

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Архитектурно-строительный институт

(наименование института полностью)

Кафедра «Промышленное, гражданское строительство и городское хозяйство»

(наименование кафедры)

08.04.01 Строительство

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Технология строительного производства»

(направленность (профиль))

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: «Совершенствование технологии механизации земляных работ вблизи  
подземных трубопроводов»

Студент

Н.С. Суханова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

А.М. Чупайда

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Руководитель программы

д.э.н., к.т.н., профессор А.А. Руденко

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия )

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 18 г.

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент, Д.С. Тошин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия )

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 18 г.

Тольятти 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1 Теоретические основы существующих технологий разработки грунта вблизи подземных коммуникаций.....	6
1.1 Средства механизации и способы бестраншейной прокладки подземных трубопроводов .....	6
1.2 Характеристика и область применения прокола для проходки горизонтальных скважин при бестраншейной прокладке коммуникаций .....	9
1.3 Исследование способов прокола для проходки горизонтальных скважин	11
2 Анализ технологий проходки горизонтальных скважин способом прокола	20
2.1 Анализ конструкций устройств для проходки горизонтальных скважин при бестраншейной прокладке коммуникаций способом прокола .....	20
2.2 Теоретическое исследование работ, выполненных в области статического прокола. ....	33
2.3 Теоретические исследования работ, выполненных в области виброударного прокола .....	44
2.4 Теоретические исследования работ, выполненных в области вибрационного прокола .....	48
3 Совершенствование способа механизации земляных работ вблизи подземных трубопроводов.....	52
3.1 Направления повышения эффективности проходки горизонтальных скважин.....	52
3.2 Предложения по производству земляных работ вблизи подземных коммуникаций с использованием одноковшового гидравлического экскаватора	54
3.4 Оценка эффективности предлагаемого оборудования.....	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	67
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	68

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В настоящее время за счет широкого использования современной строительной техники уровень комплексной механизации земляных работ превышает 90%. На строительных площадках производство больших объемов земляных работ комплексно механизировано, однако рассредоточенные работы и работы малых объектов выполняются вручную.

Разработка грунта вблизи подземных коммуникаций является одним из наиболее трудоемких и слабо механизированных работ и относится к строительным процессам, выполняемым в стеснённых условиях.

Одной из основных причин использования ручного труда на таких работах является отсутствие средств механизации, приборов и оборудования, позволяющих механизировано выполнить весь комплекс работ по разработке грунта вблизи подземных коммуникаций.

На период выполнения диссертационной работы в соответствии с требованиями СНиП «Земляные сооружения. Правила производства и приемки работ» разрешение, для разработки грунта механизированным способом, на дистанции минимум двух метров от стенки и одного метра от верхней части трубопровода. Дальнейшие разработки грунта необходимо проводить вручную, без применения ударных механизмов.

Степень разработанности. Выявлено, что значительный вклад в решение теоретических и практических вопросов о технологии производств земляных работ механизированным способом вблизи подземных коммуникаций внесли работы Е.С. Биглов, Э.Г. Гараев, М.Ю. Бондарь, Н.Г. Васильев, Б.В. Белдовский, С.Г. Васильев, С.Б. Плотников, Б.В. Гончаров, Ю.В. Троянский.

Цель работы - совершенствование способа механизации земляных работ вблизи подземных коммуникаций.

Объект исследования диссертационной работы - технология механизации земляных работ вблизи подземных коммуникаций.

Предметом исследования данной работы - являются методы и способы механизации производства земляных работ вблизи подземных коммуникаций.

Для достижения указанной цели поставлены следующие основные задачи:

- выполнить анализ существующих технологий и классификаций разработки грунта вблизи подземных трубопроводов;
- проанализировать способы и технологии образования горизонтальных скважин способом прокола;
- совершенствовать технологию механизации земляных работ вблизи подземных коммуникаций.

Методы исследования - анализ, синтез, индукция, дедукция, факторный анализ.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Уточнено понятие: «производство прокола грунта вблизи подземных коммуникаций».
2. Уточнен способ выполнения прокола грунта с помощью гидравлического экскаватора.
3. Разработано оборудование для прокола грунта с помощью гидравлического экскаватора.

Практическая значимость заключается в возможности использования предложенных рекомендаций по механизированной разработке грунта вблизи подземных коммуникаций в практической деятельности строительных организаций и выполнение данного вида земляных работ.

Апробация результатов исследования. Достоверность результатов исследования подтверждена приведенными в диссертации теоретическими разработками и практическими рекомендациями, расчетами, а также обоснована доказательной базой, представленной в диссертации. Основные положения, материалы и результаты диссертационного исследования планируются докладываться и обсуждаться на научных конференциях.

Результаты ВКР обобщены и опубликованы автором в 2-х научных статьях:

1. Исследование технологий механизации земляных работ вблизи подземных трубопроводов/Суханова Н.С., Чупайда А.М.// Современное строительство и архитектура № 3(07) Август

2. Способы прокола для проходки горизонтальных скважин особенности преимущества и недостатки. / Суханова Н.С., Чупайда А.М.// Инновационный центр развития образования и науки. Актуальные вопросы науки и техники / Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 2. Самара, 2018. 199 с

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, библиографического списка из 43 источников. Общий объем работы 72 страниц машинописного текста.

# 1 Теоретические основы существующих технологий разработки грунта вблизи подземных коммуникаций

## 1.1 Средства механизации и способы бестраншейной прокладки подземных трубопроводов

На сегодняшний день современные города имеют сложную систему подземных коммуникаций и постоянно развиваются, требуя все больше подземных трубопроводов, а также реконструкцию уже существующих коммуникаций. В настоящее время 95% работ с заменой или установкой новых трубопроводов за рубежом производится благодаря механизации данного процесса и бестраншейному способу прокола.

В Российской практике строительства инженерные коммуникации прокладываются следующими способами:

1. Открытым способом прокладки трубопроводов;
2. В траншеях с последующей их засыпкой.
3. Бестраншейным способом прокладки коммуникаций (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 - Бестраншейная прокладка трубопровода [12]

Под естественными и искусственными препятствиями, такими как улицы, дороги, а также существующие коммуникации, обычно прокладывают новый трубопровод с помощью бестраншейного способа прокладки коммуникаций. Во всем мире более 50% прокладки инженерных коммуникаций происходит бестраншейным способом, более того в некоторых странах открытая прокладка трубопроводов запрещена [1].

Так как современное оборудование для прокола постоянно совершенствуется и стоимость его снижается, то целесообразнее прокладывать коммуникации без устройства траншей [1].

Из источников литературы [3, 28], обычно используются несколько разновидностей прокладки без траншеи трубопроводов:

- “прокол, когда вдавливание трубы в массив грунта происходит под действием приложенного усилия без удаления вытесняемого грунта, за счет сжатия окружающего трубу массива;

- продавливание, когда перемещение трубы в массиве грунта происходит одновременно с его разработкой и удалением;

- горизонтальное бурение с образованием скважины в массиве грунта, в которую одновременно с бурением или после образования скважины проталкивается труба” [3].

“Самый распространённый вид прокладки без траншеи трубопроводов является способ прокола, им выполняется более 80% прокладки закрытым способом, при этом диаметр коммуникаций составляет интервал от 0,05 до 0,5 м, а длина достигает 6 м” [3].

До начала работ по проколу необходимо разработать 2 котлована - рабочий и приемный. Котлованы разрабатываются землеройными машинами. Размер котлована зависит от глубины заложения трубы ее диаметра, а также применяемого оборудования. “Габаритные размеры котлована - 12 м в длину при ширине 3 м” [3]. Если есть необходимость, то котлован укрепляют упорными стенками и направляющими. Затем устанавливается силовая установка и ее привод. Трубы и все оборудование в котлован доставляют с помощью грузоподъемного оборудования.

Также в практике применяются комбинированные способы прокола с использованием дополнительных нагрузок – ударных, вибрационных, виброударных, их используют для уменьшения напорного усилия. Но в данной диссертационной работе эти методы рассматриваться не будут, так как нормативами запрещено использование механизма ударного типа, если

рядом расположен подземный трубопровод.

“Способом продавливания в практике строительства прокладываются трубы диаметром до 2 м, а длина проходок достигает 80 м” [3]. При продавливании необходимо удалять избытки грунта, иначе это приведет к образованию земляного конуса, что впоследствии создаст дополнительные нагрузки на рабочий орган. Для продавливания необходимы мощные силовые установки, упорные стенки и т.д., это приводит к увеличению габаритов котлована.

Чтоб удалить грунт из труб небольшого диаметра используется гидравлический метод, а для труб большого диаметра грунт разрабатывают вручную и с использованием малогабаритных грунтопогрузочных машин.

“Самый механизированный способ - это горизонтальное бурение, он позволяет прокладывать трубы диаметром 0,1-5м” [3]. В бурении основное действие - это разработка грунта в забой. Рабочий орган при горизонтальном бурении выполняется в виде фрезера, луча и другие виды. Привод располагается как внутри, так и снаружи прокладываемого трубопровода. Грунт удаляется из забоя механическим или гидромеханическим способами. Удаление и транспортировка грунта в котловане осуществляется механизированным способом. Горизонтальное бурение осуществляется установками типа «Запорожье», УГБ, БМ-1, ЭСМ. Они имеют довольно большие габариты и сами по себе сложные. Необходим большой V подготовительных работ, а также присутствие на площадке дополнительной техники - землеройной и грузоподъемной. Бригада, обслуживающая такие установки, состоит из 4-5 человек.

“Рассмотрим оборудование, используемое для проходки скважин. Оборудование «Гризли» используем для образования скважин диаметром 0,1 м и достигающей длины 25 м” [28]. Гризли работает благодаря гидравлическому прессу, мощностью до 180 кН.

## 1.2 Характеристика и область применения прокола для проходки горизонтальных скважин при бестраншейной прокладке коммуникаций

Прокол - это бестраншейный способ прокладки трубопроводов. При проколе грунт не удаляется за счет уплотнения с помощью конусовидного наконечника, который вдавливают в грунт.

Трубы диаметром 40-500 мм в суглинке, глине и песке разной степени влажности прокладывают способом прокола. При проколе длина трубы обычно достигает 60-80 м.

В таблице 1.1 показаны рекомендации по выбору способа прокола при бестраншейной прокладке коммуникаций. Трубы закладываются на определённую глубину, что определяется типом коммуникаций. Но существует минимум, он составляет пять диаметров от укладываемой трубы.

Когда вдавливается конусообразный наконечник в грунт усилие делится на трение грунта о поверхности наконечника и трубы и на смещение определенного количества грунта. Чтобы определить усилие необходимое наконечнику для вдавливания необходимо учитывать следующие факторы:

- физико-механическое свойство грунта;
- диаметр трубопровода;
- длина трубопровода;
- способ прокола.

Но усилия находятся в диапазоне от 50 до 2500 кН.

Когда трубопровод прокладывают способом прокола, образуется большое радиальное напряжение в грунте, которое находится вокруг трубы, поэтому необходимо выполнить необходимое занижение труб от земли, а также от уже установленных коммуникаций и подземных сооружений.

Таблица 1.1 - Показатели способов прокола для образования горизонтальных скважин в грунте при бестраншейной прокладке трубопроводов

Способ прокола	Трубопровод (скважина)		Наилучшие грунтовые условия применения	Скорость проходки, м/ч	Необходимое усилие вдавливания, кН	Ограничения к применению способа
	диаметр, мм	длина, м				
Механический с помощью домкратов (статический)	50-500	до 80	Песчаные и глинистые, без твёрдых включений	3-6	148-2450	В скальных и кремнистых грунтах не применяется
Вибропрокол с осевыми колебаниями рабочего органа	до 400	до 30	Несвязные песчаные, супесчаные и пlyingуны	3,5-8	7,5-30	В твердых и скальных грунтах не применяется
Виброударный (с использованием вибромолота)	до 600	до 30	Грунты до IV категории	до 40	—	Затруднено применение в грунтах с повышенным водонасыщением и с малым сцеплением
Пневмопробойники	до 400	40-50	Грунты до III категории	30-60 (без расширителей)	0,75-25	В грунтах с повышенным водонасыщением не малым сцеплением не применяется
Вибропрокол с колебаниями рабочего органа перпендикулярно оси проходки	до 350	до 30	Песчаные, супесчаные, суглинистые	до 100 м/ч	до 250	Затруднено применение в грунтах высокой связности

Плюсы способа прокола:

- легкость монтажа, демонтажа, простая конструкция и простая эксплуатация;
- относительно низкая трудоёмкость работ;
- прокладка изолированных коммуникаций;
- повышенный уровень безопасности работ.

Минусы способа прокола:

- образуются отклонения скважины;
- вероятность вспучивания верхнего слоя земли;
- опасность повреждения существующих трубопроводов.

Нерациональные затраты труда при образовании скважины может возникнуть в результате искривления оси.

Если скважина искривилась - это может привести к возрастанию усилий, к деформациям существующего трубопровода. Данные последствия могут привести к поломке оборудования.

Существует две группы причин искривления:

1. Техническая;
2. Геологическая.

Техническая группа состоит из следующих причин:

- неправильная установка установки в котловане;
- усилие со смещенным центром;
- люфт в соединении.

К геологическим причинам можно отнести:

- присутствие пустот;
- наличие твердых пород;
- водяные камеры;
- различная плотность грунта по глубине.

### 1.3 Исследование способов прокола для проходки горизонтальных скважин

Самое трудоёмкое в процессе устройства и ремонта трубопровода

является - это укладка самих коммуникаций. Способ выбирается в зависимости от следующих факторов:

- стоимостных;
- рельеф местности;
- от вида и состояния грунта;
- всевозможных препятствий;
- климатических условий местности;
- удобством эксплуатации.

В данном пункте диссертационной работы рассматриваю классификацию способов бестраншейного устройства коммуникаций.

Классификация способов бестраншейной прокладки трубопроводов изображена на рисунке 1.2. В ней не учтены способы ремонта уже проложенного трубопровода бестраншейным способом.

На данный момент бестраншейный способ прокола с помощью конусного рабочего наконечника можно разделить на три вида:

1. Статический прокол;
2. Вибрационный прокол;
3. Виброударный прокол.

Схема статического прокола на рисунке 1.3, представляет процесс вдавливания трубы в грунт с помощью гидродомкратов и других приспособлений.

Данный вид прокола очень распространён и в России, и за ее пределами, так как он прост в технологии, в самом оборудовании и его эксплуатации.

Главный минус данного способа - это необходимы огромные усилия для преодоления сил трения и уплотнения грунта по движению наконечника.

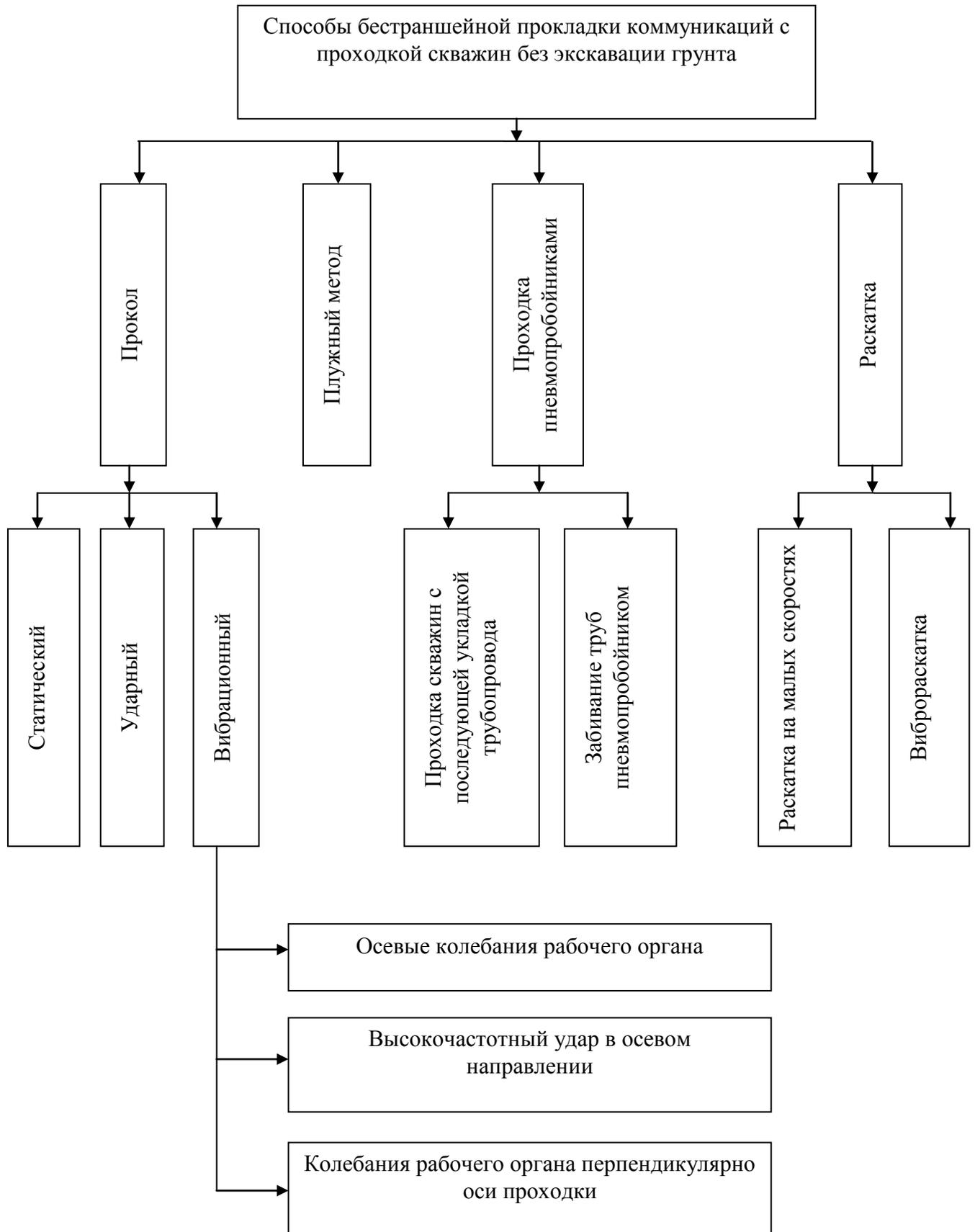


Рисунок 1.2 - Классификация способов бестраншейной прокладки трубопроводов

Чтоб компенсировать такие усилия нужно возводить упорные стенки, а

также увеличивать вес оборудования, чтоб обеспечить нужную прочность. Все это приводит к удорожанию данного способа прокола.

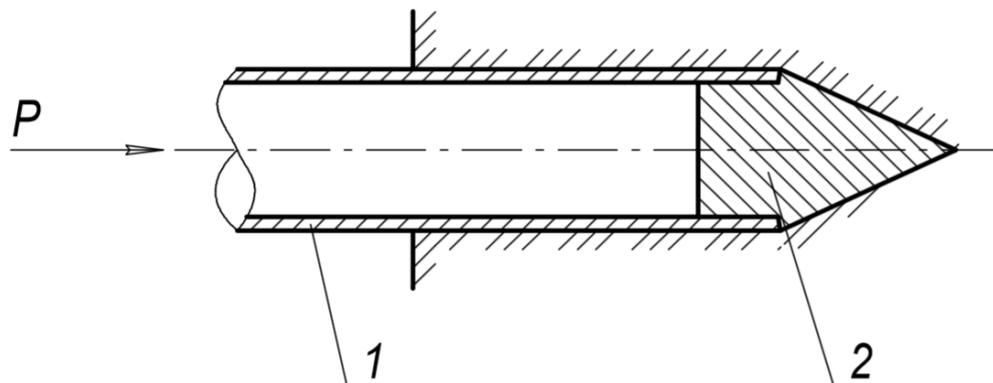


Рисунок 1.3 - Статический прокол в прокладке коммуникации:

1 - труба; 2 - конусный наконечник

В дополнение того, объективная возможность перекоса скважин в процессе статического прокола. Поэтому в данном способе сначала образуется углубление небольших габаритов с дальнейшим увеличением до необходимого диаметра.

Есть еще одна разновидность статического прокола – управляемый прокол (рисунок 1.4). У него напорные штанги вращаются, наконечник в виде конуса или скошенной передней части.

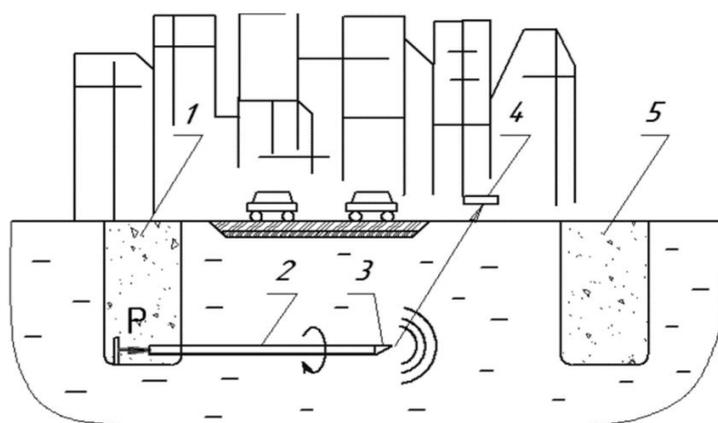


Рисунок 1.4 - Модель управляемого прокола:

1 - рабочий котлован; 2 – трубопровод, который устраивают; 3 – конусный наконечник с расположенным внутри датчиком; 4 – контролирующей направление прокола локатор; 5 – котлован для приема.

“При вдавливании рабочего наконечника статическим усилием,

создаваемым, как правило, гидроцилиндром, с помощью встроенного в рабочий наконечник датчик - зонда и локатора, расположенного на дневной поверхности, отслеживается положение рабочего наконечника в грунте.

При необходимости корректировки направления прокола в плане и профиле, останавливается механизм осевой подачи. Путем поворота штанг вокруг своей оси устанавливается требуемое положение рабочего наконечника, после чего включается механизм осевой подачи и осуществляется вдавливание рабочего наконечника и напорных штанг без их поворота, что позволяет изменять направление прокола за счёт несимметричной передней части рабочего наконечника.

Управляемый статический прокол позволяет прокладывать трубопроводы по заданной траектории, хотя применение локационной системы значительно удорожает применение данного способа” [30].

Как уже было указано выше, в статическом проколе большие напорные усилия. Чтоб их снизить и увеличить скорость проходки используют вибропрокол и виброударные проколы, эти способы представлены на рисунке 1.5.

В вибропроколе к статической нагрузке добавляется вибрационная, она возникает от вибратора расположенного либо в рабочем наконечнике, либо на наружном конце трубы.

Благодаря вибрации сильно снижается трение. Вибропрокол часто применяют в песчаных, супесно-песчаных и плавучих грунтах. При вибрационном проколе до 10 раз снижается напорное усилие в сравнении со статическим проколом, а так же увеличивается точность проходки.

Минусы вибропрокола:

- Большой объем подготовительных работ;
- Долгое время подготовки к работам;
- Значительные габариты установки.

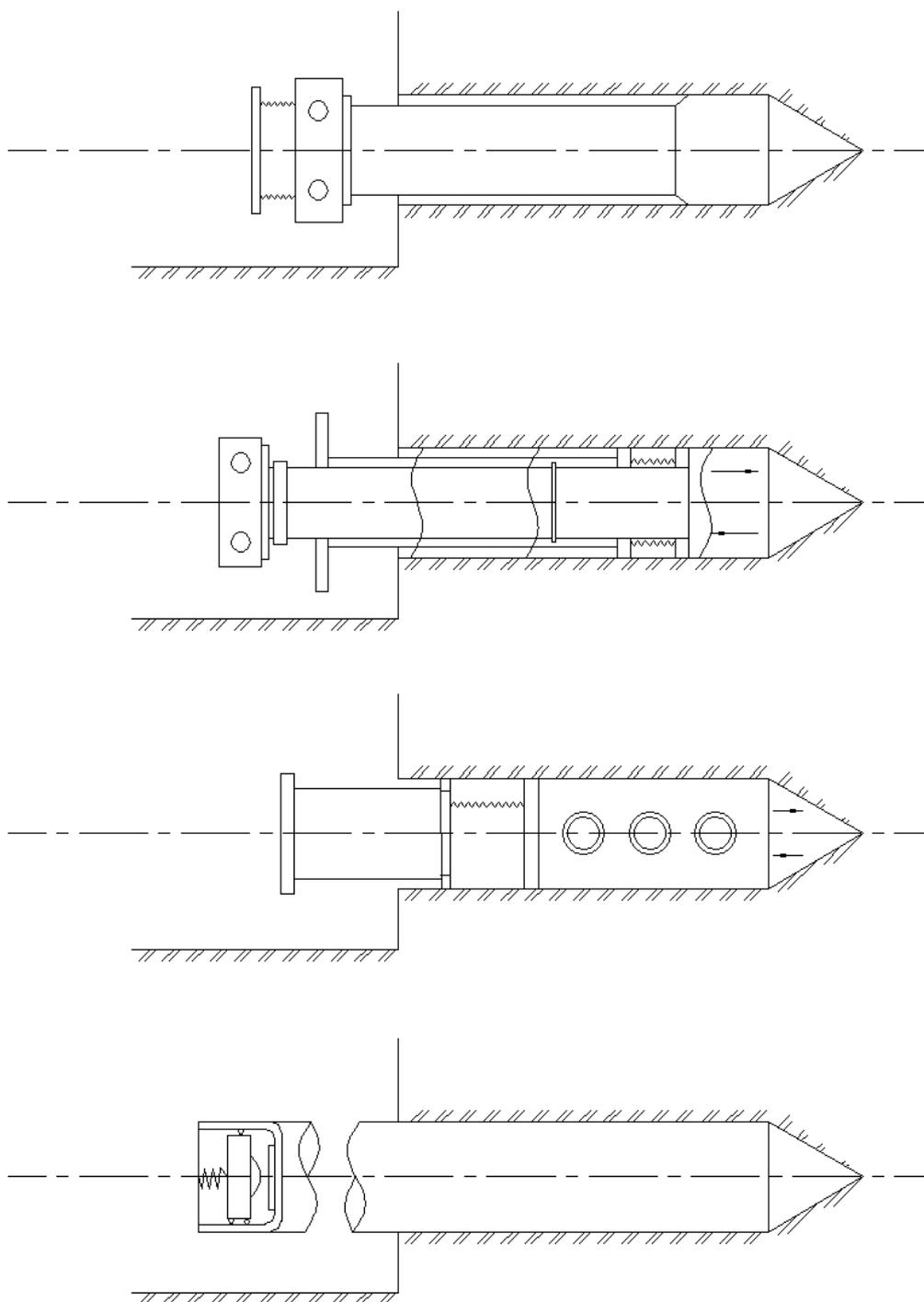


Рисунок 1.5 – Вибрационное и виброударное прокалывание

На этот момент существуют установки для вибрационного прокола, представленные на рисунке 1.6.

Этот способ вибропрокола сильно понижает напорное усилие.

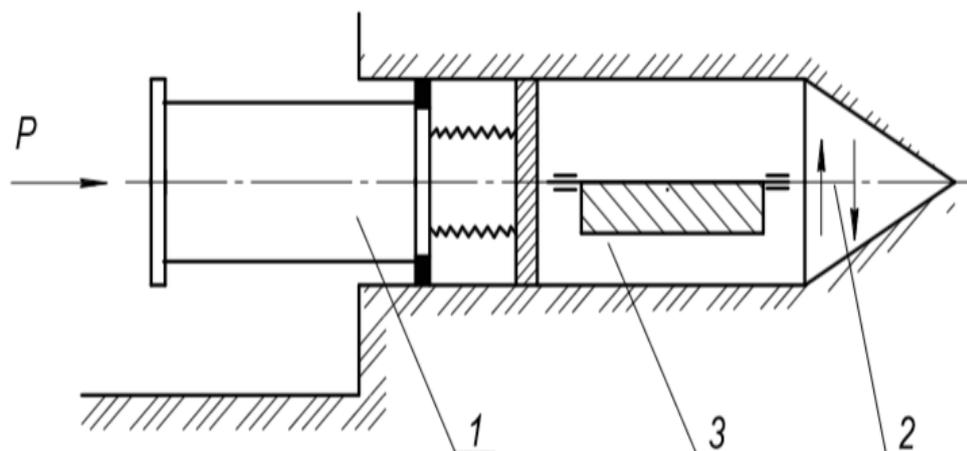


Рисунок 1.6 - Модель вибрационного прокола:

1 - труба; 2 - рабочий наконечник конусной формы; 3 –вибратор создающий круговые колебания

“При виброударном проколе реализуется поступательное перемещение виброударного механизма и внедряемой трубы при отсутствии внешней постоянной силы, действующей по направлению движения. Труба, снабжённая конусным рабочим наконечником, соединена с корпусом установки, внутри которого помещён виброударный блок. Нанося удары, виброударный блок принуждает перемещаться трубу к забою, внедряться в грунт. Отсутствие необходимости в дополнительном статическом усилии в значительной степени упрощает производство подготовительно-заключительных работ, появляется возможность выложить и сварить заранее весь монтируемый трубопровод, чтобы производить непрерывную проходку” [28].

Анализ классифицирования разновидностей продавливания показал, что у каждого из рассмотренных способов есть как достоинства, так и недостатки.

Критерии оценки эффективности:

- энергоёмкость;
- точность проходки;

– универсальность (разные диаметры трубопровода, а также работа в разных грунтах).

Все описанные будут рассматриваться в следующих параграфах на реальных установках.

#### Постановка задач исследования

Проанализировав существующие технологии земляных работ вблизи подземных коммуникаций, требования действующих СНиП и СП, методы, позволяют делать некоторые выводы:

а) нет нормативных размеров охранных зон рядом с подземными трубопроводами;

б) существующая технология земляных работ вблизи подземных коммуникаций слабо механизирована и требует значительных затрат ручного труда;

в) существующие машины и оборудование для прокола мало эффективны, требующее дополнительных затрат, сложные в использовании и мало производительны;

г) для использования одноковшового гидравлического экскаватора необходимо уточнение охранных зон вблизи трубопроводов;

д) до этого момента не были в полном объеме проведены исследования, благодаря которым можно было бы оценить степень влияния рабочих органов экскаватора, при механизированной разработке грунта и устройстве горизонтальных скважин на существующих подземных трубопроводах.

Цель данной диссертационной работы является совершенствование способа механизации земляных работ вблизи подземных коммуникаций, путем уточнения размеров охранных зон вблизи подземных коммуникаций, а также предложение нового навесного оборудования на одноковшовый гидравлический экскаватор, что должно привести к понижению ручного труда при выполнении земляных работ вблизи подземных коммуникаций.

Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи.

а) Выполнить изучение существующих способов прокола;

б) Определить размеры охранных зон вблизи подземных трубопроводов при механизированной разработке грунта;

в) Разработка навесного оборудования к механизированной лопате, приводящейся в действие гидравликой, для прокладки коммуникаций бестраншейным способом;

г) Разработать технологию механизированной разработки фунта одноковшовыми экскаваторами вблизи подземных трубопроводов.

## 2 Анализ технологий проходки горизонтальных скважин способом прокола

### 2.1 Анализ конструкций устройств для проходки горизонтальных скважин при бестраншейной прокладке коммуникаций способом прокола

Для прокладки коммуникаций бестраншейным способом на данное время используют значительное число машин и оборудования. Все они имеют свою индивидуальную конструкцию для каждого условия эксплуатации.

Анализ механизмов для прокола осуществляется по классификации, представленной в пункте 1.3.

Станки - грунтопроколыватели широко используются для прокола земли, как в России, так и за ее пределами. В России применяется грунтопрокалыватель электропресовый для образования горизонтальных скважин 50 - 150 мм, длина достигала 50 м (рисунок 2.1). Устройство для прокладки трубопровода горизонтальным способом «СОМС» состоит из:

- электропривода;
- перемещающихся штанг (90 см);
- игла-наконечник конусообразной, буровой формы, диаметром 70-80 мм.

В буровой головке развивается усилие, размер которого достигает до 30 т. Когда в приемный котлован выйдет рабочий наконечник, его меняют на расширитель-развертку, чтоб расширить отверстие до 0,1 - 0,12м. На конце расширителя располагается резьба или крюк для затягивания на обратном ходу устанавливаемого трубопровода.

Достоинства грунтопрокалывателя системы СОМС:

- компактность;
- относительно дешевый электропривод;
- относительно простая конструкция;
- осевое усилие можно использовать в оба направления.

Недостатки грунтопрокалывателя системы СОМС:

- маленький срок работы у червячных передач;
- зависит от электричества;
- значительные потери энергии на червячных передачах.

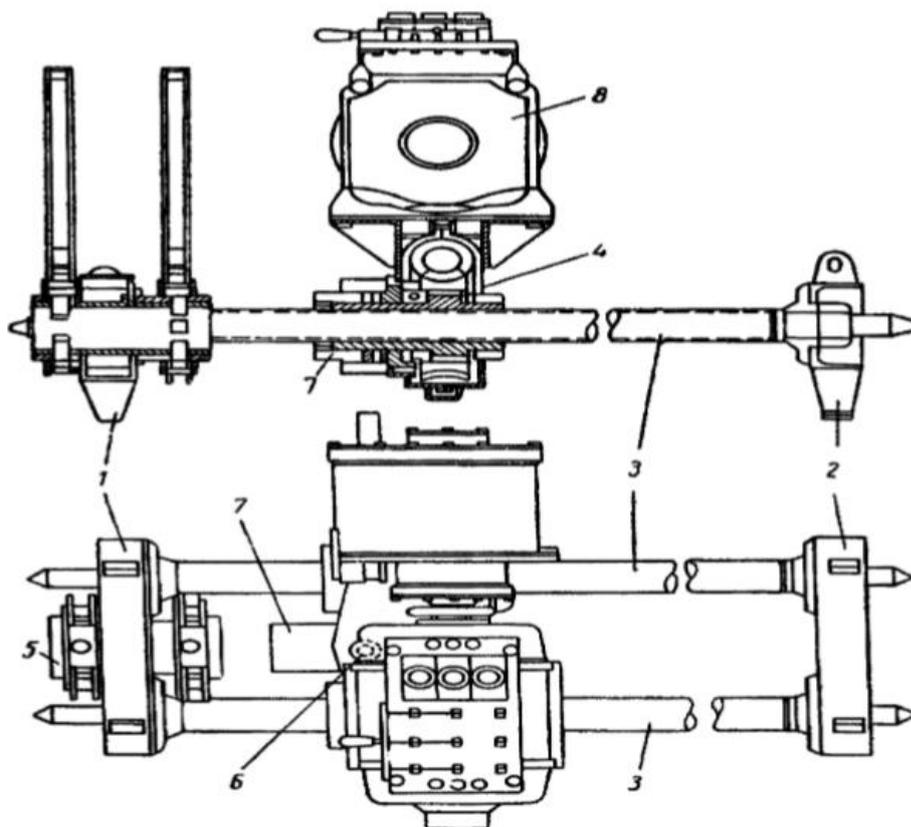


Рисунок 2.1 –Грунтопрокальватель «СОМС»:

“1 -2-траверсы; 3 - винт; 4 - механизм передачи; 5 - зажимной механизм; 6 штырь; 7 - штанготолкатель; 8 – электродвигатель”[12]

В Российской Федерации грунтопрокальватель БГ-3 широко используется для прокладки под землей кабелей, представленный на рисунке 2.2, который оборудован двигателем внутреннего сгорания, гидравлическим поршневым насосом с давлением до 30 МПа и подкачивающим шестеренчатым насосом.

К достоинствам данного станка можно отнести: реализация значительных осевых усилий и установка не зависит от видов энергии (электричества, сжатый воздух и т.д.).

Недостатки грунтопрокальвателя БГ-3: довольно высокая стоимость гидропривода, низкий КПД, малый ход гидроцилиндров.

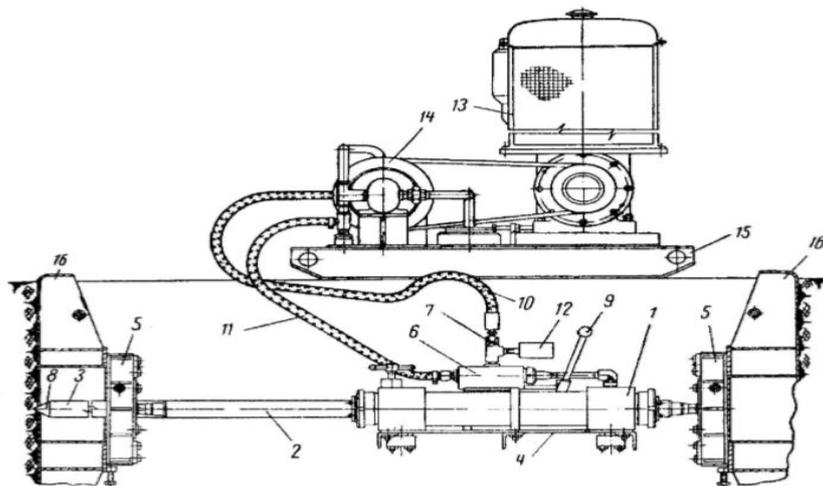


Рисунок 2.2 –Грунтопрокалывающая установка «БГ-3»[12]

Для устройства коммуникаций, таких как кабель, газопровод и водопровод для ввода в здание за пределами РФ получили большое распространение легкие и малогабаритные станки - грунтопрокалыватели.

Станок системы «ГРИНЛИ», изображенный на рисунке 2.3, предназначен для статического прокола скважин диаметром 25-100 мм и достигает 25 м в длину. Если необходимо диаметр скважины можно увеличить с помощью расширителя до 150-200 мм.

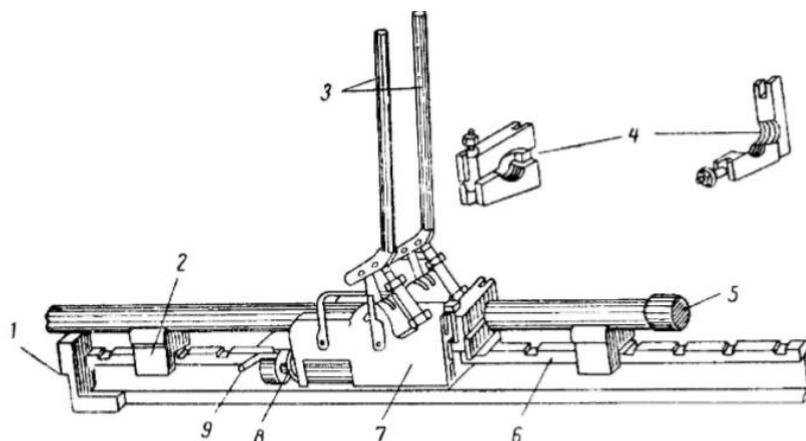


Рисунок 2.3 –“Грунтопрокалыватель типа «ГРИНЛИ»:

1 - опора; 2 – подставка для направления; 3 - рукояти; 4 – хомут для зажима; 5 - наконечник; 6 - кремальера; 7 - каретка; 8 - шток гидродомкрата; 9 - стопорный палец”[12]

«ГРИНЛИ» работает при помощи ручного гидравлического пресса, который включает в себя 2 относительно маленьких домкрата с насосами, расположенными в каретке. Усилие от такого станка 3-18 т.

К достоинствам такой системы относится: небольшие размеры и вес,

абсолютная независимость от привода.

Недостатки же: маленькое осевое усилие, дополнительные зажимы, хомуты для переделённых диаметров.

Установка ГПУ-600А была изобретена для устранения проблемы стесненных городских условий и прокладке в ней коммуникации [8]. Грунтопрокаль, типа ГПУ-600А, представлен на рисунке 2.4.

ГПУ-600А прокладывает стальной трубопровод диаметром 100-630 мм. При этом габариты котлована 4x5 м в глубину необходимую по проекту.

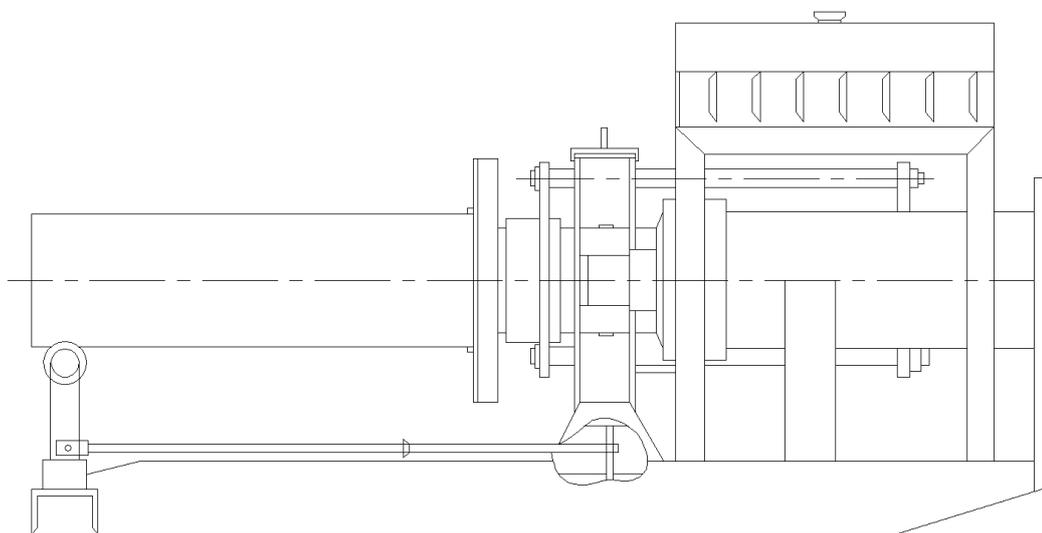


Рисунок 2.4 – Грунтопрокальватель ГПУ-600А

Особенность ГПУ-600А в том, что все усилие приходится на торец трубы через звенья, одно из звеньев - это телескопический толкатель, благодаря этому снижаются размеры грунтопрокальвателя.

На данный момент в широком применении грунтопрокальватели, типа ПУ-1 «Игла» и ПУ-2. ПУ-1, изображенные на рисунке 2.5. Данная установка создана для устройства коммуникаций под магистралями и в стесненных городских условиях, применяется в любых грунтах [37].

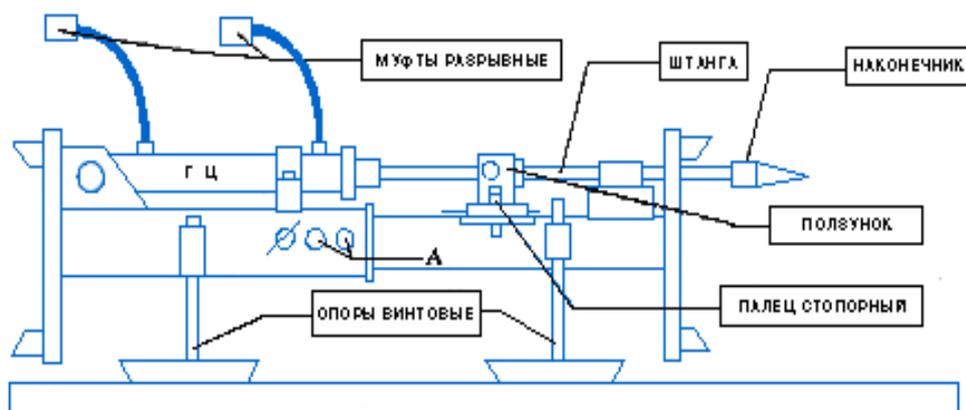


Рисунок 2.5 -Грунтопрокальватель типа ПУ-1 «Игла»

Грунтопрокальватель «Игла» в рабочее состояние приводится с помощью гидросистемы от трактора либо от гидростанции. Все основные характеристики приведены в таблице 2.1.

Размеры котлована, для начала работы грунтопрокальвателя ПУ-1, составляет 4x1 м, а глубина зависит от глубины прокладки коммуникаций.

Таблица 2.1 - Основные данные ПУ-1 «Игла»

Основные данные	Значения
Длина, м, минимальная/максимальная	3,8/4,15
Габариты, м	0,45/0,75
Длина прокола, м	55
Диаметр прокола, м	0,250
Н прокола, минимально, м/мин.	0,5

Так же часто используют грунтопрокальвающую установку УП-30. Принцип прокола, сначала образуется лидерная скважина, а затем ее расширяют до нужного диаметра.

Грунтопрокальватель УП-30 предназначен для устройства трубопровода разного назначения (коммуникации, оболочки для линий связи и т.д.). Существуют два исполнения данной установки с электроприводом и с приводом маслонасоса.

“Установки УП обеспечивают выполнение следующих операций: создание необходимого осевого усилия на забой и скорости подачи при проколе грунта передовой штангой с ее вращением или без контроля и

корректировку направления прокола; расширение скважины обратным ходом до проектного сечения, с одновременной прокладкой технологического трубопровода или оболочки; разрушение выработавшего ресурс трубопровода (керамического или чугунного) с одновременной заменой его долговечным, например, полиэтиленовым трубопроводом” [30].

Самая распространённая установка для статического прокола является УНП-630 (рисунок 2.6). Прокладывает коммуникации диаметром до 0,63 м с проколом лидерной скважины, а также может попутно разрешать и в это же время затягивать новые полимерные трубы.

Привод УНП-630 работает от гидросистемы машины, а также может работать от автономной гидростанции. Грунтопрокальватель может выполнять работу в водонасыщенных грунтах. Выполнять прокол УНП-630 может на глубине 10 м, а так же работать без бурового раствора.

Установка для прокола УНП-630 включает в себя рабочий контейнер, гидродомкрат, систему управления, гибкие рукава по 10 м, набор штанг - 30 м и сам грунтопрокальватель с ассортиментом наконечников диаметром до 0,325 м. Преимущества данной установки от аналогов, она компактна, мощна, универсально в применении и имеет не большую стоимость.

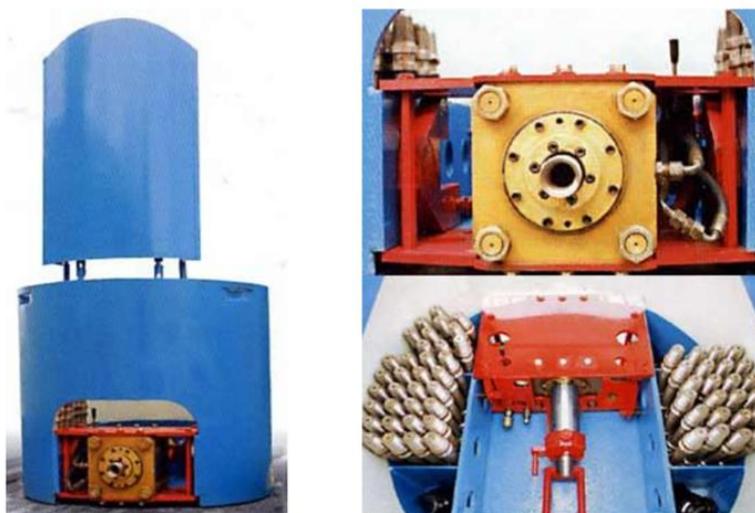


Рисунок 2.6—Устройство для прокола УНП-630

У всех этих грунтопрокальвателей для статического прокола есть

общие недостатки:

1. Маленькая скорость;
2. Увеличенное давление напора;
3. Подготовительные работы в большом объеме;
4. Вероятность искривления скважины.

Виброкальвающие грунтопрокальватели имеют различия со статическими грунтопрокальвателями. К оборудованию для горизонтального устройства трубопровода добавляют вибратор. В РФ такие установки УВП-1 и УВП-2, схема изображена на рисунке 2.7. Скорость прокола у них в 7 раз больше, а осевое усилие подачи в 9 раз меньше в сравнении с установкой для статического прокола.

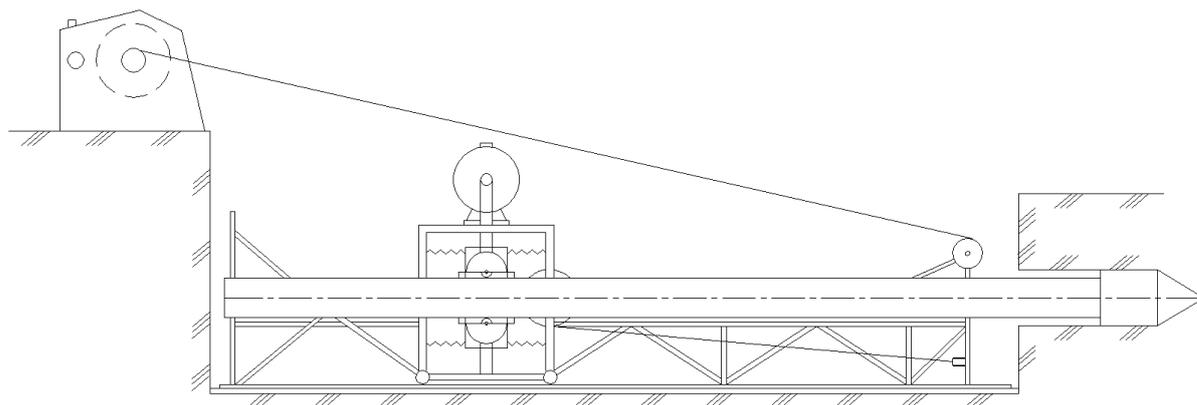


Рисунок 2.7 –УВП-1 и УВП-2

“Процесс прокола осуществляется следующим образом. Напорную штангу, роль которой, чаще всего, выполняет прокладываемый трубопровод с закрепленным на переднем конце рабочим наконечником, устанавливают на тележку и крепят к нему вибратор, включают двигатели привода вибратора и тяговой лебедки. Под действием возмущающей силы вибратора трубопровод с рабочим наконечником совершает направленные колебания вдоль оси прокола, а канат тяговой лебедки перемещает тележку с прокладываемым трубопроводом по направляющей раме в направлении прокола. После того, как тележка переместится в крайнее положение в забое, двигатели привода вибратора и тяговой лебедки выключаются, а тележку с

вибратором перемещают в исходное положение и цикл повторяется” [29].

Широкого распространения установки, для прокладки трубопровода бестраншейным способом, УВП-1, УВП-2 не получили.

Главная причина, почему не применяют данную установку, потому что колебания проходят по всему устанавливаемому трубопроводу. Чтоб обеспечить необходимую амплитуду колебания необходимо увеличить силу вибратора.

В связи с увеличением длины скважин, увеличивается вес трубы находящаяся под воздействием вибрации, уменьшается амплитуда колебаний, все это приводит к снижению эффективности данного прокола. Большая длина трубы и увеличение возмущающей силы, которая направлена вдоль оси трубопровода, приводит к потере устойчивости трубопровода, после чего она работает как демпфер, поглощает энергию колебания. Следовательно, длина скважины с этими установками ограничена. Не менее важно, что установки УВП-1 и УВП-2 требуют значительный объем подготовительных и завершающих работ.

Чтоб снизилось негативное явление на процесс колебания наконечника, колебание всей штанги, создали новые установки. В данных установках не идет колебание всего трубопровода, а колебания происходят только в наконечнике. Между трубопроводом и наконечником теперь располагается упругий элемент.

На данный момент такое конструктивное решение используется довольно широко. Примером такой конструкции является вибронаконечник, представленный на рисунке 2.8.

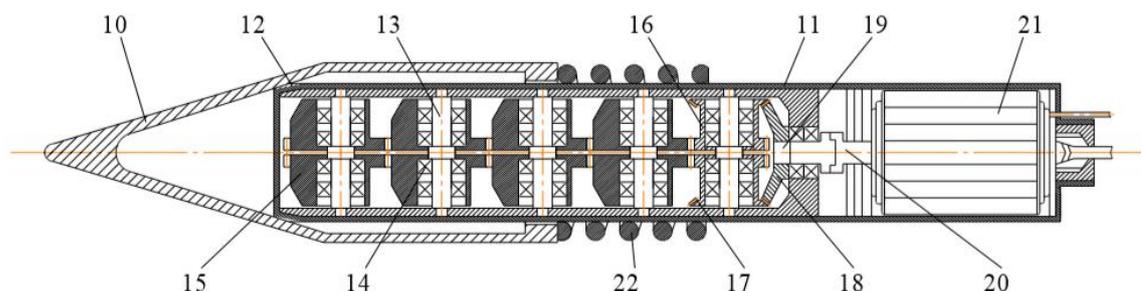


Рисунок 2.8-Вибронаконечник[13]

Вибронаконечник расположен внутри прокладываемой коммуникации. Трубопровод и наконечник соединены внутри пружины.

В сравнении с установками УВП-1 и УВП-2, рассматриваемый вибронаконечник не передает колебания на всю устанавливаемую трубу. Это приводит к снижению возмущающей силы вибратора, и длина устанавливаемой трубы не влияет на силу колебания наконечника. Но и данный вид установок не широко используются, так как сложно разместить мощный вибратор в маленький диаметр наконечника.

Конструкции вибронаконечников, рассмотренные выше, с низкой эффективностью взаимодействия вибронаконечника с землей, это связано с тем, что направлены вдоль оси колебания. Это приводит к тому, что часть силы тратится на вибрацию наконечника, а другая часть на саму проходку. Вторая часть доминирует при проходке.

При стремлении уменьшить недостатки, указанные выше, появился новый способ, где энергия колебания теперь направлена не вдоль оси, а перпендикулярно оси проходки.

Но не зависимо от того, что сильно уменьшилось усилие прокола и значительно увеличилась скорость прокола, эти вибронаряды не широко применяются, так как недостаточно глубоко исследовано в области различных показателей (конструктивных, режимных и эксплуатационных) установок для вибропрокола.

Отличительная особенность установок ударно-вибрационного прокалывания является отсутствие при проколе статического усилия. Зачастую такие установки имеют устанавливаемую трубу, вибромолот и привод. Молот производит удары по наковальне, которая в свою очередь жестко связана с устанавливаемым трубопроводом. Благодаря данным ударам труба проникает в грунт.

Установки вибро-ударного типа имеют сильно упрощенную конструкцию, а так же уменьшается объем подготовительных и заключительных работ.

ВНИИГС разработал для внедрения в строительство ударно-вибрационно-вдавливающее оборудование УВВП-400 позволяющее проложить бестраншейным способом трубы диаметром до 426 мм, представленной на рисунке 2.9. Ударно-вибрационно-вдавливающее оборудование УВГ-51 предназначено для трубопровода диаметром до 530 мм.

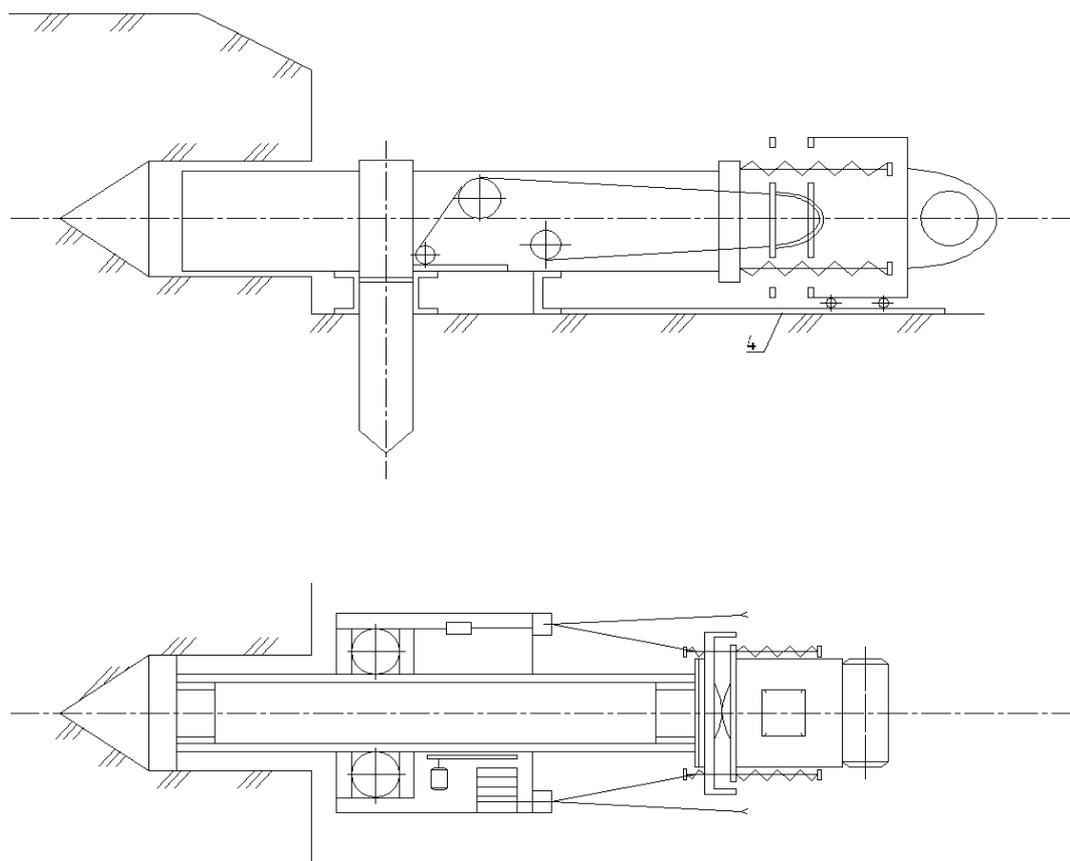


Рисунок 2.9 – Схема грунтопрокалывающей установки УВВП-400

В установке УВВП-400 сочетается два метода прокола: вибрационный и виброударный. Металлоконструкция внедряется в грунт с использованием сразу двух сил: статики и импульсных ударов. Так же особенностью данной установки для прокола грунта являются пружины, способные к саморегуляции напряжений механизма для вибрационного удара. Напряжения зависят от сопротивления грунта внедрению трубопровода. Такие пружины дают возможность выполнять работу в лучшем сочетании

эффективного вибрационного удара с необходимым статическим усилием.

Установка для прокладки труб ЭВУ (рисунок 2.10), устанавливает трубопровод диаметром до 0,6 м и длиной до 40 м с помощью высокочастотного удара. Установка состоит из трубы-патрона (она есть и при статическом проколе), рабочий наконечник, соединенный с силовым блоком. От электродвигателя осуществляется привод вибратора. Цепная передача и карданный вал загружают раму с двигателем. Регулировать виброударный механизм можно за счет поджатия пружин обоймой за счет того, что вращаешь шпindel. Когда наносятся удары по наковальне, вибромолот вынуждает устанавливаемый элемент смещаться в сторону забоя, погружаться в грунт и выполнять прокол с большими скоростями.

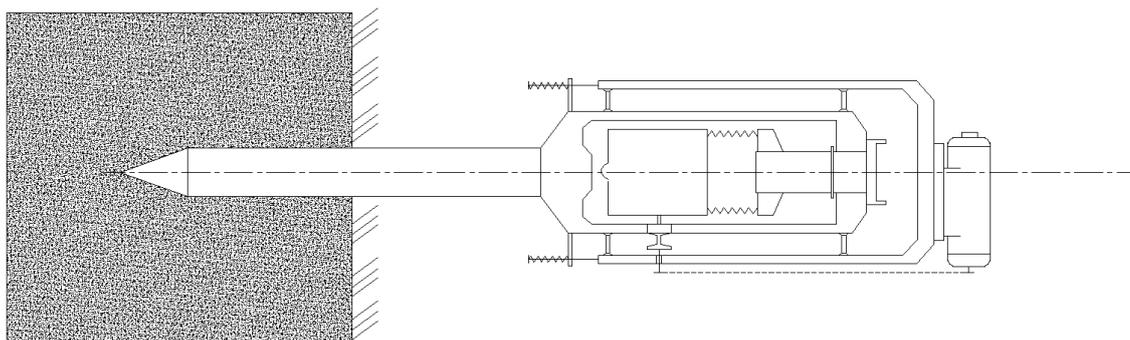


Рисунок 2.10- Схема установки ЭВУ

Так как нет необходимости в доп. статическом усилии то значительно упрощается выполнение подготовительных и заключительных работ. Это приводит к уменьшению стоимости прокола. Этот метод позволяет в условиях стойки сразу разложить и сварить устраиваемые трубы, следовательно, процесс можно сделать непрерывным, потому что не нужно постоянно наращивать звенья из труб. При этом методе повышается скорость прокладки коммуникаций, что приводит к уменьшению времени создания узлов стыка между трубами и уменьшает вероятность, что ось искривится при проколе.

Плюсы установки ЭВУ: уменьшение осевых усилий, относительно

недорогой электропривод. Минусы: вибрационный механизм недолго служит, через прокладываемую трубу передаются ударные усилия.

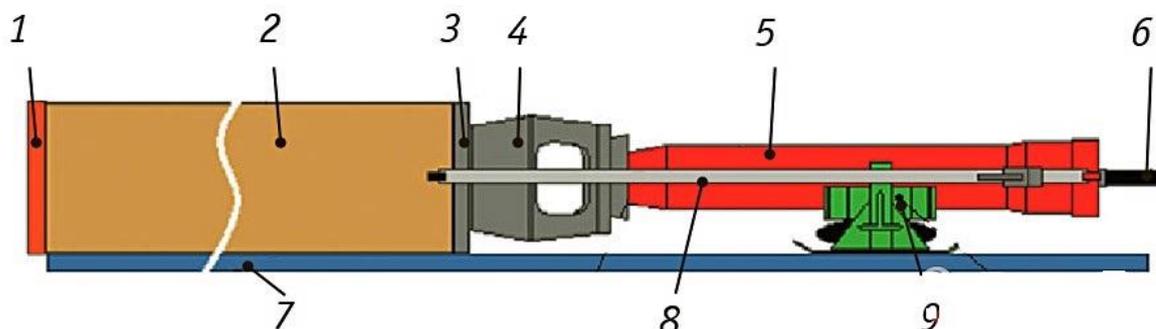


Рисунок 2.11 – Устройство трубопровода с помощью установки «Grundoram»: 1 – режущий наконечник; 2 – забиваемая труба; 3 – ударный сегмент; 4 – рамкегель; 5 – «Grundoram»; 6 – шланг для подачи; 7 – опора для направления; 8 – приводной механизм; 9 – направляющая лафетного типа.

Следующим этапом является замена пневматического привода на гидравлический. Ярким представлением такого класса машин является гидропробойник ГПС-600, энергия одного удара составляет 6 кДж.

Конструктивная схема ГПС-600 почти не отличается от пневмопробойника. Следовательно, все достоинства пневмопробойников переходят в достоинства гидропробойников.

“В качестве рабочей жидкости используется минеральное масло в замкнутом объеме, которое от цикла к циклу возвращается из гидропробойника в маслобак насосной станции. При значительных протяженностях проходимых скважин для этого возврата требуются дополнительные затраты энергии. Кроме того, при эксплуатации гидропробойников, при их монтаже и демонтаже, в аварийных ситуациях происходит безвозвратная потеря рабочей жидкости, что повышает себестоимость проходки.

Сравнительно новый способ проходки скважин без извлечения грунта - раскатка. Раскатка осуществляется с помощью конического рабочего органа, который как бы ввинчивается в грунт, благодаря вращению от привода. Грунт

под действием вращающегося снаряда вдавливается в стенки скважины. В образованную скважину прокладывают трубопровод” [26].

Существует огромное разнообразие наконечников для раскатки. Яркими представителями конструкции для раскатки - это DR-50...DR-80, изображены на рисунке 2.12. Данный проходчик помогает создавать лидерную скважину диаметром 5-8 см соответственно. “Модуль обратного хода выполнен в виде конического бурава. Модуль прямого хода состоит из ряда эксцентрических, последовательно развернутых относительно оси вращения колес и из ступиц со свободно вращающимися ободьями” [10].

Так как данное устройство имеет небольшие размеры - это позволяет работать в тесных условиях. Главное преимущество современных устройств для раскатки - это образование скважин с прочными стенками без изъятия грунта из скважины.

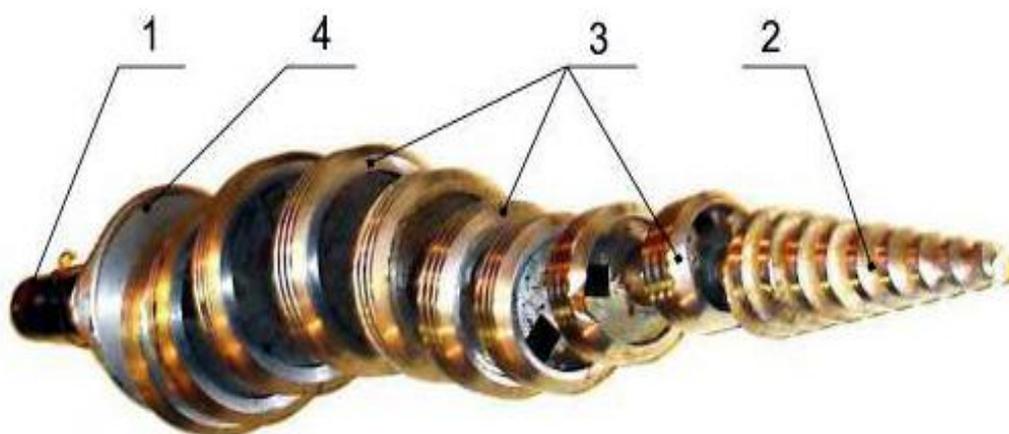


Рисунок 2.12 - Проходчики DR- 50, DR- 80:

1- ось, соединяющаяся с приводом на электрическом моторе; 2 - рабочая часть; 3 –блок прямого направления; 4 - блок обратного направления

Проанализировав, оборудование и устройства для образования горизонтальных скважин бестраншейным способом делаем выводы:

1. Установки для статического прокола идут с увеличением напорного усилия с помощью гидроцилиндров, и это приводит к увеличению размеров оборудования.

2. Чтоб повысить точность проходки используют локальные системы, из-за этого происходит увеличение цены.

3. Чтоб снизить сопротивление прокладки трубопровода применяют вибрацию или удар, что сильно снижает размеры оборудования в сравнении с оборудованием для статического прокола и при этом увеличивается скорость и точность проходки.

## 2.2 Теоретическое исследование работ, выполненных в области статического прокола.

Физический процесс влияния рабочего наконечника на грунт.

Есть различные мнения на явление, что происходит при статическом образовании скважин в грунте. Одни теории ставят в параллель горизонтальный прокол и устройство свай, отталкиваясь от того, что при погружении свай и при устройстве труб способом прокола перед концами труб в грунте образуется ядро уплотнения. Оно противодействует силам, возникающим в грунте при выполнении погружения.

Также источники утверждают, что явления, которые происходят при устройстве свай и горизонтальном устройстве труб различные, и, следовательно, применять один и тот же способ определения максимального усилия на сваю и трубу, внедренную в грунт, не имеет возможности.

Прокол — это внедрение в грунт трубу, на конце этой трубы расположен конусообразный наконечник. С помощью наконечника происходит уплотнение грунта в радиальном направлении, в это время возникает вокруг устраиваемого трубопровода зона уплотнения грунта. Радиус, которого подчиняется виду грунта и диаметру наконечника.

Данное состояние некоторые авторы предлагают вычислять через «коэффициент сопротивления грунта уплотнению» -  $\sigma_{упл}$ .

По результатам исследований по выявлению размеров и последовательность изменений напряжения в земле при проколе статикой. Образуется напряженная зона, из-за напряжений в грунте, размеры данной зоны 3-5 диаметров конусного наконечника.

“Таким образом, при проколе возникают два вида грунтового сопротивления:

- лобовое сопротивление - сопротивление грунта внедрению в него конусного наконечника (сопротивление грунта уплотнению);
- боковое сопротивление - сопротивление, вызванное силами трения и сцепления грунта о боковую поверхность трубы.

Лобовое сопротивление возникает с первого момента углубления в грунт конусного наконечника. По мере внедрения наконечника грунт раздается им в стороны, уплотняется и частично выпучивается со стороны открытой поверхности забоя. При этом сопротивление внедрению растет, а скорость проходки уменьшается. Сила лобового сопротивления достигает своего максимального значения и остается постоянной в течение всего прокола (при условии, что грунт однороден). Только в самом его конце, когда конусный наконечник приближается к месту выхода на дневную поверхность, лобовое сопротивление уменьшается в связи с началом выпучивания грунта в месте выхода наконечника и становится равным нулю.

В отличие от лобового сопротивления, боковое сопротивление при проколе непрерывно возрастает по мере погружения трубы в грунт (линейная зависимость) и в конце проходки достигает своей максимальной величины” [12].

Как изменяются силы сопротивления земли проколу по мере движения трубы во время прокола, представляется в виде графика, изображенном на рисунке 2.13.

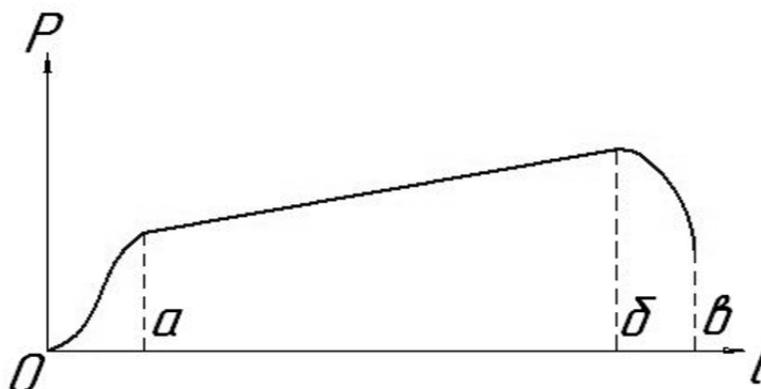


Рисунок 2.13 - График изменения силы сопротивления грунта при проколе

“В стадии установившегося движения на участке  $a - b$  скважина

образуется целиком за счет деформации грунта в поперечном сечении, при этом лобовое сопротивление стабилизировалось, увеличение сил сопротивления грунта происходит только за счет возрастания сил трения грунта по боковой поверхности трубы - бокового сопротивления. В однородном грунте при постоянной величине коэффициента трения и постоянном удельном обжатии трубы грунтом силы бокового сопротивления растут пропорционально величине поверхности трения, другими словами, - пропорционально длине погруженной в грунт трубы. К концу стадии установившегося движения напорное усилие  $P$  достигает максимальной величины.

По мере выхода наконечника в приемный котлован сопротивление грунта уменьшается на величину его лобовой составляющей (участок б-в).

Распределение напряжений в зоне уплотнения и определение зоны уплотнения.

Рабочий процесс прокола горизонтальных скважин изучен недостаточно, ввиду чего для расчёта сопротивлений прокола в практике используются данные опыта и эмпирические формулы, причём результаты исследований в этой области сильно разнятся.

Сегодня до конца неизвестен характер распределения контактных напряжений, а также величины и закономерности изменения напряжений в массиве грунта”[12].

Давление контакта на поверхности рабочего наконечника представлены в таблице 2.2. Кривые контактного давления можно выразить с помощью формулы 2.1.

$$\sigma^2 = 2p \cdot l, \quad (2.1)$$

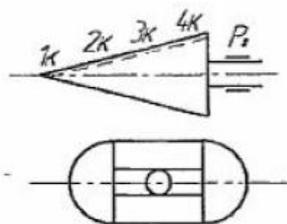
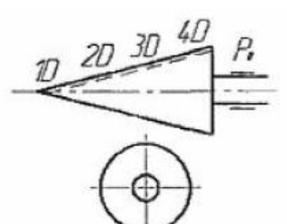
где  $\sigma$  - давление контакта на боковой поверхности рабочего наконечника, кгс/см<sup>2</sup>;

$l$  - расстояние от вершины конуса до данной точки на боковой поверхности штампа, см;

$2p$  - данные для параболы, зависящие от физико-механических

грунтовых свойств и геометрической формы рабочего наконечника, по данным опыта  $2p = 3,15$ .

Таблица 2.2 – Давление контакта на боковой поверхности рабочего наконечника и сопротивления проколу.

Схема установки датчиков на штампе	Шифр датчика	Контактные давления $\sigma$ , кгс/см <sup>2</sup> по данным пяти опытов					Среднее значение
		1	2	3	4	5	
	1К	3,4	3,0	2,5	3,6	3,9	3,28
	2К	4,1	5,0	4,3	5,7	4,9	4,8
	3К	5,2	6,0	5,9	5,4	6,0	5,7
	4К	6,5	6,2	7,0	7,2	6,4	6,66
	1D	4,0	6,0	4,8	4,9	5,0	4,94
	2D	11,0	11,2	11,9	11,7	10,0	11,16
	3D	11,7	12,0	14,0	13,0	12,1	12,56
	4D	10,0	15,8	15,6	15,0	14,0	14,08

Мах. давление, развивается перед рабочим наконечником, сильно превышает предельную прочность грунта на сжатие. Ближе к вершине конуса она уменьшается. Отталкиваясь от теорий упругости и пластичности контактное давление у основания наконечника приблизительно равно предельной прочности грунта на сжатие. Ближе к вершине конуса она уменьшается. Отталкиваясь от теорий упругости и пластичности контактное давление у основания наконечника приблизительно равно предельной прочности грунта на сжатие.

На рисунке 2.14 изображены кривые изменения напряжений в грунте при статическом проколе. Как уже говорилось ранее, деформация структуры происходит из-за уплотнения грунта от воздействия рабочего наконечника. За счет увеличения напряжений рядом с конусным наконечником грунт сдвигается в место, где больше пор, заполняя при этом их. “При этом эпюра распространения средних критических напряжений в плоскости,

перпендикулярной оси проходки, представляет собой концентрическую окружность с центром на оси скважины. Анализ кривых напряжений (рисунок 2.15) при внедрении конусного рабочего наконечника показывает, что абсолютная их величина имеет максимальное значение в радиальном направлении. Величина напряжений, возникающих в грунте, определяет сопротивление внедрению рабочего наконечника при проколе”[12].

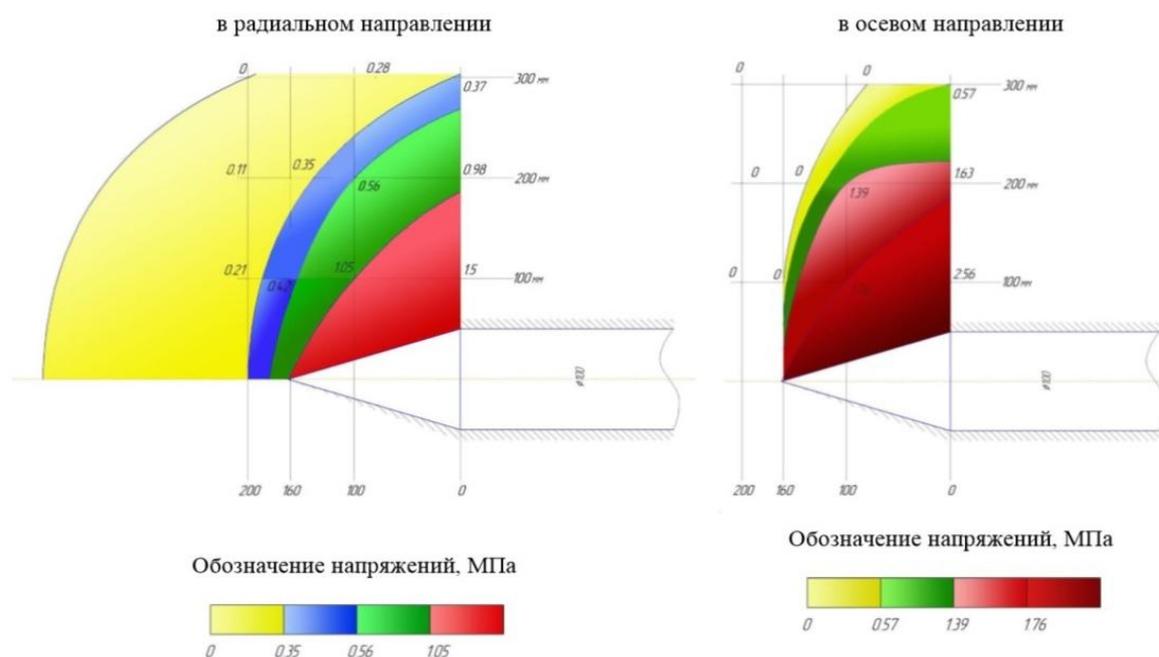


Рисунок 2.14 - Напряжение в грунте при проколе статикой

Данные изменений напряжения в грунте и смещения частиц земли позволяют выявить закономерность их изменений и рассчитать зону вероятного воздействия прокола на существующие трубопроводы. Значительные смещения грунта происходят в скважине, зоной которой является, 2,5-3 диаметра вершины рабочего наконечника. За этой зоной в грунте начинаются большие напряжения сжатия, они могут повлиять на уже проложенные коммуникации. Таким образом при внедрении наконечника диаметром 0,1 м, размер напряжения примерно  $1 \text{ кгс/см}^2$ , влияет на зону 0,4 м, т. е. на зону равную 4 диаметрам наконечника. При воздействии рабочего наконечника 0,15 м размер зоны увеличивается и составляет уже более  $1 \text{ кгс/см}^2$  то и зона воздействия увеличится и составит 5 диаметров вершины наконечника.

“Осевые и радиальные напряжения возникают в зоне скважины в области перед штампом, однако они не исчезают мгновенно после прохода штампа, чего можно было ожидать в соответствии с известными положениями теории упругости. Перед штампом область заметных напряжений распространяется на расстоянии до 2 диаметров штампа от основания, конуса, не уменьшаясь до нуля, а сохраняя некоторое постоянное значение остаточного напряжения, величина которого зависит от расстояния до оси скважины. Максимальной величины напряжения достигают в плоскости основания конуса” [12].

В земле образуется зона напряжения. Она перемещается вместе с рабочим наконечником. Напряжение образуется не только перед рабочим наконечником, но и после того как он прошел. Самый большой диаметр составляет примерно 3 диаметра вершины наконечника при напряжении свыше  $1 \text{ кгс/см}^2$ .

На расстоянии около 3 диаметров вершины конуса перед рабочим наконечником возникает радиальное напряжение. После того как наконечник прошел радиальное напряжение постепенное падает и на расстоянии примерно 1 диаметра от вершины конуса становится постоянным, образуется зона остаточного радиального напряжения.

Медленное уменьшение осевого и радиального напряжений после того как наконечник прошел не является возможным объяснить теорией упругости, если отталкиваться от нее, то нагрузка должна сняться немедленно, как только ушло напряжение. Благодаря этому опыту обнаружено, что плавное снижение напряжения является физико-механическим показателем свойств грунта: пластическое, упругопластическое и упругие деформации, значительное воздействие силы трения внутри и сохранение деформаций от напряжения, как при добавлении, так и, если убрать внешние нагрузки.

Благодаря этому опыту обнаружено, что плавное снижение напряжения является физико-механическим показателем свойств грунта: пластическое,

упругопластическое и упругие деформации, значительное воздействие силы трения внутри и сохранение деформаций от напряжения, как при добавлении, так и, если убрать внешние нагрузки.

Выявление зоны с уплотнением при воздействии на грунт деформаторов исследовали процесс устройства свай. Но другие исследователи такие как: Д.И.Шор, Н.В.Васильев [5] – утверждают, что явление при погружении сваи и способе прокола, различны, и, следовательно, одну эту теорию выявления предельного усилия на сваю и при горизонтальном проколе использовать нельзя. Прокол, почти всегда, происходит на одной глубине, поэтому геологическое давление грунта неизменно, а при устройстве свай давление меняется, увеличивается с глубиной погружения. Рабочий штамп подбирают большего диаметра, чем устанавливаемая труба, для образования зазора между устанавливаемой трубой и стенкой скважины. Чтоб предотвратить потерю продольной устойчивости трубы, на нее устанавливают специальные башмаки для направления, равномерно расположенные по всей трубе. Данные башмаки позволяют препятствовать искривлению устраиваемого трубопровода в скважину.

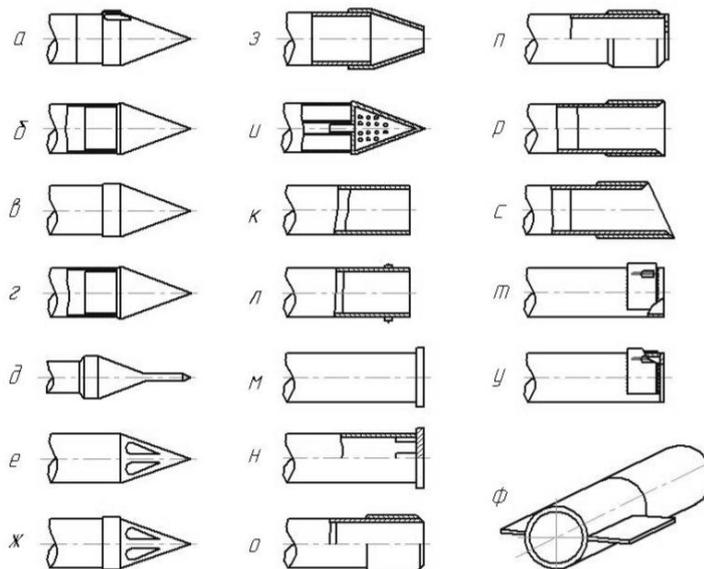


Рисунок 2.15- “Наконечники для бестраншейной прокладки труб способом прокола:

*a, б, в* - конусные; *г* - конусный с эксцентриситетом; *д* - конусный со штырём; *е, ж* - конусный с щелевыми прорезями; *з* - конусный с усечённой вершиной; *и* - конусный с отверстиями для увлажнения грунта; *к* - открытый конец трубы; *л* - открытый конец трубы с кольцом; *м* — приварная заглушка; *н* – съёмная заглушка; *о* - кольцевой нож с наружным скосом кромок; *п* — то же, с приварной заглушкой; *р* - кольцевой нож с внутренним скосом кромок; *с* - кольцевой нож клиновидной формы с внутренним скосом кромок; *т* – нож серпообразного сечения; *у* - то же, с приварной заглушкой; *ф* - кольцевой нож с направляющими пластинками”[12].

При выборе формы рабочего наконечника важно учитывать его соотношение геометрических размеров, устанавливающий остроту конуса.

Результаты экспериментов в работе [30] показали, что наконечник, его форма и угол заострения определяются соотношением  $h \leq 2,5R$ , представлены на рисунке 2.16, не сильно влияют на суммарное сопротивление прокола. Максимальный угол заострения равен  $2\alpha$ , при нем не возникает нароста, и равен он  $55^\circ$ .

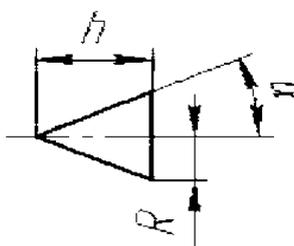


Рисунок 2.16 - Геометрические параметры конуса наконечника: *h* - высота; *R* - радиус конуса;  $\alpha$  - угол заострения

В результате теоретических и экспериментальных исследований, определили влияние форм рабочего наконечника (формы - выпуклая, вогнутая, прямолинейная), а также влияние угла на усилие вдавливания.

Исследование помогло установить, что форма наконечника, типа выпуклая или вогнутая, а также остроугольный наконечник  $20-30^\circ$  использовать неразумно, поскольку они приводят к возрастанию сопротивления прокола на 35% в сравнении с простым конусным

наконечником с заострением 40-50°. Данный угол близок к углу образования грунтового ядра. Еще исследование показало, что сила трения при проколе наконечником соответствует примерно 50% всего сопротивления при проколе, следовательно, идти к уменьшению трения наконечника с грунтом.

В работе Тимошенко В. К. показаны результаты исследования форм конусных рабочих наконечников. Оптимальная форма наконечника с обеспечением минимальное усилие прокола – это прямой круговой конус, если рассматривать независимость напряжений от радиуса рабочего наконечника и считать постоянным коэффициент трения.

Определим лобовое сопротивление воздействия рабочего штампа.

Отталкиваясь от мощности агрегата, необходимой для выполнения прокола, где труба имеет радиус  $R$ . Имея соотношение длины  $L$  к радиусу  $L/R=2,5$ , Определяем по формуле 2.2:

$$N_{\phi} = K \frac{\pi \cdot R^2 \cdot E_0 \cdot \frac{B}{t} \cdot (1 + 5f_i)}{102\eta}, \quad (2.2)$$

где  $N_{\phi}$  - мощность агрегата для прокола трубы, кВт;

$K$  - коэффициент запаса;

$E_0$  - модуль деформации грунтов, Па;

$f_i$  - коэффициент трения грунта по металлу;

$B$  - длина проходки, м;

$t$  - время проходки, с;

$\eta$  - коэффициент полезного действия установки.

Во время определения лобового сопротивления, в процессе устройства трубы, уплотняются частицы грунта из-за пористости и перемещаются в структурные деформации. В это время не принимается во внимание усилие на вытеснения поров воды и воздуха. Самое большое усилие расположено по грани трубы. Началом упругих деформаций является граница уплотнения.

Объемом перемещаемых частиц грунта, называется разница между объемом грунта и объемом пор в этом грунте.

Из этого делаем вывод о том, что объем пор данной зоны равен объему

перемещенных частиц грунта. Формула 2.3 предполагается для вычисления усилия для преодоления сопротивления зоны деформации.

$$P_0 = \sigma_{\text{упл}} \frac{\pi \cdot R^2}{n_0}, \quad (2.3)$$

где  $P_0$  - усилие сопротивления деформированной зоны грунта, Н;

$\sigma_{\text{упл}}$  - коэффициент сопротивления грунта уплотнению, Па;

$R$  - радиус устанавливаемой трубы, м;

$n_0$  - коэффициент пористости грунта.

Формула 2.3 показывает, если увеличивается коэффициент пористости, то уменьшится усилие внедрения. Но из практики мы знаем, что усилия внедрения в грунт из песка выше, чем у глины. Еще в этой зависимости не делается учет на угол заострения рабочего наконечника при лобовом сопротивлении.

Во время вычисления лобового сопротивления конусного рабочего наконечника при проколе, отталкиваемся от того что наконечник конус с радиусом  $R$  и углом  $2\alpha$ . Лобовое сопротивление  $P$ , действует на рабочий наконечник внедряемый в однородный грунт с одинаковой скоростью, это видно в формуле 2.4:

$$P = \pi \cdot R^2 \cdot \sigma_r \cdot \frac{\tan(\alpha + \varphi)}{\sin \alpha}, \quad (2.4)$$

где  $\varphi$  - угол трения наконечника о грунт;

$\sigma_r$  - величина радиальных напряжений, Па.

Рекомендуется принимать.  $\sigma_r = \sigma_{\text{упл}}$ .

По формуле 2.5 определяем лобовое сопротивление:

$$P = \frac{2.52 \cdot \sin(\alpha + \varphi) \cdot \bar{R}}{\sin \alpha \cdot \overline{\sin \alpha \cdot \cos \varphi}}, \quad (2.5)$$

Исходя из данного расчета, видно, что на усилие лобового влияния конусного наконечника не воздействуют физико-механические свойства грунта, но имеет влияние размеры и форма данного конусного наконечника. Данную формулу можно применить только в грунтах с проведенными экспериментами.

Угол заострения  $2\alpha=35^\circ$  наконечника применяется при статическом проколе в глинистых грунтах.

Проанализировав все результаты, видно, что теория А. С. Вазетдинова дает необходимую точность определения лобового сопротивления для глинистых грунтов, погрешность составляет не более 15%, если диаметр скважины до 0,15м.

Однако менее точной является теория Шора Д.И. При ней занижено значение лобового сопротивления во время статического прокола.

Особенно заинтересовали результаты исследований в области деформации грунта при воздействии тел внедрения, штамп является таким телом внедрения. Выяснено, образуя скважины, происходит процесс уплотнения, устанавливается увеличение объемного веса грунта, из-за изменения влажности в грунте и отталкивается от влияющих нагрузок, свойств грунта, скорости внедрения и геометрических параметров наконечника.

Так как при исследовании деформации грунтов выявлено, что на деформацию влияет не только размер нагрузки, но и временные параметры. Эти параметры определяют грунты как вязкие, пластичные и упругие материалы. Благодаря данным параметрам появляется понимание скорости отклонения напряженного состояния и длительность нагрузки.

Данное высказывание изображает присутствие в грунте свойств, таких как вязкость и пластичность.

Выяснено, что устройство в грунт трубы начинается с достижением  $p_0$  (критическое давление). Если давление уменьшится, то внедрение не происходит.

Профессор Терцаги К. выяснил, что во время протаскивания металлической ленты в земле, сопротивление скольжения больше сопротивления движения зерен. Во время протаскивания в грунте стальной ленты сила сопротивления соответствует скорости протаскивания.

Это тоже указывает на присутствие вязких свойств в грунте. Так же

давление, которое достигается во время погружения рабочего наконечника в грунт, показывает, что при внедрении штампа в грунт большую роль играет свойство пластичности.

### 2.3 Теоретические исследования работ, выполненных в области виброударного прокола

“Были исследованы процессы виброударного внедрения в грунт полых цилиндрических элементов с конической закрытой или открытой забойной частью, перемещение которых описывается в виде системы дифференциальных уравнений, характеризующих колебание погружаемого в грунт корпуса с ударником. В указанных работах предлагаются методики расчёта виброударных установок для горизонтального прокола и продавливания грунтов, определяются скорость проходки в зависимости от геометрических размеров рабочего инструмента и свойств грунта. При этом в расчёт не вводится вязкое сопротивление грунта”[43].

Определено, что при ударном внедрении расширителя в массив земли образуются 2 зоны деформации: пластическая и упругая. Была замечена «пороговая» ударная энергия, которая идет, чтоб пересилить упругую деформацию грунта.

Рассмотрим несколько вопросов взаимосвязи между пневмоударной машиной и грунтом, а также природу деформаций при проколе. Сумма силы лобового сопротивления и силы внешнего трения, представляет силу сопротивления грунта, которая действует на тело, которое внедряют.

Отталкиваясь от данных полученных во время эксперимента, получаем эмпирическую формулу 2.6, с помощью которой можно определить скорость  $v$  с которой движется пневмопробойник:

$$v = \mu \cdot N \cdot \frac{1}{E_0} + \frac{1}{E_k}, \quad (2.6)$$

где  $N$  – мощность удара;

$E_k$ - энергия удара на корпусе;

$\mu$ ,  $E_0$  - коэффициенты, зависящие от физико-механических свойств

грунта и диаметра пробиваемых скважин.

Перемещение взято как цикл, опираясь на рассмотрение предельного нагружения, при котором процесс погружения приблизительно равен статическому проколу. И при котором происходит практически мгновенное нагружение. Энергетический подход позволяет оценивать влияния сил трения, мощности удара, энергии удара на скорость движения пневмопробойника в грунте.

Деформатор в грунте двигается циклично из действия ударного импульса. Во время движения вперед машина расходует кинетическую энергию, которую приобретает при соударении с ударником, тратит он ее, чтоб преодолеть силу трения и деформацию грунта. Далее от действия упругих сил грунта деформатор двигается в противоположном направлении, через какое-то короткое время действия повторяются. Передвижение пневмопробойника вперед больше, чем перемещение в противоположном направлении, и разница между ними равна смещению за 1 цикл.

Схема перемещения устраиваемой трубы в грунт, применяемая к пробойникам, основной параметр для вычисления скорости – это удельная энергия удара. Скорость перемещения машины, находится по зависимости:

$$v = n \cdot 10 \cdot (a - a_1) / P_1, \quad (2.7)$$

где  $n$  - частота ударов 1/с;

$a_1$  - удельная энергия, рассеиваемая при упругой деформации грунта, Дж/см<sup>2</sup>;

$P_1$  - обобщенный отпор, МПа.

Параметры,  $a$  и  $P_1$  - зависят от свойства грунта.

Выяснено, что при увеличении энергетических параметров анализируемых машин можно заменить пневматический привод гидравлическим, который имеет большее КПД. В результате исследования была выведена формула 2,8, по которой можно определить суммарную силу сопротивления инструмента внедрению:

$$P_c = \frac{p_n \cdot \pi \cdot d^2}{8} \cdot \left( \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{f}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right), \quad (2.8)$$

где  $p_n$  - нормальное давление грунта на боковую поверхность корпуса;

$d$  - диаметр образуемой скважины;

$f$  - коэффициент трения корпуса пробойника о грунт;

$\alpha$  - угол заострения корпуса пробойника.

Основные результаты экспериментального исследования в натуральных условиях, это установление факта о том, что существует устойчивое самодвижение виброударной системы, а также доказательство достоверности найденной до этого взаимоотношения скорости перемещения от силы трения о боковую поверхность. Результаты опытов показали, что, если высокая подвижность элемента, которого погружают, макс. скорость смещения устройства не отвечает макс.  $v$  молотка при ударе, но всегда можно определить с предпочтительным числом сил трения.

Зависимость скорости прокола и размера заглубления при проколе выведенная экспериментально показана на рисунке 2.17.

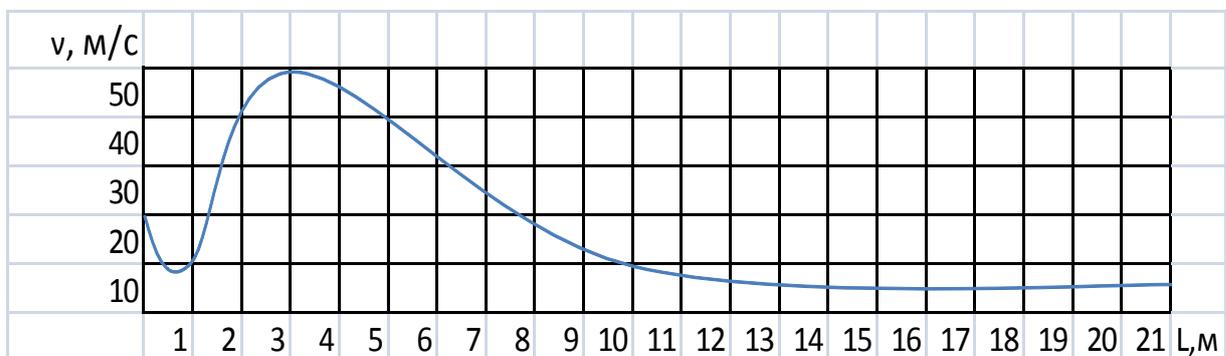


Рисунок 2.17 - Зависимость скорости проходки  $v$  от величины углубления  $L$

(погружаемый элемент - труба-патрон диаметром 325мм, длиной 40м,

снабженная глухим конусным наконечником)

Выявлена физическая картина прокола при виброударе: до того, как внедрить конусный рабочий наконечник (диаметр наконечника соответствует диаметру патрона) вибрационная установка плавно перемещается к стенке из

грунта. Опускание рабочего органа сопровождается значительным понижением скорости (есть случаи, когда снижается до 0). В процессе прокола увеличивается погружаемые части, вместе с ней возрастает сила трения о боковую поверхность, это вызывает возрастание скорости проходки.

Если использовать расширительный конусный наконечник в глинистых грунтах или суглинках, то длина цилиндрической трубы, которая дает оптимальный размер силы трения по боковой поверхности, скорость прокола после 1 этапа должна увеличиться до max., и дальше должны остаться постоянной.

“Сопrotивление грунта по боковой поверхности погружаемого элемента имеет в начале процесса проходки ярко выраженную фрикционную природу. Об этом говорит сам характер колебательных движений установки; явление срыва придвижение в направлении удара и значительное торможение «обратных» перемещений, о чем свидетельствует наличие длительных остановок погружаемого элемента, зафиксированных на виброграмме.

Кроме того, грунт, находящийся под установкой, почти не участвует в колебаниях, что исключает сколько-нибудь значительные упругие и вязкостные сопротивления перемещениям погружаемого элемента” [13].

Величина углубления в грунте: а - 0,5 м; б – 5 м; в - 7,3 м; г - 9 м.

При рассмотрении виброграмм колебаний элемента установки, можно выполнить оценку упругих и вязкостных свойств системы элемента, погружаемого грунт. В последствии обработки, было установлено, что частота колебаний устраиваемой трубы в грунт, объясняет упругость грунта, увеличивается с глубиной и это показано на рисунке 2.18. Так же при возрастании коэффициента колебательного сопротивления, объясняемого вязкие свойства, изображено на рисунке 2.19

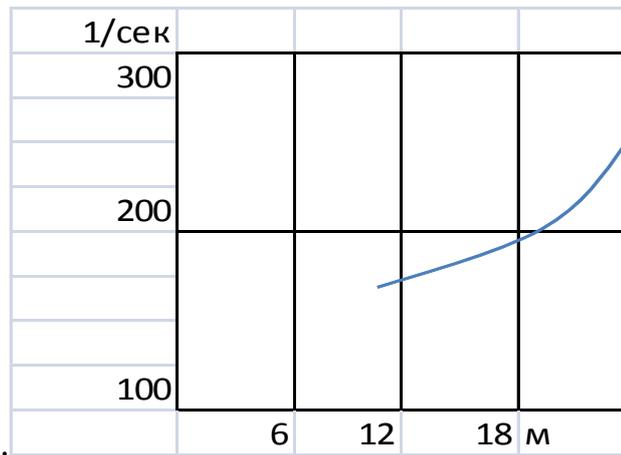


Рисунок 2.18 - Зависимость частоты собственных колебаний погружаемого элемента от величины углубления

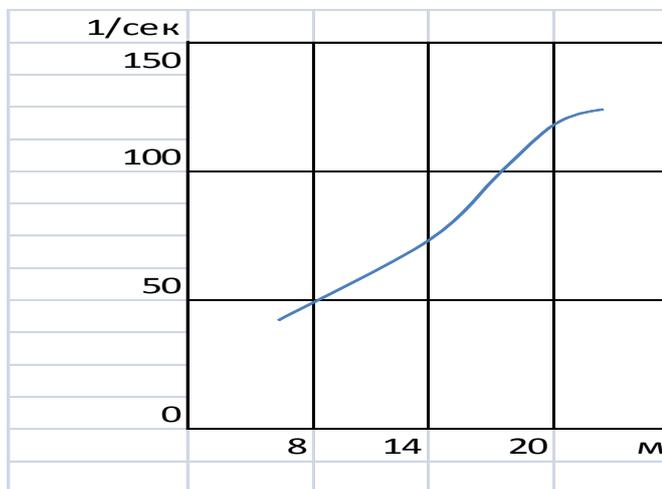


Рисунок 2.19 - Зависимость коэффициента сопротивления колебания от величины углубления.

#### 2.4 Теоретические исследования работ, выполненных в области вибрационного прокола

“В работе [10] указывается, что первые опыты по применению вибрации при бестраншейной прокладке труб, проведенные рядом организаций, не увенчались успехом. Причина неудачи заключалась в использовании в конструкциях установок высокочастотных ненаправленных колебаний прокладываемых труб в плоскостях, перпендикулярных к оси проходки. Такие колебания хорошо уплотняют несвязный грунт, но не содействуют снижению его лобового сопротивления, следовательно, их применение не способствует интенсификации проходки”[13].

“Как показали исследования Н. Я. Кершенбаума, снижение тягового усилия наиболее эффективно в том случае, когда направление колебаний совпадает с направлением движения разрушающего инструмента в деформируемой среде, следовательно, для максимального снижения тягового усилия необходимо развивать колебания в направлении движения рабочего органа” [13].

“В этих опытах было, например, выяснено, что для повышения скоростей проходки и для более успешного преодоления твердых грунтовых включений необходимо увеличивать напорное усилие. Однако последнее, в свою очередь, приводит к уменьшению размаха колебаний трубы. Чтобы избежать этого явления; следует увеличивать возмущающую силу вибратора, повышая момент его дебалансов или частоту колебаний, что ведет к возрастанию потребляемой мощности” [13].

“В разделе 2.2 указывалось, что при внедрении рабочего наконечника уплотнение в грунте происходит в результате структурных деформаций. Вследствие повышения напряжений вокруг рабочего наконечника частицы грунта, перемещаются в зону меньших напряжений и занимают весь объем пор в зоне структурных деформаций, при этом эпюра распространения средних критических напряжений в плоскости, перпендикулярной оси проходки, представляет собой концентрическую окружность с центром на оси скважины” [13].

“Из этой картины становится ясно, что наиболее рациональными являются круговые колебания рабочего наконечника в плоскости, перпендикулярной оси проходки относительно нулевой точки, расположенной на вершине конусного наконечника. В этом случае увеличивается интенсивность, воздействия вибрации на грунт по всей зоне структурных преобразований, в результате чего значительно снижается усилие прокола” [13].

Эксперимент, выполнялся в канале из грунта, осуществляли протяжку снаряда с вибрацией диаметром 0,25 м. Снарядом с вибрацией служит

наконечник конусной формы с углом под  $40^\circ$  с цилиндрическим поясом. Вибратор крепится к поясу Мощность вибратора - 2,2 кВт и 2880 об/мин составляет частота. Во время эксперимента регулировалась  $v$  прокола и заносились в протокол значения усилий прокола.

Проанализировав данные эксперимента с значениями усилий прокола, делаем вывод. Колебания рабочего наконечника в плоскости, поперечной оси прокола снижают усилие в 10-15 раз, с увеличением скорости прокола примерно на 5 раз. Чем ниже скорость, тем ниже усилие прокола.

“Это объясняется тем, что с уменьшением скорости прокола возрастает время вибрационного воздействия на грунт в зоне структурных преобразований. В результате чего перемещение частиц в этой зоне происходит в большей мере не от статического воздействия на грунт, а от энергии колебания, которая уменьшает силы трения и сцепления между частицами, в результате чего их переориентировка и течение от поверхности виброснаряда в зону меньших напряжений происходит с меньшим напорным усилием” [13].

“И, наоборот, с увеличением скорости прокола уменьшается время вибрационного воздействия на грунт в зоне структурных преобразований, в результате чего частицы не успевают потерять контакт между собой, и, как следствие этого, трение и сцепление между ними достаточно высоко и на их перемещение в зоне структурных деформаций требуется большее усилие прокола” [13].

“Проведенные эксперименты дали импульс к созданию конструкций для бестраншейной прокладки трубопроводов методом вибропрокола, в котором вибрирующим элементом является рабочий наконечник, колебания которого осуществляются в плоскости, перпендикулярной оси проходки относительно нулевой точки, расположенной на вершине конуса рабочего наконечника” [13].

“Тем не менее, на сегодняшний день отсутствуют промышленные образцы оборудования для проходки горизонтальных скважин при

бестраншейной прокладке коммуникаций с колебаниями рабочего инструмента перпендикулярно оси проходки, что объясняется отсутствием глубоких исследований в этой области по установлению рациональных конструктивных, режимных и эксплуатационных показателей установок вибрационного прокола такого типа” [13].

### 3 Совершенствование способа механизации земляных работ вблизи подземных трубопроводов

#### 3.1 Направления повышения эффективности проходки горизонтальных скважин

Анализ литературных источников показал, что и в нашей стране, и за границей занимаются совершенствованием существующих способов, а также улучшением и созданием новых машин для бестраншейной прокладки коммуникаций. Хотя этим вопросом и занимаются, все равно в России существуют сложности с применением бестраншейной технологии.

Несмотря на достигнутые результаты, проблему применения бестраншейных технологий в России считать полностью решенной нельзя. Так как в малых городах РФ мало применяется бестраншейная технология из-за дороговизны заграничного оборудования и отсутствие эффективных аналогов в нашей стране для образования горизонтальных скважин. Для решения проблемы повышения эффективности образования скважин способом прокола необходимо: снизить энергоемкость, стоимость, трудовые и материальные затраты, повысить производительность, повысить надежность и долговечность оборудования, совершенствовать технологии, соблюдая при этом экологическую безопасность, а также технику безопасности и охрану труда и сохранить социальную структуру в зоне работ.

Современная организация строительного производства, к которому относится оборудование для проходки горизонтальных скважин, должна обеспечить заданный производственно-экономический результат при выполнении определённых социальных требований.

Обеспечение необходимого диаметра горизонтальной скважины и соответствие с технической документацией выполнения проходки в кратчайшие сроки, а также минимально затраченные ресурсы финансовые и трудовые называется производственно-экономическим результатом. Для решения данной задачи необходимо обеспечить уменьшения простоя и

времени на вспомогательные работы, и необходимой технической производительностью оборудования.

Необходимо уменьшить воздействие на людей и места их проживания в зоне проведения работ. А также необходимо соблюдения техники безопасности труда и экологической безопасности.

После проведения анализа и рассмотрения всех вопросов по образованию скважин бестраншейным способом прокола выделяются следующие проблемы:

1. Понижение финансирования на зарплату и выполнение работ.

Чтоб снизить финансовые затраты, необходимо уменьшить объем земляных работ сопутствующих бестраншейной прокладке трубопровода, для этого происходит уменьшение габаритов установок. Так же для снижения стоимости работ необходимо ускорить транспортировку оборудования. Если повысить скорость образования скважины, то уменьшится время работ, а, следовательно, и уменьшится себестоимость самой скважины.

2. Увеличение качества выполнения работ по образованию скважин, определенное обеспечением заданной точности оси проходки, прочностью стенок образуемой скважины.

Образование скважин бестраншейной технологией по заданной траектории уменьшает сложность выполнения монтажных работ по устройству коммуникаций, устраняет возможное повреждение существующих труб, а также из-за отсутствия доработки прокола сокращает время производства работ. Для предотвращения обрушения при монтаже коммуникаций необходимо получить прочные стенки скважины, и благодаря отсутствию обрушений и повреждений так же сокращается время работ.

3. Обеспечение техники безопасности и охраны труда, требований экологической безопасности.

Образование скважин бестраншейным способом всегда происходит в сопровождении с определенным количеством земляных работ, при этом действия машин для бестраншейной прокладки коммуникаций могут значительно отличаться от общепринятых землеройных машин. Такие как

вибровозбудители с электроприводом или рабочие органы ударного действия, что приводит к более тщательному соблюдению правил безопасности на протяжении всего рабочего процесса.

Так как образование скважин бестраншейным способом почти всегда располагается в плотно заселённых районах или в местах с зелеными насаждениями, очень важно соблюдать все экологические требования для данного вида работ. А также уменьшить объем произведенных земляных работ и количество техногенного воздействия на окружающую среду

По всем вышеперечисленным пунктам производится совершенствование способов образования горизонтальных скважин и технологического оборудования. И не прекращается работа над созданием нового технологического оборудования и технологий.

### 3.2 Предложения по производству земляных работ вблизи подземных коммуникаций с использованием одноковшового гидравлического экскаватора

На основании выполненных исследований для практического применения разработаны «Советы по выполнению земляных работ вблизи подземных коммуникаций с использованием одноковшового гидравлического экскаватора». В соответствии с этими рекомендациями при разработке грунта в траншеях, пересекающих существующие подземные коммуникации, предлагается применять экскаваторы с гидравлическим приводом. Это позволит использовать множество видов навесного оборудования для земляных работ вблизи подземных трубопроводов и обеспечить значительное сокращение ручного труда.

До механизированной разработки грунта вблизи подземных коммуникаций должны быть выполнены все подготовительные работы в соответствии с требованиями главы СНиП III-8-76, предусмотренные проектом производства работ. В первую очередь выясняется точное местоположение существующих подземных трубопроводов на строительной площадке, и определяются их фактическое расположение в плане и по высоте в местах пересечения существующей и прокладываемой коммуникаций (проходка шурфов, с применением приборов поиска подземных

коммуникаций и др.). Закрепление местоположения коммуникаций на местности производится с помощью обноски, устанавливаемой по оси существующих трубопровод на расстоянии 2-3 метра от бровки с обеих сторон предполагаемой траншеи. В момент определения местоположения трубопроводов и дальнейшей разработки грунта должны присутствовать лица ответственных организаций, а также лица, эксплуатирующие подземные коммуникации и производящих разработку грунта.

При механизированной разработке грунта вблизи подземных коммуникаций в местах пересечения следует применять технологические схемы, показанные на рисунках 3.1, 3.2. Для талых нескальных пород грунтов с использованием металлических трубопровод рекомендуемые значения расстояний в приведены в таблице 3.1. При этом напряжения являются безопасными для прочностных характеристик трубопровода.

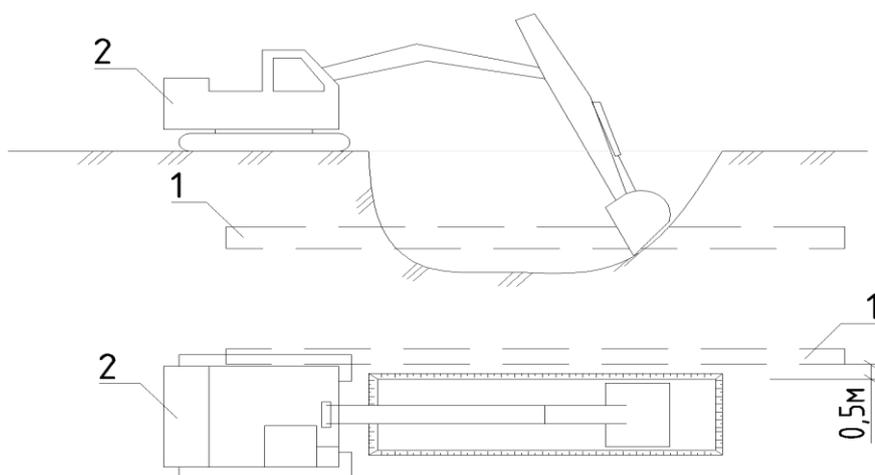


Рисунок 3.1 - Технологические схемы разработки грунта вблизи подземных коммуникаций

Составляющие рисунка 3.1:

а - разработка грунта экскаватором вдоль коммуникации; б - разработка грунта экскаватором сверху коммуникации.

1- существующая коммуникация;

2- экскаватор;

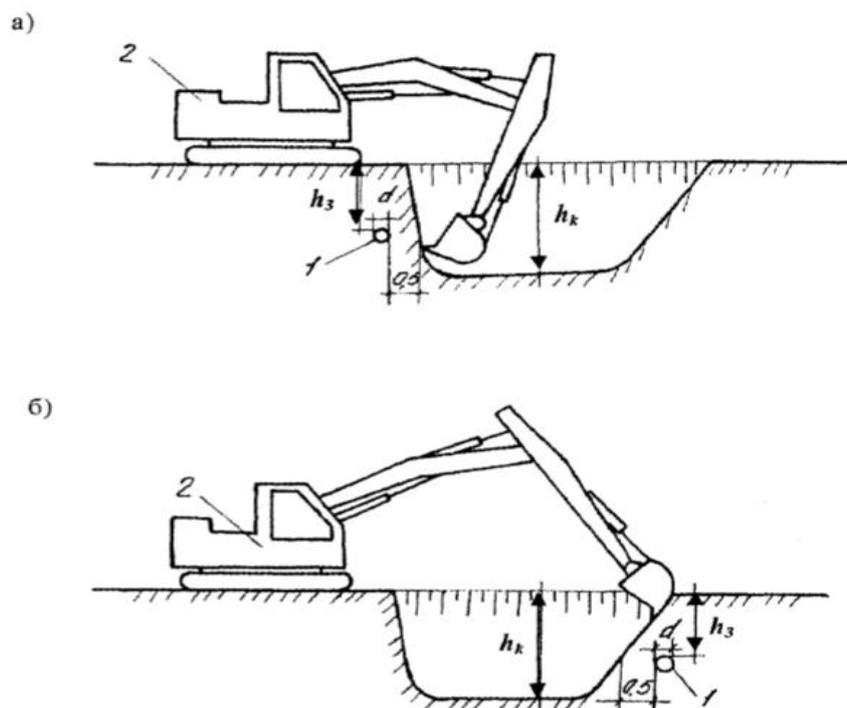


Рисунок 3.2 - Технологические схемы разработки грунта вблизи подземных коммуникаций

Сбоку коммуникации способом «на себя» (а) и «от себя» (б)

1- существующая коммуникация;

2- экскаватор;

$h_k$ - глубина копания;

$d$ - диаметр существующей коммуникации;

$h_3$  - глубина заложения коммуникации до её верха.

Таблица 3.1- Рекомендуемые значения расстояний до трубопровода

Технологический способ разработки грунта	Рекомендуемые расстояния до ближайшей стенки трубопровода, м
Вдоль коммуникации (рис.3.1)	0,5
Сверху коммуникации (рис. 3.1)	0,5
Сбоку коммуникации (рис. 3.1)	0.5

Контроль глубины копания при разработке грунта выполняет

установленная на экскаваторе ходовая визирка.

Для прокладки подземных коммуникаций в грунтовых перемычках рекомендован бестраншейный способ прокладки, что значительно снижает объем земляных работ, выполняемый вручную.

Выбор оборудования для образования горизонтальных скважин осуществляется с учетом технических характеристик ведущей машины, технологических особенностей процесса разработки грунта в траншеях и конкретных условий производства работ.

До прокола необходимого места под существующей коммуникацией устраивают перемычку, в этом самом месте, с устройством одного или двух откосов.

Наибольшее распространение, при разработке грунта в траншеях, при устройстве внутриквартальных сетей и реконструкции действующих предприятий, получили одноковшовые гидравлические экскаваторы, оборудованные обратной лопатой. Поэтому для бестраншейной прокладки в перемычке применяем навесное оборудование вместо ковша.

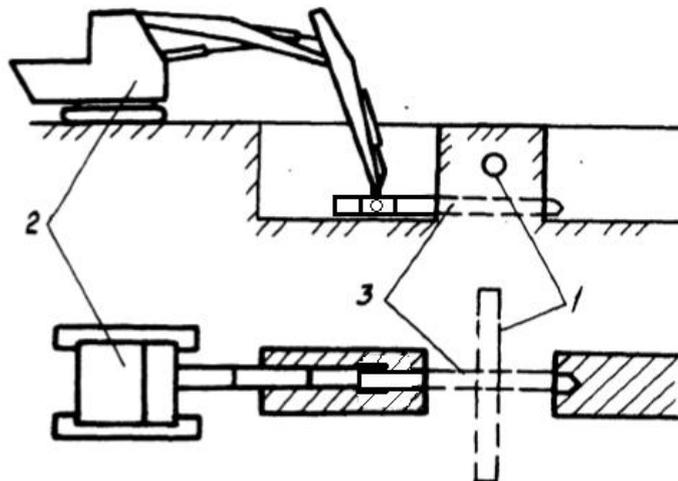


Рисунок 3.3 - Технологическая схема образования горизонтальных скважин:  
1- существующий коммуникации; 2- экскаватор; 3 - предлагаемое навесное  
оборудование для прокола

Существует два способа для образования горизонтальных скважин с применением навесного оборудования: движение стрелы, рукояти «от себя»;

движение стрелы, рукояти и ковша «на себя». При выборе конкретного технологического способа образования горизонтальных скважин следует учитывать: диаметр и длину требуемой скважины, грунтовые и гидрогеологические условия. В связных грунтах для прокладки трубопроводов рекомендовано применять способ образования горизонтальных скважин, а в несвязных грунтах - устройство переходов с помощью прокладки трубы-кожуха.

### 3.3 Расчет и обоснование навесного оборудования для прокола горизонтальных скважин

Проходка горизонтальных скважин осуществлялась с помощью навесного оборудования, закрепленного на стреле гидравлического экскаватора.

Навесное оборудование из рисунка 3.4 представляет собой конусообразный наконечник (1), основной продавливающий элемент. Соединен с трубой (2) в которой сделаны отверстия для передвижения. С помощью двух пластин, приваренных к короткой трубе большего диаметра, чем основная (3), это соединяющая часть со стрелой и основной трубой.

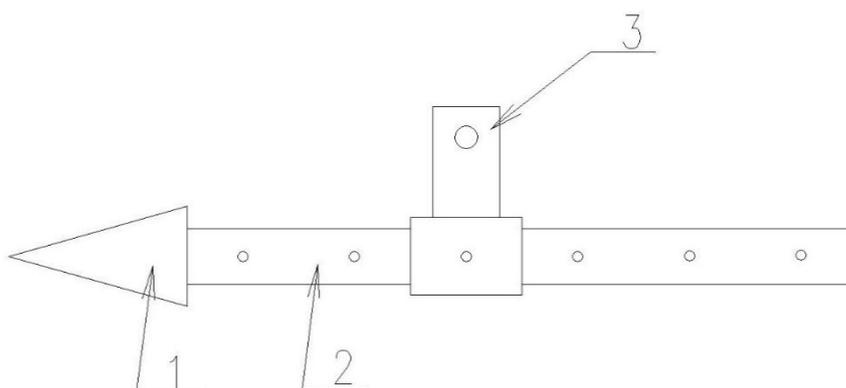


Рисунок 3.4 - Устройство для прокола горизонтальных скважин

Обычно в качестве продавливающих устройств, при механическом проколе используют насосно-домкратные установки, но в нашей ситуации будет использована стрела гидравлического экскаватора.

Благодаря тому, что на каждой строительной площадке присутствует экскаватор это позволит уменьшить затраты на транспортировку и установку оборудования на площадке.

У данной установки не большие габаритные размеры и ей не нужна опорная стенка, это позволит уменьшить траншею и выкопку приямков, что тоже значительно уменьшить фронт работ.

Для работы с данным оборудованием требуется всего несколько работников, это водитель экскаватора и человек, который будет смещать установку вдоль трубы.

Эти показатели позволят уменьшить финансовые затраты на данный вид работ.

Так как данное оборудование не имеет сложной конструкции и не применяется ни ударный способ, ни способ электропривода, следовательно, он более безопасен и прост в использовании.

В данной ситуации почти вся прокладка трубопроводов вблизи существующих коммуникаций осуществляется в жилых кварталах или в зонах с зелеными насаждениями, что приводит к важности уменьшения разрабатываемой почвы в процессе прокола. Что позволяет предлагаемое оборудование. При этом не увеличивает техногенное воздействие на окружающую среду.

Соппротивление может изменяться в зависимости от инженерно-геологический условий, от глубины прокола и метода прокола.

Усилие продавливания суммируется из усилий, необходимых чтоб преодолеть сопротивление продавливания.

Нормативное вертикальное давление для звеньев труб, отражено на формуле 3.1, выраженное в кПа:

$$P = C_v \cdot \gamma_n \cdot h \quad (3.1)$$

где  $h$  – высота засыпки, считается от верха дорожного покрытия до верха звена (секции),  $h=1,9$  м;

$\gamma_n$  – нормативный удельный вес грунта,  $\text{кН/м}^3$ , равный  $18,5 \text{ кН/м}^3$ ;

$C_v$  – коэффициент вертикального давления, определяемый для звеньев труб, следует вычислять по формуле 3.2:

$$C_v = 1 + B \cdot \left( 2 - B \cdot \frac{d}{h} \right) \cdot \tau_n \cdot \text{tg } \varphi_n \quad (3.2)$$

$$B = \frac{3}{\tau_n \cdot \text{tg } \varphi_n} \cdot \frac{S \cdot a}{h} \quad (3.3)$$

где  $\tau_n$  – коэффициент нормального горизонтального давления грунта засыпки, определяется по формуле:

$$\tau_n = \text{tg}^2 \left( 5^\circ - \varphi_n / 2 \right) \quad (3.4)$$

где  $\varphi_n$  – нормативный угол внутреннего трения грунта, град., равный  $17^\circ$ ;

$S$  – коэффициент, принимаемый 1,1;

$a$  – расстояние от основания насыпи до верха звена (секции) трубы, м, равное 1,5 м;

$d$  – диаметр звена по внешнему контуру, м, равный 1,22 м

$$\tau_n = \text{tg}^2 \left( 5^\circ - 17/2 \right) = 0,55$$

$$B = \frac{3}{0,55 \cdot \text{tg } 17} \cdot \frac{1,1 \cdot 1,5}{1,9} = 15,3$$

Так как  $B > \frac{h}{d}$ , то принимаем  $B = \frac{h}{d} = \frac{1,9}{1,22} = 1,6$

$$C_v = 1 + 1,6 \cdot \left( 2 - 1,6 \cdot \frac{1,22}{1,9} \right) \cdot 0,55 \cdot \text{tg } 17 = 1,4$$

Таким образом, нормативное вертикальное давление для звеньев труб:

$$P = 1,4 \cdot 18,5 \cdot 1,9 = 49,21 \text{ кПа}$$

Постоянное расчетное давление от веса грунта принимается с учетом коэффициента надежности по нагрузке  $\gamma_f$  для постоянных нагрузок и воздействий равным 1,3. Следовательно, переходим к формуле 3.5:

$$P_n = 1,3 \cdot P \quad (3.5)$$

$$P_n = 1,3 \cdot 49,21 = 64 \text{ кПа}$$

Расчет временной расчетной нагрузки от подвижного состава рассмотрим далее.

Временные расчетные нагрузки от подвижного состава  $q_T$ , кПа ( $тс/м^2$ ), определяются в соответствии с требованиями 2.17, 2.23 [3].

Нормативное вертикальное давление от подвижного состава на звенья (секции) труб, определяется по формуле:

$$q_T = \frac{v}{2,7+h} \quad (3.6)$$

где  $v$  – интенсивность временной вертикальной погрузки от дорог, принимаем для длины загрузки

$$\lambda=d+h=1,22+1,9 = 2,7\text{м, равна } 21,14 \text{ кН/м.}$$

$d$  – диаметр звена (секции) по внешнему контуру, м;

$h$  – расстояние от подошвы рельса или верха дорожного покрытия до верха звена (секции), м

$$q_T = \frac{21,14}{2,7+1,9} = 4,6 \text{ кПа}$$

Значение внешней приведенной нагрузки от воздействия грунта и транспорта с учетом водообразования труб диаметром 100-300 мм, показано в таблицах 3.1.,3.2., 3.3.

Таблица 3.1 - Значения внешней приложенной нагрузки, кН/м, для труб диаметром 100 мм.

Глубина заложения Н,м	При воздействии			
	Транспорта Н-18 и грунта		грунта	
	I-IV	V-VI	I-IV	V-VI
1	3.9	3.7	1.1	1.3
1,5	2.8	3.1	1.7	1.9
2	2.9	3.3	2.7	2.6

Таблица 3.2- Значения внешней приложенной нагрузки, кН/м, для труб диаметром 200 мм.

	При воздействии			
	Транспорта Н-18 и грунта		грунта	
	I-IV	V-VI	I-IV	V-VI
1	6.8	6.7	2.2	2.5
1,5	5.2	5.7	3.2	7
2	5.5	6.2	4.7	4.8

Таблица 3.3- Значения внешней приложенной нагрузки, кН/м, для труб диаметром 300 мм.

Глубина заложения Н, м	При воздействии			
	Транспорта Н-18 и грунта		грунта	
	I-IV	V-VI	I-IV	V-VI
1	8.9	9.6	3.2	3.1
1,5	7.4	8.2	9.4	4.6
2	8.4	9	6.15	6

### 3.4 Оценка эффективности предлагаемого оборудования

Выбор рациональных технологических решений при устройстве бестраншейным способом трубопровода необходимо производить при создании системы различных вариантов технологических, технических и организационных решений ремонтно-строительных работ, каждый из которых характеризуется конечным множеством оценочных показателей, которые в полной степени описывают приводимые варианты. Выбор наиболее подходящего варианта может осуществляться следующими методами:

- с учётом всех оценочных показателей, которые характеризуют сравниваемые варианты;
- с использованием критерия, который формируется по совокупности значений оценочных показателей.

Известно, что имеющиеся методы сравнения основываются на оценке вариантов по скалярному критерию.

При оценке и выборе вариантов решений применение скалярного принципа имеет место в тех случаях, когда возможно обоснование важности и первоочередности одного из оценочных показателей, который характеризует тот или иной вариант.

Перейдем к анализу продолжительности.

Посчитаем продолжительность работ.

Возьмем для расчета длину прокладываемого трубопровода 30 м, глубину заложения трубопровода 3,5 м.

И рассчитаем продолжительность работ при использовании гидравлического оборудования (таблица 3.2) и применяя предлагаемое навесное оборудование (таблица 3.3).

Сравним результаты.

Таблица 3.2 - Продолжительность работ при использовании гидравлического оборудования

N п/п	Наименование технологических операций	Ед. изм.	Объем работ	Принятый состав звена	Продолжительность операции, час	Рабочие смены									
						1	2	3	4	5	6	7			
1.	Разработка котлованов	100 м <sup>3</sup>	2,03	Маш.экск.- 1 Землекоп - 1	14,00										
2.	Сварка защитного кожуха	1 стык	5,0	Маш.т/укл.- 1 Эл. сварщ. - 3	4,10		—								
3.	Монтаж навесного оборуд.	1 уст.	1,00	Монтажн-2 Маш.т/укл.- 1	5			—							
4.	Продавливание	1 м	30,0	Маш.уст. - 1 Маш. т/укл.-1	24,60			—							
5.	Демонтаж навесного оборуд.	1 уст.	1,00	Монтажн. - 2 Маш.т/укл.- 1	5								—		
6	Наращивание защитного кожуха	1 стык	5	Маш.т/укл.- 1 Эл. сварщ. - 3	8.2				—						
7.	Обратная засыпка траншеи, котлован	1 м	60	Маш.экск.- 1 Маш. бульд-1	12									—	
	ИТОГО:			12 чел.											

Таблица 3.3 - Продолжительность работ при использовании предлагаемого навесного оборудования

N п/п	Наименование технологических операций	Ед. изм.	Объем работ	Принятый состав звена	Продолжительность операции, час	Рабочие смены								
						1	2	3	4	5	6	7		
1.	Разработка котлованов	100 м <sup>3</sup>	1,03	Маш.экск.- 1 Землекоп - 1	8,00									
2.	Сварка защитного кожуха	1 стык	5,0	Маш.т/укл.- 1 Эл. сварщ. - 3	4,10									
3.	Монтаж навесного оборуд.	1 уст.	1,00	Монтажн. - 2 Маш.т/укл.- 1	2									
4.	Продавливание	1 м	30,0	Маш.уст. - 1 Маш. т/укл.-1	24,60									
5.	Демонтаж навесного оборуд.	1 уст.	1,00	Монтажн. - 2 Маш.т/укл.- 1	2									
7.	Обратная засыпка траншеи, котлован	1 м	30	Маш.экск.- 1 Маш. бульд-1	6									
	ИТОГО:			9 чел.										

При рассмотрении данного примера при прокладке бестраншейным способом трубопровода длиной 30 м, мы видим что:

-при использовании гидравлического оборудования количество человек 12, срок выполнения работ 7 дней;

-при использовании предлагаемого навесного оборудования количество человек 9, срок выполнения работ 6 дней.

Делаем вывод, что при использовании навесного оборудования в данном примере количество работников сократилось на 3 человека, а срок выполнения работы сократился на 1 день.

Ресурсоемкость.

Примерный перечень основного необходимого оборудования, машин, механизмов, технологической оснастки, инструмента и приспособлений для устройства перехода методом прокола приведен в таблицах 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4 - Перечень оборудования необходимого для прокладки трубопровода бестраншейным способом при использовании гидравлического оборудования

N п/п	Наименование машин, механизмов и оборудования	Тип, марка	Краткая характеристика	Кол-во на звено, шт.
1.	Одноковшовый экскаватор	ЭО-5126	Емкость ковша - 1,25 м <sup>3</sup>	1
2.	Бульдозер	ДЗ-27	121 кВт (165 л.с.)	1
3.	Кран-трубоукладчик	ТО-12	г/п. 12 т	5
4.	Установка для продавливания	ГПУ-600	мощность 100 кВт	1
5.	Агрегат сварочный	УСТ-21	на базе трактора 130 л.с.	1
6.	Автомобиль бортовой	КамАЗ-5320	грузоподъемность 8,0 т	1
7.	Автомобиль вахтовый	УРАЛ-4320	вместимость - 26 чел.	1

Таблица 3.5 - Перечень оборудования необходимого для прокладки трубопровода бестраншейным способом при использовании предлагаемого навесного оборудования

N п/п	Наименование машин, механизмов и оборудования	Тип, марка	Краткая характеристика	Кол-во на звено, шт.
1.	Одноковшовый экскаватор	ЭО-5126	Емкость ковша - 1,25 м <sup>3</sup>	1
2.	Бульдозер	ДЗ-27	121 кВт (165 л.с.)	1
3.	Кран-трубоукладчик	ТО-12	г/п. 12 т	5
4.	Навесное оборудование			1
5.	Агрегат сварочный	УСТ-21	на базе трактора 130 л.с.	1
6.	Автомобиль бортовой	КамАЗ-5320	грузоподъемность 8,0 т	1
7.	Автомобиль вахтовый	УРАЛ-4320	вместимость - 26 чел.	1

Как мы видим, что при прокладке трубопровода бестраншейным способом с помощью гидравлического устройства и при проколе с навесным

оборудованием состав оборудование и механизмов не изменяется, за исключением самого оборудования прокола.

Стоимость.

Была рассмотрена себестоимость двух рассматриваемых вариантов оборудования: гидравлической установки и предлагаемого навесного оборудования.

Таблица 3.6 – Стоимость оборудования

№ п.п.	Тип конструкции	Стоимость, тыс. руб
1	Установка гидравлическая для бестраншейной прокладки труб УГ600Г	245
2	Навесное оборудование	130

При сравнение себестоимости оборудования, мы выявили, что предлагаемое навесное оборудование дешевле на 115 тыс. рублей, чем рассматриваемая гидравлическая установка.

Сравнительные характеристики ИП-4610, ИП-4605А, ИП-114А, СО-144А, СО-13А. и прилагаемого оборудования показаны в таблице 3.7.

Таблица 3.7- Сравнительные характеристики грунтопрокальвателей

Характеристики оборудования	ИП-4610	ИП-4605А	ИП-114А	СО-144А	СО-13А	Предлагаемое оборудование
Диаметр пробиваемых скважин	55	95-180	130-200	70-120	155-300	55-400
Длина пробиваемых скважин	30	40	40	30	40	40

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной диссертационной работе произведено научное обобщение результатов теоретических исследований процесса бестраншейной прокладки трубопровода вблизи подземных коммуникаций.

Основные выводы и результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Исследование способов и механизмов для горизонтального прокола показывает перспективу развития бестраншейных машин.

2. Обобщены научно-технические достижения в вопросе выполнения работ по проколу бестраншейным способом.

Вывод: нет суверенного способа прокола грунта бестраншейным способом. Каждый из методов имеет как свои достоинства, так и недостатки.

3. В соответствии с нормами, действующими на период выполнения диссертационной работы запрещалась разработка грунта механизированным способом на дистанции минимум двух метров от стенки и одного метра от верхней части трубопровода. Дальнейшие разработки грунта необходимо проводить вручную, без применения ударных механизмов.

Поэтому предложено новое расстояние охранных зон 0,5 м.

4. Предложено новое навесное оборудование на одноковшовый гидравлический экскаватор. Проанализировав теоретически который пришли к выводу, что он является экономически выгодным, так как имеет небольшой габаритный вес, что уменьшает размеры рабочего котлована. Имеет простую конструкцию, что удешевляет его в изготовлении и упрощает работу с ним.

При сравнительном анализе стоимости изготовления, данное оборудование дешевле на 115 тыс. рублей, чем рассматриваемая гидравлическая установка.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1.Баландинский, Е.Д., Развитие и внедрение бестраншейной прокладки инженерных коммуникаций [текст]/ Ладыженский Б.Н., Минаев В.И.; Механизация стр-ва.-№ 8.-2005.
2. Бедовская, И.И. Усилия при проколе способом продавливания. Вопросы водоснабжения и канализации [текст].; Науч. труды. -ВНИИГС. - М., 2000. - Вып. 14. - С.84-98.
3. Васильев, Н.В. Закрытая прокладка трубопроводов [текст]; - М.: Недра -2011г
4. Васильев, Н.В., Александров Д.С. Из практики прокладки коллекторов способом продавливания [текст]; Новая технология и передовой опыт в строительстве. -2008. -№ 11. С. 18-20.
5. Васильев, С.Г. Усилие прокола при образовании горизонтальных скважин в грунтовом массиве [текст]; В кн.: Новые прогрессивные методы строительствоза городских инженерных сооружений: Материалы конф. М., 2010, с. 114-117.
6. Ветров, Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами [текст]; М.: Машиностроение, 2002. - 360 с.
7. Вульф, Л.А. Организация проектирования и учета подземных сооружений [текст] /Вульф Л.А., Ицкович Н.П.; 2-е изд., перераб. и доп-. М.: Стройиз-дат, 2016. -176с.
8. Голубятников, В.Т. Малогабаритная грунтопрокалывающая установка ГПУ-600А [текст]/ В.Т.Голубятников, Н.Ю.Снисар, А.Н.Берестовой; Механизация строительства. - 2001. - №12. — С. 25-26.
9. Донской, В.М. Механизация земляных работ малых объемов [текст];- Л.: Строй-издат, 2006.-160 с.
10. Егнус, М.И. Основные направления развития механизации строительства [текст]; Механизация стр-ва.- 2016.- № 11. С. 1-4.
11. Жарков, Н.В. Труднодоступные места разработки грунта в строительстве [текст]; Реф. научн.-техн. сб. Общие вопросы строительства

ЦИНИС. 2013

12. Земсков, В.М. Теоретические основы взаимодействия рабочего наконечника с грунтом при проколе горизонтальных скважин [текст]; монография В.М.Земсков;– Саратов: Сарат.гос.техн.ун-т, 2010. – 104 с.

13. Земсков, В.М. Развитие научных основ создания вибрационных рабочих наконечников машин для прокола горизонтальных грунтовых скважин [текст]; Южно-Российский государственный технический университет. - Саратов, 2011. - 308 с.

14. Завелов, А.М. Динамика разрушения грунта с помощью рабочих органов землеройных машин [текст]; Изв. вузов. Стр-во и архитектура. 2006. - № 10.-С.116-119.

15. Ипатов, Н.К. Исследование траекторий перемещения частиц грунта впереди грунтопрокалывающего органа [текст]/ Шмаков В.П; Изв. вузов. Стр-во и архитектура. 2007. - № 7. - С.143-146.

16. Исаев, С.П. Экспериментальные исследования механизированной разработки грунта вблизи подземных коммуникаций [текст]/ Бикеев С.Х.; Рук.депонирована в ЦНИИТ Эстроймаш 2005. № 90. - Сд-85.

17. Исаев, С.П. Пути сокращения применения ручного труда при сооружении подземных коммуникаций [текст]; В кн.: Пути сокращения применения ручного труда в строительстве: Тез.докл. Всесоюзной конф. М., 2004, С.125-126.

18.Касамбеков, Ж.К. Усовершенствование конструкции рабочего органа бульдозера с поворотным отвалом [текст]; Вестник ТарГУ имени М.Х.Дулати. -Тараз, 2005. с.35-44.

19.Касамбеков, Ж.К. Расчет угла отвала и ножа землеройной машины [текст]; Материалы Международ. научно-практи. конф., КазНАУ-Алматы,2007.с.285-288.

20. Касамбеков, Ж.К. Влияние угла установки дополнительного ножа в плане на эффективность работы бульдозера [текст]/ Шотанов С.И., Абдигалиев М.А., Жусип Т.С.; Труды Международного конгресса «Транспортные

итехнологические машины» -Омск, СибАДИ, 2007. с 14-18

21. Касамбеков, Ж.К. Влияние угла установки отвала в плане и дополнительного ножа на эффективность работы бульдозера с поворотным отвалом [текст]/ Шотанов С.И., Абдигалиев М.А., Жусип Т.С., Токсамбаева Р.К.; Вестник КазНТУ имени К.Сатпаева, №3(79) - Алматы, 2010. с.165-168.

22. Кобаков, С.М., Технологические особенности землеройно-транспортных машин с дополнительным горизонтальным ножом перед отвалом [текст]; «Научно-образовательный потенциал науки и конкурентоспособность страны».- Актобе, 2010 .с.45-49

23. Лускин, А.Я. Бестраншейная прокладка труб способом вибропрокола [текст]/ Л.Я.Лускин; Сб. трудов ВНИИГС. - Л., 2001. - С.38-44.

24. Мырзашев, С. М. Основные принципы создания строительного транспортного агрегата универсального назначения [текст]/ Абдигалиев М.А., Джусипов Т.С. Жаманбаев Б.У.; Материалы Междунаучно-практич. конф. «Европейська наука XXI століття.» Том 22. - Днепропетровск, 2006.

25. Новиков, В. С. Анализ дисперсного состава пыли при разработке грунта бульдозерно-рыхлительным оборудованием [текст]/ В. С. Новиков, Н. А. Маринин; Сборник материалов и научных трудов инженеров-экологов Волгоград: ВолгГАСУ, 2011. – Вып. 3. – С. 44-46.

26. Новиков, В. С. Экологически безопасное устройство для производства земляных работ в городском хозяйстве [текст]/ В. С. Новиков; Сборник материалов и научных трудов инженеров-экологов Волгоград: ВолгГАСУ, 2016. – Вып. 3. – С.109-112.

27. Новиков, В. С. Экологически и технически безопасная технология XXI века прокладки наружных трубопроводов [текст]/ Ю. Ф. Полковников, В. С. Новиков, Л. С. Полковникова; Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции г. Ставрополь, 2008 г., С.166-167.

28. Новиков, В. С. Нанотехнология сооружения инженерных сетей без

труб методом плазменного обжига грунта с комплексной рекультивацией полосы отвода под трубопровод [текст]/ Ю. Ф. Полковников, В. С. Новиков, Л. С. Полковникова; Вестник Волгогр. гос. арх.-строит. ун-та; Сер.: Строительство и архитектура. - Волгоград: ВолгГАСУ, 2015.

29. Оборудование для проходки горизонтальных скважин под дорогами [текст]; Строительные и дорожные машины. - № 4. - С. 12; 2015г

30. Пестров, Г.Н. Закрытые проходки подземных трубопроводом [текст]; Стр-во трубопроводов. - 2009. - № 6. - С. 36-37.

31. Полтавцев, И.С. Специальные- землеройные машины и механизмы для городского строительства [текст]/ И.С.Полтавцев, В.Б.Орлов, И.Ф.Ляхович; -Киев: Буревельник, 2007. - 136 с.

32. Потапкин, В. О. Контроль состояния инженерных сетей подземной канальной прокладки [текст] / Ряшенцев А. Н.; Новости теплоснабжения, № 12. (2007).

33. Руководство по проходке горизонтальных скважин при бестраншейной прокладке инженерных коммуникаций [текст]; Стройиздат, 2016. - 96с

34. СП 45.13330.2012. Земляные сооружения, основания и фундаменты [текст]. – Введ. 2013-01-01. – М.: Госстрой, 2013. - 64с

35. ГОСТ 7.01-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления [текст]; Введ. 2004-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 47 с.

36.Электронный ресурс. Теперь траншея не нужна: прокладка подземных коммуникаций методом прокола [текст]; Новости рынка спецтехники и промышленного оборудования. Вып.№121. (<http://w\vw.mrin7.ru/article/vl2l/article1.htm>).

39.Электронный ресурс. Бестраншейная прокладка труб под дорогами и другими препятствиями [текст]; компания «SBH СОТРАНС». (<http://www.sbh.ro/artic1es/artl6.htm>).

40.Электронный ресурс. Установки для прокалывания грунта УНП-630,

ПУ-1 Игла [текст]; Новости рынка спецтехники и промышленного оборудования. Вып. №123. - ([http://www.mrmz.ru/article/v123/article1 .htm](http://www.mrmz.ru/article/v123/article1.htm)).

41. Vorprebeinrichtungen fur unterirdische Rohrleitungen «Bau-Jnd». 1973. №9. P. 14-16. 5. Lobbe Armin Vorprebeinrichtungen fur unterirdische Rohrleitungen// Wasserwirtschaft. №2. P. 55-57. 6. Verlegung von Rohrleitungenunter der ErdeohnGrabenausnub // March und Werkzeug. 2008. P.21-24.

42. Menzenbach E. The determination of the premissible point load of piles by means of static penetration tests.- Proc. 5 Int. Conf. Soil Mech. Vol. 11

43. Tomlinson M. The Abhesion of piles driven in clay soils.-Proc. IV. Int. Conf. Soil Mech. Vol. 11

44. Woodward R., Boitano J. Pile loading tests in stiff clays.-Proc. 58 Int. Conf. Soil Mech. Vol. 11.