневмотрамбовок, работающих от передвижного компрессора, самопередвигающимися виброплитами и ручными трамбовками.

Для непрерывной засыпки траншей размельченным грунтом применяют траншеезасыпатели шнекового типа. Шнековые траншеезасыпатели обеспечивают засыпку траншей разрыхленным грунтом, не требуется расширения строительной полосы, создаются более удобные условия для работы машиниста. На талом грунте производительность траншеезасыпателя, достигает 1200 м³/ч. Но траншеезасыпатели нельзя использовать при засыпке железобетонных трубопроводов, поскольку до проведения предварительных испытаний стыки труб не должны быть засыпаны, а последующая засыпка после испытаний выполняется послойно с уплотнением, что не может быть обеспечено этими машинами /33,52/.

Для выбора наиболее эффективных по стоимости и трудоемкости методов производства и механизации необходимо изучить и оценить прогрессивные технологии с применением комплекта машин, механизмов и транспорта. Перечисленный комплекс процессов, который характеризует земляные работы, обладает значительной трудоемкостью и стоимостью. Так, например, в промышленном строительстве земляные работы составляют около 15% от общей стоимости возводимого объекта и около 20% трудоемкости от общего объема работ /8,10/. В связи с этим, в большинстве случаев стремятся сократить объемы земляных работ.

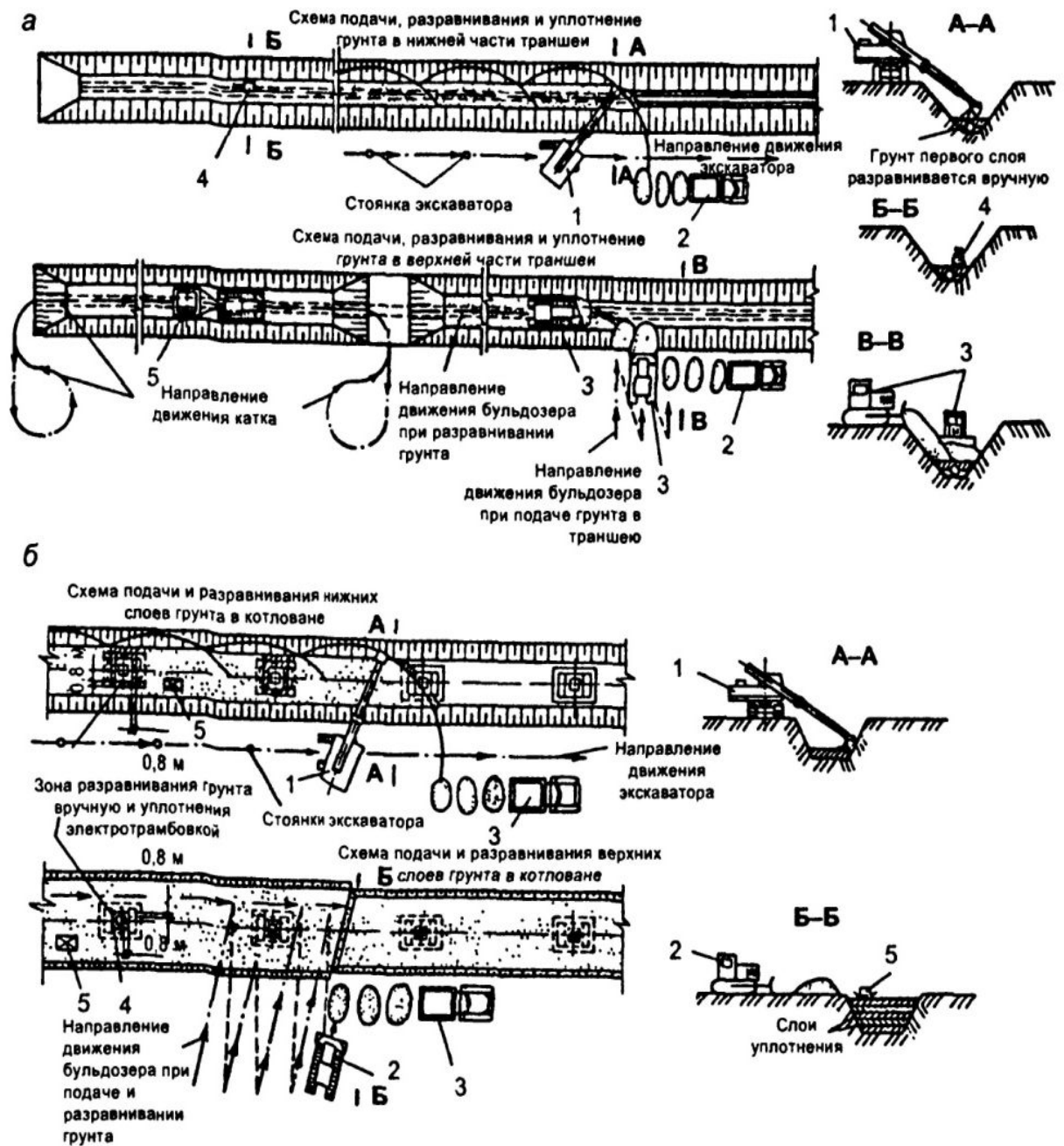


Рис. 1.9. Схемы уплотнения грунта комбинированным методом:

а – обратная засыпка и уплотнение грунтов в траншее при прокладке трубопроводов: 1 – экскаватор-планировщик или драглайн; 2 – автосамосвал; 3 – бульдозер; 4 – электротрамбовка; 5 – пневмокоток;

б – технология уплотнения грунта при обратной засыпке столбчатых фундаментов: 1 – экскаватор-планировщик; 2 – бульдозер; 3 – автосамосвал; 4 – электротрамбовка; 5 – самопередвигающаяся вибротрамбовка ВУТ-3.

1.3 Анализ существующей технологии и механизации земляных работ, выполняемых с использованием бульдозеров

Существующие технологии производства земляных работ, связанных со вскрышными работами, возведением насыпи, разработкой грунта в выемках с перемещением его на расстояние 50...150 м, по срезке грунта на косогорах нарезанию кюветов и неглубоких водоотводных канавок, по засыпке траншей, котлованов и планировке площадок отличаются по выполняемой схеме и используемой технике /7,14, 56/.

При этом, на долю бульдозеров приходится более 40% выполняемых земляных работ и до 90 % вскрышных работ. Как показывает анализ срезки грунта бульдозером, она производится по клиновой схеме, что обеспечивает наиболее полное заполнение отвала грунтом. Перемещение грунта обычно осуществляется по траншейной схеме, позволяющей снизить потери грунта при транспортировании /21-24/.

Прямую схему применяют при рытье траншеи и выемок, ширина которых незначительно превышает ширину отвала бульдозера; при устройстве въездов, когда допускается отсыпка грунта в одно место, при этой схеме бульдозер совершает возвратно-поступательное движение без поворотов, поэтому схему часто называют челночной или маятниковой, движением вперед бульдозер срезает грунт и транспортирует его к месту отвала (рабочий ход). Затем он задним ходом возвращается к месту начала резания грунта.

Боковую схему работы бульдозера применяют при перемещении ранее разработанного грунта из отвалов или сыпучих материалов (песка, гравия и др.) из бункеров, при разработке легких грунтов, срезаемых толстыми слоями, а также при работе на косогорах. При этом разрабатываемый грунт располагается сбоку от пути, по которому бульдозер транспортирует его к месту отсыпки. Бульдозер захватывает отвалом грунт, делает поворотное движение, перемещает грунт на транспортный путь, затем транспортирует его к месту отсыпки. Работать по этой схеме может только квалифицированный бульдозерист, поскольку при недостаточном опыте управления бульдозером значительная часть грунта может быть потеряна во время поворота бульдозера.

Из существующих рекомендации /26/ видно, что обратная засыпка траншей бульдозером производится грунтом из отвала, расположенного вдоль траншеи (рис. 1.10 и 1.11). После укладки трубопровода, во избежание их повреждения одновременно с двух сторон первоначально засыпают на высоту 0,25...0,3 м. Дальнейшую засыпку траншеи производят бульдозером поперечными ходами.

Засыпку искусственного сооружения, конструкция которого не требует ручной засыпки, и производят в следующем порядке. Вначале присыпают сооружение с одной стороны на высоту до 0,5 м, затем производят присыпку его на высоту до 1 м с другой стороны грунтом, привезенным самосвалами. Разновидностью оборудования, позволяющего организовать засыпку траншей средней глубины непрерывным потоком, является двухножевой отвал, которым заменяется обычный отвал бульдозера. Новый отвал состоит из двух ножей, установленных на каркасе под углом 35-40° к оси бульдозера. При движении вдоль траншеи отвал захватывает грунт, сложенный на бровке, и сбрасывает его в траншею.

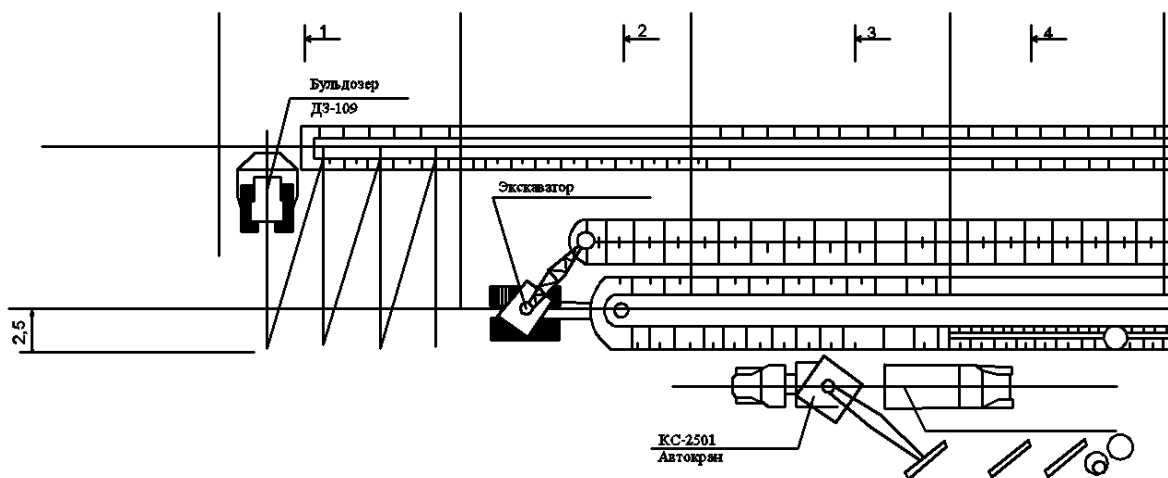


Рис. 1.10. Обратная засыпка траншей по челночной схеме работы бульдозера.

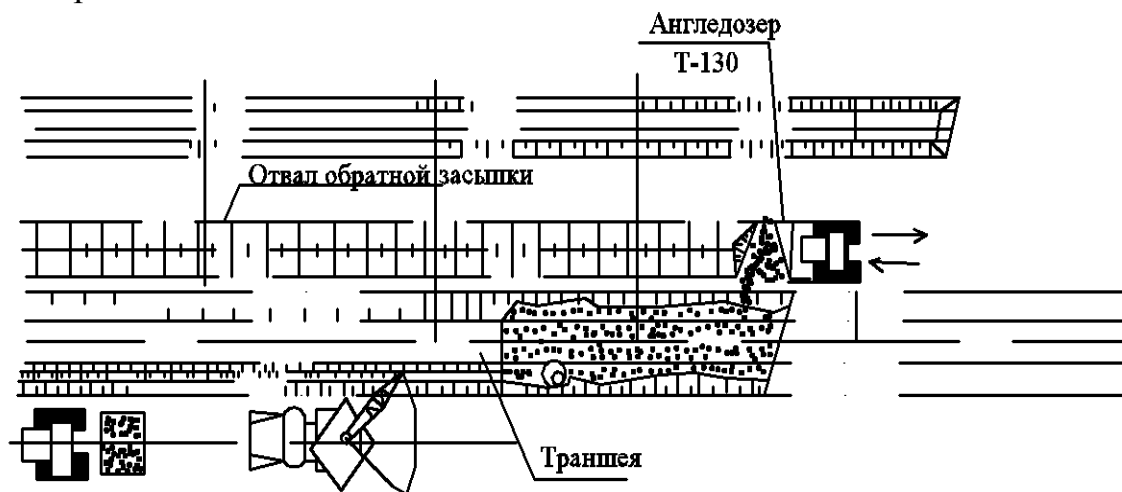


Рис. 1.11. Обратная засыпка траншей по боковой схеме работы бульдозера.

Благодаря отсутствию холостых пробегов бульдозера и потерь времени на частые переключения скоростей производительность бульдозера на

засыпке траншей с новым отвалом повышается по сравнению с обычным бульдозером.

При работе бульдозером в твердых и пересохших грунтах применяется предварительное рыхление грунта специальными рыхлителями или установка зубьев на ноже отвала бульдозера.

Для непрерывной засыпки траншей размельченным грунтом, как уже было отмечено выше, преимущество имеют траншеезасыпатели шнекового типа. Шнековые траншеезасыпатели обеспечивают засыпку траншей разрыхленным грунтом, не требуется расширения строительной полосы, создаются более удобные условия для работы машиниста.

В зависимости от характера выполняемых работ бульдозеры зачастую имеют поворотные отвалы, необходимые для перемещения разрабатываемого материала поперек оси движения базовой машины. Однако у традиционных универсальных бульдозеров при установке под углом к направлению движения машины боковая составляющая сопротивления копанию грунта приводит к потере курсовой устойчивости, нарушению нормальной работы фрикционов, ускорению износа гусеничных звеньев, частым установкам бульдозера для выравнивания направления.

1.3.1. Постановка задач исследования

В результате проведенного обзора и анализа патентной информации и научно-технической литературы сделан вывод о том, что необходима разработка совершенствование технологии на основе новых конструктивных решений средств механизации.

Задачами исследований являются:

- обзор и анализ существующих технологий и средств механизации для выполнения земляных работ при засыпке траншей под водоводы систем водоснабжения и водоотведения;
- классификация основных факторов и исследование их влияния на производство работ при сооружении траншей под водоводы;
- совершенствование процессов непрерывного контроля технологии строительства и эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения;
- разработка новой модернизированной конструкции бульдозерного отвала для эффективного выполнения работ по засыпке траншей, и определение основных показателей и параметров бульдозерного агрегата;
- экспериментальная апробация теоретических исследований;

- сравнительная оценка вариантов производства земляных работ при прокладке трубопроводов и технико-экономическое обоснование использования модернизированного рабочего органа бульдозера на операции засыпки траншеи.

При выполнении работы были использованы аналитические методы расчета теоретической механики, сопротивления материалов, интегрального и дифференциального исчислений, планирования эксперимента и технико-экономического анализа.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1

1. В Республике Казахстан ежегодно наращиваются водохозяйственные работы, особенно по строительству и реконструкции магистральных водоводов в системе водоснабжения, проводимые на основе отраслевой программы «Питьевые воды». Строительство магистральных водоводов отличается большим разнообразием трудоемких работ, как по характеру, так и по условиям их проведения и объемам.
2. Для выбора наиболее эффективных по стоимости и трудоемкости методов производства и механизации по укладке в заранее подготовленных траншеях водопроводных и канализационных труб изучить и оценить прогрессивные технологии, грунтовый фон места укладки водоводов с применением комплекта машин, механизмов и транспорта.
3. Механизация работ по засыпке траншей без уплотнения преимущественно осуществляется с помощью бульдозеров. Технические возможности бульдозеров не всегда соответствуют требованиям технологии производства земляных работ, особенно по части совершенствования конструктивного исполнения рабочего органа машин, которые непосредственно взаимодействуют с разрабатываемой средой - грунтом.
4. Разнообразие направлений в области научных исследований по повышению эффективности землеройной машины объясняется важной народнохозяйственной задачей, связанной с созданием высокоэффективных рабочих органов и комплексов. Однако, до настоящего времени отсутствуют технологии с эффективным использованием традиционных средств механизации с расширенными функциональными возможностями. В частности исследования бульдозеров с усовершенствованным сменным рабочим оборудованием.

5. Дальнейшие пути решения вопроса должны быть ориентированы на обеспечение эффективной работы бульдозеров при перемещении и косом резании грунта в поперечном направлении вдоль траншей для укладки водопровода. Исходя из выше изложенного, сформулированы цель и задачи настоящего исследования.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ ПРИ СООРУЖЕНИИ ВОДОВОДОВ

2.1. Характеристики систем водоотведения и водоподготовки населенных пунктов РК и особенности их эксплуатации

Для изучения состояния систем водоотведения и установления их характеристик был собран статистический материал по городам и поселениям РК. Эти данные включают в себя состояния систем водоотведения, водоподготовки и канализационных и очистных сооружений по 56 городам республики.

Анализ собранных материалов показал следующее:

- основными источниками водоснабжения городов на перспективу являются подземные воды с мощными водозаборными сооружениями, рассчитанными от сотни кубов до 200 т. м³/сутки, и накопителями от 1,5 до 900 млн. м³;
- генеральным планом городов предусматриваются развитие систем их водоснабжения по следующим направлениям: сохранение и развитие действующей системы хозяйственно – питьевого и производственного водопроводов с наращиванием пропускной способности последних;
- повышения уровня надежности системы водоснабжения за счет реконструкции и модернизации водозаборных сооружений, площадки ВОС;
- повышении надежности функционирования системы канализации за счет строительства канализационных очистных сооружений полной биологической или химической очистки сточных вод разной мощности;
- реконструкция существующих напорных и самотечных канализационных коллекторов, строительство новых канализационных сетей;
- совершенствование технологии и качества очистки сточных вод за счет внедрения современных технологических процессов на предприятиях в целях предотвращения сброса в городскую канализацию недопустимых концентраций вредных веществ.

Все это сопровождается сооружением большого объема трубопроводных сетей систем водоснабжения и водоотведения, протяженностью от нескольких десятков до сотни и тысячи километров.

Характеристики трубопроводов самые различные, например, водоотвод от реки Талгарки для снабжения населенного пункта питьевой водой имеет

протяженность около 30 км, диаметр трубопровода равна 320 мм, расход воды достигает до 700 м³/час. В то же время имеются трубопроводы для воды диаметром до 1,5 м. Обработка собранного материала позволила построить гистограмму распределения труб по диаметру сечения.

Согласно ей при сооружении водоводов преобладают трубы размером до 700 мм. Параметры трубопровода совместно с другими факторами, в свою очередь, влияют на размеры траншеи в поперечном сечении, а также на выбор средств механизации и расчета объемов земляных работ на месте сооружения водоводов. Поэтому следующим вопросом исследования было изучение условий и глубины заложения трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения.

Магистральные трубопроводы для транспортирования воды, жидкого и газообразного углеводородного сырья различаются между собой назначением, конструктивным исполнением, технологией ведения работ на трассе и другими признаками. Для этого вида транспортных артерий размеры и профили траншей устанавливаются проектом в зависимости от типа и назначения, глубины промерзания, диаметра труб и других специфических условий /1, 2, 3/.

Изучение, упомянутого выше статистического материала, показало, что глубина залегания труб различного диаметра существенно отличаются между собой. Главным условием при определении глубины заложения водопроводных и канализационных труб является предохранение их от отрицательных температур. Поэтому выполняемые для этих целей земляные работы в обязательном порядке должны учитывать глубину промерзания не только для различных регионов республики, но и в пределах региона.

С учетом глубины промерзания H_3 (м) и диаметра труб D_T (мм), глубина монтажа трубопровода H (м) в проектное положение определяется /38/:

$$\begin{aligned} D_T &= \text{от } 50 \text{ до } 300 \text{ мм} \dots\dots\dots H = H_3 + D_T + 0,2; \\ D_T &= \text{от } 300 \text{ до } 600 \text{ мм} \dots\dots\dots H = H_3 + 0,7 D_T; \\ D_T &= \text{более } 600 \text{ мм} \dots\dots\dots H = H_3 + 0,5 D_T \end{aligned}$$

Отличительной особенностью прокладки канализационных труб или коллекторов от водопроводных является их меньшая глубина заложения. Это обусловлено тем, что даже в самое холодное время года температура воды при ее сливе не опускается ниже +7 °С, поэтому глубина заложения H (м) рассчитывается по формуле

$$H_1 = H_3 - h, \tag{2.1}$$

где H_3 - расчетная глубина промерзания, м; h - величина заглубления трубопроводов, рекомендуемая для труб до 500 мм $h = 0,3$ м; а более 500 мм $h =$

0,5 м водоводные трубы устанавливаются в проектное положение в траншеи различной ширины в соответствии с требованиями //.

Таким образом, В зависимости от промерзания грунта, в котором прокладывается трубопровод, глубина траншеи будет зависеть от основного показателя - условного диаметра трубопровода. Заглубление этих трубопроводов в дополнение к указанным требованиям определяется также с учетом оптимального режима перекачки и свойств перекачиваемых продуктов в соответствии с указанными правилами, в нормах технологического проектирования.

Состояние и тип грунта влияет также на выбор технологии и средств механизации. Для определения трудности разработки мерзлых грунтов В.Б. Лещинер, С.М. Кравченко при участии А.Н. Щипунова было произведено районирование территории СССР по глубине промерзания грунтов. В результате обработки данных 900 метеостанций было установлено, что наиболее характерными можно выделить девять районов (рис. 2.1) отличающихся условиями промерзания грунтов (табл. 1) /40/.

Границы районов, являющиеся изолиниями показателя A_n , определены из условий существенной, в статистическом смысле, разницы между показателями L_n в географических областях.

Одним из основных факторов, определяющим глубину копания, является глубина промерзания грунта, определяющая трудность разработки.

Трудность разработки мерзлых грунтов в различных природно-климатических зонах, в зависимости от условий промерзания, можно оценить посредством показателя /47/

$$A_n = \sum_{i=1}^n (H_{ni} \sqrt{t_i}) \quad (2.2)$$

где t_i - среднее абсолютное значение температуры разрабатываемой толщи мерзлого грунта в каждом зимнем месяце; H_{ni} - глубина промерзания в каждом зимнем месяце, м; n - количество зимних месяцев в году.

Причиной одинакового значения показателя A_n грунтов ряда областей Европейской части СССР (России) и Западной Сибири, например, в районе П7 (рис. 2.1), является толщина снежного покрова, существенно влияющая на глубину промерзания и температуру грунтов.

В Западной Сибири и некоторых областях Восточной Сибири толщина снежного покрова в 2...3 раза больше, чем в Поволжье и Центральной России. В связи с этим, несмотря на более низкие зимние температуры воздуха в Сибири, по комплексному показателю A_n грунты ее областей в ряде случаев оказываются в одном районе с грунтами областей Европейской России.

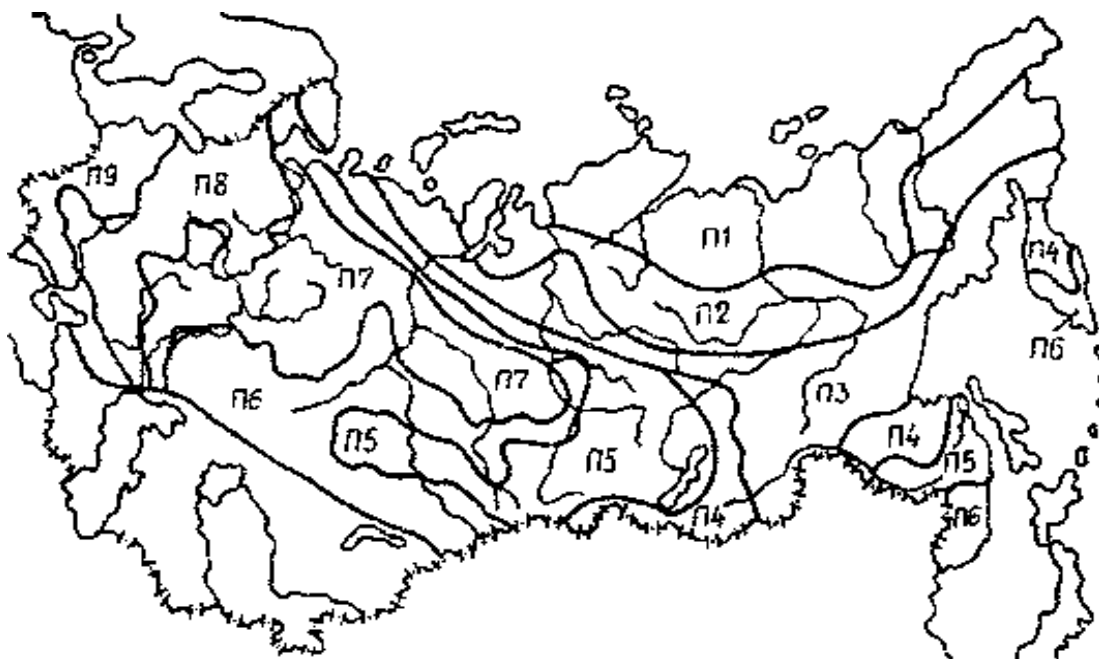


Рис. 2.1. Схематическая карта районирования мерзлых грунтов по условиям промерзания.

Таблица 2.1 - Показатели промерзания грунтов

Индекс района	Показатель $A_{п}$	Глубина сезонного протаивания, м	Макс. глубина сезонного промерзания, м	Средние значения за зимний период года		Кол-во месяцев
				H_{ni} , м	t , °C	
П1	70...100	1,3	-	-	-8,2	12
П2	50...70	2,0	-	-	-4,6	12
П3	30...50	4,0...4,5	-	-	-3,2	11
П4	20...30	-	4,5	2,7	-3,0	8
П5	10...20	-	2,6	1,6	-2,8	5...7
П6	5...10	-	1,5	1,0	-2,1	4...6
П7	2...5	-	0,9	0,7	-1,2	4...6
П8	1...2	-	0,5	0,4	-1,0	4
П9	<1	-	0,4	0,3	-0,7	3...4

Районы П1...П4 находятся в области распространения вечномёрзлых грунтов и представляют наибольшую трудность для разработки по условиям промерзания.

Трудность разработки постепенно убывает от района П1 к району П9. Районирование позволяет прогнозировать вышеуказанные параметры землеройных машин для более эффективного их использования. Кроме того, следует отметить, что в настоящее время на государственном уровне принято

решение не только обжития, но проведения нефте-газопровода Западная Сибирь - Тихий океан, пересекающего большинство районов трудно разрабатываемых грунтов, как однородных, так и с включениям.

С другой стороны, необходимо связывать эти зоны с численностью населения. Это обусловлено тем, что производство земляных работ связано с развитием более густонаселенных территорий. Для этих целей воспользуемся данными /6/ и увяжем их с зонами районирования мерзлых и вечномерзлых грунтов (табл. 2.1 и 2.2).

Анализируя рассматриваемые районы П1, П2, П3, П4 по зависимостям (2.1 и 2.2) можно заключить, что они находятся в области распространения вечномерзлых грунтов и являются менее населенными.

Таблица 2.2 - Распределение численности населения Евразии по зонам районирования мерзлых грунтов

Зона	Средняя плотность селения, 1 чел./км ²	Общая площадь зоны, тыс. км	Численность населения, тыс. чел.	Заселенность селения, %
П1	0,15	2 360	354,0	0,24
П2	0,33	2 080	686,4	0,47
П3	1,06	2 760	2 925,6	2,00
П4	2,28	960	2 188,8	1,50
П5	6,82	2 800	19 096,0	13,29
П6, П7, П8, П9	36,7	6 115,4	121 077,2	82,5

Здесь сконцентрировано 5 % от общего количества населения этих районов. В зоне П5 глубина промерзания 2,6 м, проживает 13,29 %, а в зонах П6, П7, П8, П9, где глубина промерзания составляет 1,5 м, проживает 82,5 % населения. Казахстан находится в зонах П6...П9. При высокой плотности населения развивается более интенсивно промышленное производство, поэтому возрастает необходимость разработки грунтов для нужд промышленности и строительства.

Таким образом, на основании проведенного анализа различных видов земляных работ сделан предварительный выбор ширины и глубины отрываемой траншеи. Так, при устройстве водоснабжения и водоотведения, магистральных трубопроводов ширина выемок не должна быть меньше 0,7 м, Глубина выемки применяется в зависимости от глубины промерзания грунта и диаметра трубопровода, но не менее 0,6 м. Эти рекомендации нами приняты за основу.

Доля выполнения земляных работ с помощью цепных траншеекопателей, способных выполнять траншеи в мерзлых грунтах на глубину 1,5 м, составляет примерно 15 % от общего количества производимых машин данного класса и только 85 % машин, способных разрабатывать грунты на глубину 2,6 м /8/. Поэтому в условиях Казахстана приоритет можно давать традиционным машинам – одноковшовым экскаваторам и бульдозерам, себестоимость работ которых намного ниже, чем у специализированных траншеекопателей непрерывного действия.

Применение полученных результатов на практике позволит точно и правильно проектировать технологию земляных работ землеройной техникой для эксплуатации в условиях с быстро развивающейся экономикой нашей страны.

2.2 Грунтовые условия горных и равнинных регионов Республики Казахстан

Для обоснования рациональных параметров рабочих органов землеройных машин необходима полная информация о грунтовых условиях эксплуатации землеройных машин как среды их взаимодействия. На основе анализа литературы по инженерно-геологическим свойствам грунты горных и равнинных регионов можно разделить на три группы: скальные, связные и несвязные.

Скальные грунты расположены в горных и предгорных районах с частичным выходом на равнину. К ним относятся граниты, известняки, песчаники и мергели. Связные грунты располагаются в горных частях Казахстана и слагают верхнюю часть рек и равнин, это глины, суглинки и супеси.

Несвязные грунты расположены в долинах и районах конуса выноса рек и ручьев; они представлены галечниками, гравиями и песками.

Названные группы грунтов имеют разнообразные комбинации и многочисленные оттенки и оказывают значительное влияние на работу землеройной техники.

Поэтому необходимо определить наиболее распространенные типы грунтов горных регионов Республики Казахстан и установить их основные физико-механические свойства. Для выявления наиболее распространенных видов грунтов и их свойств были изучены сведения о грунтовых условиях

горных районов Казахстана по данным изысканий КазГГИИЗа, Каздорпроекта, КазГИПРОЖолдортранса /3/.

Всего было собрано свыше 500 паспортов грунтов, с учетом перспективного плана строительства и реконструкции на 10 лет, в том числе по направлениям автомобильных дорог, строительства магистральных водоводов, приведенным выше.

В этих паспортах грунтов (сводных ведомостях инженерно-геологических свойств грунтов) указаны гранулометрический состав, физико-механические свойства грунтов: плотность, объемная масса, пористость, коэффициент пористости, естественная граница текучести, раскатывания, число пластичности, показатель консистенции, степень влажности, коэффициент уплотнения, модуль деформации, сцепление, угол внутреннего трения.

При решении различных инженерно-геологических задач, связанных с проектированием и строительством сооружений, разработкой месторождений полезных ископаемых, а также с дорожными и мелиоративными работами, изучаются вышеназванные свойства грунтов полевыми и лабораторными методами на основе проб грунтов строительных площадок и обработкой известными статистическими методами.

Территория Казахстана подразделяется на пять внутриреспубликанских экономических районов: Западноказахстанский, Южно-казахстанский, Центрально-Казахстанский, Североказахстанский и Восточно-казахстанский районы /16/.

Южно-Казахстанский экономический район включает Алматинскую, Жамбылскую, Кызылординскую, Шымкентскую области и занимает территорию 712,2 тыс. км, протяженностью с севера на юг 700 км, с запада на восток - 2000 км и разделен на 57 административных районов с 25 городами и 46 поселками городского типа. Территория района занимает пустынную зону и горные районы республики, подавляющая часть занята равнинами с песчаными каменистыми пустынями, 4/5 территории приходится на пустыни Кызылкум, Приаральские Каракумы, Муюнкум, Таукум и глинистые грунты Бетпак-Далы. Южные части Алматинской, Жамбылской, Шымкентской областей окружены отрогами Тянь-Шаня, Заилийского, Джунгарского, Таласского Алатау, склоны которых на высоте более 3500 м покрыты снегами и ледниками.

Климат района резкоконтинентальный, снежный покров незначительный, в связи с чем промерзание грунта сильное.

Западноказахстанский экономический район расположен на стыке Евразии. Территория района охватывает значительную часть Прикаспийской низменности, отроги Общего Устюрта и Уральских гор, полностью занимает Мугоджарские горы и полуостров Мангышлак, западную часть Устюрта.

Рельеф района в основном равнинный, за исключением северо-восточной части. Климат засушливый, резкоконтинентальный.

Снежный покров незначительный, особенно на юге, промерзание грунтов - 0,8...1,2 м, Северная часть Западного Казахстана расположена в степной зоне, остальная - в зоне полупустынь и пустынь.

В связи с интенсивным развитием района предусматривается строительство автодорог, трубопроводов для нефти и газа (Атырау - Орск, Узень - Макат - Куйбышев и др.), что связано с выполнением большого объема земляных работ.

Центрально-Казахстанский экономический район включает Карагандинскую, Джезказганскую области и расположен в 10 ной Сары-Арке, включающей 16 административных районов, 10 городов, 37 поселков городского типа. Центральный Казахстан в основном представлен мелкопесочником холмистый и пересеченным рельефом, встречаются гранитные массивы. Этот район на юге примыкает к Бетпак-Дале, в юго-западной части - к пескам Приаральских Каракумов, Минбулака, Арыскума, на юго-востоке — к пустынному побережью оз. Балхаш.

Климат резкоконтинентальный, средняя температура января на западе -17 °С, на северо-востоке -15 °С, на юге -14 °С, промерзание грунта на 1,2 м.

Северо-Казахстанский экономический район включает Кустанайскую, Северо-Казахстанскую, Кокчетавскую, Павлодарскую, Целиноградскую, Тургайскую области и занимает 600,9 тыс.км (22 % территории Казахстана). Район делится на 77 административных районов, имеет 24 города и 45 поселков городского типа.

Территория района занимает степную, лесостепную и частично полупустынную зону, с севера к нему примыкает Западносибирская равнина, с юга - северная часть Сары-Арки. Климат резко-континентальный, но более умеренный по сравнению с другими районами Казахстана.

Температура воздуха достигает зимой -48 С, летом повышается до 46 °С. Среднее годовое количество осадков колеблется от 200 до 300 мм, толщина снежного покрова достигает на юге около 20 см, на севере - 40 см, промерзание грунта на 1,6...2,4 м.

Восточно-Казахстанский экономический район занимает восточную часть республики площадью 276,9 тыс.км и включает Семипалатинскую и Восточно-Казахстанскую области с 25 административными районами, 9 городами, 29 поселками городского типа,

В районе преобладает гористый рельеф Западного Алтая, предгорные степные районы Алтая, кроме того, он охватывает крайний восток Сары-Арки,

северную часть Балхаш-Алаколькой впадины, Прииртышье, Зайсанскую впадину.

Левобережье Иртыша занимает Калбинский хребет, Чингистау, восточный край холмистой равнины Сары-Арки. На юго-востоке района расположены хребты Тарбагатая, и Саура. Климат резкоконтинентальный, в горном районе увлажненный. Средняя температура в Усткаменогорске зимой – 22,5 С, глубина промерзания грунта 1...1,4 м.

Всего было собрано 16900 паспортов грунта, с учетом перспективного плана строительства на 10 лет, в том числе по экономическим районам: Южно-Казахстанский - 4100; Восточно-Казахстанский - 2500, Центрально-Казахстанский ~ 4200, Западноказахстанский - 2700, Североказахстанский - 3400. Исходная информация была сгруппирована по типам грунтов.

Глубина разработки грунтов землеройными на строительных площадках в основном не превышает 3 м, поэтому для количественной характеристики вероятности появления различных типов грунтов и их физико-механических свойств были использованы паспорта грунтов, равномерно распределенных на этой глубине.

Проанализированы и обработаны материалы по грунтовым условиям получены распределения грунтов по типам на глубине: от 0 до 1 м, от 1 до 2, от 2 до 3, от 3 до 4, от 4 до 5 м для областей Казахстана. Гистограммы вероятности P появления грунтов различного типа по территории пяти экономических районов Казахстана приведены на рис, который показывает, что по на территории республики преобладают глинистые грунты, вероятность появления составляет – 0,595, песчаные с вероятностью – 0,259 а также крупнообломочные, в среднем до 0,25.

Наиболее распространенными грунтами в 5 м поверхностной толщии пород являются: в Южно-Казахстанском экономическом районе (см. рис. 2.2 а) глинистые ($P = 0,461$), песчаные ($P = 0,381$), крупнообломочные ($P = 0,115$). Центрально-Казахстанском экономическом районе (см. рис.2.2 б) глинистые ($P = 0,423$), крупнообломочные $P = 0,335$), песчаные ($P = 0,197$); в Северо-Казахстанском экономическом районе - глинистые ($P = 0,846$), песчаные ($P = 0,42$); в Восточно-Казахстанском экономическом районе (см. рис.2.3 в) - глинистые ($P = 0,594$), крупнообломочные $P = 0,256$), песчаные ($P = 0,126$).

Результаты исследований значительно отличаются от общего распределения грунтов, полученного для этой части территории, полученной во времена союза, что подтверждает необходимость и актуальность изучения грунтового фона в отдельных регионах Казахстана. Так, в восточных регионах Казахстана высока вероятность появления крупнообломочных грунтов (от 0, 15

до 0,35), когда как, по данным работы $P = 0,097$. Эти данные схожи с данными казахстанских ученых /52/.

Оценка грунтов Центрального Казахстана по числу ударов S динамического плотномера (ГОСТ 9363-67) проведены на полевых исследованиях /9,13/.

Вероятность появления грунтов различного типа по всей территории Казахской ССР Приведена на рис. 2.4, анализ которого показывает, что на территории республики преобладают глинистые грунты, вероятность появления которых составляет 0,595, песчаные с вероятностью 0,259, а также крупнообломочные с соответствующими вероятностями 0,125 и 0,021 было собрано 2840 паспортов грунтов на глубине до 2 м.

Впервые установлен грунтовый фон по уровням залегания (толщиной 1 м до глубины 3 м), который позволяет более точно прогнозировать условия проведения земляных работ. Установленный по регионам Казахстана грунтовый фон показал, что наиболее распространенными типами грунтов в трехметровой поверхностной толщине земли являются глинистые (вероятность – 0,55), песчаные – 0,25, крупнообломочные и скальные с соответствующими вероятностями 0,120 и 0,025. Физико-механические свойства грунтов колеблются: с надежностью 0,9 в следующих пределах: влажность $W = 4...23\%$, угол внутреннего трения $T = 19...36^\circ$, плотность $\rho = 0,1,5...2,14 \text{ т/м}^3$, коэффициент пористости $K_{\text{пор}} = 0,3...1,1$, число пластичности $\Pi = 0,03...0,96$.

Аналогичны были изучены грунты в горных районах Казахстана. При этом, рассматривались следующие типы грунтов в соответствии с ГОСТ 25100-95, 22733-2002: скальные и полускальные; крупнообломочные, которые были разделены на валунные, галечниковые, гравийные; песчаные - на песок гравелистый, песок крупный и средней крупности и песок мелкий и пылеватый; глинистые на - супесь, суглинки и глины. При рассмотрении глинистых грунтов отдельно выделялись песчаные и глинистые с каменистыми включениями до 25 %.

Согласно исследованию промерзаемость грунта достигает до 1,5 м. Все это служит основой для выбора соответствующей технологии и средств механизации при производстве земляных работ под строительство водоводов. Глубина разработки грунтов при строительстве трубопроводной сети с учетом промерзаемости, в основном, не превышает 2,5 м, поэтому для количественной характеристики вероятности появления различных типов грунтов и их физико-механических свойств были использованы паспорта грунтов, равномерно распределенных на этой глубине.

Типы грунтов

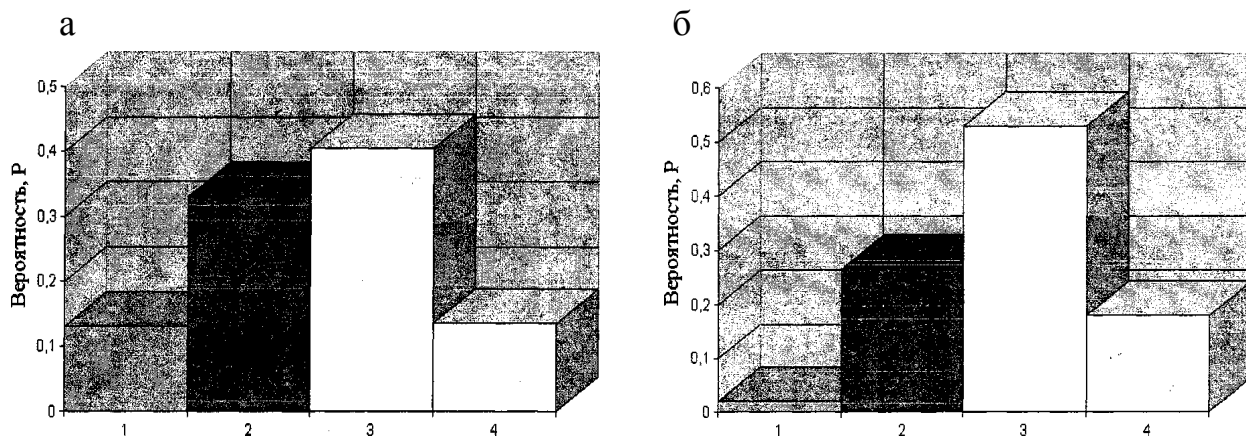


Рис. 2.2. Гистограмма распределения грунтов на южном (а) центральном (б) регионах РК:

1 – скальные; 2 – песчаные; 3 – глинистые; 4 – крупнообломочные.

Типы грунтов

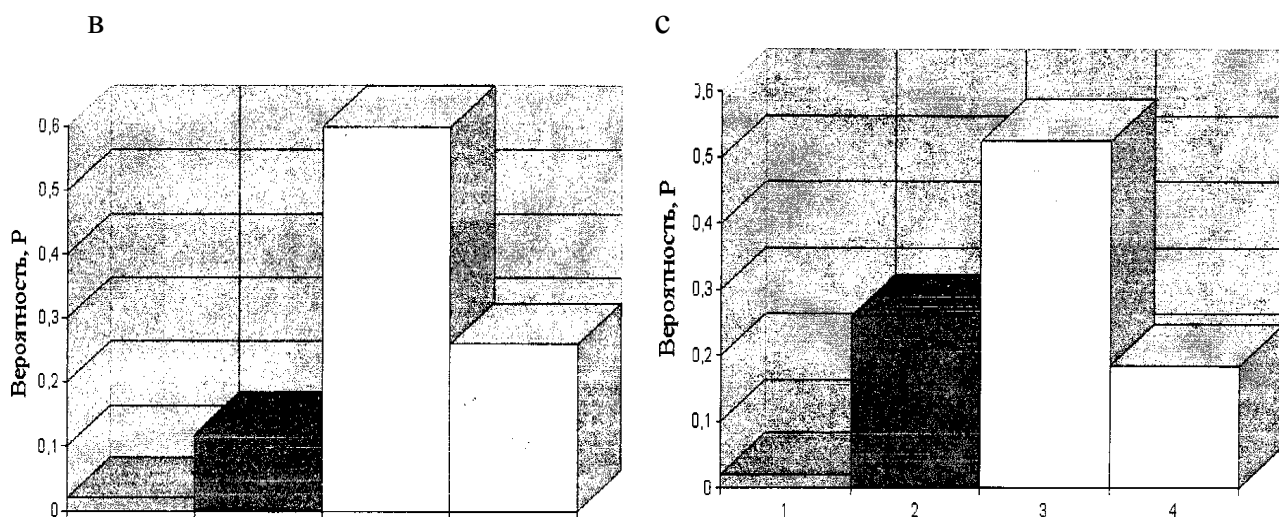


Рис. 2.3. Гистограмма распределения грунтов на севере (в) и востоке (с) РК:

1 – скальные; 2 – песчаные; 3 – глинистые; 4 – крупнообломочные.

Анализ рис. 2.2.-2.4 показывает, что наиболее распространенными грунтами в горных регионах Казахстана являются песчаные, глинистые, и наибольший процент по сравнению с другими регионами составляют крупнообломочные грунты - в среднем 12,4 %.

В соответствии с ГОСТ 25100-95 были установлены диапазоны изменения основных физико-механических свойств грунтов равнинных и горных регионов Республики Казахстан, которые приведены в табл. 2.3.

Анализ табл. 2.3. показывает, что изменения влажности, коэффициента пористости, сцепления, показателя консистенции незначительны и отличаются от грунтового фона других регионов Казахстана.

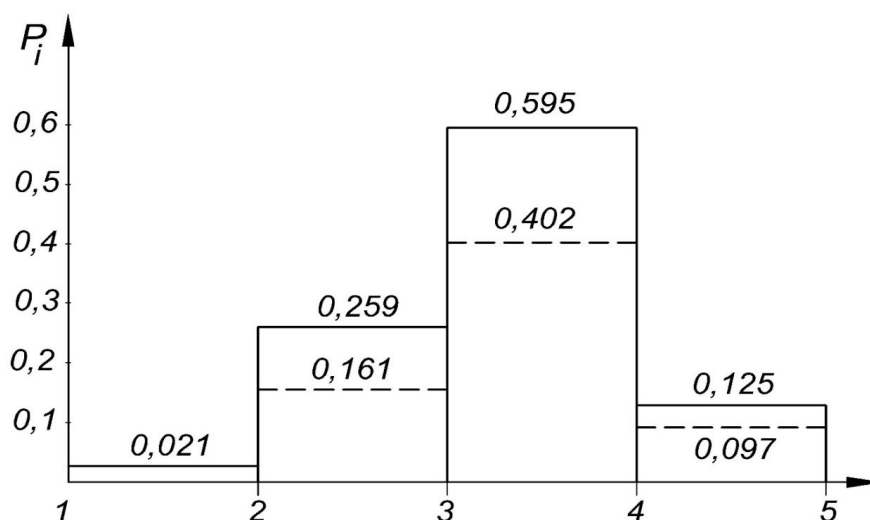


Рис. 2.4. Гистограмма распределения различных грунтов в 5 м поверхностной толщине пород по республике:

1-2 – скальные; 3-4 – песчаные; 3-4 – глинистые; 4-5 – крупнообломочные.

Одной из комплексных оценок эффективности разработки землеройными машинами грунта является коэффициент трудности разработки /50/. В работе /32/ приведены соотношения между значениями коэффициента трудности разработки грунта и числом ударов динамического плотномера, указаны диапазоны изменения коэффициента трудности разработки грунта для различных категорий грунта.

Все это позволяет существенно повысить достоверность оценки состояния грунта от основных физико-механических характеристик грунта. Следует отметить, что зависимости в указанных работах даны в двух вариантах: от числа ударов С и температуры грунта, что позволяет произвести пересчет коэффициента трудности K_T при появлении новых методов оценки состояния грунта.

Для однородных грунтов данная зависимость имеет следующий вид /53/:

$$K_T = 3,324 (1,038 - 0,0227C + 0,00015 C^2) \cdot (C - 0,436 + 1,157 H - 0,146 H^2) \cdot (1,975 - 0,159 I_p + 0,00412 I_p). \quad (2.3)$$

где С - число ударов плотномера ДорНИИ; Н - глубина промерзания, м; I_p - число пластичности; Т - отрицательная температура грунта, °С.

Зависимость действительна для грунтов, характеризующиеся числом ударов $C > 25$ при глубине их разработки от 0,4 до 2,5 м, что соответствует требованиям прокладки труб под водоводы.

Таблица 2.3 - Диапазоны изменения основных физико-механических свойств грунтов равнинных и горных регионов Республики Казахстан

Физико-механические свойства грунтов	Наименование грунта согласно ГОСТ 25100-95, 22733-2002				
	глина	суглинок	супесь	песчаный	каменистый
1	2	3	4	5	6
Влажность, W , %	15-17* 0,829	-	15-18 0,769	15-18 0,909	-
Плотность ρ , 10^3 кг/м ³	1,5-2,0	1,6-2,0	1,5-2,1	1,7-2,3	1,9-2,5
	0,86	0,745	0,725	0,791	0,895
Коэффициент пористости, e	0,45-0,7 0,689	0,5-0,7 0,808	0,4-0,6 0,837	0,4-0,7 0,713	0,3-0,8 0,814
Число пластичности, U/I	0,17-0,20 0,863	0,16-0,22 0,909	0,13-0,06 0,710	-	-
Угол внутреннего трения ρ , град.	20-30 0,832	16-22 0,718	18-22 0,872	16-20 0,854	-
Сцепление, C_0 , МПа	-	0,01-0,05 0,810	0,02-0,05 0,793	0,01-0,04 0,753	-
Показатель консистенции V_k	-	0,05-0,6 0,872	0,1-0,5 0,783	-	-

* - числитель - диапазон изменения, знаменатель - вероятность

Представленные математические зависимости, определяющие влияние физико-механических свойств грунта на показатель трудности разработки, неудобны для практического использования в связи со сложным влиянием каждого задающего фактора. В этой связи большую наглядность и меньшую трудоемкость при определении коэффициента трудности разработки мерзлых грунтов представляют собой номограммы, построенные на основе исходных данных.

На рис. 2.5 приведена номограмма определения трудности разработки мерзлого однородного грунта, полученная при использовании его паспортных характеристик влажности $-W$, (%), пластичности - I_p и профиля промерзания T . T_1 - глубина промерзания 1 м, температура на поверхности минус 5 °С; T_2 -

глубина промерзания грунта, находится в диапазоне от 1 до 2 м, температура на поверхности от минус 5 °С до минус 10 °С;

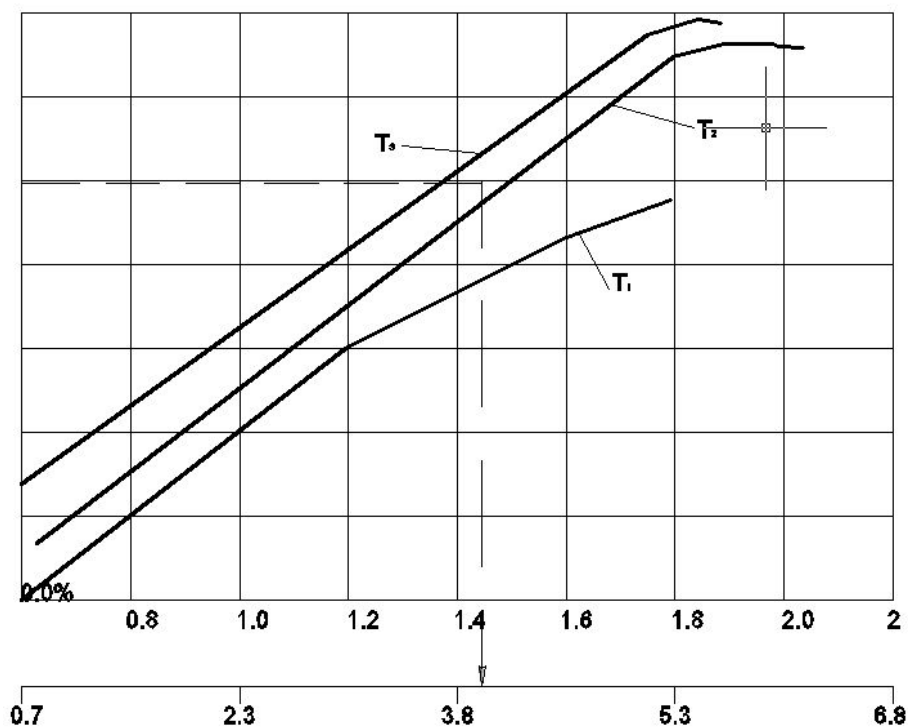


Рис. 2.5. Номограмма для определения коэффициента трудности разработки однородных грунтов.

Например, разрабатываемая супесь имеет число пластичности $I \geq 2,0$, влажности $W(\%) = 18,0$, а температура поверхностного слоя составляет минус 5,5 °С при глубин сезонного промерзания до 1,5 м.

Значения температуры грунта $T = -5,5$ °С и глубины промерзания позволяют отнести условия промерзания грунта ко второму профилю – T_2 . Значения $W(\%)$ откладываем на графике. Из полученной точки проводим горизонтальную линию до пересечения с графиком $K_T = f(C, T, W)$ правой части номограммы. На шкале абсцисс, соответствующей режиму промерзания T_2 , получаем величину $K_T = 4,49$.

Доля однородных грунтов в общем объеме разрабатываемых грунтов относительно невелика. В этой связи целесообразно в дальнейшем рассмотреть возможность применения графического метода для определения коэффициента трудности разработки грунтов с гравийно-галечниковыми включениями.

Полученные значения коэффициента трудности разработки грунтов сравнены с допустимыми коэффициентами трудности разработки грунтов и сведены в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 - Пределы изменения коэффициента по группам грунтов

Группы	1	2	3	4	5	6
Пределы изменения, K_T	до 0,25	0,25-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	2,0-4,0	св 4,0

Анализ полученных результатов показал, что для различных машин, но одинаковых сочетаний грунтовых условий значения коэффициента трудности разработки грунтов K_T достаточно близки. Общий диапазон изменения K_T для различных грунтов составляет от 0,1 до 5,0.

2.3 Совершенствование технологии проектирования, строительства и эксплуатации водопроводных и водоотводящих сетей

При совершенствовании технологии строительства и эксплуатации водопроводных сетей следует уделять внимание на изменение основных параметров работы трубопроводов, которые подразделяются на гидравлические, термические и механические.

К основным гидравлическим параметрам работы трубопроводов относятся: расход, скорость течения и давление (напор). В период длительной эксплуатации трубопровода, независимо от материала его изготовления, может произойти изменение гидравлических параметров по причине зарастания внутренней поверхности или ее разъедания. Необходимо отметить, что неровность поверхности внутренних стенок трубопроводов определяется степенью ее шероховатости, которая может быть отнесена к важнейшим гидравлическим свойствам материалов трубопроводов /9,10,12/.

Шероховатость в общем и целом оценивается как неровность внутренней поверхности труб в виде выступов, которые могут быть, например, угловыми или волнистыми. Причиной шероховатости служит степень обработки внутренней поверхности материалов трубопроводов (естественная шероховатость) и появление с течением времени различного рода наростов и каверн в результате воздействия большого числа факторов (приобретенная шероховатость). Форма и размеры коррозионных отложений на внутренней поверхности труб могут быть весьма разнообразны. Размер коррозионных отложений колеблется в широких пределах. Если даже принять, что стенки трубы покрыты совершенно одинаковыми элементами шероховатости, то сопротивление, оказываемое такой стенкой движению жидкости, зависит не

только от формы и высоты элементов шероховатости, приходящихся на единицу поверхности, но и от группировки их по поверхности трубы. Шероховатость вызывает потери энергии (напора воды) при движении потока жидкости в трубопроводах независимо от материала их изготовления.

Термическим параметрам трубопроводов относится термическое расширение, т.е. величина, на которую удлиняется трубопровод при увеличении или уменьшении температуры окружающей среды. Данный параметр характеризуется величиной коэффициента линейного расширения материала и не зависит от диаметра труб. Коэффициентом линейного расширения называют величину удлинения при нагревании материала на 1°С, деленную на длину образца. Величины термического расширения для некоторых труб, выполненных из различных материалов, представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Коэффициент термического (линейного) расширения труб из различных материалов

Материал труб	Коэффициент линейного расширения, $\times 10^{-5}$ м/(м·°С)
Сталь	1,15
Чугун	1,04
Полипропилен	18
Винипласт	8
Полиэтилен	22
Сшитый полиэтилен	22
Свинец	2,9
Медь	1,6
Стекло	0,1-0,4

Механические параметры трубопроводов и материалов для их изготовления: способность сопротивляться внутренним напряжениям, деформациям (изменению формы или размеров) и разрушению под действием внешних нагрузок. К механическим свойствам материалов для изготовления труб относятся: прочность, пластичность, твердость, вязкость (ударная), усталость, ползучесть и истираемость. Наибольшее значение для надежной и эффективной работы трубопроводов в течение срока эксплуатации имеют такие свойства материалов, как прочность и истираемость. Для контроля параметров работы трубопроводов необходимо использовать современные методы и средства диагностики технических объектов.

2.3.1. Диагностика трубопроводных сетей

В настоящий момент диагностика подземных трубопроводов рассматривается как базовый аспект при разработке стратегии их восстановления и эксплуатации. При этом важным элементом при разработке стратегии восстановления инженерных сетей является ориентация на выполнение ремонтно-восстановительных работ современными бестраншейными методами. В свою очередь, неотъемлемой составной частью этих методов является предварительная их диагностика /10/.

Современные системы диагностики могут в сутки производить обследование до 400 пог.м трубопроводов, обнаруживая дефекты и архивируя получаемые результаты технического состояния участков трубопроводных сетей в целях создания электронных паспортов (медицинских карт) отдельных участков сети. Эти данные могут являться конкретными аргументами проектировщиков при принятии окончательного решения в пользу восстановления участка трубопровода тем или иным методом или его перекладки.

Инспекционный диагностический контроль состояния трубопроводов современными средствами производится в следующих случаях: для оценки состояния действующих сетей; для выявления состояния трубопровода перед проведением его бестраншейной реновации; при приеме в эксплуатацию вновь построенных трубопроводов. В результате диагностики выявляется степень коррозионного обрастания внутренней поверхности трубопровода, степень и характер солевых и биологических отложений, а также фиксируется наличие выступающих элементов и посторонних предметов. В результате комплексной диагностики устанавливается наличие блуждающих токов, производятся отбор и лабораторный анализ проб материала трубопровода для выявления его физического состояния и остаточного срока эксплуатации. Получаемая информация является незаменимым материалом для проработки вопросов долгосрочной стратегии и тактики восстановления сетей.

При проведении диагностики водоотводящих сетей в первую очередь проверяется целостность труб и стыков, сдвигов между ними, наличие трещин, целостность верхнего свода, степень прорастаний корней деревьев и кустарников в раструбы или щели. Это необходимо для своевременной ликвидации дефектов, которые могут привести не только к загрязнению подземного пространства и окружающей среды сточными водами, но и к просадке грунта, в том числе с образованием аварийных зон, где одна часть действующих трубопроводов будет работать на растяжение, а другая — на

сжатие, что в конечном итоге приведет к серьезным повреждениям всей трассы (к образованию участков с выходом концов труб из раструбов, или к деформации — сжатию труб).

На действующих водоотводящих сетях проверяются также высота и характер наслоений на их стенках в виде осадка (песка, нерастворенных органических загрязнений), а также степень разрушения свода трубы газами. Выявляются и фиксируются места несанкционированных врезок в трубопровод, наличие посторонних предметов или близко расположенных к трубопроводу коммуникаций, способных оказать потенциальное воздействие на процесс восстановления трубопровода. При проведении комплексной диагностики определяется вид транспортируемых вод и их физико-химические характеристики, а также уточняется гидравлический режим течения.

Техническая диагностика принимаемых в эксплуатацию вновь построенных (в особенности бестраншейными методами) трубопроводов позволяет выявить наличие посторонних предметов в трубопроводе и проверить качество заделки раструбного стыка труб или сварки по виду внутренней линии сварного шва. Так, отсутствие бугорка сварки на внутренней стороне стыка свидетельствует о непроваре, а образование на внутренней поверхности стыка больших «капель» и острого грата может привести к увеличению гидравлического сопротивления трубопровода при его эксплуатации, к сложностям в период профилактической чистки внутренней поверхности и т.д.

По результатам комплексной диагностики подземных трубопроводов составляется специальная анкета (паспорт), примерный вид которой представлен в таблице 2.6. Такая информация является необходимой для успешного проектирования ремонтно-восстановительных работ.

Необходимо отметить некоторую специфику проведения диагностических исследований по отбору проб грунта и материала трубопровода в отрываемой траншее или при шурфовании.

Пробы грунта (в количестве не менее 1 кг) отбираются вблизи трубопровода в трех местах: над трубой, под трубой и рядом с ней. При этом допускается относительная свобода действий по отбору материала, т. е. без строгого соблюдения послойной стратификации. Отобранные пробы грунта перед отправкой в лабораторию помещаются в специальные прочные пластиковые пакеты, исключающие попадание в них атмосферного воздуха во избежание обезвоживания. В случае присутствия в открытой траншее грунтовых вод производится их отбор с последующим анализом в специализированной лаборатории.

Таблица 2.6 - Результаты комплексной диагностики потенциальных объектов восстановления

Рубрикатор	Содержание
Общие сведения	Наименование населенного пункта, улицы, номер дома, номер колодца, дата обследования и т.д.
Сведения о трубопроводе	Год укладки, диаметр, протяженность, глубина прокладки, тип стыковочного узла и материал кольцевых уплотнительных прокладок, состояние поддерживающего основания и т.д.
Состояние участка трубопровода (по результатам анализов)	Внешняя поверхность: цвет, наличие и характер повреждений и т. д. Внутренняя поверхность: цвет, наличие и характер повреждений и т.д.
Сведение о грунте вдоль трассы	Тип грунта: естественный местный грунт, насыпной привозной и т.д.
Состояние окружающей среды вдоль трассы	Цвет окружающего грунта, запах, влажность и т. д. Место расположения трубы: под проезжей частью, под тротуаром и т.д. Близость расположения других коммуникаций и т.д. Наличие воздействий: химического, электрического, биологического и т.д.
Сведения об авариях (дефектах, повреждениях)	Тип аварий: единичные продольные трещины, круговые трещины, свищи, лучевые трещины боковой поверхности, смещение в стыках и т.д. Места дефектов или повреждений: подлине трубы, по периметру, в стыках и т.д.

Забор и выемка для анализа материала трубопровода в виде образца определенной длины осуществляется со стороны верхней образующей трубы путем поперечного распила стенки на всю толщину. Длина образца не должна быть более 50 см, чтобы не создавать трудностей для последующей эксплуатации сети. Перед отправкой в лабораторию образец помещается в полиэтиленовую упаковку для поддержания естественной влажности наружного и внутреннего налетов. При этом не производится очистка образца от налипшего грунта, слой которого (порядка 2—3 см) желательно сохранить для лабораторных исследований. В сопроводительной анкете указывается первоначальный цвет внешней поверхности образца трубопровода, так как со временем он может измениться. При отборе проб также производится фотографирование места участка трубы в открытой траншее, где произведены забор грунта, воды и образца трубопровода.

Детальный анализ отобранных вдоль трассы проб грунта и подземной воды проводится на предмет их коррозионной активности по отношению к материалу трубопровода. По результатам анализа на основании действующих технических норм устанавливается потенциальная опасность грунтов и подземных вод при их возможном контакте с соответствующими металлическими подземными инженерными сооружениями, к которым относятся стальные и чугунные трубы. Анализ грунтов, в частности, состоит в описании составляющих элементов, определении плотности, пористости, влажности, сопротивляемости нагрузкам, оценке запаса кислотности или щелочности. По результатам экспериментов грунтам присваивается соответствующая классификация по риску воздействия на подземные инженерные металлические объекты.

Как известно, в период длительной эксплуатации трубопровода на его внешней поверхности происходят различные химические реакции, приводящие к разрушению защитного покрытия, образованию наростов в виде уплотненных бугорков гидроксида железа и сернистого железа. На внутренней поверхности образуются очаги коррозии, что приводит к постепенному зарастанию живого сечения трубопровода и снижению его пропускной способности. Поэтому целью лабораторных анализов является определение степени скупенности очагов ржавчины, глубины проникновения их в стенку трубопровода как с наружной, так и с внутренней стороны.

В лабораторных условиях проводятся химические и металлографические анализы обеих поверхностей доставляемых образцов. Они подвергаются микроскопическим исследованиям и микрозондированию для изучения динамики изменения структуры материала трубопровода во времени (в частности, для чугунных труб — динамики изменения чешуйчатой структуры графита и степени ковкости). При этом выявляется приоритетность факторов, которые воздействуют снаружи и изнутри. Такая информация позволяет оценить остаточный срок эксплуатации трубопровода и методы, позволяющие продлить срок его жизни. Для этого образцы подвергаются распилу в продольном направлении с последующей пескоструйной обработкой и фотографированием. В результате экспериментов определяется глубина проникновения очагов коррозии и ее характер (например, мелкий, глубокий, широкий кратер и т. д.).

Конечным результатом исследований по диагностике трубопроводов, выполненных из различных материалов, является заключение о влиянии временного и других факторов на старение трубопровода, о надежности его последующей работы, а также составление прогноза использования старого трубопровода с рекомендациями проектировщикам по его восстановлению.

Как отмечалось выше, внутренняя инспекция водопроводных труб большого диаметра (900 мм и более) с целью диагностики их состояния предусматривает визуальный контроль, а малых — контроль специальным оборудованием. Обнаруженные в результате диагностирования дефекты могут быть сгруппированы в две основные категории:

- 1) дефекты структурные (микротрещины, вызывающие локальную эксфильтрацию и инфильтрацию, продольные и круговые трещины, нарушение стыковых соединений в результате старения труб и т.д.);
- 2) дефекты, вызванные некачественным монтажом труб (например, прокладкой с малым уклоном) и неудовлетворительной их эксплуатацией (деформация, образование ржавчины, биообрастаний и наносов на внутренней поверхности труб, проникновение корней деревьев и кустарников внутрь трубопроводов, преждевременное разрушение материала труб и защитных оболочек из-за агрессивного воздействия грунтов и т.д.).

На практике в большинстве случаев весьма трудно определить значимость и приоритетность факторов, которые определяют периодичность, последовательность и характер ремонтных работ на сетях. Необходимо отметить, что временной фактор (разрушение труб по причине старения) не всегда является приоритетным при принятии решения по организации восстановительных работ. Практика показывает, что чем меньше глубина заложения водоотводящих труб, тем раньше наступает их старение, и появляются трещины и свищи, например, как результат динамических нагрузок (проход транспорта, удары) или вибрации. Определенное влияние на частоту появления тех или иных дефектов может оказывать и соотношение L/D (длина/диаметр трубы). Так при больших значениях L/D (6-9) наиболее вероятно появление круговых, а при малых L/D — продольных трещин [9].

При проведении комплексной диагностики, включающей отбор проб подземной воды и грунта, проектировщик может косвенно оценить экологический аспект эксфильтрации и инфильтрации для водопроводных и водоотводящих сетей. Например, в случае эксфильтрации загрязненных сточных вод в подземные воды, присутствующие в них патогенные микроорганизмы могут проникнуть (даже противотоком) через дефекты (например, свищи) в параллельно или рядом расположенную ветхую водопроводную сеть, транспортирующую питьевую воду. Таким образом, в результате инфильтрации сточной воды в трубопровод питьевой воды, система водоснабжения становится потенциальным переносчиком загрязнений и возбудителем соответствующих заболеваний людей и животных. Последнее во многом зависит от толщины стенки используемого трубопровода, что обусловило изучение и этого вопроса.

2.3.2. Обоснование минимальной толщины стенки и расчет ресурса трубопроводов водопроводной сети

При равномерном движении воды в трубопроводах единичные потери напора (энергии, давления) на трение по длине i определяются для круглых труб по формуле Дарси – Вейсбаха [5]:

$$i = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (2.4)$$

где i - единичные потери напора, м; λ - коэффициент гидравлического трения; d - внутренний диаметр трубы, м; v - скорость движения жидкости, м/с; g - ускорение свободного падения, м/с².

Для некруглых труб расчет ведется через гидравлический радиус трубы:

$$d = 4R = 4 \frac{\omega}{\chi}, \quad (2.5)$$

где R - гидравлический радиус, м; ω - площадь живого сечения, м²; χ - смоченный периметр, м.

Как следует из формулы (2.4) зависимость потерь напора от расхода является квадратичной.

Коэффициент гидравлического трения определяется *теоретическим или опытным* путем. Так, для неновых стальных и чугунных труб по исследованиям Ф. А. Шевелева при турбулентном режиме среднее значение коэффициента гидравлического трения λ определяется теоретически.

В случае использования для строительства трубопроводных систем городов стальных труб перед проектировщиком встают вопросы определения минимальной толщины их стенки. При этом решение данной задачи должно сводиться не только к проведению прочностного расчета участка трубопровода, но и к комплексному изучению ситуации на всей напорной сети, которая может влиять на безаварийную работу ее отдельных участков. Вопросы определения толщины стенки приобретают еще большую значимость, когда речь заходит о реконструкции и замене старых (ветхих) участков сети.

В данной ситуации необходимо решить следующие задачи:

- определение требуемой минимальной толщины стенки, которая обеспечит в течение нормативного срока эксплуатации (20 лет для стали) нормальную (безаварийную) работу трубопровода с учетом широкого изменения (моделирования во времени) внешних условий эксплуатации и окружающей обстановки. Впоследствии это позволит на стадии проектирования правильно обосновать применение труб соответствующей марки с соответствующей толщиной стенки;

- определение минимальной расчетной (ожидаемой) толщины стенки в реальных условиях эксплуатации и окружающей обстановки для принятия решения о возможности последующей эксплуатации и методе реновации трубопровода в зависимости от толщины стенки и соответственно несущей способности трубы.

При решении данных задач невозможно обойтись без исчерпывающих сведений о наличии подземных вод над трубопроводными трассами; об агрессивности грунтов; скученности подземной инженерной инфраструктуры (соседствующих коммунальных трубопроводов различного назначения); плотности и характере наземной инфраструктуры (транспортных магистралей, в том числе, электрифицированных средств передвижения); степени технической (например, электрохимической) защиты, т.е. установок станций катодной защиты (СКЗ).

Решение комплексной задачи проектирования значительно упрощается при использовании автоматизированной системы, которая на основе учета всех перечисленных выше и прочих обстоятельств помогает проектировщику принять оптимальное решение [6,7].

Согласно принятому алгоритму автоматизированного расчета, базу которого составляет обширный аналитический и архивный материал по эксплуатации стальных водопроводных сетей, толщина стенки трубопровода (S , см) может рассчитываться по следующей формуле:

$$S = \frac{D(10^{-2}P_{внут} + (10^{-2}hp + P_{под.вод}))}{0,8RK(m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5)}, \quad (2.6)$$

где D — внутренний диаметр трубопровода в см; $P_{внут}$ — внутреннее давление транспортируемой воды, м вод. ст.; h — средняя глубина залегания шельги трубы, м; p — плотность грунта, кг/м³; R — временное сопротивление разрыву металла, кг/см² (зависит от марки сталей, в расчетной формуле принимается автоматически равным 40% от исходного значения за счет переводного коэффициента 0,8); K — коэффициент однородности металла (безразмерный); $P_{под.вод}$ - давление подземных вод, кг/см², $P_{под. вод} = 10 \cdot 1(h-l)$, где l - средний горизонт воды (расстояние от поверхности земли до уровня воды, м), 10-1 - переводной коэффициент из м вод.ст. над шельгой труб в атмосферы (или кг/см²); m_1, \dots, m_5 - коэффициенты в виде массива чисел m_i , отображающих внешние условия эксплуатации и окружающую обстановку.

Расшифровка значений коэффициентов m_i :

m_1 - для оценки отсутствия или наличия подземной воды соответствующего качества. Принимается один из четырех вариантов: $m_1 = 0,375$ - отсутствие

воды; $m_1 = 0,3542$ - наличие пресной воды; $m_1 = 0,3334$ - наличие слабоминерализованной воды; $m_1 = 0,3126$ - наличие минерализованной воды.

m_2 - для оценки наличия или отсутствия СКЗ; принимается один из двух вариантов: $m_2 = 0,3125$ - наличие СКЗ и $m_2 = 0,1876$ - отсутствие СКЗ.

m_3 - для оценки грунтов и динамики старения труб в зависимости от срока эксплуатации, лет (принимается один из множества вариантов, в зависимости от срока эксплуатации (табл. 2.7)).

m_4 - для оценки скученности подземных коммуникаций: высокая (с 2 и более пересечениями) над участком трубопровода - 0,0; то же под участком трубопровода - 0,0156; низкая (с 1 пересечением) над участком трубопровода - 0,0312; то же под участком трубопровода - 0,0469; отсутствие пересечений с коммуникациями - 0,0625.

m_5 - для оценки скученности наземных объектов: ж/д пути и/или автомобильные трассы - 0,0; мосты и/или путепроводы - 0,0156; наличие водных преград 0,0312; наличие жилых строений на расстоянии менее 10 м - 0,0469; отсутствие каких-либо объектов - 0,0625.

По результатам выполненных расчетов можно рекомендовать для оценки ситуации и принятия решений по ним следующее (см. табл.2.8).

Таблица 2.7 - Значение коэффициента m_3 в зависимости от грунтов и сроков эксплуатации

1-4 года	5-9 лет	10-14 лет	15-19 лет	20 лет и более	Грунты
0,1875	0,1856	0,1838	0,1820	0,1790	Суглинок
0,1696	0,1679	0,1663	0,1647	0,1617	Сухой песок
0,1518	0,1503	0,1488	0,1474	0,1444	Сухой пылевидный грунт
0,1339	0,1326	0,1313	0,1300	0,1270	Сухой пылевидный грунт с глинистыми включениями
0,1166	0,1149	0,1138	0,1127	0,1097	Влажный песок
0,0982	0,0972	0,0963	0,0953	0,0913	Влажный пылевидный грунт
0,0804	0,0796	0,0788	0,0781	0,0741	Влажный пылевидный грунт с глинистыми включениями
0,0626	0,0620	0,0613	0,0608	0,0558	Глина

Таблица 2.8 - Оценка ситуации и принятие решения по реновации

Расчетная (ожидаемая) минимальная толщина стенки (S, см) на данный момент времени	Оценка ситуации и рекомендации	Принимаемое решение в случае необходимости ремонта
Меньше минимальной, т.е. 0,2 см	Обязательно проведение натурных экспериментов по определению реальной толщины стенки и фиксации всех типов дефектов	В случае подтверждения информации необходима замена участка трубопровода или его восстановление с усилением несущей способности (например, использование полимерных рукавов или других защитных покрытий на основе экспертного заключения)
В диапазоне 0,2-1,0 см (между минимальной и проектной)	Проведение натурных экспериментов по определению реальной толщины стенки; проведение прочностного расчета по определению остаточного ресурса трубопровода; обязательное моделирование влияния окружающей обстановки во времени	В случае единичных дефектов (например, свищей) целесообразен метод восстановления с помощью нанесения ЦПП (если несущая способность трубы не нарушена) или использование полимерных рукавов или других защитных покрытий на основе экспертного заключения
Больше проектной, т.е. 1,0 см	Трубопроводная система работоспособна (т.е. несущая способность не нарушена) и может эксплуатироваться до истечения нормативного срока службы трубопровода с периодическим моделированием влияния окружающей обстановки во времени	Ремонта не предусматривается

Вопросы расчета остаточного ресурса действующих стальных трубопроводов созвучны с определением исходной толщины стенки трубопровода (п. 3.5). Актуальность подобных задач не подлежит сомнению

для большинства коммунальных объектов в городах России, где в системах водоснабжения традиционно применяются стальные трубопроводы. Например, при протяженности трубопроводов городской водопроводной сети Москвы более 11 тыс. км около 72% трубопроводов представлены стальными трубами, 26% - чугунными и лишь 2% - железобетонными, полиэтиленовыми и поливинилхлоридными трубами. При нормативном сроке службы стальных трубопроводов 20 лет средний возраст стальных трубопроводов московского водопровода составляет 24 года, чугунных — 41 год. Сложившаяся ситуация приводит к росту отказов трубопроводной сети. Анализ причин отказов трубопроводов показывает, что наиболее часто встречающимися повреждениями на стальных трубах являются свищи, которые вызваны воздействием внешней и внутренней коррозии труб. Наибольшее количество аварий (примерно 90%) приходится на трубопроводы водопроводной сети малых диаметров (100-300 мм) по причине относительно малой толщины стенки труб.

В качестве мероприятий, содействующих продлению срока службы старых стальных трубопроводов, прежде всего, необходимо рассматривать их бестраншейный ремонт различными методами. Однако прежде чем осуществлять ремонтно-восстановительные работы и выбирать наиболее эффективный вариант реновации трубопроводов проектировщики должны выявить их остаточный ресурс, во многом зависящий от физического состояния участка сети на момент принятия решения о реновации.

Под *остаточным ресурсом* (остаточным сроком службы) понимается наработка трубопровода от момента его диагностирования до достижения предельного состояния. Остаточный ресурс следует отличать от времени последующей диагностики технического состояния. Остаточный ресурс как случайная величина характеризуется численным параметром наработки и вероятности того, что в течение этой наработки предельное состояние не будет достигнуто.

Для определения остаточного ресурса необходимо знать:

- определяющие техническое состояние объекта параметры, изменение которых может привести к предельному состоянию (например, остаточную толщину стенки трубопровода);
- величину следующих параметров на момент диагностирования: внутренней коррозии, происходящей за счет изменения качественных показателей транспортируемой воды, негативно воздействующей на внутренние стенки трубопровода; наружной почвенной коррозии, в том числе в местах нарушения сплошности антикоррозионного покрытия; коррозионной активности грунтов, окружающих трубопровод;

- скорость изменения перечисленных выше параметров в течение дальнейшего диагностирования и эксплуатации трубопроводной сети.

Математически техническое состояние объекта, для которого производится расчет остаточного ресурса, может быть описано с помощью линейных, степенных, логарифмических или экспоненциальных зависимостей. Например, для определения остаточного ресурса объекта при воздействии общей коррозии наиболее приемлема экспоненциальная модель.

Для стальных городских водопроводных и напорных водоотводящих сетей наиболее приемлемой оценкой состояния является уменьшение толщины (утонение) стенки в результате общей (фронтальной) и язвенной (питинговой) коррозии, а также эрозионного износа стенок трубопровода транспортируемой жидкостью до величины, ниже которой не обеспечивается запас прочности.

Сущность проблемы оценки остаточного ресурса трубопровода во времени в зависимости от толщины стенки состоит в комплексном анализе изменения толщины стенки и влияния на участок трубопровода внешних обстоятельств, нагрузок и воздействий, связанных, в частности, с местом расположения трубопровода по отношению к транспортной инфраструктуре, глубиной его залегания, наличием подземных вод по трассе, характеристикой грунта, сроками эксплуатации отдельных участков сети и т. д., а также в сопоставлении величин:

- расчетной требуемой толщины стенки трубопровода $d_{\text{расч.тр}}$;
- проектной толщины стенки $d_{\text{проект}}$ (согласно ГОСТ на соответствующий диаметр трубы и марку стали);
- остаточной толщины стенки $d_{\text{ост}}$ (как результата проявления коррозионных процессов на внутренней и внешней поверхностях трубопровода во времени).

Расчетная минимальная толщина стенки принимается на основании упрощенного метода или комплексного прочностного расчета с использованием данных по диаметрам трубопроводов и окружающей обстановке, а проектная толщина стенки определяется как толщина стенки трубы заводского изготовления, выполненной в соответствии с ТУ. Остаточная толщина стенки соответствует ее толщине после n -го количества лет эксплуатации участка трубопровода. Она определяется по результатам регулярной диагностики или специальных натуральных диагностических исследований, назначаемых в экстренных ситуациях.

При определении ресурса трубопровода использованы следующие расчетные зависимости: для определения средней скорости коррозии V , мм/год

$$V = (d_{\text{проект}} - d_{\text{ост}}) / N, \quad (2.7)$$

где N — срок эксплуатации трубопровода до момента определения толщины стенки, год; $d_{\text{проект}}$ — проектная толщина стенки, мм;

Для определения остаточного ресурса $N_{\text{ост}}$, год

$$N_{\text{ост}} = (d_{\text{проект}} - d_{\text{ост}}) / V, \quad (2.8)$$

где $d_{\text{ост}}$ — остаточная толщины стенки, мм; $d_{\text{ост}}$ — остаточная толщина стенки, при которой не соблюдаются установленные граничные условия по первому предельному состоянию (допустимым растягивающим напряжениям в лотке) или по второму предельному состоянию (допустимым деформациям в своде).

От величины остаточного ресурса трубопровода напрямую зависит метод его реновации. Если трубопровод имеет достаточно большой остаточный ресурс (как правило, более 10 лет), то в качестве метода его восстановления может рассматриваться нанесение набрызговых защитных покрытий (цементно-песчаного или полимерного). Эти покрытия будут обеспечивать герметичность трубной конструкции, но не повысят ее несущую способность. В случае, если трубопровод имеет значительные свищевые повреждения и величина его остаточного ресурса значительно менее 10 лет, наиболее приемлемым методом бестраншейного ремонта может являться протягивание в трубопровод полимерной трубы или наложение сплошного внутреннего защитного покрытия из полимерных материалов, что будет обеспечивать повышение несущей способности двухслойной трубной конструкции.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

1. На основании проведенного анализа различных видов земляных работ сделан предварительный выбор ширины и глубины отрываемой траншеи. Глубина выемки применяется в зависимости от глубины промерзания, грунта, который по регионом Казахстана составляет 1,5 м, и диаметра трубопровода, но не менее 0,6 м. Эти рекомендации нами приняты за основу при выборе машин для земляных работ.
2. В условиях Казахстана, с учетом того, что глубина промерзания грунта в большинстве случаев не превышает 1,5 м, приоритет следует отдавать традиционным машинам – одноковшовым экскаваторам и бульдозерам, себестоимость работ которых намного ниже, чем у специализированных траншекопателей непрерывного действия.
3. Установленный по регионам Казахстана грунтовый фон показал, что наиболее распространенными типами грунтов в трехметровой

поверхностной толщии земли являются глинистые (вероятность – 0,55), песчаные – 0,25, крупнообломочные и скальные с соответствующими вероятностями 0,120 и 0,025. Физико-химические свойства колеблются в следующих пределах: влажность – 5...25%, плотность – 1,5...2,15 т/м³, коэффициент пористости – 0,3...1,2, число пластичности – 0,03...0,9, угол внутреннего трения – 20...35 *.

4. Предложена методика оценки остаточного ресурса трубопровода во времени в зависимости от толщины стенки. Методика, основанная на результатах регулярной диагностики, заключается в комплексном анализе изменения толщины стенки и влияния на участок трубопровода внешних обстоятельств, нагрузок и воздействий, связанных, в частности, с местом расположения трубопровода по отношению к транспортной инфраструктуре, глубиной его залегания, наличием подземных вод по трассе, характеристикой грунта, сроками эксплуатации отдельных участков сети и т. д., а также в сопоставлении величин: m_1, \dots, m_5 – коэффициентов, отображающих внешние условия эксплуатации и окружающую обстановку.

ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ (БУЛЬДОЗЕРНЫХ АГРЕГАТОВ) ПРИ СООРУЖЕНИИ ОБЪЕКТОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В научно-техническом плане по строительству водопровода известны работы ВНИИ ВОДГЕО, МИСИ им.В. Куйбышева и Союзводоканалпроект. Анализ научных работ и нормативных документов /5,6,7,19-27,34/, посвященных земляным работам, механизации их, специальным видам строительства, показывает, что технические возможности бульдозеров не всегда соответствуют требованиям технологии производства земляных работ, особенно по части совершенствования конструктивного исполнения рабочего органа машин, которые непосредственно взаимодействуют с разрабатываемой средой - грунтом. Рассмотрим эти положения на примерах.

При производстве земляных работ, перечень основных технологических операций по укладке трубопроводов для воды сводится к следующему:

- разработка плодородного слоя грунта на месте укладки трубопровода;
- рытье траншеи согласно проекту по строительству трубопровода;
- подготовка основания траншеи для укладки трубопровода;
- засыпка грунта над трубопроводом и его уплотнение.

Существующие технологии производства земляных работ, связанных с засыпкой траншей и планировкой их поверхностей отличаются по выполняемой схеме и используемой технике /4,15-17/. При этом, на долю бульдозеров приходится более 40% выполняемых земляных работ и до 90 % вскрышных работ. Как показывает анализ срезки грунта бульдозером, она производится по клиновой схеме, что обеспечивает наиболее полное заполнение отвала грунтом. Перемещение грунта обычно осуществляется по траншейной схеме, позволяющей снизить потери грунта при транспортировании. Различают прямую и боковую схему работы бульдозерного агрегата (см. главу 1).

Прямую схему применяют при рытье траншеи, ширина которых незначительно превышает ширину отвала бульдозера. При этой схеме бульдозер совершает возвратно-поступательное движение без поворотов, поэтому схему часто называют челночной или маятниковой, движением вперед бульдозер срезает грунт и транспортирует его к месту отвала (рабочий ход). Затем он задним ходом возвращается к месту начала резания грунта.

Боковую схему работы бульдозера применяют при перемещении ранее разработанного грунта из отвалов или сыпучих материалов (песка, гравия и др.) из бункеров, при разработке легких грунтов, срезаемых толстыми слоями, а

также при работе на косогорах. При этом разрабатываемый грунт располагается сбоку от пути, по которому бульдозер транспортирует его к месту отсыпки. Бульдозер захватывает отвалом грунт, делает поворотное движение, перемещает грунт на транспортный путь, затем транспортирует его к месту отсыпки. Работать по этой схеме может только квалифицированный бульдозерист, поскольку при недостаточном опыте управления бульдозером значительная часть грунта может быть потеряна во время поворота бульдозера. Из существующих рекомендации (см п. 2.2) видно, что обратная засыпка траншей бульдозером производится грунтом из отвала, расположенного вдоль траншеи (рис. 2.6 и 2.7). После укладки трубопровода, во избежание их повреждения одновременно с двух сторон первоначально засыпают на высоту 0,25...0,3 м. Дальнейшую засыпку траншеи производят бульдозером поперечными ходами.

Засыпку искусственного сооружения, конструкция которого не требует ручной засыпки, и производят в следующем порядке. Вначале присыпают сооружение с одной стороны на высоту до 0,5, затем производят присыпку его на высоту до 1 м с другой стороны грунтом, привезенным самосвалами. Разновидностью оборудования, позволяющего организовать засыпку траншей средней глубины непрерывным потоком, является *двухножевой отвал*, которым заменяется обычный отвал бульдозера. Новый отвал состоит из двух ножей, установленных на каркасе под углом 35-40° к оси бульдозера. При движении вдоль траншеи отвал захватывает грунт, сложенный на бровке, и сбрасывает его в траншею. Благодаря отсутствию холостых пробегов бульдозера и потерь времени на частые переключения скоростей производительность бульдозера на засыпке траншей с новым отвалом повышается по сравнению с обычным бульдозером.

Совершенствование технологии земляных работ связано со снижением трудоемкости, сокращением ручных работ и уменьшением продолжительности производства работ. Для выполнения этой задачи рекомендуется строить технологические процессы с максимальным использованием новых машин и навесного оборудования, созданных в последние годы и освоенных в серийном производстве и эффективно использовать преимущества новых машин. С их помощью необходимо добиться, чтобы возведение конкретных земляных сооружений, которые выполнялось с меньшим количеством машин и в большей степени вытеснялся ручной труд.

Эффективность применения новых средств механизации определяется при разработке комплексно-механизированных технологических процессов производства земляных работ для конкретных объектов. Согласно перечню основных технологических операций осуществляется подбор специальных

землеройных машин и объединение их в комплекс /63/. В соответствии с технологическими возможностями средств, входящих в комплекс, должны быть согласованы технологические операции по времени и последовательности.

3.1 Совершенствование конструкций рабочего оборудования современных бульдозеров

В последнее время интенсивно развиваются новые конструктивные формы рабочего оборудования серийных бульдозеров, обладающего свойствами адаптации и расширенными функциональными возможностями.

Серийно производят бульдозеры на колесных и гусеничных тракторах различного тягового класса и с гидравлическим управлением подъема и опускания отвала. Бульдозеры общего назначения на базе гусеничных тракторов изготавливают четырех типов:

- с неповоротным отвалом;
- с неповоротным отвалом и гидрофицированным его перекосом в поперечной плоскости;
- с неповоротным отвалом и гидрофицированным или винтовым его перекосом в поперечной плоскости и наклоном в вертикальной плоскости;
- с поворотным отвалом в горизонтальной плоскости, его перекосом в поперечной плоскости и наклоном в вертикальной плоскости.

На бульдозерах с поворотным отвалом, последний крепится к охватывающей раме в средней части универсальным шарниром, а по краям с помощью тяг.

Поворотный отвал имеет меньшую высоту и применяется преимущественно для выполнения планировочных работ и обратной засыпки траншей, это его **основной недостаток**. Кроме того, у традиционных универсальных бульдозеров при установке под углом к направлению движения машины боковая составляющая сопротивления копания грунта приводит к потере курсовой устойчивости, нарушению нормальной работы отдельных узлов, частым установкам бульдозера для выравнивания направления. В настоящей работе выбор бульдозерного оборудования был сделан в пользу отвала с установкой под углом к направлению движения машины и увеличенной высотой /138/.

Серийно изготавливаемые бульдозеры с поворотным отвалом имеют также ограниченное значение угла установки (не более 27°), хотя известно, что

увеличение этого угла придает грунту интенсивный сход по отвальной поверхности и соответственно существенно повышает производительность бульдозера. Подобное ограничение угла поворота вызвано тем, что поворот отвала в плане создает боковую составляющую сопротивления копанию грунта, который приводит к потере курсовой устойчивости машины и в целом к снижению эффективности работы бульдозера. Причем, чем больше значение угла поворота, тем больше значение бокового усилия. Это обстоятельство послужило причиной установления отвала под небольшим углом поворота в плане.

Обзор технической информации позволил установить, что для исключения данной проблемы предложены различные пути конструктивного решения. Например, универсальный бульдозер конструкции Рощановского Б.В. и Камышенцева Л.А. /37/ с упорным ножом выполнен в виде трактора с рамой и прикрепленным к ней косым отвалом.

При работе на легких грунтах рекомендуется применять упорный нож трапецеидальной формы. На тяжелых грунтах - дисковый упорный нож. Такая конструкция способствует тому, что упорный нож воспринимает усилие бокового сдвига отвала, предотвращая этим боковой сдвиг бульдозера.

Для расширения эксплуатационных возможностей бульдозера при использовании рабочего органа с косоустанавливаемым отвалом Васильевым М.В., и Е.А. Норкиным Е.А. предложены конструкция бульдозерного оборудования, показанная на рис. 3.1.а). Здесь диски 3 установлены в плане по отношению к лобовой поверхности отвала 1 под тупыми углами, равными $90^\circ + \alpha$ (α - угол поворота отвал в плане) и смонтированы на отвале при помощи двухплечих рычагов 2, каждый из которых шарнирно соединен с последним с возможностью поворота в вертикальной плоскости. Рабочий орган снабжен установленными на отвале и соединенными со свободными плечами рычагов гидроцилиндрами управления дисками.

При нормальном положении отвала 1 бульдозера диски 3 выполняют роль открылков и при этом, будучи установленными под углом к направлению движения бульдозера, увеличивают объем призмы перемещаемого грунта на 40-70% (в зависимости от вида и состояния разрабатываемого грунта). При работе бульдозера с отвалом 1, установленным под углом к направлению движения, один диск 3, расположенный на выдвинутом вперед конце отвала 1, находится параллельно направлению движения бульдозера и будучи погруженным в грунт, при помощи гидроцилиндра 8 удерживает отвал от бокового сдвига. Второй диск 3 при этом поднят в нерабочее положение и не препятствует сходу грунта. При изменении угла поворота отвала 1 в плане в другую сторону первый диск 3 с помощью гидроцилиндра 8 управления

переводится в верхнее нерабочее положение, а второй диск 3 заглубляется в грунт. Таким образом, стабилизируется положение отвала.

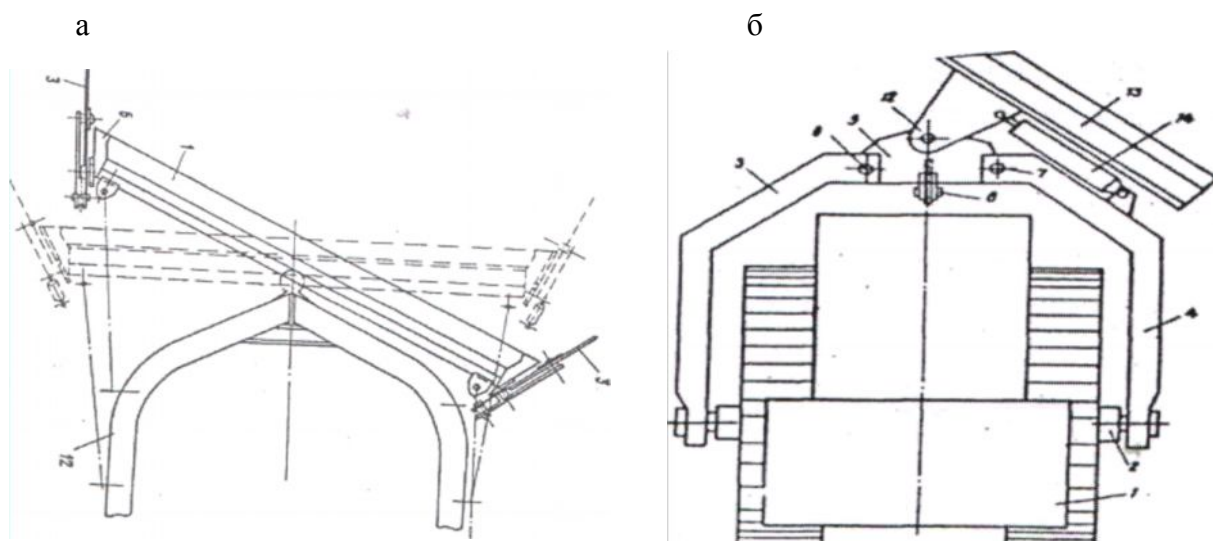


Рис. 3.1. Рабочий орган англодозера с управляемыми дисками (а) стабилизирующим ножом (б).

Самостоятельный интерес представляют использование сменных рабочих органов, навешиваемого на базовый трактор или на отвал бульдозера. При этом, на базе гусеничных тракторов предлагают создать комплексы унифицированных машин. При этом базовая машина комплектуется рядом добавочных узлов: опорной осью с колесами; балкой с поворотным кругом стрелой, рукоятью противовесом. Данный комплект узлов позволят скомпоновать помимо основной еще три промежуточные базы, которые снабжены набором сменных рабочих органов. Все это дает возможность скомплектовать четыре группы машин, рабочие органы которых способны выполнять самые разнообразные работы на строительных объектах. Однако, не все они пригодны для выполнения земляных работ по засыпке траншей под водоводы. Применительно к такому процессу могут представлять интерес только отдельные схемы, представленные на рис. 3.2. Не все они исследовались и нашли с практическое воплощение. Поэтому нами были отобраны наиболее приемлемые варианты для выполнения таких видов работ. Они приводятся ниже.

За счет конструктивных решений, повышающее эффективность использования бульдозерных агрегатов, могут быть улучшены также планировочные свойства, тем самым он может выполнять и функции автогрейдера /55/.

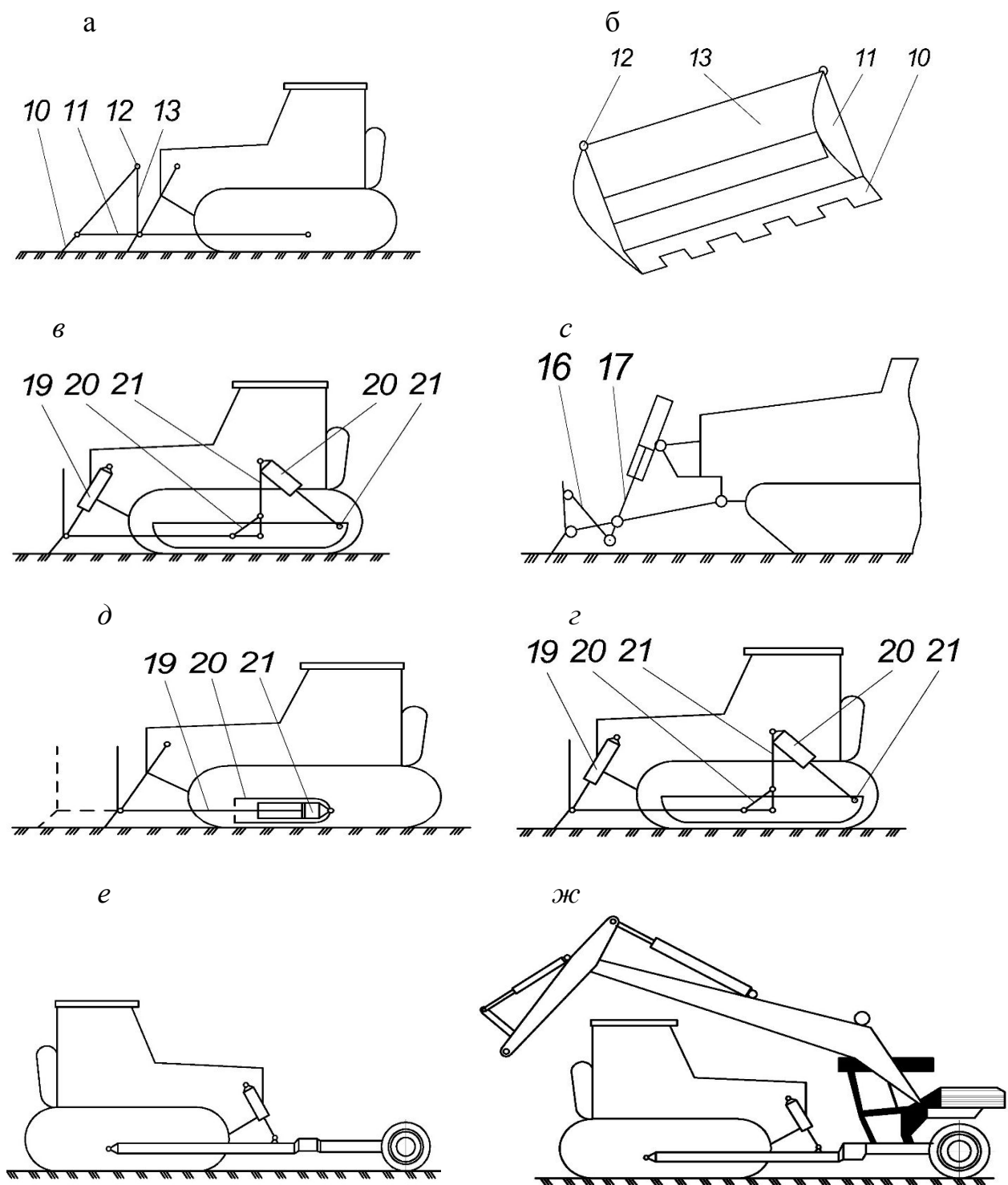


Рис. 3.2. Конструктивные решения, повышающие эффективность бульдозерных агрегатов.

В работе /42/ приведены основные конструкторско-технологические схемы бульдозеров, оснащенных системами, повышающими качество планировочных работ, эти схемы базируются на серийно выпускаемых тракторных агрегатах.

Бульдозер с выносным ножом (рис. 3.2. а, б). Для улучшения качества планировочных работ к верхней части отвала 1 с помощью кронштейнов 2 и шарниров 3 крепится основной нож 4. В нижней части отвала кронштейны фиксируются пальцами.

Выносной нож с выступающими ножами (угол резания менее 50-55°) обеспечивает резание грунта вне призмы волочения, основной рабочий орган в этом случае выполняет функцию отвала, кронштейны – роль закрылков, предотвращающих потери грунта. Применение дополнительного ножа стабилизирует положение рабочего органа, установленного в плавающее положение, предотвращая его чрезмерное заглубление. При этом осуществляется подсыпка грунта в выемки. Таким образом, повышается качество планировочных работ. В режиме *копания* выносной нож опрокидывается назад, поворачиваясь вокруг осей шарниров 12.

Регулятор угла резания прямого действия. При заглублении рабочего органа бульдозера с толкающими брусьями (рамой) угол резания может значительно меняться, что приводит к увеличению сил сопротивления резанию и усилению колебаний бульдозерного агрегата. Для автоматического изменения угла резания в зависимости от заглубления на рабочий орган может быть установлен регулятор угла резания прямого действия. Регулятор (рис. 3.2. в,) состоит из стойки, жестко закрепленной на гидроцилиндре подъема и опускания рабочего органа, ползуна, шарнирно закрепленного на толкающем бруссе (раме) и соединительного звена, шарнирно соединенного одним концом с отвалом, а другим – с ползуном.

В другом варианте установки регулятора (рис. 3.2. г) к штоку гидроцилиндра подъема-опускания рабочего органа крепиться рычаг и промежуточная тяга (шарнирно соединена с отвалом). Для установки угла резания в неавтоматическом режиме, тяга (соединительное звено) может быть выполнена в виде гидроцилиндра. Недостаток установки регулятора – усложнение конструкции.

Бульдозер с телескопическими толкающими брусьями (рис. 3.2. д), при значительном удалении режущей кромки рабочего органа бульдозера от передней кромки опорной поверхности колебания корпуса трактора передаются на режущему кромку со значительным усилением амплитуды. Необходимость размещения гидроцилиндров подъема-опускания рабочего органа со значительным отклонением от нормали к толкающей раме (брусьям) приводит к уменьшению напорного давления на режущей кромке. С целью устранения этих недостатков устанавливаются телескопические толкающие брусья.

В транспортном положении внутренняя рама максимально выдвинута, что позволяет поднимать отвал к передней части облицовки двигателя. В

рабочем режиме при помощи гидроцилиндра внутренняя рама вытягивается внутрь внешней рамы, приближая режущую кромку рабочего органа к передней кромке опорной поверхности. Такая конструкция позволяет улучшить планировочные качества бульдозера, осуществить сброс разрабатываемого материала с крутого откоса, засыпку глубоких котлованов с безопасного расстояния. К недостаткам модернизации следует отнести усложнение конструкции рабочего органа.

Бульдозер с дополнительным механизмом подъема и опускания рабочего органа (рис. 3.2. е). Под действием сил сопротивления резанию и перемещению грунта бульдозерный рабочий орган заглубляется с большой скоростью. Необходимость частых включений привода подъема-опускания рабочего органа приводит к колебаниям корпуса трактора, что ухудшает качество планировочных работ. Для устранения этого недостатка рекомендуется использовать дополнительный механизм подъема-опускания рабочего органа, включающий вертикальную тягу, крепящуюся к тяговому брусу ребрами жесткости и дополнительный привод (крепится к тяге и раме ходовой тележки).

Применение дополнительного механизма подъема-опускания рабочего органа позволит улучшить планировочные качества бульдозера (рис. 3.2. ж). Это обусловлено тем, что при переводе привода в плавающее положение динамика корпуса трактора не влияет на положение рабочего органа. Подъем и опускание рабочего органа осуществляется приводом ходовой тележки, т.е. практически относительно грунта. Этот механизм может также служить для осуществления перекоса рабочего органа. Затраты на модернизацию незначительные – устанавливаются два гидроцилиндра и один гидрораспределитель. К недостаткам модернизированного бульдозера можно отнести усложнение его конструкции.

Бульдозер с поворотным отвалом /78/ снабжен с приводом управления и стабилизирующим ножом (рис. 3.3. а). Стабилизирующий нож смонтирован на корпусе толкающей рамы с возможностью его фиксированной перестановки по вертикали. Применение подобной конструкции на бульдозерах повышает производительность машины.

По данным Т.М. Гаджиева, с выведением режущего элемента ножа за пределы действия призмы волочения горизонтальная составляющая сопротивления грунта, приходящаяся на режущий и отвальный ножи, уменьшается до 15%. Наличие режущего дополнительного ножа треугольной формы значительно уменьшает энергоемкость, т. к. вырезают в массиве горизонтальные щели, а отвальный нож в резании грунта не участвует. С отделением процесса резания от общего процесса копания грунта бульдозером

уменьшается энергоемкость разрушения грунта и представляется возможным производить резание на большую глубину, при этом значительно повышается производительность.

С отделением процесса резания от общего процесса копания грунта бульдозером уменьшается энергоемкость разрушения грунта и представляется возможным производить резание на большую глубину, при этом значительно повышается производительность.

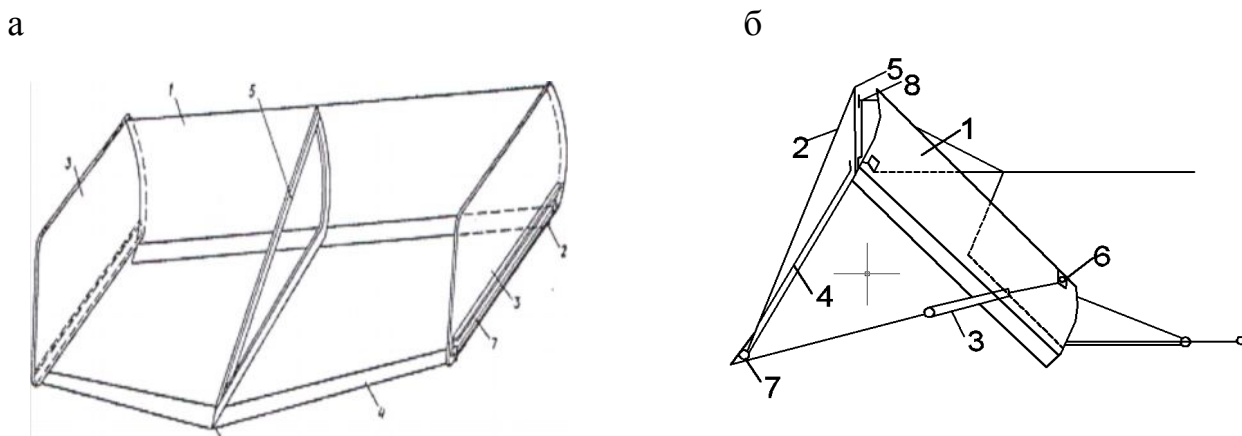


Рис. 3.3. Отвал, выполненный с дополнительным ножом треугольной формы (а) и упорным ножом (б).

Снижение энергоемкости копания грунта, обеспечивается при использовании рабочего органа землеройно-транспортной машины, предлагаемого в работе /3/ (рис. 3.3.б). Рабочий орган состоит из отвала 1 и дополнительного ножа 2, прикрепленного к отвалу с одной стороны посредством шарнира 3, с другой - продольной балки 4 и укосины 5. Шарнир может смещаться по длине отвала. В плане отвал 1 устанавливается под углом, наибольшее и наименьшее значения угла установки ножа в плане зависят от того, требуется ли для устойчивости движения машины. Передний дополнительный нож срезает грунт, а отвал только перемещает его в сторону, т.е. копание грунта разделено на две операции.

Таким образом, при работе бульдозера отсутствует движение грунта вверх по отвальной поверхности, что исключает сопротивление трению срезаемого грунта об отвальную поверхность и о призму волочения. Это обстоятельство позволяет увеличить угол установки рабочего органа в целях улучшения схода грунта с отвала и повышения производительности машины.

Имеются решения конструкции бульдозера с выносным ножом для планировочных работ /66/. Выносной нож с выступающими ножами обеспечивает резание грунта вне призмы волочения, основной рабочий орган в

этом случае выполняет функцию отвала, кронштейны – роль закрылков, предотвращающих потери грунтов. Применение дополнительного ножа стабилизирует положение рабочего органа, установленного в плавающее положение, предотвращая его чрезмерное заглубление. В режиме копания выносной нож опрокидывается назад, поворачиваясь вокруг осей шарниров. По результатам исследований авторы отмечают, что такие конструкции позволяют приспособить бульдозер и для планировочных работ.

Анализ процесса косого резания грунта /44/, выполненного на основе экспериментальных исследований на полигоне МАДИ показал эффективность косого резания. При этом было установлено, что энергоемкость резания грунта ножами снижается с уменьшением угла захвата по сравнению с лобовым на 20...30% в диапазоне значений от 90 до 25⁰, а также применение косого резания уменьшает динамические нагрузки на рабочий орган, способствуя повышению долговечности машины в целом. Отмечено, что для снижения сопротивления копанию применительно к рабочим органам землеройной машины необходимы изменения их конструкций, переход от традиционных решений к новым, более эффективным, но, как правило, и более сложным.

Следует заметить, что положение центра тяжести базового трактора не позволяет работать с отвалом, повернутым в плане на угол менее 60⁰ от продольной оси в связи с этим не обеспечивается постоянное перемещение грунта в сторону и работа с непрерывными продольными проходами не дает требуемого эффекта, а также нарушается курсовая устойчивость машины /74/. Вопросы управляемости и устойчивости машин в целом разрабатывались Литвиновым А.С., Певзнером Я.М., Чудаковым Е.А., а, относительно землеройно-транспортных машин опубликованы в научных трудах /68,69,70, 73/.

В стабильной курсовой устойчивости колесных машин. Кушель В.Ю., Чешун В.С., Войтиковым А.В. о силы резания и копания зависят не только от величины, но и от формы сечения среза. Эта зависимость характеризуется отношением длины режущего периметра к площади поперечного сечения среза. Таким образом, В.П. Волков /76/ поставил удельное сопротивление копанию в зависимость от величины, родственной известному понятию гидравлического радиуса; т.е. тем больше удельная сила копания одного и того же грунта, чем больше отношение длины периметра к площади сечения среза.

А.Н. Зеленин /74/ провел значительную исследовательскую работу по резанию и копанию грунтов. Из анализа полученной им зависимости следует, что усилия резания от угла резания, равной 0 до 20° несколько уменьшается, а при дальнейшем увеличении угла резания усилие резания увеличивается по

линейной зависимости. Угол резания 20° является оптимальным и дает снижение усилия на 25-35 % по сравнению с усилиями резания при углах резания $45-60^\circ$.

Ю.А. Ветровым /58/ предложен метод расчета сопротивления резанию грунта с учетом пространственной схемы резания. Сопротивления грунта резанию и копанию землеройной машины пропорционально растут с ростом ширины и толщины резания. Подробный анализ этой зависимости дан в работе /64/. Автор считает, что сила резания является ускоренно возрастающей функцией толщины среза.

В.И. Баловнев /60,61/ разработал, на основе теории предельного состояния грунтов, методику расчета сопротивлений резанию и копанию, которое позволяет определить оптимальные параметры рабочего органа и режимов работы землеройной машины типа бульдозеров и скреперов.

Получение ощутимых результатов в снижении сопротивления копанию только за счет дальнейшей оптимизации параметров рабочего органа (РО) традиционных конструкций (изменения линейных величин и их соотношений) в настоящее время является практически невозможным. Необходим поиск новых решений конструкций РО ЗМ на основе углубленного изучения, протекающих в процессе резания грунтов, с одной стороны, и тенденцией развития РО, с другой.

В работе /75/ ставилась задача по расширению функциональных возможностей рабочего оборудования гидравлического бульдозера с совмещением с функциями экскаватора при сохранении низкой металлоемкости конструкции, её высокой технологичности и надежности (рис. 3.4). При этом, появляется возможность использовать данное оборудование в качестве многофункционального экскаватора, способного не только выполнять земляные, но и погрузочно-разгрузочные работы, в том числе в стеснённых условиях. Для чего, в рабочем оборудовании гидравлического бульдозера, включающем отвал, толкающие брусья, раскос, гидроцилиндры управления отвалом, в верхней части задней стенки отвала жёстко закреплено экскаваторное оборудование - в виде двух задающихся с помощью гидромотора кронштейнов, внутри которых шарнирно установлена стрела с рукоятью, в муфте которой установлен гидромотор, соединённый с ковшом. Подъём и опускание экскаваторного оборудования осуществляется с помощью двух гидроцилиндров, шарнирно закреплённых соответственно на кронштейнах и стреле.

В результате повышается универсальность рабочего оборудования за счёт возможности захвата грузов с помощью экскаваторного оборудования,

использования модифицированного рабочего оборудования бульдозера при разработке траншей и зачистке днищ в стеснённых условиях.

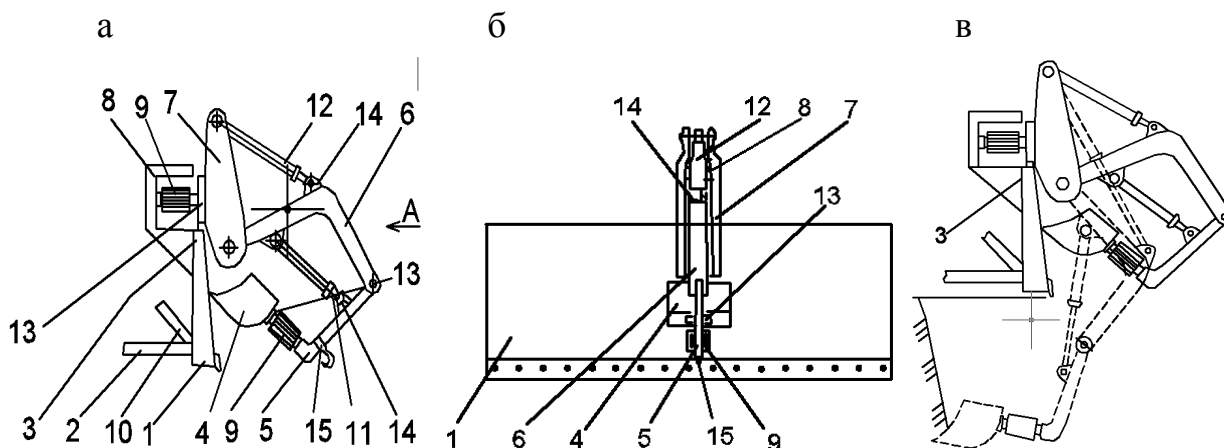


Рис. 3.4. Рабочее оборудование гидравлического бульдозера:

а - вид сбоку, б - вид спереди, в - разработка траншеи:

1 – отвал; 2 – толкающие брусья; 3 – раскосы; 4 – ковш; 5 – рукоять; 6 – стрела; 7 – вращающиеся кронштейны; 8 – жёсткие кронштейны; 9 – гидромоторы; 11 – гидроцилиндры управления соответственно отвалом 10, рукоятью 5, стрелой 12 и крюк 15; 14 – проушина.

Целесообразность создания и применения рабочего органа активного действия для землеройной машины вытекает из того, что при существующих средствах механизации разработка прочных и мерзлых грунтов, как правило, требует их предварительного рыхления, что значительно усложняет организацию и технологию работ, увеличивает простои машин, снижает их производительность. Идея создания рабочего органа активного действия высказывалась уже давно, как рядом зарубежных, так и отечественных инженеров и ученых. Однако отсутствие необходимых теоретических и экспериментальных обоснований параметров и конструкции таких рабочих органов до последнего времени не позволяло подойти к практическому созданию работоспособных конструкций.

Анализируя работу бульдозеров, авторы исследований /68,69/ отмечают, что угол резания отвала, обеспечивающий наименьшую энергоёмкость копания, в процессе разработки грунта неустойчив. Причиной неустойчивости процесса копания является наличие положительной обратной связи между толщиной срезаемой стружки и вертикальной составляющей сопротивления копанию, воздействие которой на отвал меняет эту толщину.

Если вертикальная составляющая направлена вниз, она способствует заглублению отвала и увеличению толщины стружки. При увеличении

толщины стружки сопротивление резанию и его вертикальная составляющая растут, вызывая дополнительное заглубление отвала, что в свою очередь, приводит к новому увеличению вертикальной составляющей.

Для стабилизации процесса копания бульдозеров, имеющих подвеску с упругими элементами, можно применять устройства, блокирующие подвеску во время рабочего хода. Другим способом стабилизации является уменьшение угла наклона равнодействующей сопротивления копанию и значения ее вертикальной составляющей путем увеличения угла резания.

Благодаря тому, что при случайном изменении глубины копания, вертикальная составляющая сопротивления меняется менее интенсивно, чем вертикальное усилие со стороны трактора, их разность возвращает отвал на прежнюю глубину копания. Если наклонять отвал еще больше вперед, то равнодействующая сопротивления копанию повернется так, что ее вертикальная составляющая уравнивает силу тяжести отвала. В настоящее время разработка грунта отвальным рабочим органом с двойным дополнительным ножом продолжает оставаться наименее изученным, а вопрос эффективности его применения вместо традиционных является спорным.

По данным некоторых авторов /71-74/, в целях повышения производительности и улучшения схода грунта с отвала универсальных бульдозеров целесообразно определить максимально допустимый угол установки отвала в плане из условия обеспечения боковой устойчивости машины. Ими же теоретическим путем определены максимально допустимые углы установки в плане для тракторов Т-130.1.Г и Т-330 соответственно и 35° .

Как видно из проведенного анализа, для того, чтобы обеспечить нормальную работу и курсовую устойчивость англодозера, который перемещается вдоль берега траншеи в продольном направлении, необходимо совершенствовать рабочий орган таким образом, чтобы он сохранял направление движения базовой машины при косом резании и перемещении грунта.

Это связано с тем, что увеличение значений угла φ , например, для бульдозера ДЗ-109 с установкой отвала на угол равной 45° , приводит к развороту бульдозера /74-78/. Поэтому, необходимо определить максимально допустимый угол установки отвала, при котором не происходит потеря курсовой устойчивости бульдозера с дополнительным ножом, установленным впереди отвала.

Конструктивно данный вопрос решается в работе /46/ путем снабжения бульдозера дополнительным упорным ножом при одинаковых геометрических размерах отвала и ножа. Это обстоятельство снижает общее сопротивление

копанию грунта (на 30...50%), так как исключается подъем срезанного грунта по отвальной поверхности.

Дальнейшие пути совершенствования технологии производства земляных работ непосредственно связаны с эффективным использованием преимуществ новых машин. Оснащенные новыми видами навесного сменного оборудования, РО и имеющие лучшие показатели по годовой выработке в равнении с заменяемыми машинами. С их помощью необходимо добиться, чтобы возведение конкретных земляных сооружений, которые выполнялось с меньшим количеством машин и в большей степени вытеснялся ручной труд.

Эффективность применения новых средств механизации определяется при разработке комплексно-механизированных технологических процессов производства земляных работ для конкретных объектов. В соответствии с технологическими возможностями средств, входящих в комплекс, должны быть согласованы технологические операции по времени и последовательности. Основной задачей совершенствования землеройно-транспортных машин является увеличение производительности с целью снижения себестоимости одного кубометра разрабатываемого грунта.

Решение поставленной задачи возможно за счет уменьшения рабочих сопротивлений, возникающих на отвальных рабочих органах в процессе разработки грунта, а также посредством расширения технологических возможностей применения рабочих органов данного типа. В настоящее время предложено много технических решений, позволяющих изменять такие параметры отвальных рабочих органов, как длина, радиус кривизны /50/, угол наклона козырька /44/ и др. Следует отметить, что работа бульдозеров на грунтах с различными физико-механическими свойствами требует адаптации рабочего оборудования к изменяемым грунтовым условиям.

Как известно, сопротивление резанию грунта обусловлено влиянием большого количества факторов: свойствами и состоянием грунта, формой и размерами рабочего органа, состоянием рабочих поверхностей и так далее. Применительно к рабочим органам отвального типа наиболее интересным представляется рассмотрение влияния угла резания на величину сопротивлений грунта резанию и копанию. Очевидно, что разрабатывать грунты с различными физико-механическими свойствами рабочим оборудованием с неизменным углом резания нецелесообразно.

На рис. 3.5 а представлен общий вид бульдозера ДЗ-110, оснащен новым модернизированным рабочим оборудованием, которое включает: толкающие брусья 1, отвал 2, основные гидроцилиндры управления 3, гидроцилиндры изменения угла резания 4. Для получения полного объема экспериментальных

данных диапазон изменения угла резания в данном рабочем оборудовании составляет 30...65°.

С целью обоснования эффективности использования модернизированного рабочего оборудования следует сопоставить значения усилия копания грунта, полученные для оптимального угла резания, равного 30°, и угла резания, соответствующего серийному рабочему оборудованию (равного 55° для бульдозера ДЗ-110).

Многоцелевое бульдозерное оборудование, излагаемая в работе отличается от рассматриваемой конструкцией бульдозерного оборудования, оснащенного челюстными захватами (рис. 3.5,б).

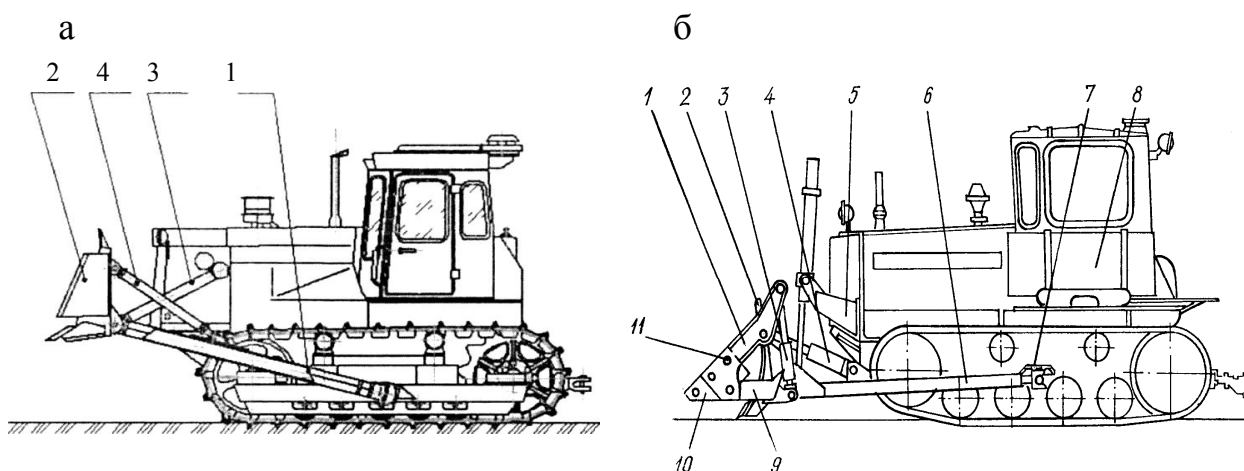


Рис. 3.5. Общий вид бульдозера ДЗ-110, оснащенного модернизированным рабочим оборудованием (а) и челюстными захватами (б).

Бульдозерный агрегат состоит из базового гусеничного трактора 10 и навесного бульдозерного оборудования. Бульдозерное оборудование включает отвал 2 с приваренным левым толкающим брусом 6, правый шарнирный брус, поперечную балку 7, кронштейн с гидроцилиндром подъема и опускания отвала 5, гидроцилиндр перекоса отвала 4, челюстные захваты 1, гидроцилиндры поворота захватов 3 и маслопроводы с рукавами высокого давления.

В нижней части каждого челюстного захвата между щеками его корпуса шарнирно – подвижно установлен рыхлительный зуб 9, к верхней части которого жестко прикреплен щиток 10, выполняющий функции упорно-толкательного) элемента при вертикальном положении зуба и блокирующего элемента, способствующего увеличению накопительной способности отвала.

Челюстные захваты шарнирно закреплены на цапфах, приваренных к боковинам отвала и поворачиваются гидроцилиндрами 3 в продольно-вертикальной плоскости на угол 45 град. Рыхлящие зубья поворачиваются на

90 град, и могут находиться в свободно подвешенном состоянии или фиксироваться с помощью специальных пальцев 11 в двух крайних положениях - в рабочем и подогнутом.

Наличие челюстных захватов и их конструкция позволяют существенно увеличить накопительную способность отвала в процессе копания грунта, свести до минимума потери грунта или других материалов при их перемещении, использовать задний ход агрегата для предварительного рыхления грунтов повышенной прочности, нарезки с последующим снятием поверхности растительного слоя, очистки строительных площадок от мусора, разборки завалов, снятия асфальтобетонных покрытий дорог и тротуаров, захвата и перемещения длинномерных предметов, т.е. для чрезвычайных условий /57/.

При работе бульдозером в твердых и пересохших грунтах применяется предварительное рыхление грунта специальными рыхлителями или установка зубьев на ноже отвала бульдозера. Для использования обратного холостого хода, с обратной стороны отвала шарнирно подвешиваются в проушинах стальные зубья /43/.

Следующие направления связано с совершенствованием бульдозерного отвала. В работе /72/ предлагаются конструкции бульдозерных отвалов, характеризующиеся установкой двух, трех и четырех выступающих ножей, а также установкой косынок по обе стороны от ножей, что предотвращает просыпание разрабатываемого грунта в боковые расширения. Отмечается, что в процессе копания грунта бульдозерным отвалом, оснащенным выступающими ножами, образуются боковые расширения по обе стороны от выступающих ножей с углом бокового расширения $\gamma = 30...45^\circ$, при этом снижается трение режущей поверхности основного ножа (площадки заступления ножа) о разрабатываемый грунт, уменьшается горизонтальная составляющая сопротивления грунта копанью. Авторы отмечают, что эффективность эксплуатации бульдозерного оборудования с одним выступающим ножом и боковыми косынками в сравнении с традиционным отвалом состоит в повышении технической производительности на 15...20%, а с четырьмя выступающими ножами и боковыми косынками 22...28%, в зависимости от прочности разрабатываемых грунтов.

В целях расширения технологических возможностей бульдозеры оснащают рабочими органами различного конструктивного исполнения (отвалы полусферические, сферические, многосекционные, поворотные отвалы и др.) /55/.

При засыпке траншей применяют бульдозеры с поворотным отвалом, необходимые для перемещения разрабатываемого материала поперек оси

движения базовой машины. Их еще называют англедозерами /78/. Известные бульдозеры с поворотным отвалом монтируют на гусеничные тракторы разных тяговых классов. При этом бульдозерное оборудование состоит из отвала, универсальной толкающей рамы, толкателей, раскосов и гидроцилиндров подъема и опускания отвала. Отвал по конструкции аналогичен отвалу неповоротного бульдозера, но в центре с тыльной стороны расположена пята для соединения с шаровой опорой универсальной толкающей рамы.

Одной из наиболее трудоемких операций, требующих качественного выполнения, является засыпка траншей при строительстве газопроводов, нефтепроводов и водопроводов, прокладке коммуникаций.

Отечественный и зарубежный опыт эксплуатации машин для засыпки траншей и планировки площадей показывает, что одним из весьма эффективных средств механизации этих работ является применение машин со шнековыми рабочими органами, которые обеспечивают непрерывность рабочего процесса, включающий в себя подрезание и экскавацию грунта из забоя и его транспортировку в измельченном виде на уложенный в траншею трубопровод. Высокую производительность из-за прямолинейного, нециклического движения машины, редкого переключения передач. Двигаясь вдоль траншеи, он перемещает в нее грунт, который не падает на трубопровод, а скатывается по нему. Этот способ позволяет произвести засыпку траншеи в условиях ограниченной полосы отчуждения, обеспечивает высокое качество засыпки (снижается вероятность повреждения трубопровода и улучшается заполнение пустот между трубопроводом и стенками траншеи).

Изучение физического процесса взаимодействия отвала в комплексе со шнеком представляет большой практический интерес. Возможность применения бульдозерного рабочего оборудования со шнековым интенсификатором (рис. 3.6) обусловлена их воздействием на призму волочения, при перемещении которой затрачивается при операции копания грунта 30...60 %, а при операции перемещения до 80 % мощности, которая реализуется на отвале.

Экспериментальные исследования неповоротного отвала со шнековым интенсификатором осуществлялись в лабораторных условиях кафедры строительных и дорожных машин ПГАСА методами физического моделирования /50/. Как показывают экспериментальные исследования взаимодействия бульдозерного отвала с шнековым интенсификатором главными параметрами, влияющими на физическую картину процесса их взаимодействия, являются, расстояние от лобовой поверхности отвала до начала витков шнека, направление навивки шнека (левосторонняя, правосторонняя), и направление вращения. Остальные факторы были

зафиксированы на постоянных уровнях. К ним относятся диаметр шнека, принятый равным $(0,8 - 0,9) H_{отв}$, шаг навивки шнека S , частота вращения n , число ударов $C_{уд}$, скорость копания базовой машины $У_k$.

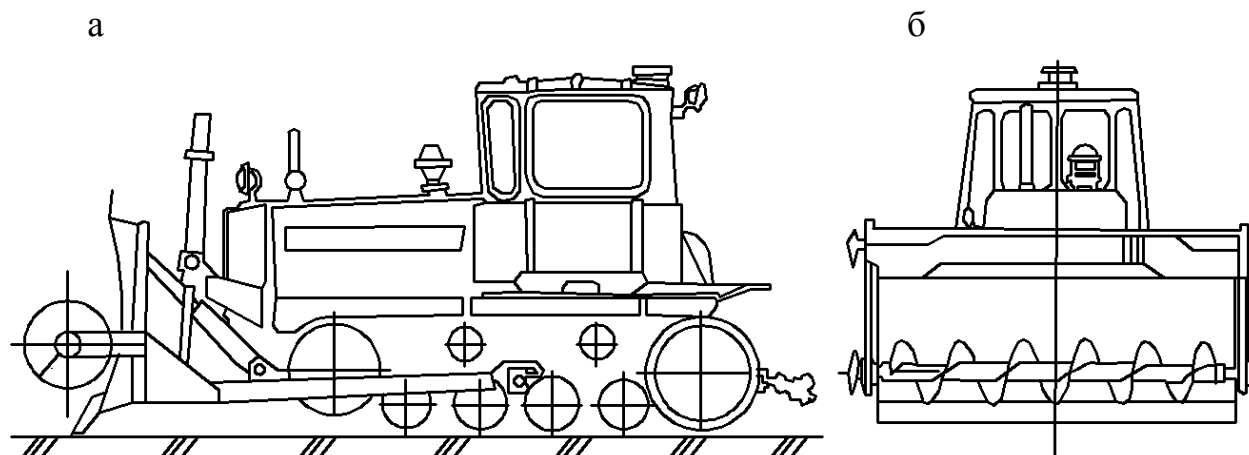


Рис. 3.6. Общий вид бульдозера со шнековым интенсификатором:
а) – вид сбоку; б – вид спереди.

Производительность шнекового рабочего органа зависит от его транспортирующей способности. В общем виде транспортирующая способность шнекового рабочего органа определяется полезной площадью поперечного сечения шнека $P_{ш}$, скоростью перемещения грунта в осевом направлении V , и коэффициентом наполнения межвиткового пространства $K_{и}$. Но с другой стороны, производительность бульдозера с шнековым интенсификатором может быть определена в зависимости от поперечного сечения разрабатываемого кавальера P_k , скорости передвижения бульдозера $V_б$ и коэффициента разрыхления грунта K_p .

На основе вышеприведенного анализа можно наметить основные требования к новым бульдозерным агрегатам:

- технические возможности бульдозеров не всегда соответствуют требованиям технологии производства земляных работ, особенно по части совершенствования конструктивного исполнения рабочего органа машин, которые непосредственно взаимодействуют с разрабатываемой средой – грунтом;
- требует комбинирования отдельные трудоемкие работы при прокладке трубопроводов, например, нужно совместить операции засыпки траншей под трубопроводы с уплотнением и планировочными работами.
- наряду с созданием бульдозерного оборудования со свойствами адаптации, важно разработать методику определения области рационального его

использования в зависимости от прочностных свойств грунта, параметров сооружаемого объекта, в данном случае траншеи под водоводы, а также расстояния перемещения бульдозера при поперечно – челночной технологии засыпки траншеи.

Учитывая цикличность работы бульдозера при засыпке траншей под водоводы, сравнительно небольшие геометрические размеры траншей для прокладки водопроводных трубопроводов диаметром до 400 мм, а также низкую производительность при этом основной машины, в настоящей работе для повышения производительности трудоемких работ по засыпке и уплотнению грунта предлагаются принимать измененную по высоте отвал с установленным на нем сменным рабочим органом экскаватора.

Аналогичные решения имеются и изложены в работах /45 /, в отличие от них сменный рабочий орган смонтирован на модернизированном отвале, что позволяет расширить функциональные возможности последнего за счет использования сменных рабочих органов.

Общий вид модернизированного рабочего оборудования бульдозера, позволяющее изменять высоту отвала в процессе разработки грунта приведена на рис. 3.7.

Увеличение высоты отвала в данном рабочем оборудовании происходит посредством выдвижения дополнительной секции 2, смонтированной сзади основного листа отвала 1 и имеющей профиль, повторяющий кривизну основного листа. Дополнительная секция 2 приводится в движение гидроцилиндрами 3, штоки которых крепятся к нижней тыльной стороне отвала 1 посредством проушин, а корпуса присоединены к дополнительной секции.

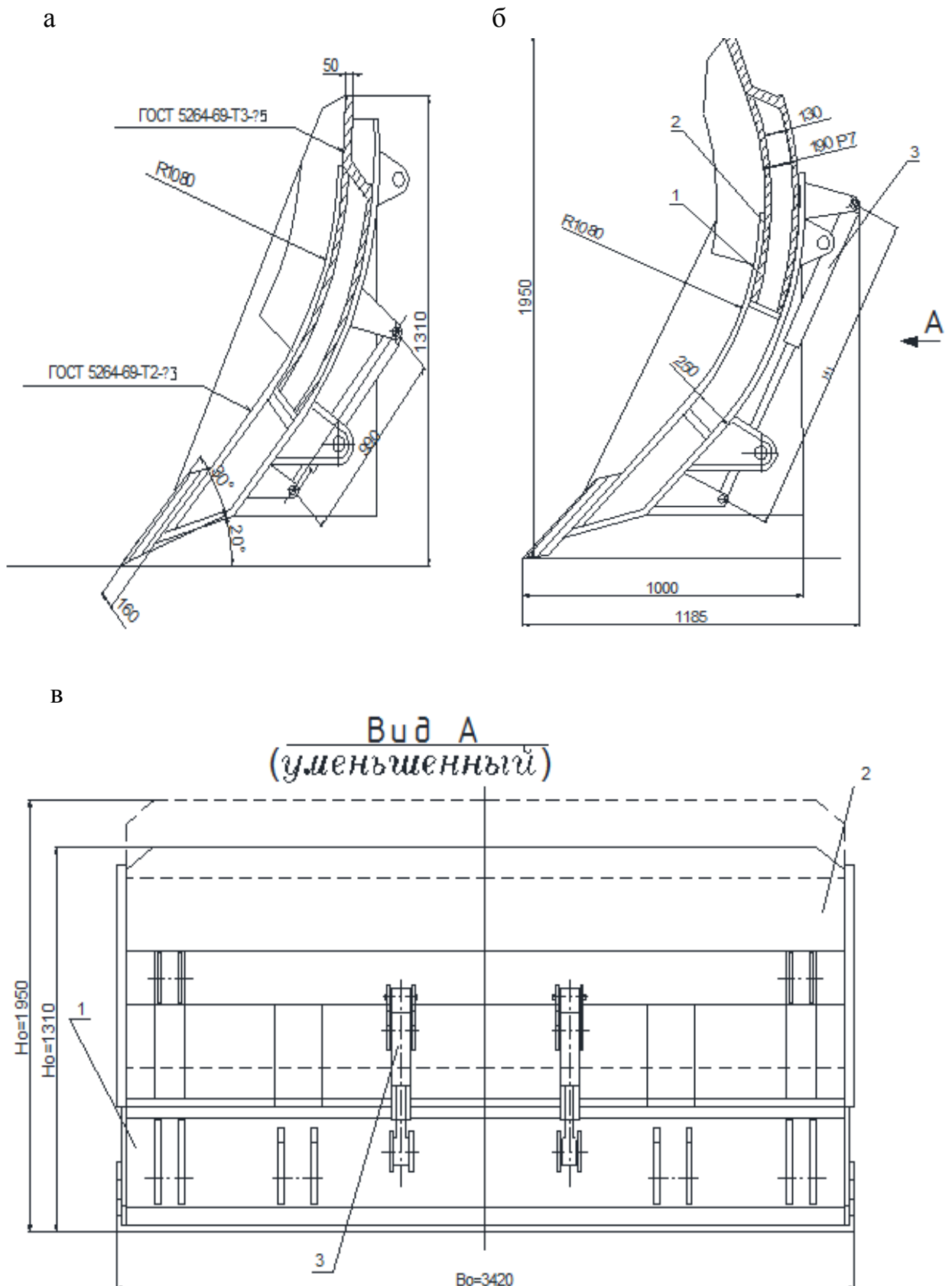


Рис. 3.7. Модернизированное рабочее оборудование бульдозера:
 а) дополнительная секция опущена; б) дополнительная секция поднята; в) вид
 сзади; 1 – отвал; 2 – дополнительная секция отвала; 3 – гидроцилиндры
 управления дополнительной секцией.

3.2 Теоретическое обоснование целесообразности применения модернизированного рабочего оборудования бульдозера

Выше было отмечено, что на бульдозерах с поворотным отвалом, последний крепится к охватывающей раме в средней части универсальным шарниром, а по краям с помощью тяг. При этом поворотный отвал имеет меньшую высоту по сравнению с традиционными бульдозерами с неповоротным отвалом. Это был его основной недостаток. Кроме того, у традиционных универсальных бульдозеров при установке под углом к направлению движения машины боковая составляющая сопротивления копанию грунта приводит к потере курсовой устойчивости, нарушению нормальной работы отдельных узлов, частым установкам бульдозера для выравнивания направления. В настоящей работе нами выбор бульдозерного оборудования был сделан в пользу отвала с установкой под углом к направлению движения машины и увеличенной высотой /59/.

Такой выбор обусловлено со следующим. Глубина промерзания не превышает 1,5 м, с учетом требований технологии рытья траншей под водоводы, это глубина не превышает 2...2,5 м. На такой поверхности грунтовый фон соответствует в большинстве случаев 1-2 категории по трудности разработки, и редко 3-4 категории разработки. И наконец, открытый грунт, подлежащий к обратной засыпке, теряет свои свойства по твердости и связности. При этом можно предположить, что бульдозер совершает в основном процесс транспортирования или перемещения грунта, из-за малых сил сопротивления его перемещению мощность двигателя используется не полностью.

Как известно, техническая производительность бульдозера при копании и перемещении грунта описывается выражением /54/

$$P_T = \frac{60 \cdot V_{II}}{T_{II}} \cdot k_y, \text{ м}^3/\text{ч}; \quad (3.1)$$

где V_{II} - объем призмы грунта, перемещаемого перед отвалом, м^3 ; k_y - коэффициент, учитывающий уклон грунтовой поверхности; T_{II} - продолжительность рабочего цикла, мин;

$$V_n = \frac{B_0 \cdot H_0^2}{k_p \cdot 2 \cdot \text{tg} \varphi_0}, \text{ м}^3; \quad (3.2)$$

где B_0 - длина отвала, м; H_0 - высота отвала без учета козырька, м; φ_0 - угол естественного откоса грунта, град; k_p - коэффициент разрыхления грунта.

Для расчета объема призмы грунта предлагается использовать следующую зависимость:

$$V_n = \frac{B_0 \cdot (k \cdot H_0)^2}{k_p \cdot 2 \cdot \text{tg} \varphi_0}, \text{ м}^3; \quad (3.3)$$

где k - коэффициент, учитывающий увеличение высоты отвала относительно базовой высоты.

Ниже приведены таблицы 3.1 – 3.3 с расчетными значениями объема призмы грунта V_n и технической производительности Π_T , полученными для бульдозера Б-10М при использовании различных значений коэффициента k . Значения рабочих скоростей, необходимые для расчета времени рабочего цикла, были приняты из тяговой характеристики бульдозера Б-10М.

Таблица 3.1 - Расчетные значения объема призмы грунта V_n и технической производительности Π_T , полученные для бульдозера Б-10М при разработке глины с углом естественного откоса $\varphi_0=35^\circ$ и коэффициентом разрыхления $k_p=1,29$

k	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
$H_0, \text{ м}$	1,30	1,43	1,56	1,69	1,82	1,95
$V_n, \text{ м}^3$	3,01	3,65	4,34	5,09	5,91	6,78
$\Pi_T, \text{ м}^3/\text{ч}$	52,07	63,07	75	87,96	102,13	117,16

Таблица 3.2 - Расчетные значения объема призмы грунта V_n и технической производительности Π_T , полученные для бульдозера Б-10М при разработке суглинка с углом естественного откоса $\varphi_0=30^\circ$ и коэффициентом разрыхления $k_p=1,21$

k	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
$H_0, \text{ м}$	1,30	1,43	1,56	1,69	1,82	1,95
$V_n, \text{ м}^3$	3,90	4,72	5,61	6,59	7,64	8,77
$\Pi_T, \text{ м}^3/\text{ч}$	67,34	81,49	96,98	113,82	132	151,53

Таблица 3.3 - Расчетные значения объема призмы грунта V_n и технической производительности Π_T , полученные для бульдозера Б-10М при разработке супеси с углом естественного откоса $\varphi_0=32^\circ$ и коэффициентом разрыхления $k_p=1,31$

k	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
$H_0, \text{ м}$	1,30	1,43	1,56	1,69	1,82	1,95
$V_n, \text{ м}^3$	3,32	4,02	4,78	5,62	6,51	7,48
$\Pi_T, \text{ м}^3/\text{ч}$	57,42	69,47	82,68	97,04	112,54	129,18

Ниже на рис. 3.9 приведен график зависимости технической производительности P_T от высоты отвала H_0 , полученный для бульдозера Б-10М для различных значений коэффициента k .

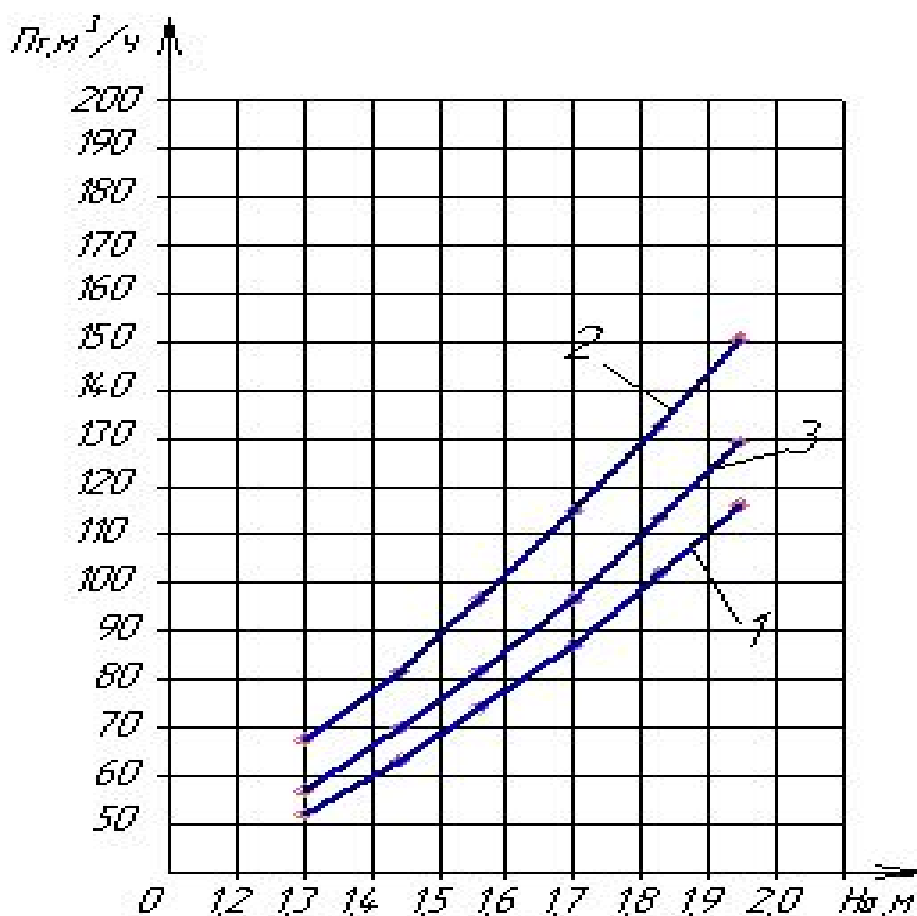


Рис. 3.9. График зависимости технической производительности P_T бульдозера от высоты отвала H_0 для бульдозера Б-10М:

1 – при разработке глины; 2 – при разработке суглинка; 3 – при разработке супеси.

Значения рабочих скоростей, необходимые для расчета времени рабочего цикла, были приняты из тяговой характеристики бульдозера Б-10М.

Расчет сопротивления грунта копанью для неповоротного отвала производится по формуле /8/:

$$P_{\text{кон}} = P_p + P_{mp} + P_n + P_s, \text{ Н}; \quad (3.4)$$

где P_p - сила резания грунта, Н; P_{mp} - сила трения ножа о грунт, Н; P_n - сила сопротивления перемещению призмы волочения грунта, Н; P_s - сила трения грунта при движении вверх по отвалу, Н;

Для расчета силы трения ножа о грунт использовалась зависимость /5/.

Расчет силы резания грунта производится по уравнению Зеленина-Горовица /2/, как наиболее близкому к экспериментальным данным:

$$P_p = (1 + ctg\alpha \cdot tg\delta) \frac{l \cdot h \cdot (1 - \sin \rho \cdot \cos 2\varphi_n)}{1 + \sin \rho \cdot \cos 2\varphi_n} \cdot (C_0 \cdot \cos \rho + \gamma_z \cdot h), \text{ Н}; \quad (3.5)$$

где l - ширина резания, см; h - глубина резания, см; ρ - угол внешнего трения грунта по грунту, град; $2\varphi_n = 2\pi - 2\alpha - \delta - \arcsin(\sin \rho \cdot \sin \delta)$; C_0 - сцепление грунта, Н/см²; γ_z - объемный вес грунта, Н/см³; α - угол резания, град; δ - угол трения грунта по стали, град.

Для расчета силы трения ножа о грунт использовалась зависимость /5/:

$$P_{mp} = \mu_2 \cdot P_2, \quad (3.6)$$

где $\mu_2 = tg\delta$ - коэффициент трения грунта по стали; P_2 - вертикальная составляющая сопротивления грунта резанию, Н;

$$P_2 = P_p \cdot ctg(\alpha + \delta). \quad (3.7)$$

Сила сопротивления перемещению призмы волочения грунта определялась из выражения /8/:

$$P_n = \mu_1 \cdot G_n, \quad (3.8)$$

где μ_1 - коэффициент трения грунта по грунту; G_n - вес призмы волочения грунта, Н.

Вес призмы волочения рассчитывается по формуле /8/:

$$G_n = \frac{\gamma_z \cdot B_0 \cdot H_0^2}{k_p \cdot 2 \cdot tg\varepsilon}, \quad (3.9)$$

где γ_z - объемный вес грунта, Н/м³; B_0 - длина отвала, м; H_0 - высота отвала без учета козырька, м; ε - угол естественного откоса грунта, град; k_p - коэффициент разрыхления грунта.

Для определения величины силы сопротивления движению стружки грунта вверх по отвалу использовалась формула /8/:

$$P_s = G_n \cdot \mu_2 \cdot \cos^2 \alpha. \quad (3.10)$$

Используя приведенные выше зависимости для бульдозера Б-10М, при установке высоты отвала $h=1,95$ м (что соответствует коэффициенту $k = 1,5$) получено значение сопротивления грунта копанию, равное $P_{кон} = 143$ кН, при этом номинальная сила тяги имеет значение $T_{ном} = 137$ кН, максимальная динамическая сила тяги, соответствующая конечной стадии копания грунта, равняется $T_{dmax} = 149,5$ кН, а, следовательно, условие эффективной работы бульдозера, при котором $T_{dmax} \geq P_{кон}$, соблюдается. Следует также отметить, что на данном режиме работы бульдозера сила тяги по сцеплению гусеничного движителя составляет $T_\varphi = 173,4$ кН, а сила тяги гусеничного движителя,

соответствующая максимальному крутящему моменту двигателя $T_{M_{\max}} = 211,5$ кН, следовательно, имеется запас силы тяги при максимальном крутящем моменте двигателя, равный 38,1 кН.

Анализируя полученные расчетным путем данные, можно сделать вывод о том, что в процессе копания грунта у бульдозера Б-10М имеется запас по сцепным качествам и мощности двигателя, которые можно использовать на увеличение высоты отвала, и, соответственно, на увеличение производительности бульдозера.

С точки зрения обеспечения быстрого реагирования на изменения грунтовых условий в процессе копания грунта наиболее целесообразным представляется использование адаптивных рабочих органов на машинах с гидромеханической трансмиссией, что обусловлено возможностью автоматического регулирования тяговых усилий в зависимости от соответствующих внешних нагрузок и переключением передач без разрыва потока мощности в трансмиссиях такого рода. В настоящее время отсутствуют теоретические и экспериментальные результаты исследования с учетом работы бульдозера на режиме номинальной силы тяги, поэтому решение данного научного вопроса в дальнейшем является актуальным.

3.3 Оценка эффективности использования бульдозерных агрегатов при сооружении объектов водоснабжения и водоотведения

На современном рынке строительной техники потребитель стремится приобрести не только хорошую машину, необходимую для выполнения соответствующих строительных работ. Появилась необходимость в приобретении сопутствующих услуг, обеспечивающих реализацию всех потенциальных возможностей, заложенных в машину производителем техники. Возникает необходимость в приобретении рекомендаций по оптимальному производственному использованию техники и услуг технического сервиса. Важно обеспечить использование машины в тех условиях, где она дает наибольший эффект и позволяет получить большую прибыль.

При разработке проектов механизации строительства трубопроводных сетей водоснабжения необходимо прогнозировать применение наиболее целесообразных средств механизации, которое может быть осуществлено с использованием соответствующих технико-экономических моделей, учитывающих условия производства работ, свойства грунтов, технические

возможности используемой строительной машины, затраты и другие факторы.

Эффективное использование техники - важный резерв интенсификации строительства. Установление условий эффективного использования техники является одним из путей решения проблемы получения высокой прибыли.

Выбор и определение оптимальных параметров машин в зависимости от условий работы требуют наличия обоснованных *показателей*, обеспечивающих объективную оценку техники.

Наиболее доступным и менее затратным методом интенсификации строительной техники является использование машины в тех условиях, в которых она дает наибольший эффект в зависимости от условий эксплуатации.

В работе /61/ - обобщающим показателем эффективности работы машины предлагается использовать математическую модель времени продолжительности рабочего цикла машины, которая включает систему моделей сил сопротивления, тяговых усилий, развиваемых двигателем, и энергетические соотношения, обеспечивающие реализацию выполнения каждой рабочей операции.

Время рабочего цикла широко используется при расчете производительности машины. Однако существующая методика рекомендует время рабочего цикла определять на основе известных параметров существующих машин в заданных условиях эксплуатации главным образом на этапе оценки готовой машины.

При этом основные технологические операции машины: рабочая операция, транспортировка, холостой ход и др. рассматриваются отдельно. Не учитывается возможное взаимовлияние операций, которые в ряде случаев предъявляют к техническим параметрам машины противоречивые требования. Отсутствует общая математическая модель, увязывающая в единой зависимости все основные технические параметры машины и параметры, определяющие условия эксплуатации.

Для выбора и определения оптимальных параметров машин в зависимости от условий эксплуатации на базе анализа математической модели времени продолжительности рабочего цикла предложен метод минимизации продолжительности рабочего цикла машины.

Математическая модель времени рабочего цикла определяется суммой времени отдельных технологических операций рабочего процесса машины. Аналитические зависимости для расчета времени рабочего цикла рассмотрены в работе /48/. Для машин с последовательным выполнением операций время рабочего цикла, определяется по формуле

$$t_u = \sum_1^n t_i \rightarrow \min, c \text{ или } t_u = \sum_1^n t_i \frac{A_i}{N_i} \rightarrow \min, c \quad (3.11)$$

где t_u - время рабочего цикла машины, с; t_i - время отдельной рабочей операции машины, с; n - количество операций, выполняемых машиной за рабочий цикл; A_i - работа сил сопротивлений при выполнении соответствующий операции, Нм; N_i - мощность, которая реализуется бульдозером при выполнении операции, Нм/с.

Время на рабочий цикл t_u определяет величину других технико-эксплуатационных и ряда рыночных показателей. Эти показатели являются функциями времени продолжительности рабочего технологического цикла машины t_u . Оптимальные значения этих показателей определяются в значительной степени оптимальным, наименьшим значением показателя t_u .

Производительность машины (конструктивная, техническая, эксплуатационная), которая определяет количество единиц продукции, выработанной за единицу времени:

$$П = \frac{q}{t_u}, \quad П = \frac{q \cdot k_n}{t_u \cdot k_p}, \quad П = \frac{q \cdot k_1}{t_u}, \text{ ед.прод./ед.врем.}$$

Величина t_u определяет также эффективность машины по рыночным показателям, которые зависят от себестоимости машино-часа $C_{мч}$ и удельной себестоимости единицы продукции $C_{уд}$ - Эксплуатационные затраты по величине себестоимости машино-часа определяются зависимостью, прямо пропорциональной времени рабочего цикла t_u : $C = C_{мч} t_u$.

Удельная себестоимость единицы продукции также прямо пропорциональна t_u

$$C_{уд} = \frac{C_{мч} \cdot t_u}{q \cdot k_1}. \quad (3.12)$$

При уменьшении t_u , при прочих неизменных условиях снижаются затраты на механизацию работ и себестоимость единицы продукции.

Выше приняты следующие обозначения: q - единица продукции (m^3 , m^2 , m , $кг$ и др.); $k_1 = 3600 \cdot k_u k_n / K_p$; k_u - коэффициент использования машины по времени; k_n - коэффициент заполнения рабочего органа материалом, использования грузоподъемности и др.; K_p - коэффициент разрыхления материала; t_u - время рабочего цикла, с.

Математическая модель времени рабочего цикла машины с циклическим режимом работы, например, бульдозера может быть представлена в виде выражения

$$t_{\text{ц}} = \frac{A \cdot k_{\text{уд}} \cdot q_{\text{б}}}{m} + \frac{B \cdot m \cdot l_{\text{х}}}{N}, \text{с} \quad (3.13)$$

где $k_{\text{уд}}$ - удельное сопротивление копанью грунта отвалом бульдозера Н/м³; $q_{\text{б}}$ - объем грунта, перемещаемый отвалом, $q_{\text{б}} = \sigma \cdot h_{\text{ср}} \cdot l_{\text{к}}$, м³; B - ширина отвала, м; $h_{\text{ср}}$ - средняя глубина копания, м; $l_{\text{к}}$ - путь копания, м; $l_{\text{х}}$ - путь холостого перемещения бульдозера, м; m - масса бульдозера, кг; N - мощность двигателя бульдозера, Вт; A , B - размерные экспериментально-аналитические коэффициенты, характеризующие условия эксплуатации.

Анализ приведенной зависимости показывает, что время рабочего цикла бульдозера $t_{\text{ц}}$ имеет минимальное значение при определенной величине массы машины $m_{\text{опт}}$. Оптимальную величину массы определяют из выражения $\partial t / \partial m = 0$. Подставляя величину $m_{\text{опт}}$ в зависимость для определения $t_{\text{ц}}$, устанавливают минимально возможную величину продолжительности рабочего цикла машины $t_{\text{ц}}$, мин. При работе машины с минимальной продолжительностью времени рабочего цикла машина обеспечивает оптимальные значения других показателей. Отсюда следует, что если машина выбрана с параметрами m и M/m , равными или ближайшими к оптимальным, то в соответствующих условиях эксплуатации, для которых были рассчитаны параметры $m_{\text{опт}}$, $(N/m)_{\text{опт}}$ машина будет обеспечивать максимальный производственный эффект.

Оценку эффективности по технико-эксплуатационным показателям целесообразно осуществлять при одинаковой надежности сравниваемых машин. Производству необходимы надежные машины с обеспеченным сервисным сопровождением. Другая техника не пользуется спросом. При необходимости оценка машины по показателям надежности выполняется традиционными методами на последующих этапах выбора машины.

3.4 Сравнение вариантов механизации работ при засыпке траншей под водоводы

Выше было отмечено, что продолжительность времени рабочего цикла технологической машины следует рассматривать в качестве обобщенного показателя технико-эксплуатационной эффективности машины в соответствующих условиях эксплуатации.

Относительные показатели эффективности: производительность ($\Pi_{\text{мак}}$) минимальные энергоемкость (N_{yd}) материалоемкость (m_{yd}) и соответствующий обобщенный показатель (Π_{Nm}), а также минимальные значения показателей коммерческой эффективности затраты в единицу времени (C) и удельной себестоимости единицы продукции ($C_{\text{уд}}$) являются функциями $t_{\text{ц}}$. Они принимают оптимальное значение или близкое к оптимальному в точках с минимальным значением времени рабочего цикла машины $t_{\text{ц}}$, мин.

Произведем сравнение различных вариантов механизации земляных работ по перечисленным показателям при засыпке траншей с использованием бульдозерных агрегатов. За базисный вариант примем бульдозер Б 10М Челябинского тракторного завода /55/.

Бульдозеры компании ЧТЗ – это современные модификации бульдозера, производительность которых находится на уровне лучших мировых аналогов при существенно меньшей первичной себестоимости. Различают бульдозеры с прямым, сферическим и поворотным отвалом, нами для выполнения сравнительных расчетов принят бульдозер с прямым и поворотным отвалом.

Основные параметры для расчета:

- масса, $m=18500\dots 21400$ кг, примем $m = 20\ 000$ кг;
- двигатель – ЯМЗ 236, мощность $N = 139,7/190$ кВт/л.с;
- тип и параметры отвала:
 1. прямой, длина высота, мм 3420x1300, масса $m = 2375$ кг;
 2. поворотный, длина высота, мм 4280x1100, масса $m = 2540$ кг;Объемы призмы грунта 4300 и 4000 м³ соответственно.

Следует отметить, что у бульдозера с поворотным отвалом объем перемещаемого грунта меньше, это объясняется сравнительно малой высотой отвала и его расположением под углом в плане при производстве работ по засыпке траншей. При использовании модернизированного отвала масса последнего с элементами привода увеличивается, нами принята $m = 1500$ кг.

Производительность машины (конструктивная, техническая, эксплуатационная), которая определяет количество единиц продукции, выработанной за единицу времени:

$$P = \frac{q}{t_u}, \quad P = \frac{q \cdot k_u}{t_u \cdot k_p}, \quad P = \frac{q \cdot k_1}{t_u}, \text{ ед.прод./ед.врем.}$$

Выработка на одного оператора $n_{\text{выр}} = \frac{P}{n_p}$ или $n_{\text{выр}} = \frac{q}{n_p \cdot t_u}$.

Удельная производительность $P_{\text{уд}} = \frac{P}{m}$ или $P_{\text{уд}} = \frac{q}{m \cdot t_u}$.

Удельная энергоёмкость $N_{\text{уд}} = \frac{N}{P}$ или $N_{\text{уд}} = \frac{N \cdot t_u}{q \cdot k_1}$.

Удельная материалоемкость $m_{\text{уд}} = \frac{m}{P}$ или $m_{\text{уд}} = \frac{m \cdot t_u}{q \cdot k_1}$.

Обобщенный удельный показатель энергоёмкости и материалоемкости

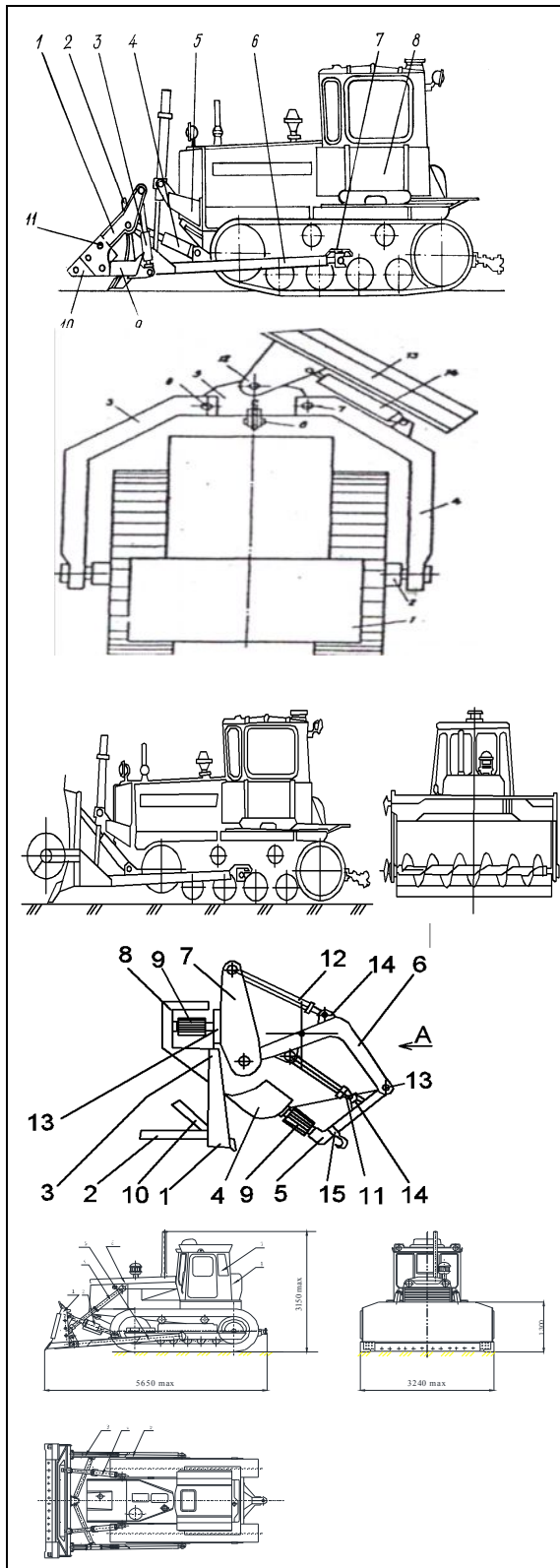
$$P_{Nm} = \frac{Nm}{P^2} \text{ или } P_{Nm} = \frac{Nm \cdot t_u^2}{q^2 \cdot k_1^2}$$

Обозначения и единицы измерения используемых параметров в показателях приведены выше (см. формулу 3.13).

Сравнение различных вариантов механизации засыпки траншей для водоводов выполнено с использованием данных изложенных выше. Результаты расчета сведены в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 - Расчетные показатели механизма

Показатели	Варианты бульдозерного агрегата				
	1	2	3	4	5
Производительность, м ³ /ч					
Удельная производительность, м ³ /ч·кг					
Удельная энергоёмкость, кВт·ч/м ³					
Удельная материалоемкость, кг·ч/м ³					
Обобщенный показатель, Вт·кг·ч ² /м ³					



1. Бульдозер – англодозер. Позволяет за счет рыхления снизить усилие резания грунта, тем самым уменьшается энергоёмкость процесса. Минимальные затраты на модернизацию РО. Время цикла составляет 6 сек.

2. Сравнительно низкая производительность, суженная функциональная возможность.

1. Бульдозер с поворотным отвалом. Более приспособлен к процессу засыпки траншеи, Время цикла составляет 4 сек.

2. Конструкция усложняется, снижается курсовая устойчивость, падает производительность

1. Бульдозер с дополнительным шнековым РО. Обеспечивает непрерывность процесса, производительность повышается.

2. Усложняется конструкция РО, низкая надежность привода при эксплуатации

1. Бульдозер с дополнительным экскаваторным РО, расширяется функциональные возможности

2. Сравнительно низкая производительность, усложнение конструкции

1. Достигается увеличение производительности, эффективное использование мощности ДВС, сравнительно низкие затраты на модернизацию, время цикла составляет 4 сек.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

1. Несмотря на быстрое развитие новых методов разработки грунтов и специализированных машин механический способ их разрушения, копания и перемещения бульдозером в ближайшем будущем останется наиболее эффективным в большинстве эксплуатационных условий, что объясняется относительной простотой конструкции бульдозеров, широкой сферой и универсальностью применения, высокой производительностью и низкой стоимостью единицы кубометра разрабатываемого грунта.
2. Установлено, что поворотный отвал в плане имеет меньшую высоту по сравнению с традиционными бульдозерами с неповоротным отвалом. Кроме того, у традиционных универсальных бульдозеров при установке под углом к направлению движения машины боковая составляющая сопротивления копанию грунта приводит к потере курсовой устойчивости, нарушению нормальной работы отдельных узлов, частым установкам бульдозера для выравнивания направления.
3. В целях совершенствования технологии земляных работ при укладке магистральных водоводов, снижение трудоемкости, сокращение ручных работ, уменьшение продолжительности производства работ рассмотрены возможные варианты расширения функциональных возможностей традиционных бульдозеров. При этом учитывался специфика засыпки траншей, належащего грунта и возможности применения новых рабочих органов, монтируемых на базовую машину.
4. На основе проведенных исследований показано, что технические возможности бульдозеров не всегда соответствуют требованиям технологии производства земляных работ, особенно по части совершенствования конструктивного исполнения рабочего органа машин, которые непосредственно взаимодействуют с разрабатываемой средой – грунтом; требует комбинирования отдельных трудоемких работ при прокладке трубопроводов, например, нужно совмещать операции засыпки траншей под трубопроводы с перемещением бульдозера при поперечно – челночной технологии засыпки траншей.
5. Рассмотрена новая конструкция бульдозерного оборудования - отвала с установкой под углом к направлению движения машины и увеличенной высотой. Такая модернизация позволяет устранить недостатки традиционных бульдозеров, соответствует выбранной технологии засыпки траншей и позволяет повысить производительность бульдозера. На основе

теоретических предпосылок и расчетов показан рост производительности машины в зависимости от параметров модернизированного отвала, а также эффективность использования мощности базовой машины при выполнении земляных работ. Результаты исследования показали, что для бульдозера Б-10М, при установке высоты отвала $h=1,95$ м (что соответствует коэффициенту $k = 1,5$) получено значение сопротивления грунта копанию, равное $P_{кон} = 143$ кН, при этом номинальная сила тяги имеет значение $T_{ном} = 137$ кН, максимальная динамическая сила тяги, соответствующая конечной стадии копания грунта, равняется $T_{оmax} = 149,5$ кН, а, следовательно, условие эффективной работы бульдозера, при котором $T_{оmax} \geq P_{кон}$, соблюдается.

6. Относительные показатели эффективности используемых средств механизации (экскаваторов и бульдозеров): производительность ($\Pi_{мак}$) минимальные энергоёмкость ($N_{yд}$) материалоемкость ($m_{yд}$) и соответствующий обобщенный показатель (Π_{Nm}), а также минимальные значения показателей коммерческой эффективности затраты в единицу времени (C) и удельной себестоимости единицы продукции ($C_{уд}$) являются функциями t_y . Поэтому предложено использовать значение времени рабочего цикла машины t_y при выборе средств механизации и их сравнении. Это позволяет рекомендовать обобщенные показатели эффективности (t_y) для оценки эффективности инновационной техники на этапе формирования задания на проектирование.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ БУЛЬДОЗЕРА С МОДЕРНИЗИРОВАННЫМ ОТВАЛОМ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВОДОВОДОВ

4.1 Экспериментальный стенд и его характеристики

Экспериментальные исследования модели модернизированного отвала бульдозера с дополнительным экскаваторным оборудованием, проводились на стенде физического моделирования рабочих процессов в лаборатории «Транспортной техники» Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова.

Основными узлами стенда являются грунтовый канал, тензометрическая тележка, механический привод, пульт управления и комплекс измерительных приборов.

Грунтовой канал выполнен в виде прямоугольного лотка размерами 800*800*6000 (рис.4.1). Несущая рама канала выполнена в виде пространственной формы, верхние пояса которой служат направляющими тензометрической тележки. Тензометрическая тележка стенда выполнена сваркой и представляет раму, которая с помощью опорных роликов смонтирована на направляющих несущей рамы. Она передвигается вдоль грунтового канала по направляющим.

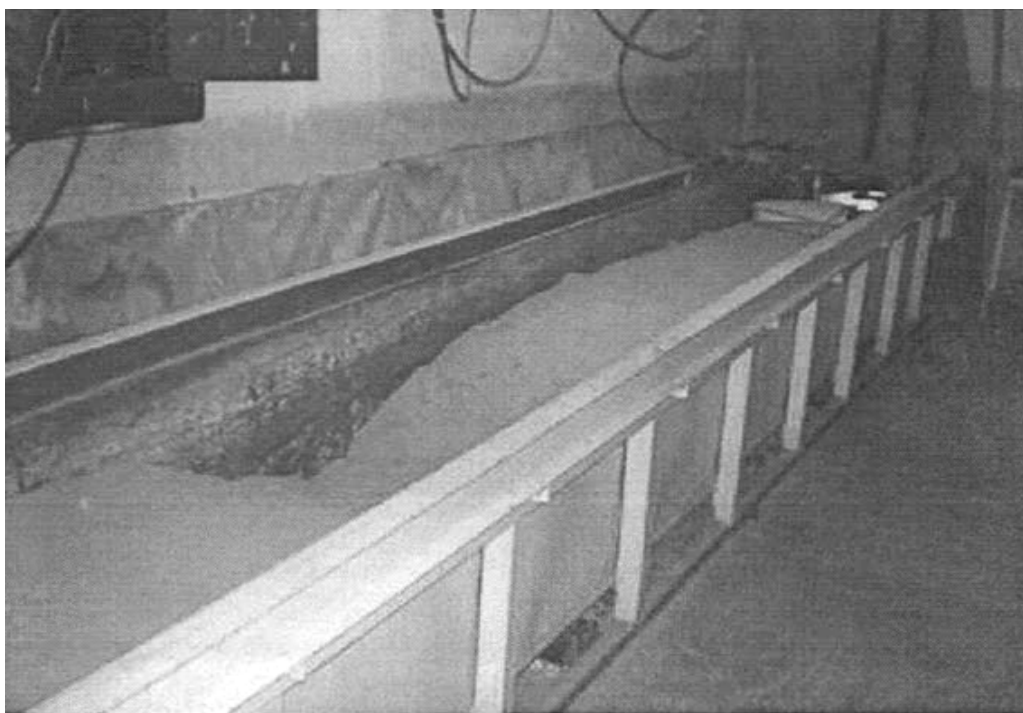


Рис. 4.1. Общий вид грунтового канала.

Механическая энергия от электродвигателя передается через карданный вал 2 к первой коробке перемены передач (КПП 1) 3, параллельно которой установлена вторая коробка перемены передач (КПП2) 4. КПП1 и КПП2 между собой соединены посредством цепной передачи. Выходной вал 5 КПП2 (рис.4.3) соединен через карданный вал с редуктором 6, установленном на лотке грунтового канала.

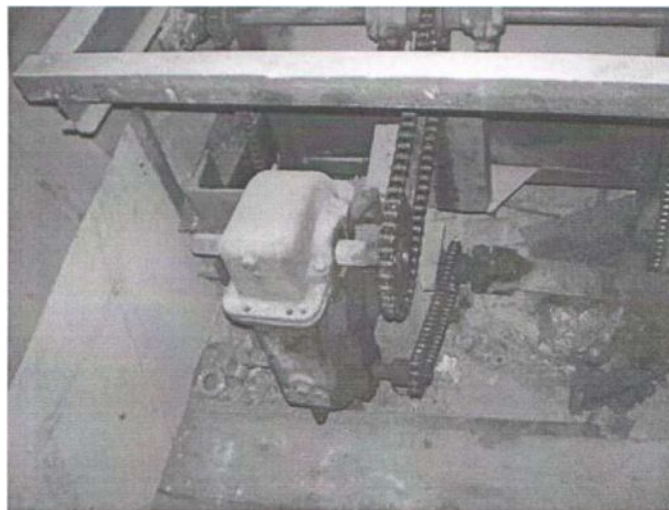


Рис. 4.3. Передаточный механизм стенда с коробкой перемены передач и редуктором.

От редуктора вращательное движение передается через цепную 7 передачу на звездочку Z_{14} , установленную на ведущем валу. При вращении ведущего вала приходит в движение рабочая ветвь тяговой цепи, к которой с помощью специального крюка соединена тензометрическая тележка.

В нижней части тележки прикрепляется разработанный отвал бульдозера (рис. 4.4), положение которого, т.е высота установки, регулируется вручную с помощью специальных болтов. Модель рабочего органа, выполненная в масштабе 1:10 смонтирована на тензометрической тележке 12 стенда. Оценка прочностных параметров эквивалентного грунта, как соответствующего реальному грунту среды, выполняется посредством динамического плотномера с увеличенной площадью наконечника /53/.

В исследовании использовались методы физического моделирования. Основой его при этом является физическое подобие изготовленной нами модели отвала, предполагающее одинаковость или сходство рабочего процесса и тождественность зависимостей функций откликов от переменных факторов. Потому как физические процессы являются подобными, если в сравниваемых объектах и системах отношение между одноименными величинами в

соответствующих точках пространства и в сходственные моменты времени равно постоянному числу.



Рис. 4.4. Физическая модель модернизированного отвала бульдозерного агрегата.

4.2 Определение физико-механических свойств грунтов

Эксперимент проводился на песке, суглинке утрамбованной поверхности из супеси. Перед началом эксперимента для каждого грунта определялись объемный вес, влажность, структурный состав и его прочностные характеристики.

Для определения объемного веса грунта была изготовлена специальное приспособление Литвинова (рис. 4.5), при помощи которой в слое грунта глубиной из 20 см отбирался образец определенного объема $V=50 \text{ см}^3$. Грунт, находящийся в гильзе прибора 2, обрезалась по торцам и выталкивалась в боксу выталкивателем 1.

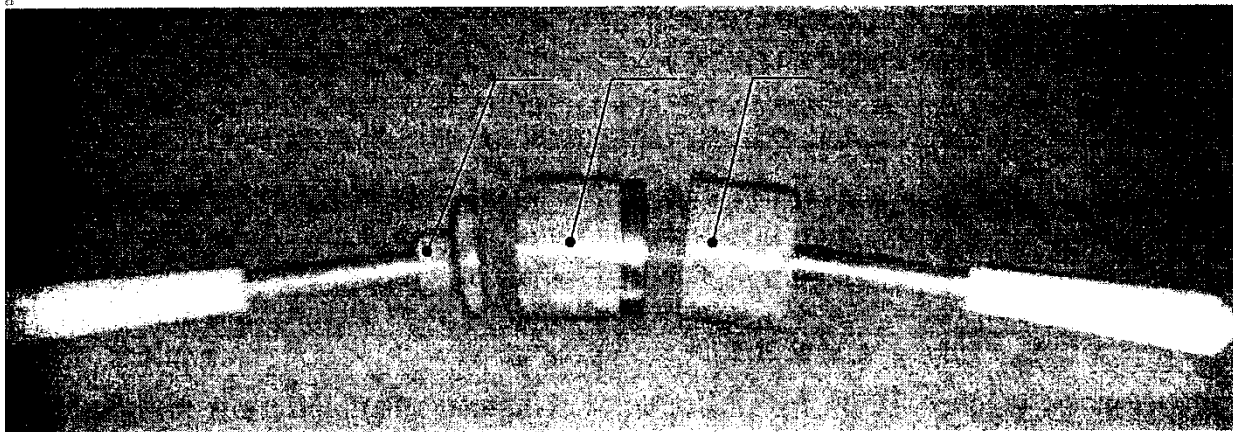


Рис. 4.5 - Приспособление для определения объемного веса грунта.

Объемный вес грунта определяли по формуле

$$\rho_{gp} = G_{gp} / V_{gp}, \quad (4.1)$$

где G_{gp} - масса образца грунта;

V_{gp} - объем образца грунта.

Для определения влажности грунта не менее чем в трех местах опытного участка на глубине 10, 15, 20 см отбиралась почва массой 30-40 г, которую сначала взвешивали и затем высушивали в сушильном шкафу при температуре 5-110°C в течение 8 часов. Отбор проб для определения влажности грунта проводился буром с навинчивающимися цилиндрами. Объем цилиндров 200 см^3 . Влажность грунта определяли по формуле

$$W = \frac{G_{gp} - G_0}{G_0} \quad (4.2)$$

где G_0 - масса высушенного образца грунта.

Структурный состав грунта определяли ситовым методом. Для этого методом квартования с целью проведения анализа отбиралась и взвешивалась средняя проба грунта. Взвешенную пробу просеивали сквозь набор сит с поддоном. Размер отверстий – 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25 мм. Фракции грунта, задержавшиеся после просеивания на каждом сите и прошедшие в поддон, переносились в заранее взвешенные стаканчики и взвешивались. Содержание в почве каждой фракции определяли по формуле

$$A = \frac{G_{\text{фр}}}{G_1} \quad (4.3)$$

где $G_{\text{фр}}$ – масса данной фракции грунта;
 G_1 – масса средней пробы грунта, взятой для анализа.

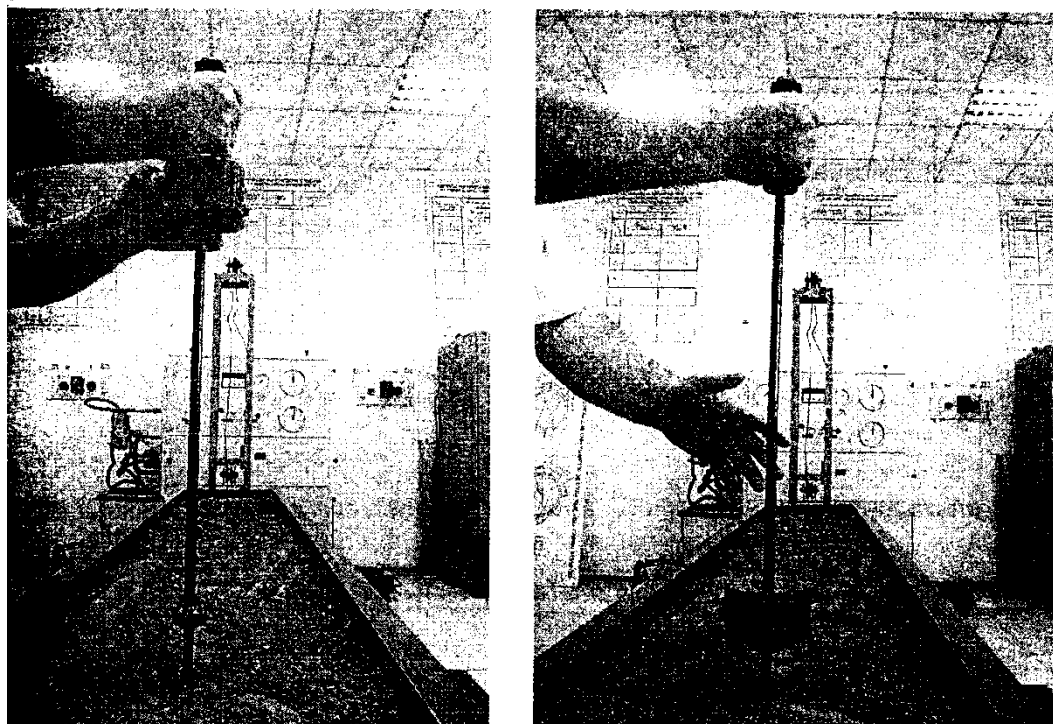


Рис. 4.6. Определение прочностных характеристик грунта динамическим твердомером ДорНИИ.

Комплект приборов и инструментов отбора проб для определения объемного веса, влажности, структурного состава грунта, включало не менее десяти пронумерованных цилиндров объемом 200 см^3 , 50 штук пронумерованных алюминиевых стаканчиков объемом 100 см^3 и колонку, имеющую набор сит с размером отверстий 10,0; 5,0; 2,0; 1,0; 0,5; 0,25 мм.

Для определения прочностных характеристик грунта использовался экспресс-метод, разработанный в МАДИ с использованием динамического твердомера – ударника ДорНИИ /81/. Ударник ДорНИИ (рис. 4.6) представляет собой простейший прибор по типу забиваемого стержня. Стержень погружается в грунт под действием ударов падающей гири. Масса гири 2,5 кг, высота ее падения 400 мм, площадь сечения стержня 1 см^2 , глубина погружения 100 мм.

При использовании этого метода определяют число ударов динамического твердомера ДорНИИ, а основные параметры грунта: сцепление - C_0 , плотность - ρ , модуль деформации - E_0 начисляется по номограммам, построенным для грунтовых условий, в которых проводятся тяговые испытания машин.

Порядок определения величин C_0, ρ, E_0 следующий:

- 1) По вычисленной величине влажности почвы W определяют число пластичности $W_n = W - 8$;
- 2) Для вычисленного W_n и данного числа ударов $C_{уд}$ по рисунку 4.7 определяют показатель консистенции B_k и сцепление грунта C_0 ;
- 3) Для данного числа ударов $C_{уд}$ и показателя консистенции B_k по рисунку 4.8 определяют угол внутреннего трения грунта ρ ;
- 4) Для найденных значений C_0 и ρ по рисунку 4.9 определяют модуль деформации грунта E_0 .

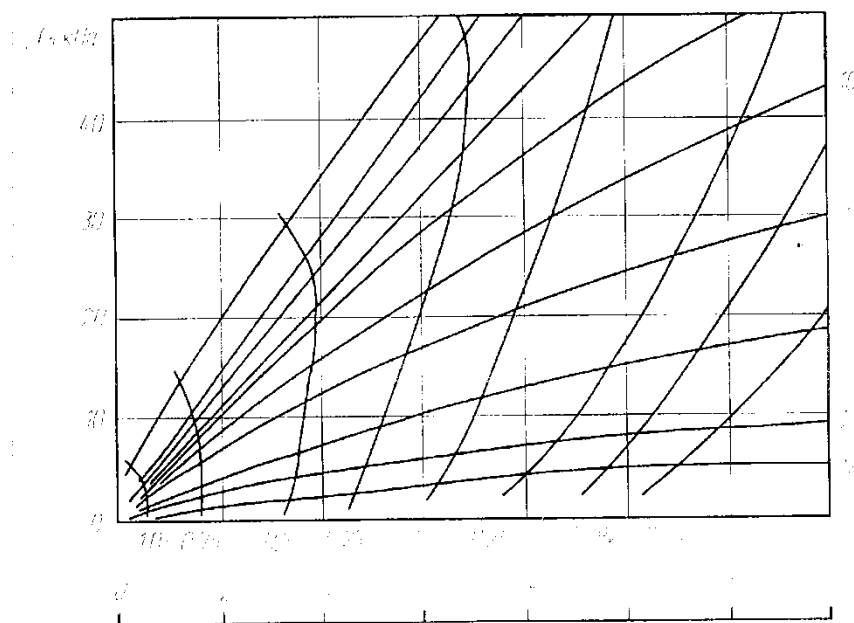


Рис. 4.7. Номограмма для определения C_0 и показателя консистенции B_k .

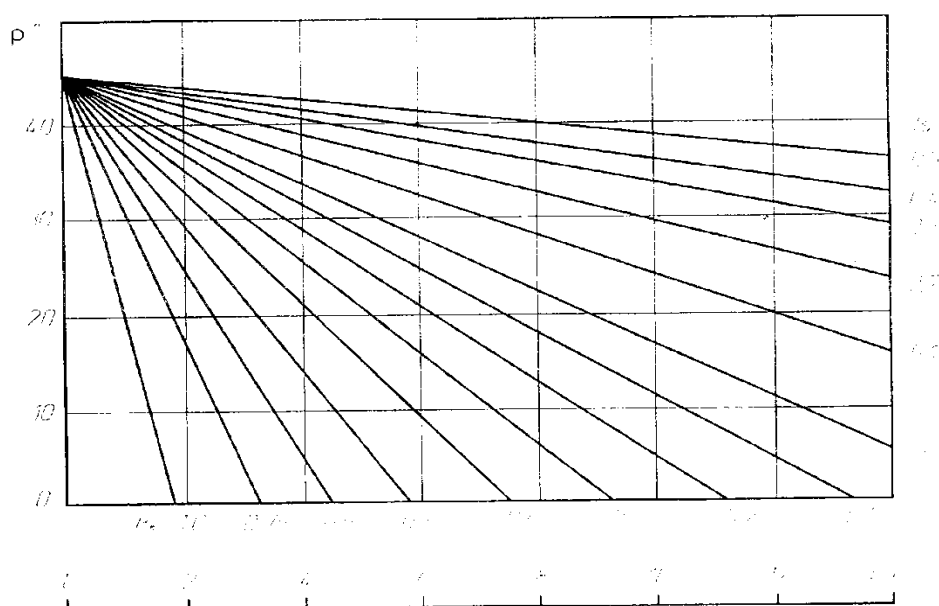


Рис. 4.8. Номограмма для определения ρ .

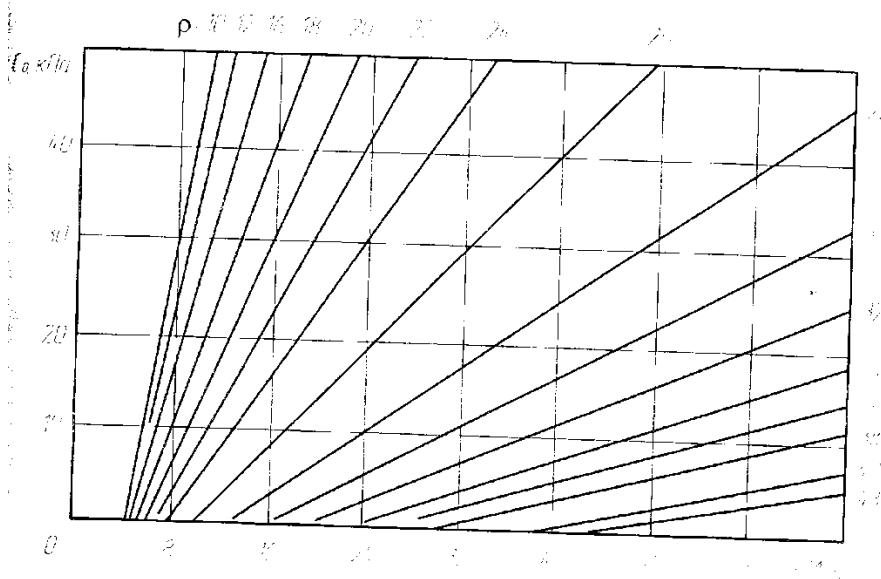


Рис. 4.9. Номограмма для определения E_0 .

4.3 Результаты изучения режимов работы модернизированного отвала бульдозера

Целью экспериментального исследования явилось оценка влияния основных факторов на геометрические параметры модернизированного отвала, обеспечивающих повышение производительности при косом копании грунта. Для достижения поставленной цели нужно решить следующие задачи:

- 1 – выбор метода исследований;
- 2 - разработка методики экспериментальных исследований;
- 3 – разработка и изготовление физической модели оборудования;
- 4 – изучение процесса копания грунта модернизированным отвалом;
- 5 – обработка и анализ результатов исследований и выработка практических рекомендаций.

Экспериментальные исследования перемещения грунта в боковые стороны и касательной составляющей сопротивления грунта копанию поворотного отвала осуществлялись в стендовых условиях методами физического моделирования [59]. Для изучения рабочего процесса и режима работы использовался грунтовый канал (рис. 4.1) с эквивалентным грунтом, свойство которого оценивался по выше изложенной методике. В качестве разрабатываемой среды были приняты грунты I - III категории, которые моделировались легкой супесью. Необходимые физико-механические

характеристики моделируемой среды достигались ее увлажнением и уплотнением.

В процессе проведения экспериментов угол резания отвала ($\gamma = 55^\circ$), имел постоянное значение, а угол установки отвала в плане, высота отвала, толщина снимаемой стружки и скорость перемещения грунта отвалом имели переменные значения (варьировались).

В результате анализа экспериментов и априорной информации определены уровни и интервалы варьирования факторов. Критериями эффективности конструкции исследуемого рабочего органа бульдозера были: величины (объем) перемещающего грунта, т.е. производительность копания и перемещения модернизированным отвалом бульдозера, оснащенного увеличенным размером по высоте.

Учитывая недостатки и преимущества различных методик планирования эксперимента, было принято решение использовать рототабельное планирование второго порядка /82/. Схема планирования в этом случае является схемой рототабельного планирования. Эта схема, кроме ортогональной матрицы планирования на двух уровнях, содержит центральные точки. Все координаты центральной точки обозначаются через 0 (ноль) (т.е. основной уровень соответствующих факторов). Кроме того, матрица включает, так называемые «звездные» точки, в которых уровни всех факторов основные, а уровень одного фактора отличается от основного на величину большую, чем интервал варьирования.

Были выбраны четыре наиболее важных факторов, определяющих протекание процесса и влияющих на значения функций отклика (P_1 и P_2). В качестве поверхности отклика принята масса перемещаемого грунта в боковую сторону модернизированного отвала, а влияющими факторами - толщина вырезаемой стружки h , высота верхней кромки отвала l_0 , угол установки отвала в плане φ_n и плотность моделируемой среды ρ , измеряемая числом ударов модели ударника ДорНИИ - С. Уровни варьирования перечисленных факторов приведены в табл. 4.1.

Значения факторов задавались настройкой режима работы стендового оборудования, а также соответствующей обработкой моделируемой среды. Измерение касательной составляющей сопротивления грунта копанию осуществлялось на стенде для физического моделирования рабочих процессов землеройных машин посредством тензодатчиков, включенных по полумостовой схеме на Γ - образном кронштейне тензометрической тележки. Усиление сигнала и регистрация осуществлялась усилителем ТА - 5 и самописцем Н 3020 - 5 /81/.

Для проведения экспериментальных исследований использовался 4-х факторный рототабельный центральный композиционный план /12/.

Таблица 4.1 - Уровни факторов и интервалы варьирования

№ п/п	Факторы	Ед. изм.	Уровни факторов					Интервал варьирования
			-2	-1		+1	+2	
1.	X ₁ - глубина копания, h	мм	5	10	15	20	25	5
2.	X ₂ - количество ударов ударника, С.	шт	3	15	7	9	11	2
3.	X ₃ - длина верхней высоты модернизированного отвала, Н	мм	0	14	28	42	56	17
4.	X ₄ - угол установки отвала в плане φ _н	град.	30	40	50	60	70	10

Обработка экспериментальных данных, позволила получить регрессионные модели, определяющие зависимость функций отклика (усилия резания) от варьируемых факторов (x₁ ...x₄):

для лобового усилия

$$P_1 = 47,25 + 2,37x_2 + 9,53x_3 - 2,38x_4 + 1,9x_1^2 - 3,44x_3^2 + 6,36x_4^2 - 1,78x_{14} - 3,57x_{24} - 2,68x_{34} \quad (4.4)$$

для бокового усилия

$$P_2 = 8,5 + 0,66x_1 + 0,66x_3 + 2,1x_1^2 + 1,85x_2^2 + 2,1x_3^2 + 1,35x_4^2 + 0,5x_{12} - 1,25x_1 + 0,75x_{14} + 0,5x_{23} - 1,5x_{24} + 1,25x_{34} \quad (4.5)$$

Переход от кодированного вида к натуральным значениям переменных осуществляется по формуле.

$$X_i = X_j E + X_{oi}, \quad (4.6)$$

где X_i - натуральное значение фактора;

X_j - кодированное значение фактора;

E - кодированное значение интервала варьирования фактора;

X_{oi} - кодированное значение фактора на нулевом уровне.

Полученные регрессионные модели позволили нам построить поверхности откликов, которые наглядно показывают зависимости функции отклика (P_1 и P_2) от варьируемых факторов.

На рис. 4.10 показаны графики зависимости функции отклика (P_1 и P_2) от угла установки отвала в плане (φ_0) и угла резания (φ_H). Как видно из этих графиков, зависимость лобового составляющего сопротивления копанию грунта (P_1) от угла установки дополнительного ножа имеет переменный характер.

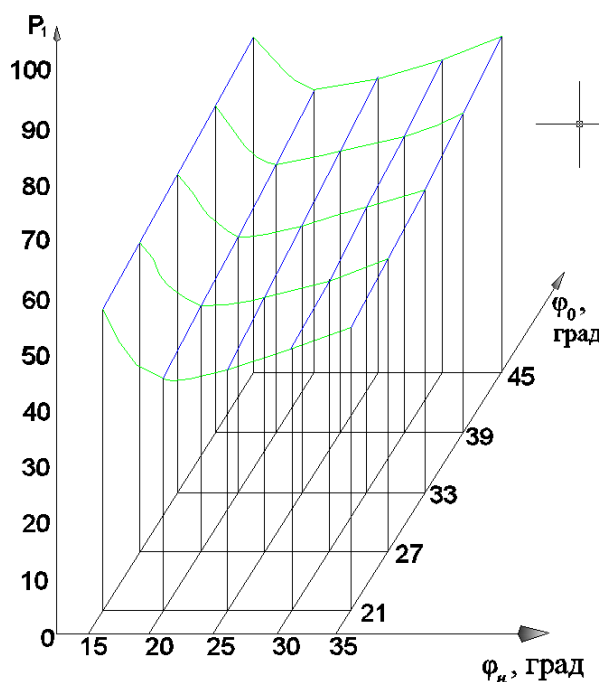


Рис. 4.10. Зависимости лобового усилия резания P_1 от угла установки отвала в плане (φ_0) и угла резания (φ_H).

При минимальном значении угла φ_H (15°) наблюдается наибольшее значение P_1 что объясняется слабым влиянием этого фактора на снижение сопротивления грунта копанию из-за малости угла его установки.

С увеличением значения угла φ_H происходит достаточно интенсивное снижение P_1 , достигая наименьшего значения при угле $\varphi_H = 20^\circ$, которое можно объяснить проявлением эффекта косога резания грунта. При дальнейшем возрастании φ_H значение P_1 начинает плавно расти, что связано с увеличением длины дополнительного ножа, которое оказывает влияние на рост сопротивления более существенно нежели снижение его за счет косога резания.

В нашем случае зависимость P_1 от угла установки отвала в плане φ_0 имеет линейный характер и в области исследованного диапазона (от 210 по

450) значение P_1 постоянно возрастает. Это объясняется слабым сдвиганием грунта вдоль отвала при малых углах установки отвала в плане φ_0 и увеличением объема призмы волочения (при больших углах φ_0) за счет роста длины отвала, которые способствует росту P_1 .

Зависимость бокового составляющего сопротивления копанию грунта P_2 от углов установки отвала в плане φ_0 и дополнительного ножа $ср_u$ представлены на рис. 4.11. Следует отметить, что P_2 имеет четко выраженную область минимального значения при определенном диапазоне изменений значений φ_0 и φ_H . Таким образом, при углах $\varphi_0 = 27^\circ \dots 39^\circ$ и $\varphi_H = 20^\circ \dots 30^\circ$ наблюдается наименьшее значение P_2 .

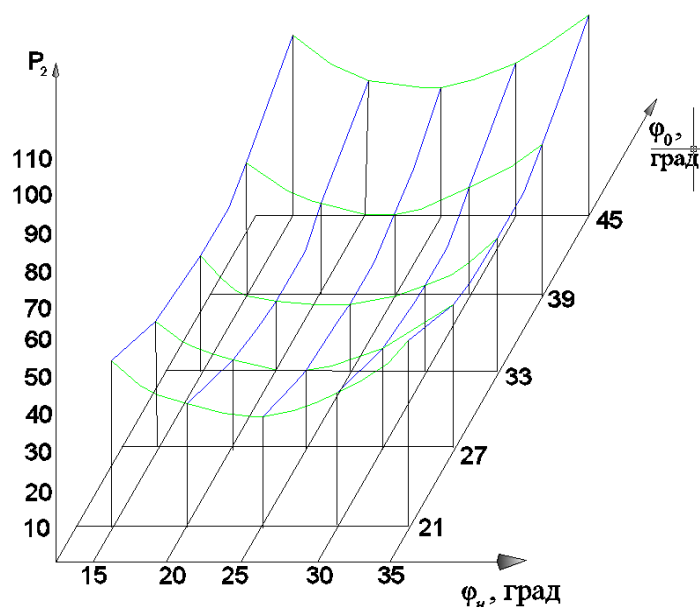


Рис.4.11. Зависимость бокового усилия резания P_2 от угла установки отвала в плане (φ_0) и угла резания (φ_H).

Экспериментально нами установленное значение угла установки отвалов в плане (φ_0), где проявляется наименьшее значение P_2 (при $\varphi_0 = 27^\circ \dots 39^\circ$), хорошо согласуется с результатами исследований предшествовавших авторов, где констатируется энергоёмкость косо́го копания отвалом с параметрами, обеспечивающими наиболее интенсивный сход грунта отвала, в 2-3 раза меньше энергоёмкости лобового копания при угле захвата отвала $30 \dots 40^\circ$. При угле $\varphi_H = 15^\circ$ значение P_2 остается существенным и с увеличением этого угла до 25° происходит постоянное снижение P_2 достигая наименьшего значения. При дальнейшем росте φ_H наблюдается увеличение значения P_2 .

В условиях наличия дополнительной установки на отвале зависимость лобового усилия резания P от скорости резания (v) (рис. 4.12) качественно совпадает с известными результатами исследований. В пределах исследуемого диапазона скорости резания значение лобового усилия резания P_1 имеет незначительное изменение, что подтверждает сходство с результатами исследований, где увеличение скорости (v) в пять раз (с 0,4 до 2,0 м/с) привело к возрастанию всего на 12% сопротивления копания грунта сельскохозяйственным плугом P_k .

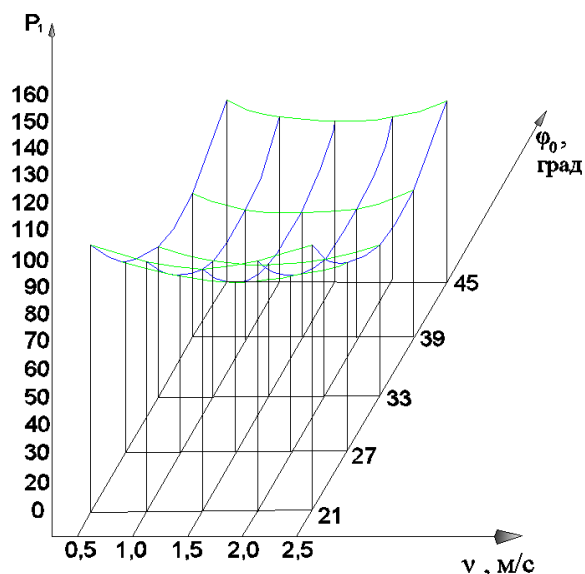


Рис. 4.12. Зависимости лобового усилия резания P_1 от угла установки отвала в плане (ϕ_0) и скорости резания (v).

В другом случае при увеличении (v) в 4 раза привело к приросту усилия P_k только на 11,5%. Следовательно, можно сделать вывод о том, что при использовании дополнительного упорного ножа при увеличении скорости резания грунта от 0,5 до 2,5 м/с не оказывает существенного влияния на рост лобового усилия резания P_1 .

Угол установки отвала в плане (ϕ_0), при его увеличении от 21° до 45° , приводит в начале к снижению лобового усилия резания P_b , а потом в возрастанию. Это объясняется тем, что с ростом угла установки отвала, до определенного значения этого угла, наблюдается положительное влияние косого резания, которое обеспечивает снижение общего сопротивления копания грунта. При дальнейшем увеличении значения этого угла оказывает на рост сопротивления копания, так как при постоянной ширине захвата отвала ($B=const.$) значительно увеличивается длина отвала.

Кроме того, имеются следующие сведения о влиянии косо́го резания на процесс копания грунта: по данным работы В.А. Бахмутова и И.А. Недорезова, удельное сопротивление резанию при уменьшении угла захвата от 90 до 30—20° убывает, по данным З.Е. Гарбузова возрастает, а по данным А.Н. Зеленина и Л.В. Красильникова может либо возрасти, либо убывать в зависимости от соотношения высоты ножа и глубины резания.

В пределах угла установки отвала в плане $\varphi_0=30^\circ\dots36^\circ$, наблюдается максимальное снижение лобового усилия резания P_l . Таким образом, несмотря на увеличение высоты отвала с ростом угла его установки в плане, имеется диапазон изменения этого угла, где наблюдается максимальный эффект от косо́го копания грунта. Этому эффекту можно найти подтверждение в работе //, где говорится, что энергоёмкость косо́го копания отвалом с параметрами, обеспечивающими наиболее интенсивный сход грунта с отвала, в 2...3 раза меньше энергоёмкости лобового копания при угле захвата 30...40°.

Определение массы потерь в боковые стороны осуществлялось путем тщательного подбора и взвешивания. Обработка полученных данных позволила получить регрессионную зависимость массы грунта, перемещаемые в боковые стороны в виде отклика функции (4.7) при поименованных значениях учтенных факторов.

$$m_n = 18,528 - 4,062 X_1 + 1,629 X_2 - 2,270 X_3 + 3,487 X_4 + 1,702 X^2 - 0,718 X_2 + 0,706 X_3 - 1,193 X_4 + 0,414 X_1 X_2 - 0,193 X_2 X_4 + 0,389 X_3 X_4 - 0,843 \quad (4.7)$$

Анализ результатов показал, что оснащение поворотного отвала дополнительным элементом, повышающую высоту позволяет существенно уменьшить потери грунта и повысить производительность работы. Наибольшее влияние на перемещаемую массу грунта оказывает угол установки отвала в плане, определяющий полосу обхвата грунта при засыпке или перемещении. Вторым по значимости фактором, влияющим на величину перемещаемой массы грунта, является дополнительная высота, выставляемая дополнительными элементами.

Учитывая тяговые возможности и требования по минимизации продольных параметров рабочего органа бульдозера, без существенного снижения его накопительной способности можно рекомендовать форму модернизированного отвала, с высотой выдвижения в пределах 1,0...1,5 м и углом наклона отвала в плане в пределах 40°... 50°.

Глубины копания приводит к изменению энергоёмкости бульдозерного агрегата. Это объясняется тем, что на величину перемещаемого грунта в

боковые стороны существенное влияние оказывает состояние грунта, определяемое ударником ДорНИИ, высота отвала (рис. 4.13), обуславливающая увеличение объема перемещаемого грунта. Максимизация высоты позволит существенно повысить объем грунт, перемещаемое в боковые стороны.

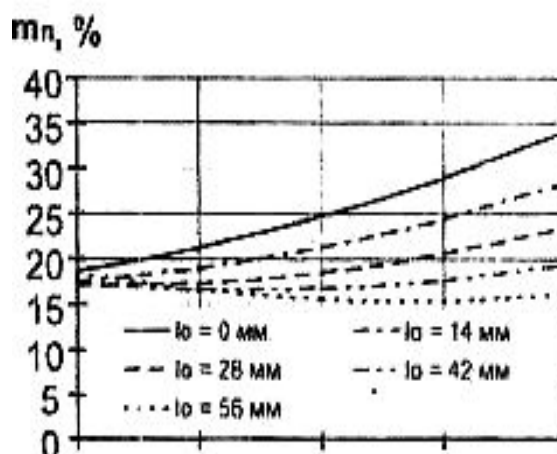


Рис. 4.13. Графики зависимости массы грунта в функции от глубины резания (а), и от высоты отвала (б).

Таким образом, учитывая состояние грунта (его разрыхленность при копании траншеи, отсутствие процесса резания грунта при обратной засыпке траншеи), позволяет интенсифицировать земляные работы при помощи бульдозерного агрегата, за счет применения поворотного модернизированного отвала с изменяющей высотой, тем самым расширяется технологические возможности традиционных бульдозеров.

В процессе проведения экспериментов изучались также силовые параметры при использовании модернизированного отвала бульдозера. При этом скорость копания V , число ударов ударника ДорНИИС и толщина срезаемой стружки h были постоянными, угол резания отвала колебался в пределах $\gamma - 45^\circ \dots 75^\circ$. Эффективность конструкции отвала была определена по горизонтальной составляющей грунта копанию P_1 и коэффициенту динамичности K_d ;

На графике (рис. 4.14) представлена зависимость удельного сопротивления копанию грунта от скорости резания. В пределах исследованного диапазона скоростей наблюдается то, что с увеличением скорости резания резко возрастает удельное сопротивление (в нашем случае более чем в 3 раза), ни на каком участке кривой не происходит изменение ее характера.

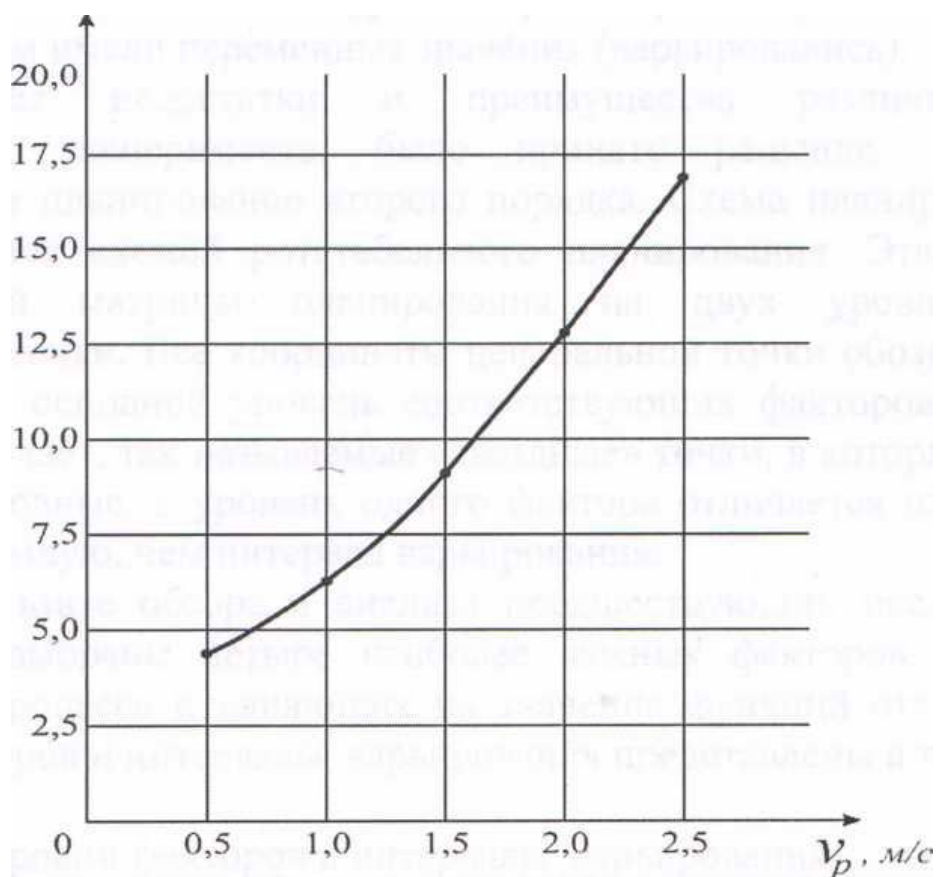


Рис. 4.14. Зависимость удельных сопротивлений копанию грунта от скорости продвижения бульдозера. *Примечание:* опыты проводились при: $\omega=15\%$; $\alpha_{от}=33^\circ$; $h=12$ мм; $\alpha_{дн}=25^\circ$.

Результаты опытов качественно совпадают с результатами, полученными проф. А.Н. Зелениным при резании суглинка при скорости от 1 до 4 м/с. Этот факт свидетельствует о корректности проведенных нами опытов. Опыты проводились при глубине резания 12 мм и угле установки дополнительного ножа 25 градусов, отвала - 33 градуса.

Степень подвижности определялась следующим образом:

- для угловых параметров она считается равной единице, если числовая величина угла превышает 2л, т.е. 360° ,
- для линейных - если превышает базовый размер.

Например, угол резания отвала бульдозера может изменяться от 25° до 60° . Тогда степень его подвижности по углу резания будет $(60-25)/360 = 0,097$. Угол перекоса изменяется на $\pm 12^\circ$, т.е. на величину в 24° , тогда степень=0,02.

4.4 Методика проведения и результаты производственных испытаний

Исследования процесса копания грунта с использованием бульдозера с отвалом, оснащенного дополнительным упорным ножом на базе трактора Т-130.1.Г.1 (испытания) проводились летом 2015 года на территории аула Колтоган Жуалынского района Жамбылской области. Работы были совмещены с выполнением проекта по строительству нового водопровода для сельского населенного пункта. Протяженность водовода составляет 2,988 км, а разводящей водопроводной сети - 6,740 км /31/.

Территория объекта испытания расположена в III климатическом районе, который характеризуется резко выраженной континентальностью проявляющейся в частых и резких сменах суточных и годовых температур воздуха /15/. Среднемноголетняя температура воздуха составляет +6,7°C, абсолютная максимальная +42°C, минимальная -43°C. Расчетная температура воздуха -24°C. Господствующими ветрами являются северо-восточные и юго-западные. Годовая сумма осадков составляет 300...450 мм. Наибольшее количество атмосферных осадков приходится на весенний и осенний периоды года.

В пределах описываемой территории подземные воды приурочены к различным по возрасту генезису и литологическому составу породам и характеризуются различными гидрогеологическими особенностями. Из всех опробованных водоносных горизонтов, наиболее перспективным для водоснабжения является водоносный горизонт зон тектонических нарушений, перекрытых рыхлыми четвертичными отложениями и каменноугольные отложения, представленные кремнистыми, трещиноватыми, карстовыми известняками.

Согласно инженерно-геологическим изысканиям, по СНиП IV-5-82 грунты на объекте строительства относятся к группам 1...3 по трудности разработки. По проекту была предусмотрена разработка и засыпка траншеи безкреплений (объемы земляных работ рассчитаны с учетом допустимой крутизны откосов в грунтах естественной влажности). Следует заметить, что при засыпке траншеи мы имеем дела с залежавшим разрыхленным грунтом, категоричность разработки которого не выше второй группы.

Разработка траншей и котлованов осуществляются одноковшовыми экскаваторами с ковшом емкостью 0,25...0,50 м, оборудованные обратной лопатой. Во время работы экскаваторы передвигаются на уровне естественной поверхности земли, разрабатывая грунт ниже гусениц и

укладывая его в отвал. Засыпка траншей осуществлялась в два приема. До проведения предварительного испытания уложенного трубопровода на герметичность и прочность, трубопровод был засыпан грунтом на высоту 0,2...0,3 м выше трубы. Одновременно с присыпкой было произведено уплотнение грунта в пазухах между стенками труб и траншей при помощи трамбовок. По окончании предварительного испытания присыпанного трубопровода траншея была подвергнута полной засыпке бульдозером. Необходимости в водоотливе из траншей и котлованов не было.

Отвал бульдозера ДЗ-109 с дополнительной высотой был спроектирован, изготовлен на основании проведенных экспериментальных исследований на стенде физического моделирования /39/. В целом, базовый бульдозер состоит из трактора Т-130 с механизмом подъема, рамы рабочего органа и отвала. Модернизация отвала осуществлено путем наращивания высоты отвала.

Бульдозер с экспериментальным рабочим органом работает таким образом. Первоначально устанавливаются под определенную высоту и под оптимальный угол к оси движения машины отвал. В процессе работы бульдозера перемещение грунта, накопление транспортируемого грунта и его перемещение в сторону осуществляется при помощи отвала. Основной целью полевых испытаний была проверка возможности повышения эффективности бульдозера, оснащенного модернизированным рабочим органом. Достижение этой цели осуществлялось путем постановки сравнительных опытов при работе данного бульдозера с отвалом традиционного типа.

Исходя из этого, полевые испытания были направлены для решения следующих задач:

- установить количественную картину возможного повышения технологической возможности бульдозера рассматриваемого типа;
- определить: влияние угла установки отвала в плане на курсовую возможность, возможность стабилизации курсовой устойчивости при сдвигании грунта в сторону вдоль увеличенного по высоте отвала, техническую производительность, рациональные рабочие параметры процесса.

Работоспособность и эффективность применения рабочего оборудования оценена по результатам проведенных сравнительных эксплуатационных испытаний бульдозера ДЗ-109 с указанным видом отвала в сопоставлении с традиционным рабочим органом.

Периодически перед началом экспериментов контролировалась массовая относительная влажность грунта. Для этого в различных точках

вдоль траншеи (насыпи) брались пробы грунта. Определение его влажности производилось по разработанной методике (см.п. 4.3). Оценка прочностных параметров разрабатываемого грунта выполнялась посредством динамического плотномера с увеличенной площадью наконечника ($F=2,54 \text{ см}^2$).

Перед проведением экспериментов и в ходе их производилась тарировка тензометрического элемента путем подвешивания к нему эталонных грузов. Измерение глубины копания, параметров поперечного сечения грунта на участке с установившимся режимом работы выполнялось с помощью измерительного инструмента.

В качестве критерия оценки принята горизонтальная составляющая сопротивления грунта резанию. Изменение касательной составляющей сопротивления грунта копанию осуществлялось с помощью тензодатчиков, наклеенных на стойку, с передачей сигнала на шлейф осциллографа. Одновременно наблюдалась картина процесса разработки грунта путем замеров, зарисовок и фотографирования. Измерение исследуемых параметров отвала производилось на установившемся режиме работы при помощи комплекта тензоаппаратуры, включающего блок питания, усилитель - 8АНЧ-7М и осциллограф – Н-044.1 (рис.4.15).

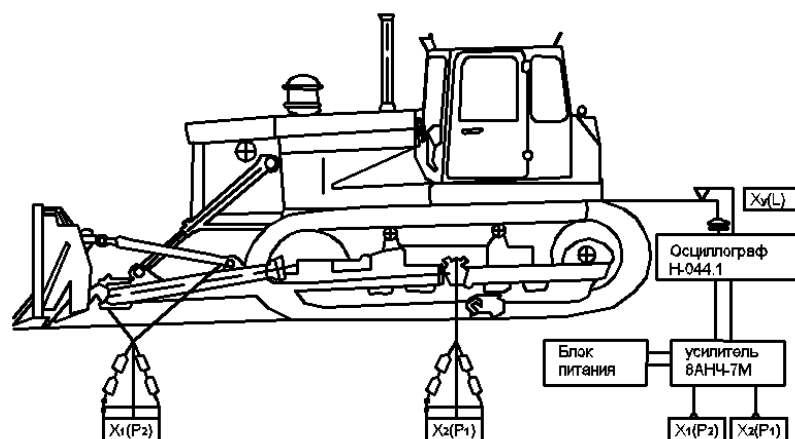


Рис.4.15 Схема установки измерительной аппаратуры.

Определение производительности за 1ч эксплуатационного и сменного времени проводилось по контрольным сменам в условиях, принятых у потребителей /14/. При отклонении результатов более чем на 10 % агрегат использовался дополнительно в третью контрольную смену.

Удельный расход топлива на единицу разработанного грунта g в килограммах на метр кубический в конкретную смену рассчитывался по

известной методике /102/. В ходе сравнительных испытаний опытного образца бульдозера, исследовалось изменение величины тягового усилия копания грунта отвала.

Копание супесчаного грунта I категории с объемной массой 1,6...1,7 т/м и влажностью 10...14% проводилось с постоянной толщиной стружки 12 см на всем участке.

Если в ходе лабораторных исследований, на физических моделях процесс перемещения грунта доводился до установившегося режима, который характеризовался достижением предела накапливающей способности отвала с дополнительным ножом, то при испытаниях натурального образца бульдозера объем призмы волочения при засыпке траншей был ограничен тяговыми возможностями базовой машины. Ниже на рис. 4.16 приведен график зависимости технической производительности P_T от высоты отвала H_0 , полученный для бульдозера Б-10М для различных значений коэффициента k . Они построены по зависимостям, рассчитанные по формулам (3.1-3.3) и сведённых в таблицу 3.3

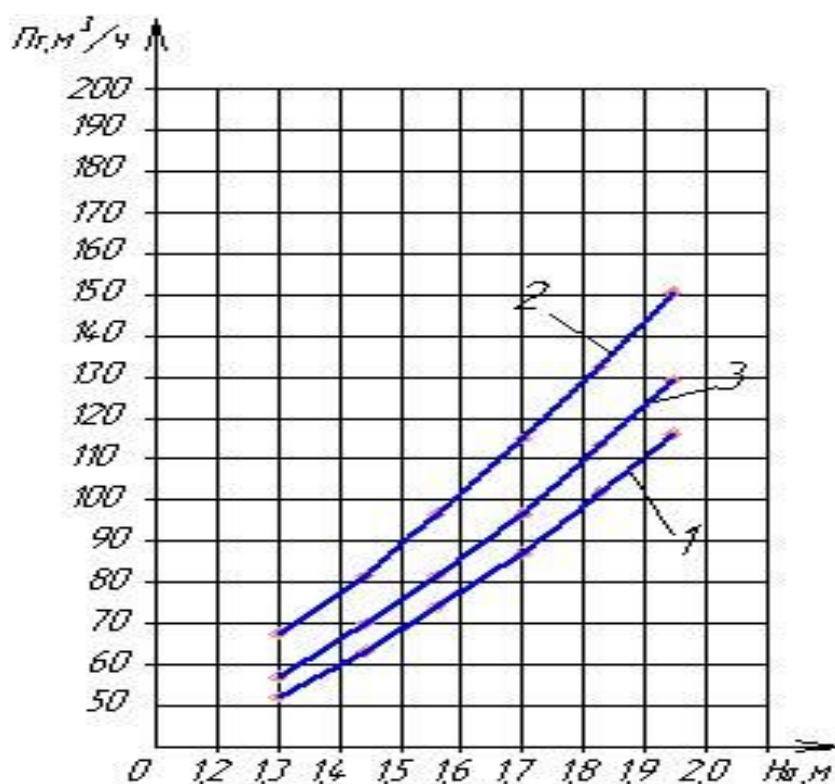


Рис.4.16. График зависимости технической производительности P_T бульдозера от высоты отвала H_0 для бульдозера Б-10М:

1 - при разработке глины; 2 - при разработке суглинка; 3 - при разработке супеси.

Значения рабочих скоростей, необходимые для расчета времени рабочего цикла, были приняты из тяговой характеристики бульдозера Б-10М.

Здесь же приведены результаты экспериментальных исследований, полученные при испытании натурального образца машины в подконтрольных испытаниях. Глубины копания приводит к изменению энергоемкости бульдозерного агрегата. При перемещении грунта эту величину можно обеспечить без изменения. Это объясняется тем, что на величину перемещаемого грунта в боковые стороны существенное влияние оказывает состояние грунта, определяемое ударником ДорНИИ, высота отвала (рис. 4.13), обуславливающая увеличение объема перемещаемого грунта. Максимизация высоты отвала существенно повышает объем грунта, перемещаемое в боковые стороны.

Сопоставление показало, что усилие копания грунта по данным, полученным на модели, с усилиями, зарегистрированными в процессе испытания натурального образца, совпадают с незначительным отклонением, что свидетельствует об адекватности проведенных исследований.

В качестве критерия оценки был использован горизонтальное усилие копания и курсовая устойчивость машины в процессе работы с повернутым отвалом. По результатам проведенных исследований построен график зависимости лобового и бокового усилий от углов установки отвала и дополнительного упорного ножа.

Как показали исследования, на режим нагружения рабочего оборудования бульдозера значительное влияние оказывает значение угла установки отвала и размеры последнего (рис.4.17).



Рис. 4.17. Фрагмент засыпки траншеи с использованием бульдозера с увеличенным отвалом.

Следует отметить, что оборудование отвала бульдозера с дополнительным высотой в указанных интервалах ($H_{np}/H_H=1,0...1,5$) по сравнению с традиционным рабочим органом наряду с повышением производительности существенно улучшает условия работы и снижает коэффициент динамичности до 30%. Этот показатель с увеличением прочности и неоднородности грунта возрастает, тем самым обеспечивает увеличение срока службы машины.

Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований процессов копания и перемещения грунта бульдозером, оснащенным с модернизированным отвалом, позволил обоснованно подойти к определению объема призмы волочения.

4.5 Рекомендации по проектированию бульдозерного агрегата с модернизированным отвалом при засыпке траншей грунтом

При проектировании аналогичной исследуемой машины следует исходить из того, что усовершенствования технологии земляных работ и рабочего органа бульдозерного агрегата была произведена в целях увеличения габаритных размеров и обеспечения повышения производительности при минимальной энергоемкости. Конструктивная схема бульдозерного агрегата показана на рис. 4.18.

Как видно из рисунка на бульдозерах с поворотным отвалом отвал 3 к раме 10 крепят в средней части с универсальным шарниром, а по краям с помощью толкающих брусьев 11. Рама шарнирно соединена со штоками двух наклонных гидроцилиндров 4, подвешенных на боковинах броневых щита трактора, укрепленных не его лонжеронах болтами. Подымают и опускают отвал так же, как у бульдозеров с неповоротным отвалом, поворот отвала в плане осуществляют гидроцилиндрами 12, изменение высоты модернизированного отвала – гидроцилиндрами 7.

Схема гидропривода бульдозера на базе трактора Т-130М приведена на рис. 4.19: 1, 9 - насосы; 2, 12 - манометры; 3 - предохранительный клапан; 4 - гидрораспределители с электрогидравлическим управлением; 5 - дроссели с обратными клапанами; 6 - гидроцилиндры с ручным управлением; 7 – гидроцилиндры изменения высоты отвала; 8 - трехзолотниковый гидрораспределитель; 10 - термометр; II - гидробак; 13 - фильтр с переливным

клапаном; 14 - гидроцилиндр переноса отвала; 15 - обратный клапан. Бульдозер выполнен с рыхлителем и предназначен для выполнения землеройных, планировочных и рыхлительных работ в строительстве. Использование двухпоточного гидропривода сокращает время установки отвала в требуемый режим, облегчается управление ими, повышается производительность, машинист меньше устает при их изменении, повышается точность установки этих углов, точнее и легко регулируется взаимное значение их, и т.п.

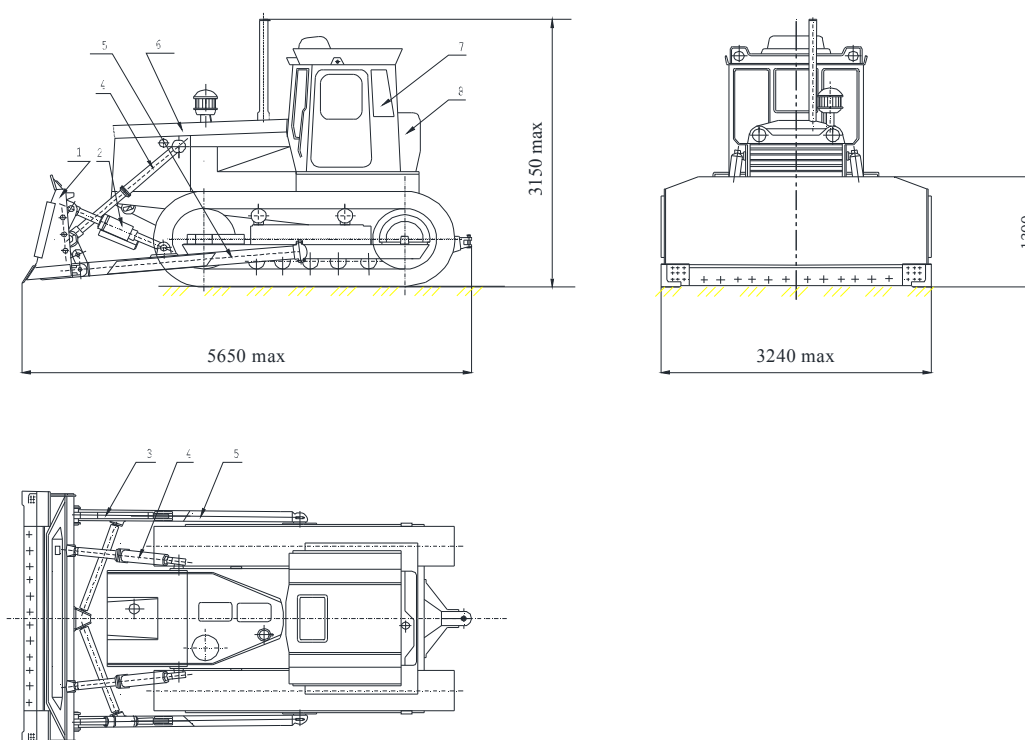


Рис. 4.18. Конструктивная схема бульдозерного агрегата с модернизированным отвалом.

Подобные машины дополнительно оснащают электрогидравлической системой автоматического управления подъемом-опусканием и перекосом отвала, что повышает производительность и качество планировочных работ. Эта система обеспечивает виданное положение отвала бульдозера относительно горизонтальной плоскости в продольном и поперечном положении автоматическим управлением включает в себя два насоса постоянной производительности. Насос 9 нагнетает рабочую жидкость из гидробака в трехзолотниковый гидрораспределитель с автоматическим управлением (см. рис. 4.19) включает в себя два насоса постоянной производительности. Насос 9 нагнетает рабочую жидкость из гидробака в трехзолотниковый гидрораспределитель с ручным управлением. Каждый золотник имеет четыре

фиксированных положения: нейтральное, подъем, опускание и плавающее. В плавающем положении оба полости гидроцилиндра соединены со сливом и рабочий орган свободно перемещается под действием внешней силы.

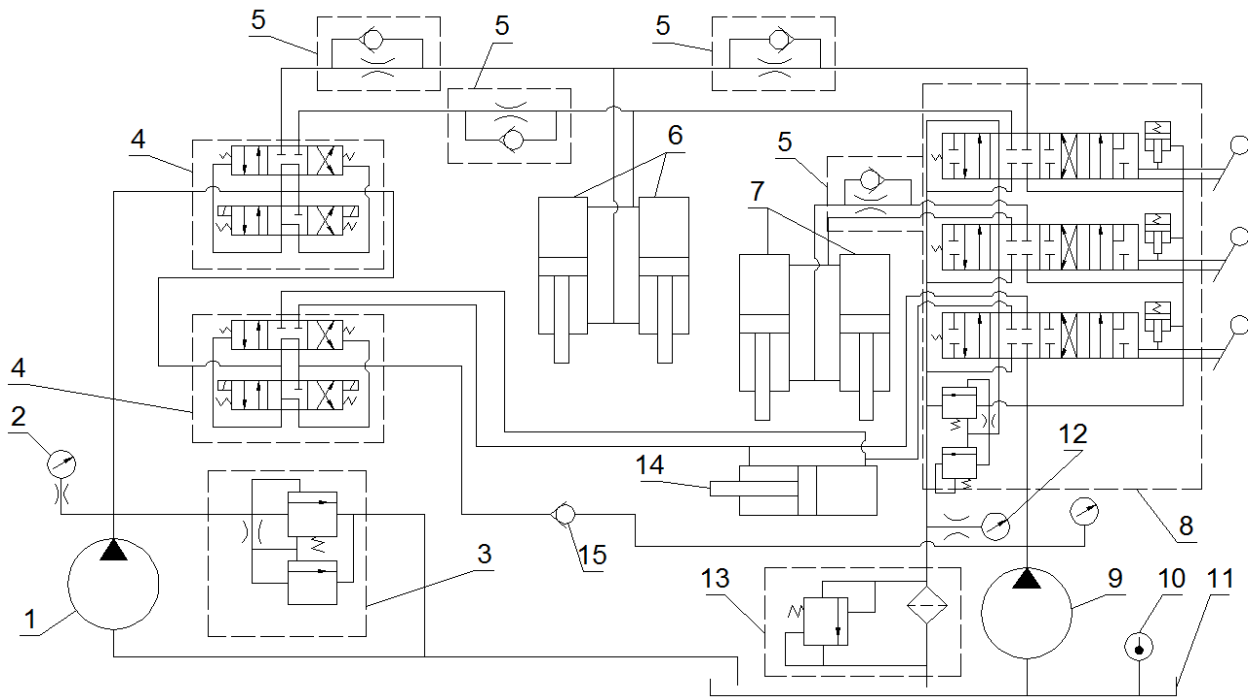


Рис. 4.19. Схема гидропривода модернизированного бульдозера:

1, 9- насосы; 2, 12 - манометры; 3 - предохранительный клапан; 4 - гидрораспределители с электрическим управлением; 5 - дроссели с обратными клапанами; 6 - гидроцилиндры с ручным управлением; 7 - гидроцилиндры увеличения высоты отвала; 8 - трехзолотниковый гидрораспределитель; 10 - термометр; 11 - гидробак; 13 - фильтр с переливным клапаном; 14 - гидроцилиндр переноса отвала; 15 - обратный клапан.

Во всех включенных положениях золотники удерживаются фиксаторами. В конце хода гидроцилиндров, когда давление в напорной гидрوليнии распределителя возрастает, происходит расфиксация золотников и их возврат в нейтральное положение под действием возвратной пружины. В парораспределитель 8 встроен предохранительный клапан непрямого действия, который одновременно выполняет функции разгрузочного клапана. При нейтральном положении всех золотников гидрوليния управления предохранительным клапаном соединяется со сливом, клапан открывается, и ее напорная гидрوليния соединяется со сливной. При включении любого золотника гидрوليния управления предохранительным клапаном

отсоединяется от слива, клапан закрывается и выполняет функции только предохранительного.

Подъем и опускание отвала осуществляют гидроцилиндрами 6, перекоп отвала - гидроцилиндром 14, а изменение высоты отвала, путем подъема и опускание нового элемента отвала гидроцилиндрами 7. На гидролиниях между гидрораспределителем 8 и штоковыми полостями гидроцилиндров 6 и 7 установлены дроссели с обратными клапанами, которые свободно пропускают поток рабочей жидкости на подъем рабочих органов и ограничивают скорость их опускания.

Для автоматического управления отвалом бульдозера установлен насос I, в напорной линии которого расположены предохранительный клапан и гидрораспределители с электрогидравлическим управлением. Для ограничения распределителей 4 установлены дроссели с обратными клапанами 18.

При отсутствии команды на автоматическое изменение положения отвала золотники гидрораспределителей находятся в нейтральном положении, и поток рабочей жидкости через эти последовательно соединенные гидрораспределитель и обратный клапан поступает в напорную гидролинию насоса 9. Таким образом, при ручном управлении исполнительными органами гидрораспределителем 8 их скорость определяется суммарной производительностью насосов I и 9, а при автоматическом управлении гидрораспределителя 4 - производительностью одного насоса I.

Автоматическое управление осуществляется с помощью маятникового датчика, который подает электрический сигнал на включение гидрораспределителей 4 с электрогидравлическим управлением при изменении положения отвала относительно заданного. После возвращения отвала в заданное горизонтальное положение маятниковый датчик включает электромагниты распределителей, и движение отвала прекращается.

Для очистки рабочей жидкости от загрязнений в гидросистеме на сливной гидролинии установлен фильтр 13 со встроенным переливным клапаном. О степени загрязнения фильтра и необходимости его замены или очистки можно судить по показаниям манометра 12. Для контроля за давлением в напорной гидролинии насосов установлены манометры 2. Температуру рабочей жидкости в гидробаке контролирует дистанционный термометр.

Предлагаемая технология засыпки траншеи грунтом косопоперечными параллельными проходами бульдозера с модернизированным отвалом сводится к следующему.

При засыпке трубопровода необходимо обеспечить плотное прилегание трубопровода ко дну траншеи. В щебенистых грунтах, а также

сухих комковатых и мерзлых грунтах трубопроводы укладывают в траншею на подсыпку из мягкого грунта толщиной не менее 10 см над выступающими неровностями основания траншеи, и таким же грунтом присыпают над верхней образующей на 20 см. В местах с уменьшенной полосой отвода рекомендуется выполнять косопоперекрестными или косопоперечными параллельными проходами бульдозера (рис. 4.20).

Из рисунка видно, что площадь отвала, из которого забирают грунт, разбивается на отдельные, последовательно разрабатываемые участки. Бульдозер подходит к краю отвала с его торца под некоторым углом, забирает грунт на участке I и после перемещения его в траншею проходит к следующему участку II. Грунт с участков II, IV, VI перемещают в траншею поперечными проходами бульдозера, а с участков I, III, V, VII - косыми.

Такой способ работ сокращает длину проходов груженого бульдозера и улучшает условия набора грунта. При этом засыпка траншей с уложенными трубопроводами должна производиться в два приема:

1) сначала мягкими грунтами (песчаным, глинистым, за исключением твердых глин, природными песчано-гравийными слоями без крупных включений) засыпаются и подбиваются прямки и пазухи одновременно с обеих сторон, а затем траншея засыпается указанным грунтом на 0,2 выше верха труб с обеспечением сохранности труб, стыков и изоляции; при этом грунт отсыпается слоями и уплотняется ручными и навесными электротрамбовками, для трубопроводов из керамических, асбестоцементных и полиэтиленовых труб высота слоя засыпки грунта над трубой должна быть 0,5 м;

2) последующая засыпка траншеи производится после испытания трубопроводов любым грунтом без крупных включений (200 и > мм) механизированным способом; при этом должна обеспечиваться сохранность труб.

В результате производственных испытаний установлено, что бульдозерный агрегат с модернизированным отвалом обеспечивает повышение производительности до 23...35% за счет увеличения объема призмы волочения и сохранения курсовой устойчивости при поперечно-косой засыпке траншеи. Эти данные хорошо согласуются с данными, полученными расчетным путем (см. п. 3.4)

В местах пересечения траншей с действующими подземными коммуникациями (трубопроводами, кабелями и др.), проходящими в пределах глубины траншей, проектом должны быть предусмотрены устройства, обеспечивающие неизменяемость положения и сохранность коммуникаций на период производства работ и эксплуатации.

Плотность (объемный вес скелета) грунта земляного полотна в г/м^3 должна соответствовать требованиям ГОСТ Р. 51248-99 и должна быть не менее для: мелких и пылевидных песков - 1,7; супесей - 1,65; суглинков - 1,6; глины - 1,5.

Для послойного уплотнения обратных засыпок рекомендуются следующие способы: для несвязных грунтов - вибрирование и вибротрамбование; для малосвязных грунтов - укатка, трамбование, вибротрамбование, вибрирование; для связных грунтов - укатка, трамбование, вибротрамбование и комбинированный.

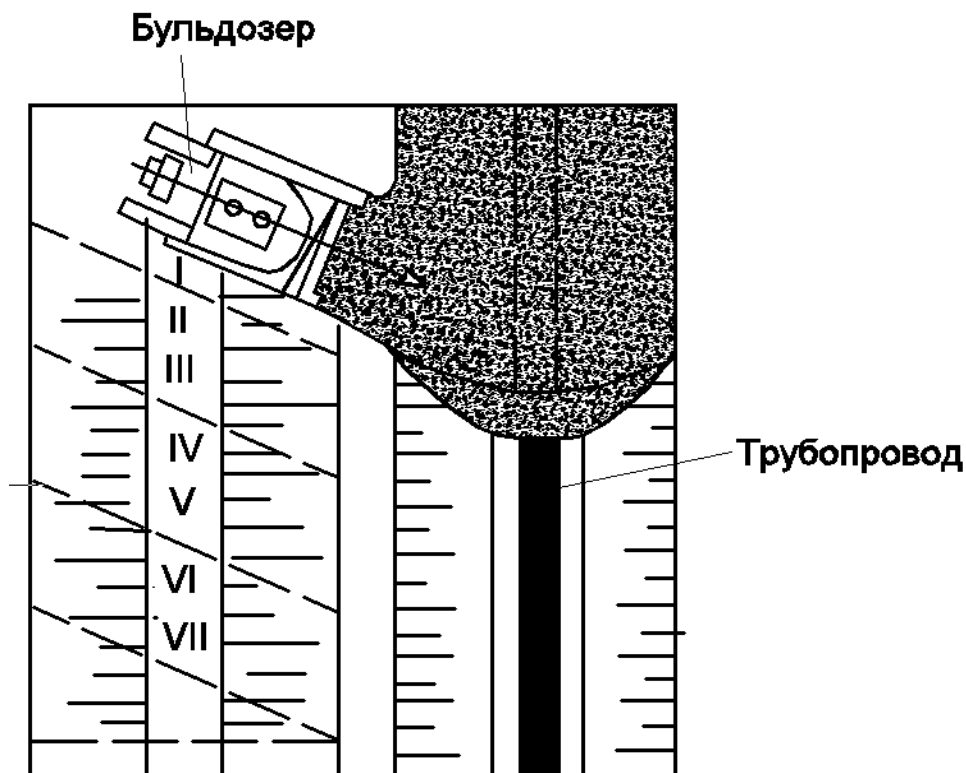


Рис. 4.20. Вариант обратной засыпки траншеи грунтом косопоперечными параллельными проходами бульдозера.

При текущем контроле проверяется соблюдение заданной технологии выполнения обратной засыпки, в том числе требуемой плотности грунта.

В процессе выполнения работы должна производиться проверка вида применяемого грунта и правильность его отсыпки, степени плотности и влажности и равномерности уплотнения грунта.

Контроль степени плотности и влажности грунта производится посредством испытания образцов грунта. Эта проверка производится по отсыпанным слоям на глубинах 0,3; 0,5; 0,9; 1,2; 1,5 м от верха шурфа. Места шурфов намечаются: в траншеях - по оси траншеи через каждые 50 м; в пазухах

котлованов - по периметру фундаментов - через каждые 50 м, но не менее одного по торцам здания; в основаниях под полы - на 100 м² один шурф.

Степень плотности грунта контролируется путем сопоставления плотности образца, взятого без нарушения структуры из насыпи или траншеи, с оптимальной плотностью данного грунта, полученной методом стандартного уплотнения. Степень плотности грунта определяется коэффициентом уплотнения «К». Методики определения коэффициентом уплотнения «К» (метод стандартного уплотнения СоюзДорНИИ, метод режущих колец, плотномеры конструкции МГП «Кондор») [120].

При текущем полевом контроле за уплотнением оптимальную влажность и максимальную плотность грунтов, из которых устраивают засыпку траншей можно определить с использованием прибора Союздорнии, который состоит из следующих частей: подстаканника 1, разъемного цилиндра 2 диаметром 100 ± 0,1 мм и высотой 127 ± 0,1 мм, верхнего стакана 6, стойки с уплотнителем 5, груза 3 весом 2,5 кг, зажимного кольца 7 с зажимными винтами 8 и ограничительного кольца 4 с винтом (рис.4.21).

Подготовка и процесс испытания. Образец грунта весом 3 - 3,5 кг в воздушно-сухом состоянии измельчают, просеивают через сито с отверстиями 5 мм, помещают в чашку и тщательно перемешивают. После этого определяют влажность средней пробы путем высушивания грунта до постоянного веса. При уплотнении связных и особенно высокосвязных грунтов за начальную влажность может быть принято ее значение на 8 - 10% выше оптимальной. Оптимальная влажность имеет следующие ориентировочные значения:

Грунт	Оптимальная влажность, %
Песок мелкий и пылеватый	8 - 13
Супеси легкие и тяжелые	9 - 15
Суглинок легкий	12 - 18
Тяжелый суглинок и тяжелый пылеватый суглинок	14 - 20
Пылеватая супесь, тяжелая пылеватая супесь, легкие пылеватые суглинки	15 - 22
Глины пылеватые и песчанистые	16 - 26
Глины жирные	20 - 30

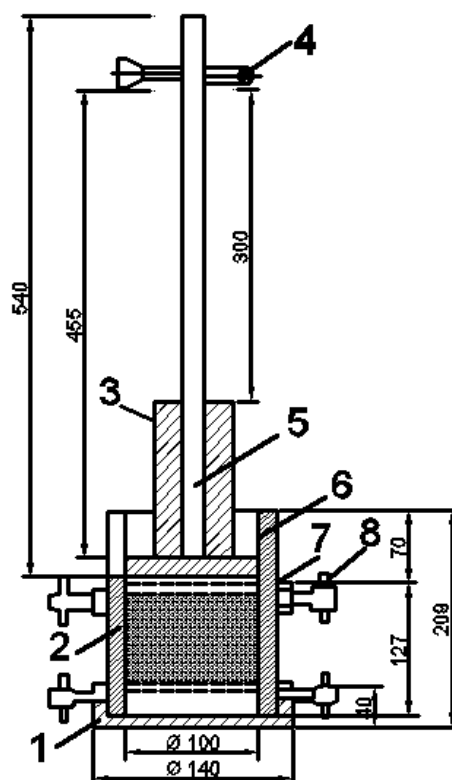


Рис. 4.21. Прибор СоюзДорНИИ для стандартного уплотнения:

1-подстаканник; 2 - разъемный цилиндр; 3 - груз; 4 - ограничительный винт; 5 - стойка с уплотнителем; 6 - верхний стакан; 7 - зажимное кольцо; 8 - зажимной винт.

Затем, подготовленный грунт насыпают в прибор, примерно на 1/2 высоты, и уплотняют ударами груза весом 2,5 кг, падающего с высоты 30 см. Уплотнение производится в три слоя, причем каждый слой уплотняется ударами груза в количестве 1/3 от общего числа удавов, назначенного для уплотнения.

Общее число ударов груза принимается равным для песчаных и супесчаных грунтов - 75; для пылеватых супесей и суглинков, суглинистых и глинистых грунтов - 120. После окончания уплотнения снимают верхний стакан 3 и выступающий грунт осторожно срезают ножом по верхней кромке разъемного цилиндра.

Разъемный цилиндр с подстаканником и уплотненным грунтом взвешивают с точностью до 1 г и определяют объемный вес влажного грунта по формуле:

$$\gamma = \frac{P_1 - P_2}{V}, \text{ г/см}^3 \quad (4.8)$$

где P_1 - вес разъемного цилиндра с подстаканником и грунтом, г; P_2 - вес пустого разъемного цилиндра с подстаканником; V - объем разъемного цилиндра 1000 см^3 .

На основании данных, полученных в результате испытаний, вычерчивают кривую зависимости плотности от влажности (рис. 4.22).

Грунты обратных засыпок условно подразделяются на связные (содержание глинистых частиц более 12 %), малосвязные (4 - 11 %) и несвязные (менее 3 %).

Местные суглинистые грунты труднее поддаются уплотнению по сравнению с песчаными и крупнообломочными грунтами, но после уплотнения при оптимальной влажности обладают одинаковой величиной морозных деформаций с окружающим грунтом и достаточной несущей способностью.

Применение для обратных засыпок пылеватых грунтов нежелательно, так как вследствие плохой уплотняемости они имеют низкую плотность и при промерзании склонны к пучению.

После искусственного или естественного уплотнения грунта в траншее выполняют техническую рекультивацию, которая заключается в возвращении плодородного слоя почвы на нарушенную площадь с насыпкой и планировкой.

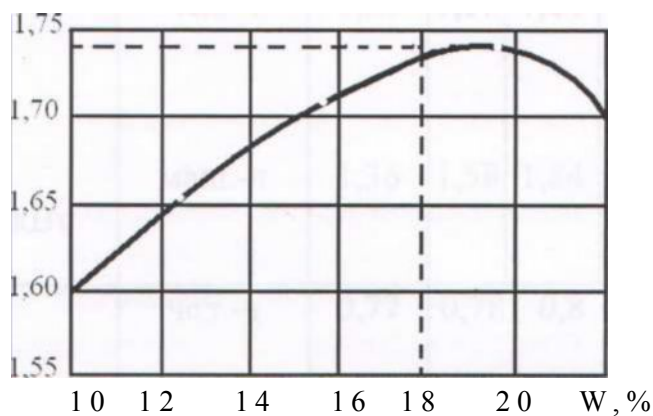


Рис.4.22. Кривая зависимости плотности грунта от влажности.

Выполнение комплекса работ по обратным засыпкам контролируется в соответствии со схемами операционного контроля качества выполнения работ, являющимися неотъемлемой частью проекта производства работ.

После завершения работ по укладке и уплотнению грунта обратных засыпок осуществляется приемка выполненных работ. В процессе приемочного контроля проверяется соответствие фактических параметров обратных засыпок проектным.

Потребность в машинах определяется проектом производства работ в зависимости от конструктивных решений сооружений объемов работ и продолжительности их выполнения.

Операционный контроль качества работ по прокладке подземных коммуникаций в траншеях с креплениями выполняется в соответствии с требованиями СНиП 3.01.01-85* «Организация строительного производства».

Дополнение к проектированию:

- при проектировании бульдозерного оборудования с поворотным и модернизированным отвалом, рекомендуем пользоваться (приведенной в разделе 3.4 данной работы) методикой инженерного расчета основных параметров рабочего оборудования бульдозера;

- разработать конструкцию отвала с возможностью установки его в плане под углом $\phi = 27^\circ \dots 39^\circ$ и установки дополнительной высоты, превышающий до 1,5 раза, при которых проявляется наибольший положительный эффект, т.е. обеспечивается рациональное значение бокового составляющего сопротивления копанью грунта P_2 ;

- конструкция модернизированного отвала, проводящее в нужное положение от гидропривода базовой машины, должна быть изготовлена в виде дополнительного оборудования;

- способ соединения дополнительного элемента к отвалу должен обеспечивать, в процессе работы бульдозера, нахождение их на одной плоскости и след дополнительного упорного ножа должен перекрывать след ножа отвала;

- дополнительный элемент следует крепить к отвалу, обеспечивающей прочность конструкции при воздействии на нее внешних нагрузок в процессе копания грунта.

Дополнение по эксплуатации:

- в условиях обеспечения угла установки модернизированного отвала в плане допускается срезание грунта и его перемещение в сторону на рабочих скоростях бульдозера до 9 км/ч., при котором не происходит потеря курсовой устойчивости машины;

- использование новой конструкции отвала не снижает общее сопротивление копанью грунта, так как операции резания и перемещение грунта разделены, поэтому рекомендуемое новое оборудование может быть использовано даже при установке отвала перпендикулярно оси движения бульдозера;

- применение модернизированного рабочего органа в универсальных бульдозерах не влияет на сопротивление копанью грунта и повышает производительность бульдозера, а также обеспечивает курсовую устойчивость

бульдозера при работе его с повернутым отвалом.

- применение гидрообъемного привода базовой машины позволяет повысить технический уровень модернизированного бульдозерного агрегата, использовать прогрессивный привод для управления рабочим органом бульдозера, а также повысить производительность машины за счет сокращения простоев при переводе на требуемый режим работы машины.

4.6 Экономическая оценка эффективности применения модернизированного отвала бульдозерного агрегата

Показатели оценки экономической эффективности машин позволяет производить экономическое обоснование наилучшего варианта создания и внедрения новых машин. Выбор оптимального варианта может быть осуществлен либо по минимуму показателя приведенных затрат, либо по показателю максимума эффекта. Мы для оценки эффективности предлагаемых решений воспользовались моделью, используемых применительно к машинам циклического действия, каковым является бульдозерный агрегат. С помощью этих же показателей можно определить экономический эффект от использования новых машин по сравнению с машинами, принятыми за базу /84/.

При оценке экономической эффективности применения модернизированного отвала землеройно-транспортной машины в качестве базовой выбираем традиционный вариант применения бульдозерного отвала, а в качестве новой – модернизированный отвал.

Размер экономического эффекта от использования бульдозерного агрегата с модернизированным отвалом определяем по формуле

(4.9)

где C_6 - цена базовой строительно-дорожной машины, $C_6 = 2520$ тыс. тенге;

C_n - цена новой строительно-дорожной машины, $C_n = 3100$ тыс. тенге;

$m = 1,1$ - коэффициент отношения балансовой стоимости СДМ к его цене;

$a = W_n/W_6 = 1,22 \dots 1,83$ - отношение производительности новой и базового бульдозерного агрегата при выполнении земляных работ, принимаем $a = 1,3$;

ΔC_n - изменение себестоимости производства новой машины;

E_n - нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, $E_n = 0,15$;

ΔK_n - удельные дополнительные затраты, связанные с созданием и внедрением новой строительно-дорожной машины;

I_6, I_H - годовые эксплуатационные издержки у потребителя при использовании базовой и новой СДМ; учитывая, что моторно-трансмиссионные установки базового и нового одинаковы, принимаем $I_6 = I_H$;

$P_{ам.н}$ - амортизационные отчисления;

$K_{6.э} = K_{н.э}$ - капитальные затраты в сфере эксплуатации СДМ.

Удельные дополнительные затраты, связанные с созданием и внедрением новой строительно-дорожной машины оборудованной новым модернизированным отвалом определяются по формуле

$$\Delta K_n = K_n / N \quad (4.10)$$

где K_n – дополнительные капитальные затраты, $K_n \approx 10000,0$ тыс. тенге;

N – количество машин, выпускаемых в расчетном году, $N = 100$.

Амортизационные отчисления определяются по формуле

$$P_{ам.н} = 1 / T_{ам} \cdot 100 \quad (4.11)$$

где $T_{ам}$ – амортизационный срок службы строительно-дорожной машины оборудованной новым рабочим органом, $T_{ам} = 8$ лет;

Годовой экономический эффект от использования 100 бульдозерного агрегата с новым отвалом составит

$$\mathcal{E}_T = 7250 \cdot 100 = 725,000 \text{ тыс. тенге.}$$

В результате выполненного расчета годовой экономический эффект от использования одной единицы бульдозерного агрегата с новым отвалом составляет 725000 тенге который был получен за счет увеличения производительности труда.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4

1. Экспериментальный лабораторный стенд для моделирования основных свойств обрабатываемого грунта, исследование рабочего процесса на физической модели отвального рабочего органа в масштабе 1:10 с применением методов физического моделирования, позволили получить качественную картину рабочего процесса при копании грунта новым отвалом бульдозера.
2. По результатам экспериментальных исследований рабочего процесса бульдозера, оснащенного модернизированным отвалом, получены регрессионные модели, адекватно описывающие зависимость объема

(массы) перемещаемого грунта в боковую сторону в зависимости от угла установки отвала в плане (φ_0), высоты отвала (h) основных свойств грунта и глубины копания, а также лобового (P_1) и бокового (P_2) составляющих сил сопротивления копанию грунта. Полученные предварительные результаты подтвердили правильность выбора входных факторов, а также установленный диапазон их изменения.

3. В условиях увеличения габаритов отвала по высоте зависимость лобового усилия резания P_1 от скорости резания (V) качественно совпадает с известными результатами исследований. В пределах исследуемого диапазона скорости резания значение лобового усилия резания P_1 имеет незначительное изменение. Следовательно, можно сделать вывод о том, что при использовании такого отвала увеличение угла установки отвала в плане $\varphi_0 = 23...35^\circ$ не оказывает существенного влияния на рост лобового усилия резания P_1 .
4. При скорости резания $v = 2,5$ м/с боковое усилие резания P_2 имеет примерно такое же значение, что и при скорости резания $v = 2,0$ м/с. Это означает, что наличие нового отвала оказывает позитивное влияние на процесс копания грунта и в относительно больших рабочих скоростях бульдозера сдерживает неизбежный рост бокового усилия, действующего на базовый трактор. Следовательно, при рациональных параметрах установки отвала и высоты последней бульдозер может работать при пересчете на натурные условия скорости движения трактора 9 км/ч. Таким образом, появляется значительный резерв повышения рабочей скорости бульдозера не допуская рост бокового усилия, действующего на базовую машину, что имеет практическое значение, т.е. возможность обеспечения курсовой устойчивости бульдозера в условиях работы его на относительно высоких рабочих скоростях.
5. Боковое усилие резания P_2 при различных значениях угла установки дополнительного упорного ножа (φ_H) в зависимости от глубины резания h грунта, в пределах исследуемого диапазона, с возрастанием глубин резания грунта сначала снижается, а потом начинает плавно расти. При этом усилие резания P_2 снижается, достигая минимума при $h = 8...14$ мм.
6. Производственные испытания позволили определить количественную картину возможного повышения технологической возможности бульдозера рассматриваемого типа и влияния нового отвала и угла установки его в плане на курсовую устойчивость, а также рабочие параметры процесса. Оборудование отвала бульдозера с дополнительной высотой в указанных интервалах ($H_{np}/H_H = 1,35...1,5$) по сравнению с

традиционным рабочим органом существенно улучшает условия работы и увеличивает производительность, при этом, коэффициент динамичности снижается до 30%. Этот показатель с увеличением разрыхленности и неоднородности грунта стабилизируется, тем самым обеспечивает увеличение срока службы машины. Установленные в результате исследования рациональные параметры предлагаемого рабочего оборудования с учетом разрабатываемого грунтового фона имеет не только научное, но и большое практическое значение, так как их применение позволяет более обоснованно подойти к проектированию рабочих органов бульдозеров и повысить их производительность.

7. Годовой экономический эффект от применения бульдозера с углом резания составляет 725 тыс. тенге на одну машину.

ВЫВОДЫ

1. Строительство магистральных водоводов отличается большим разнообразием, как по характеру, так и по условиям их проведения и объемам. Механизация работ по засыпке траншей без уплотнения преимущественно (на 75-80%) осуществляется с помощью бульдозера;
2. Предложенные пути решения вопроса ориентированы на обеспечения нормальной работы и курсовой устойчивости бульдозера с модернизированным рабочим оборудованием при перемещении и косом резании грунта в челночно поперечном направлении вдоль траншей для укладки водопровода;
3. При моделировании процесса копания грунта с использованием усовершенствованного отвала и курсовой устойчивости бульдозера исходили из условий, что при работе отвала дополнительной высотой, это высота должна изменяться в зависимости от изменения свойств грунта, а также параметров траншеи. На основе этого разработана математическая модель, адекватно описывающая процесса взаимодействия модернизированного рабочего органа бульдозера с грунтом;
4. Удельное сопротивление резанию имеет минимальное значение при угле установки отвала $23...35^\circ$. Наблюдается тенденция к возрастанию усилий по мере увеличения угла установки отвала выше указанного предела и роста глубины резания.
5. Зависимость лобового составляющего сопротивления копанию грунта (P_l) от угла установки отвала в плане имеет переменный характер. При минимальном значении угла $\varphi(23^\circ)$ наблюдается наибольшее значение P_l , что объясняется слабым влиянием модернизированного отвала на снижение сопротивления грунта копанию из-за малости угла его установки;
6. С увеличением значения этого угла происходит достаточно интенсивное снижение P_l достигая наименьшего значения при угле $\varphi = 35^\circ$, которое можно объяснить проявлением эффекта перемещения грунта в сторону новым отвалом. При дальнейшем возрастании φ значение P_l начинает плавно расти, что связано с потерей курсовой устойчивости, которое оказывает влияние на рост сопротивления более существенно нежели снижение его за счет косого резания;

7. Опыты, проведенные в производственных условиях показали более высокую курсовую устойчивость бульдозера в пределах рекомендуемых рациональных значений высоты увеличения отвала (до 1.3 раза) по сравнению с бульдозерами традиционной конструкции. При выполнении земляных работ, связанные срезанием и перемещением грунта вдоль по отвальной поверхности производительность машины повысилась на 25-35%.
8. Оборудование отвала бульдозера с дополнительной высотой в интервалах ($H_n/H_0=1,3...5,5$) по сравнению традиционным рабочим органом существенно улучшает условия работы и снижает коэффициент динамичности до 30%. Этот показатель с увеличением прочности и неоднородности грунта возрастает, тем самым обеспечивает увеличение срока службы машины;
9. Годовой экономический эффект от внедрения в производство рекомендуемого бульдозера с модернизированным отвалом составляет 725 тыс. тенге на одну машину.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Отраслевая программа Республики Казахстан «Питьевые воды» на 2002-2010 годы. - Астана, 2002. -34с.
2. Фондовые материалы Комитета по водным ресурсам МСХ РК. - Астана, - 2001-2008 гг.
3. Строительство в Республике Казахстан в 2002г. // Статистический сборник. Алматы, 2003, с. 96.
4. Методические рекомендации по построению комплексно-механизированных процессов производства земляных работ, ЦНИИОМТП Госстроя СССР, Москва. 1982.
5. Абрамов Н.Н. Водоснабжение.-М.:Стройиздат, 1987.440с.
6. Шабалин А.Ф. Эксплуатация промышленных водопроводов.-М.:Изд-во «Металлургия», 1972,504с.
7. Белецкий Б.Ф. Технология строительного производства. Учеб. для студ. вузов обуч. По направл. «Строительство», спец. 290800 «Водоснабжение и водоотведение». - Издательство АСВ, 2001 -416 с.; ил.
8. Опыт строительства и эксплуатации трубопроводов из металлопластмассовых труб // Айдуганов В.М., Волкова Л.М., Лаптева Т.И. -М.: Нефтегазовое дело , 2006.
9. Полтавцев И.С., Орлов В.Б., Ляхович И.Ф. Специальные землеройные машины для городского строительства. Киев, 1977, 136 с.
10. Правила капитального ремонта магистральных нефтепродуктопроводов, проложенных по территории городов, населенных пунктов.- М.: Изд-во «Нефть и газ»,2000.
11. Засыпка траншей и котлованов путем перемещения грунта. <http://zmrб.ru/zasypka-transhej-i-kotlovanov-putem-peremeshheniya-mnta>
12. Проект на тему «Восстановление системы водоснабжения села Колтоган Жуальинского района Жамбылской области» // Руков.к.т.н. Калашников А.А.- Тараз,2007.
13. Беляков Ю.И., Левинзон А.Л., Земляные работы. М., 1983,176 с.
14. Рекомендации по технологии разработки грунтов с применением новых машин и навесного оборудования /ЦНИИОМТП. М., 1984, 95 с.
15. Концепция развития водного сектора экономики и водохозяйственной политики Республики Казахстан до 2010 года. – Кокшетау, 2002.
16. Тажибаев Л.Е. Основы водоснабжения и обводнения сельскохозяйственных районов Казахстана. – Алма-Ата: Изд. «Кайнар», 1969. - 304с.

17. Мырзахметов М.М. Водные ресурсы Казахстана и комплексный подход к их охране и рациональному использованию: материалы Республиканского совещания. – Алматы, 1996. –С. 283-287.
18. Бутаев Д.А., Л.Г. Подвидз. Местные сопротивления в трубопроводах // В кН.: «Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидропередат.»- М.: «Машиностроение», 1974. -Т. 2. С. 150-154.
19. Абдурасулов, И. Водообеспечение и очистка сточных вод Киргизской Республики: дис. ... д-ра техн. Наук: 05.23.04. - М., 1994. – 289 с.
20. Карлиханов Т.К., Шабдарбаев Б. Выбор критериев по оценке природных факторов для обоснования технологий строительства дренажа // Вестник КГУ им. Коркыт-Ата. - Кызылорда, 1999. -С. 71-74.
21. Турсунов А.А. О типизации сооружений нижнего бьефа косогорных водопропускных труб // Труды I-й Всесоюзной научно-технической конференции по гидравлике дорожных водопропускных сооружений. -М.: «Высшая школа», 1979. -С. 19-24.
22. Андреев А.Е., Иванова Т.В. Изменение конфигурации дна как способ повышения пропускной способности низконапорных водопропускных сооружений // Известия ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева. –Москва, 2002. –С. 47-53.
23. СНиП3.02.01-87. Земляные сооружения, основания и фундаменты. - М.: Госстрой СССР, 1987.-64 с.
24. СНиП 2.05.06-85*. Магистральные трубопроводы. Нормы проектирования. - М.: Госстрой СССР, 1987.- 50 с.
25. ПБ 03-585-03. Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов. Утверждены Постановлением Госгортехнадзора России от 10.06.2003 № 80. - Екатеринбург, ИД «Урал-Юриздат», 2007. - 112 с.
26. Ласенко М.П. Состав и физико-механические свойства грунтов. М., 1980, 272с.
27. Кассандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. М., ГРФМЛ, 1970, 104 с.
28. Донской В.М. Механизация земляных работ малых объемов. Л., 1976, 160с.
29. Технологическая карта на прокладку подземных коммуникаций в траншеях с креплениями// А.Н. Абрамович, А.П. Смирнов, Мосоргстрой,- М.,1983.
30. Симонов Н. Н. Прогнозирование эффективности выполнения бульдозерами земляных работ: Дис. канд. техн. наук: 05.05.04. М, 2005,129 с.
31. Вильман Ю.А. Механизация работ в сельском строительстве. М., 1982, 208с.

32. Антимонов В.П., Козликин В.И., Шотанов С.И., Абдигалиев М., Мырзашев С. Специфические рабочие органы машин для мелиоративного строительства. Ташкент, ТИИИМСХ, 1985, 88 с.
33. Модернизация и повышение производительности строительных машин./Хмара Л.А, Колесник Н.П. – К.: Будевильник, 1992. – 152 с.
34. Прокофьев В.П., Чернавский В.П., Цветков В.И. Пути создания эффективных средств механизации для сооружения водоотводов и планировки земляного полотна. // Сб. науч. трудов ВНИИ транспорт. М., 1984, С.11-15.
35. Токар Н.И., Заверуха А.Н. Повышение эффективности производства малообъемных строительных работ бульдозерами с подвижными секциями, установленными в пазах отвала.- Брянск, 2008.
36. Мырзашев С., Абдигалиев М., Хе И.Н. К вопросу обоснования параметров отвала бульдозера. // Сб. научн. трудов ЖГМСИ. Тараз, 1997, С. 180-182.
37. Баладинский В.Л. и Лысенко Б.Н. Машины и механизмы для сельского строительства. Киев, 1978, 152 с.
38. Джумагалиев Т.К. Классификация факторов, влияющих на технику и технологию ведения работ при укладке трубопроводов. Материалы международной научно-практической конференции: «Техносферная безопасность: наука и практика».-Бишкек: Айат.-2015.-С. 72-73.
39. Джумагалиев Т.К., Ордобаев М.К., Узенов Р.У. Обоснование необходимых технологических требований к машине при выполнении земляных работ во время укладки инженерных сетей. Материалы международной научно-практической конференции: «Техносферная безопасность: наука и практика».- Бишкек: Айат.-2015.-С. 73-75.
40. Атлас, География России, население и хозяйство. М.:Дрофа, 2005. 48с.
41. Методические рекомендации по технологии разработки мерзлых грунтов бульдозерами с рыхлителями //Госстрой СССР, ЦНИИОМТП. - М.: 1987.
42. Гарбузов З.Е., Нарет Г.В., Донской В.М. Новые землеройные машины для мелиоративного строительства. М., ЦНИИТЭстроймаш, 1972, 72 с.
43. Раденков Р.Т. Определение основных параметров бульдозерного отвала адаптируемого типа. Автореф. канд. тех.наук: 05.05.04. М.: МАДИ, 2004 16 с.
44. Станевский В.П. Совершенствование рабочего процесса землеройных машин. Киев, 1984, 128 с.
45. Джумагалиев Т.К. Механизация строительства водопроводных сетей. Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, №6.-Бишкек: НиДХЛ, 2015.- С. 29-32.

46. Касымбеков Ж.К., Шотанов С.И., Мырзашев С. М., Абдигалиев М.А. Джусипов Т.С. Совершенствование конструкции рабочего органа бульдозера с поворотным отвалом // Вестник ТарГУ имени М.Х. Дулати. Тараз, 2005.

47. Васильев С.И. Анализ показателей, определяющих эффективность разработки мерзлых грунтов рабочими органами землеройных машин / С.И. Васильев, С.П. Ереско, Б.В. Осипенко, В.Л. Шустов // Горные машины и автоматика.- М.: Новые технологии,- 2003,- 22- 26,-№10.

48. Захаров В.А. Исследование сопротивляемости мерзлых грунтов разрушению резанием: Автореферат дисс. канд. техн. наук,- Тула,1973- 25 с.

49. Васильев С.П., Жубрин В.Г., Ташпаева З.С. Принципы классификации мерзлых грунтов на основе использования коэффициента трудности разработки: Депонированная рукопись №39 СД90 от 16.05.1990, М.: ЦНИИТЭСтроймаш, 1988.

50. Хмара Л.А., Колесник Н.П., Станевский В.П. Модернизация и повышение производительности строительных машин. -Киев.: Будівельник, 1992.-150с.

51. Павлинов А.М. Исследование и выбор оптимальных параметров шнековых рабочих органов: Автореферат дис. ...канд. техн. наук. М., 1967.

52. Кадыров А.С. Разработка методики расчета винтовых рабочих органов большого диаметра. — В сб.: Строительные и дорожные машины и механизмы. Т. 4. - Караганда, 1978, С. 97 - 101.

53. Недорезов И.А., Чернавский В.П., Прокофьев В.П. и др. Комплексная механизация работ по планировке земляного полотна // Транспортное строительство, 1981, № 7, С.27-28.

54. Землеройные машины с многоцелевыми рабочими органами/ В.И.Баловнев, Э.Н. Кузин , Л.А. Хмара. М, ЦНИИТЭстроимаш, 1986, 52с.

55. Эффективное использование строительных машин в условиях Донбасса. Справочные материалы./ Под общ. ред. В.А. Пенчука – Донецк: Изво «Ноулидж», 2012. – 784 с.

56. Веригин Ю.А.Механизация технологических процессов строительства - Барнаул :АлтГТУ, 2004. - 297 с.

57. Гаврилов Н. А. Особенности проектирования и производства земляных работ на сложном рельефе в условиях городских строительных площадок: Автореф. дис. канд. техн. наук // Дальневост. политех. ин-т им. В. В. Куйбышева. - Владивосток, 1972. - 22 с.

58. Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. М,1971,360 с.

59. Недорезов И.А., Мырзашев С., Абдигалиев М., Сыргабаев М. Анализ стендов и интенсификация процессов исследования взаимодействия РО

технологических машин с разрабатываемой средой. // Междун. научно - практическая конференция „Машиностроение в условиях рыночной экономики. Проблемы и перспективы”, Тараз, 1999, С. 175 - 179.

60. Баловнев В. И., Хмара Л. А. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве. М., 1993, 383 с.

61. Баловнев В.И. Многоцелевые дорожно-строительные и технологические машины: Учеб. пособие. - Омск: Дом печати, 2006. - 320 с.

62. Ульянов Н.Я. Теория самоходных колесных землеройно-транспортных машин. М., 1969, 520 с.

63. Кудрявцев Е.М. Комплексная механизация, автоматизация и механовооруженность строительства. М., 1989, 246 с.

64. Руднев В.К. Копание грунтов землеройно-транспортными машинами активного действия. Харьков., 1963, 144 с.

65. Кабашев Р. А. Грунтовые условия эксплуатации землеройной техники в Казахстане/ Р.А. Кабашев. – Алматы: КазНИИНТИ, 1989, 91 с.

66. Толымбек Д. Н.Снижение динамических нагрузок бульдозеров на основе совершенствования конструкции рабочего оборудования //Автореферат на диск.т.н. по спец. 05.05.04.- Алматы,2008.

67. Толымбек Д. Н., Сурашов Н. Т., Омаров К. А. Влияние конструктивных параметров рабочего органа бульдозера на динамические нагрузки при резании грунтов. // В сб.: Вестник КазНТУ им. К. И. Сатпаева, № 1 (57), 2007, С. 72 - 75 .

68. Нураков С.Н., Таукелев Р.Н. Экспериментальное исследование процесса резания грунта простыми режущими элементами. // Внутри вузовская научно-техническая конференция: Строительный комплекс и рыночная экономика. Акмола, АИСИ, 1993, С.2.

69. Мырзашев С., Абдигалиев М. О природе косоугольного резания разрабатываемого материала РО технологических машин. // Сб. научн. трудов КазНТУ. Алматы, 1999, С. 372-374.

70. Мырзашев С., Абдигалиев М., Шотанов С. И., и др. Влияние угла установки отвала и ножа в плане на эффективность землеройной машины. // Вестник ТарГУ «Природопользование и проблемы антропосферы», Тараз, 2003, № 3, С.5-10.

71. Диметов Х. Н. Пути повышения производительности машин для земляных работ. Ташкент, 1985, 96 с.

72. Гаджиев Т.М. Разрушение грунта бульдозером с двойным ножом // Строительные и дорожные машины, 1977, № 8, С.8-9.

73. Скворцов Л.А., Смирнов Л.Н. Определение предельно допустимого угла установки в плане отвала бульдозера //Строительные и дорожные машины, 1979, №8, с.21.

74. Зеленин А.Н. и Красильников Т.В. Косое резание и копание грунта //Строительные и дорожные машины. 1967, С.23-24.

75. Киракося Т.П. Исследование процесса разработки грунтов складыванием и обрушением применительно к созданию высокопроизводительных землеройных машин для транспортного строительства. Автореф. канд.тех.наук.: 05.05.04. М.:ЦНИИС, 1967, 23 с.

76. Волков В.П. Формирования функциональной стабильности курсовой устойчивости колесных машин при проектировании: Автореф. дис. на д.т.н. /Харк. нац. ав.-дор. ун-т - Харьков, 2005. - 27с.

77. Домки Э. Р. Исследование устойчивости направления движения гусеничных землеройных машин непрерывного действия //Автореферат на к.т.н. - Горький, 1970. - 24 с.

78. Войтиков, Александр Викторович Исследование курсовой устойчивости колесного трактора класса 14 кН на склоне: диссертация. кандидата технических наук: МАДИ, 05.05.03. 188 с.

79. Производительность и долговечность землеройных и мелиоративных машин. В.Л. Баладинский, Ю.В. Пузырев, и др. Киев, 152 с.

80. Макаров Р.А., Кузнецов С.Н., Невзоров А.В. Техника тензометрирования строительных машин. М., 1969, 85с.

81. Скокан А.А., Грифф М.И., Каран Е.Д. Планирование экспериментальных исследований в дорожном и строительном машиностроении. М., ПНИИТЭСтроймаш, 1974, 73 с.

82. Джумагалиев Т.К. Состояние систем водоснабжения и водоотведения населенных пунктов Республики Казахстан. Известия ВУЗов Кыргызстана, №1-Бишкек: НиДХЛ, 2016.-С.11-14. (РИНЦ).

83. Абдигалиев М.А., Шотанов С.И., Жусип Т.С., Токсамбаева Р.К. Экспериментальный стенд для проведения лабораторных исследований рабочих процессов на физических моделях рабочих органов землеройных машин// Вестник ТарГУ имени М.Х. Дулати. -Тараз, 2010.

84. Инструкция по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рацпредложений// Госстроя СССР СН-509-78 -М.: 1979.

85. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента. - М.: Легкая индустрия, 1974. - 263 с.

86. Джумагалиев Т.К., Абдурасулов А.И. Механизация работ выполняемых при засыпке траншей под водоводы. Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, №6.-Бишкек: НиДХЛ, 2015.- С. 43-45.

87. Джумагалиев Т.К. Назначение и устройство наружной водопроводной и водоотводящей сетей. Известия ВУЗов Кыргызстана, №9-Бишкек: НиДХЛ, 2015.-С. 11-14.