

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Ухтинский государственный технический университет

А.В. Сальников, В.П. Зорин, Р.В. Агиней

МЕТОДЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ
ГАЗОНЕФТЕПРОВОДОВ НА РЕКАХ ПЕЧОРСКОГО БАССЕЙНА

Учебное пособие

УХТА 2009

УДК 624.19.034.5:622.691.4 (075.8) (470.13)

С 16

Сальников, А.В.

Методы строительства подводных переходов газонефтепроводов на реках Печорского бассейна [Текст] : учеб. пособие / А.В. Сальников, В.П. Зорин, Р.В. Агинеи. – Ухта : УГТУ, 2008. – 108 с., ил.

ISBN 978-5-88179-534-4

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению 130500 «Нефтегазовое дело» и специальности 130501 «Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ».

В пособии представлен обзор существующих способов строительства подводных переходов магистральных трубопроводов, представлены соответствующие рекомендации, алгоритм выбора оптимального способа строительства подводного перехода.

В качестве примера произведен расчет подводных переходов через реки Печорского бассейна. Тематика учебного пособия полностью соответствует учебной программе, что поможет студентам в освоении данных дисциплин.

Пособие соответствует учебному плану и рабочим программам дисциплин учебного плана.

Пособие рассмотрено, одобрено и рекомендовано для издания выпускающей кафедрой ПЭМГ (протокол №1 от 02.09.08 г.)

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом Ухтинского государственного технического университета

Рецензенты: Заведующий кафедрой транспорта и хранения нефти и газа АГТУ, проф., д.г.-м.н. Губайдуллин М.Г.; зам. начальника Ухтинского РНУ ОАО «Северные магистральные нефтепроводы» Щербаев О.А.

© Ухтинский государственный технический университет, 2009

© Сальников А.В., Зорин В.П., Агинеи Р.В., 2009

ISBN 978-5-88179-534-4

Оглавление

Глава 1. Подводные переходы трубопроводов	5
1.1 Классификация подводных переходов	5
1.2 Устойчивость дна и берегов водоемов	7
Глава 2. Анализ существующих способов строительства подводных переходов магистральных трубопроводов	15
2.1 Выбор участков расположения подводных переходов трубопроводов	17
2.2 Полевые инженерные изыскания на переходах	18
2.3 Обзор существующих методов строительства подводных переходов	20
2.4 Траншейный метод	23
2.4.1 Технология укладки подводных трубопроводов	23
2.4.2 Укладка способом протаскивания	23
2.4.3 Укладка трубопровода с поверхности воды	24
2.4.4 Земляные работы	24
2.4.5 Подготовка трубопровода к укладке	28
2.5 Виды бестраншейных технологий прокладки подземных трубопроводов	28
2.5.1 Строительство подводных переходов реверсивным раскатчиком скважин	30
2.5.2 Основные технологические принципы метода горизонтально-направленного бурения	34
2.5.3 Строительство подводных переходов методом горизонтально-наклонного бурения	39
2.5.4 Строительство подводных переходов методом микротонелирования	41
2.6 Финансово-экономический аспект бестраншейных методов строительства	45
2.7 Социально-экономический аспект бестраншейных методов строительства	46
Глава 3. Выбор способа прокладки подводного перехода	47
3.1 Общие положения	47
3.2 Конструктивные решения	47
3.3 Грунтовый риск	48
3.4 Геологические условия	49
3.5 Экономическая целесообразность	51
3.6 Возможность строительства подводного перехода по ограничивающим факторам	52

Глава 4. Построение и расчет длины ствола скважины подводного перехода	55
4.1 Анализ ситуационных планов рек на участках строительства подводных переходов	55
4.2 Построение продольного профиля подводного перехода, с учетом упругого изгиба трубопровода	59
4.2.1 Река Ухта.....	60
4.2.1.1 Продольный профиль ствола скважины.....	60
4.2.1.2 Расчет длины скважины трубопровода	61
4.2.2 Река Печора.....	66
4.3 Выводы.....	73
Глава 5. Строительство подводного перехода	74
5.1 Общие требования.....	74
5.2 Повышение требований к техническим характеристикам труб	74
5.3 Виды труб	75
5.4 Технические требования к трубам для магистральных газопроводов на современном этапе	77
5.5 Механический расчёт трубопровода	77
5.5.1 Выбор труб для строительства газопровода высокого давления	77
5.5.2 Расчет толщины стенки.....	78
5.5.3 Расчет весовых характеристик трубопровода.....	81
5.6 Сварка трубопровода.....	83
5.7 Изоляция трубопровода	83
5.8 Расчёт параметров спусковой дорожки.....	84
5.9 Бурение скважины.....	87
5.9.1 Бурение пилотной скважины	87
5.9.2 Расширение пилотной скважины.....	90
5.9.3 Калибровка	92
5.10 Балластировка трубопровода водой	92
5.11 Расчет максимального тягового усилия при протаскивании	94
5.12 Расчет необходимой величины частичного заполнения трубопровода.....	97
5.13 Уточнение максимального тягового усилия при протаскивании	103
5.14 Проверка трубопровода на пластические деформации при протаскивании	104
5.15 Проверка трубопровода на смятие	105
5.16 Протаскивание трубопровода в грунтовую скважину	106
Библиографический список	107

Глава 1. Подводные переходы трубопроводов

К подводным переходам относятся участки магистральных трубопроводов, пересекающие естественные или искусственные водоемы (реки, озера, водохранилища). Границы подводного перехода в соответствии со СНиП II-45–75 определяются уровнем воды в водоеме 10%-ной обеспеченности, т.е. уровнем воды в водоеме, до которого вода может подниматься в течение ста лет до 10 раз. В незарегулированных реках этот горизонт бывает лишь при очень значительных паводках; в зарегулированных водоемах границы перехода определяются верхним уровнем воды, допускаемым по условиям работы зарегулированного водоема.

1.1 Классификация подводных переходов

В соответствии со СНиП 2.05.06 – 85* переходы трубопроводов через водные преграды в зависимости от условий работы, диаметра трубопровода, рабочего давления и судоходности водной преграды относятся к категории III, II, или В.

Подводные переходы подразделяются по группам сложности в зависимости от ширины водного объекта. Группы сложности подводных переходов представлены в таблице 1. Участки рек в зоне перехода по плановым и глубинным переформированиям русла подразделяются на категории (таблица 2).

Условия работы и эксплуатации надежности переходов в решающей мере зависит от того, насколько полно учтены при проектировании и строительстве условия переформирования русла реки.

Таблица 1

Группы сложности подводных переходов

Группа сложности	Характеристика условий пересечения водного объекта
Малые переходы	Ширина зеркала воды в межень для створа пересечения трассой до 30 м при средних глубинах 1,5 м
Средние переходы	Ширина зеркала воды в межень для створа пересечения трассой от 31 до 75 м при средних глубинах 1,5 м
Большие переходы	Ширина зеркала воды в межень для створа пересечения трассой более 75 м. Ширина зеркала воды в межень для створа пересечения трассой менее 75 м, но зона затопления которых составляет более 500 м (10% вероятности превышения уровня воды при 20-дневном стоянии)

Категория участков рек

Категория	Глубинные и плановые переформирования	Характеристика	Примечания
I	Глубинные переформирования не превышают 1 м/год, а плановые – незначительны	Реки шириной до 50 м ленточно-грядового, осередкового и побочного типов, а также реки шириной более 50 м с устойчивыми дном и берегами (скальные грунты с толщиной аллювиального слоя менее 1 м)	Опасность оголения труб полностью исключается, если глубина их заложения более 1 м, а врезка в берег более 5 м
II	Глубинные переформирования достигают 2 м, а плановые – 10 м	Реки шириной более 50 м ленточно-грядового и побочного типов	Трубопроводы не оголяются и не подвергаются силовому воздействию потока, если заглублены более 2 м, а врезка в берега более 15 м
III	Наибольшие глубинные переформирования достигают 2 м, а плановые – от 11 до 100 м	Участки переходов через реки с ограниченным, незавершенным и свободным типом меандрирования, а также участки пойменной многорукавности	
IV	Переформирования русла в течение нескольких дней или недель могут достигнуть по глубине более 2 м, а в плане – нескольких десятков метров	Участки горных рек с особыми формами руслового процесса, реки с явно выраженной неустойчивостью	Строительство подводных переходов через такие участки рек нецелесообразно

П.П. Бородавкиным и О.Б. Шадриним в 1967 г. предложена классификация, основанная на длительном изучении условий работы подводных трубопроводов в различных гидролого-морфологических условиях. Классификация учитывает тип руслового процесса, ширину реки, вид грунта, составляющего русло, скорость течения и другие показатели.

Участки 1-го типа – участки, на которых глубинные переформирования незначительны. При полном проявлении деформаций русла трубопроводы в большинстве случаев на таких участках не размываются.

К этой категории участков подводных переходов относятся малые реки (шириной до 50 м) ленточно-грядового, осередкового и побочного типов, а также средние и крупные реки с устойчивыми берегами и руслами (в скальных

грунтах при толщине аллювиального слоя менее 1 м). Опасность размыва трубопровода обычно исключается, если глубина залегания превышает 1 м, а врезка в берег 3-5 м.

Участки 2-го типа – наиболее глубинные деформации – до 2 м, плановые – до 10 м. К этой категории относятся участки переходов через средние и крупные реки ленточного-грядового и побочного типов.

Участки 3-го типа – максимальные глубинные переформирования русла до 2 м и плановое переформирование до 100 м. К этой категории относятся участки подводных переходов через малые, средние и крупные реки с русловым процессом ограниченного, незавершенного и свободного типа меандрирования и пойменной многорукавности в зависимости от плановых переформирований.

Возможные размывы участка перехода представляют большую опасность вследствие значительной трудности точного определения максимальных плановых переформирований. Имеется опасность повреждения трубопровода от гидродинамического воздействия потока, ледохода, а также якорями и волокушами судов и плотов (как правило, суда проходят по максимальным глубинам, расположенным у размывающего вогнутого берега и на поворотах реки).

Участки 4-го типа – это участки рек с особыми формами руслового процесса: горные реки, селевые потоки, реки с ярко выраженными неустойчивым руслом (максимальные плановые и глубинные более 2 м переформирования могут происходить в течение нескольких дней, недель или месяцев).

В каждом конкретном случае принимаются соответствующие решения по глубине заложения и врезке трубопровода в берег, учитывающие специфические условия водной преграды, а также целесообразность сооружения надводных переходов.

На участках 1-го типа эксплуатация переходов, как правило, ведется без каких-либо осложнений; на участках 2-го и особенно 3-го типов размывы труб (при неправильном определении глубины заложения) очень часты. Эти размывы во многих случаях сопровождаются разрушениями труб. На участках 4-го типа строительство подводных переходов не рекомендуется.

1.2 Устойчивость дна и берегов водоемов

Надежная работа подводных переходов в течение расчетного срока их эксплуатации обеспечивается выбором обоснованного решения о заглублении трубопровода в русловой части реки и на береговых ее участках, а также соответствующих конструктивных решений. В настоящее время для оценки воз-

можных деформаций русла и берегов реки в створах трубопроводов применяется гидролого-морфологическая теория руслового процесса. Как показал опыт эксплуатации переходов, использование основных идей этой теории при строительстве переходов через равнинные реки с незарегулированным водным режимом дает весьма хорошие результаты. Характер деформаций горных рек, а также рек в районах Крайнего Севера еще находится в стадии исследований.

Результаты обследований большого числа (несколько сот) нефте- и газопроводов показывают, что все многообразие размывов трубопроводов, встречающихся на практике, можно отнести к следующим типам: размывы в средней части русла (участок C) и размывы приурезных и береговых участков a_1 и a_2 . Характерные участки размыва в створах переходов показаны на рисунке 1.

В гидрологии (науке о естественных русловых процессах) различаются следующие типы русловых процессов: ленточно-грядовой, осередковый (русловая многорукавность), побочневый, ограниченное меандрирование, свободное меандрирование, незавершенное меандрирование, пойменная многорукавность.

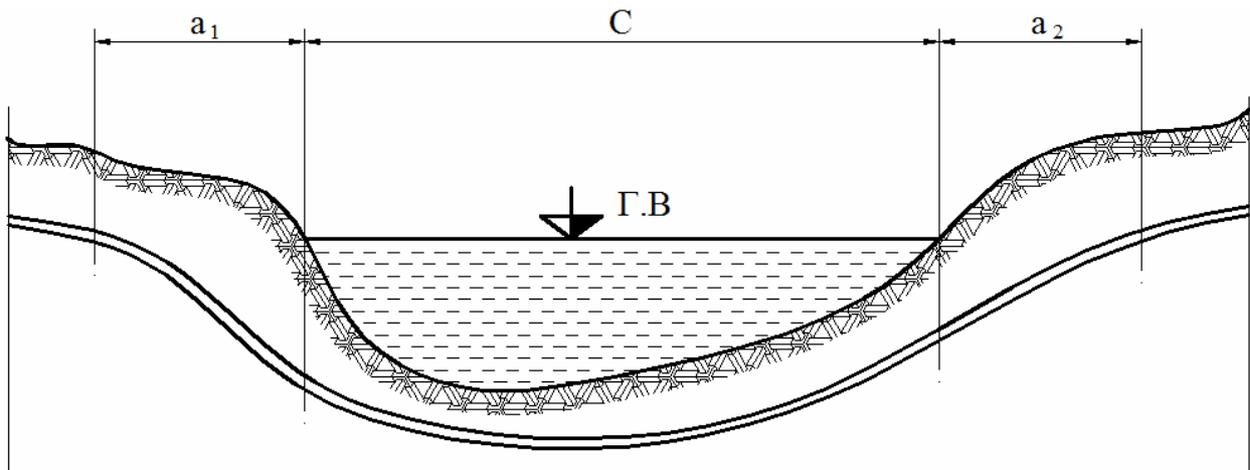


Рис. 1. Характерные участки размыва в створах переходов

Ленточно-грядовой тип руслового процесса представляет переформирование русла, выражающееся в ползании по нему крупных (занимающих всю ширину русла) песчаных гряд, получивших название ленточных. Схема ленточно-грядового руслового процесса показана на рисунке 2.

Длина гряд (шаг) λ_2 обычно составляет 6 – 8 ширин русла; высота 1,5-2, реже – более 3 м; скорость сползания – от нескольких метров до 200-300 м в год. Плановые деформации бровок берегов русла при этом не характерны. Подобные гряды обладают довольно устойчивым шагом и могут занимать участки большой протяженности – десятки километров.

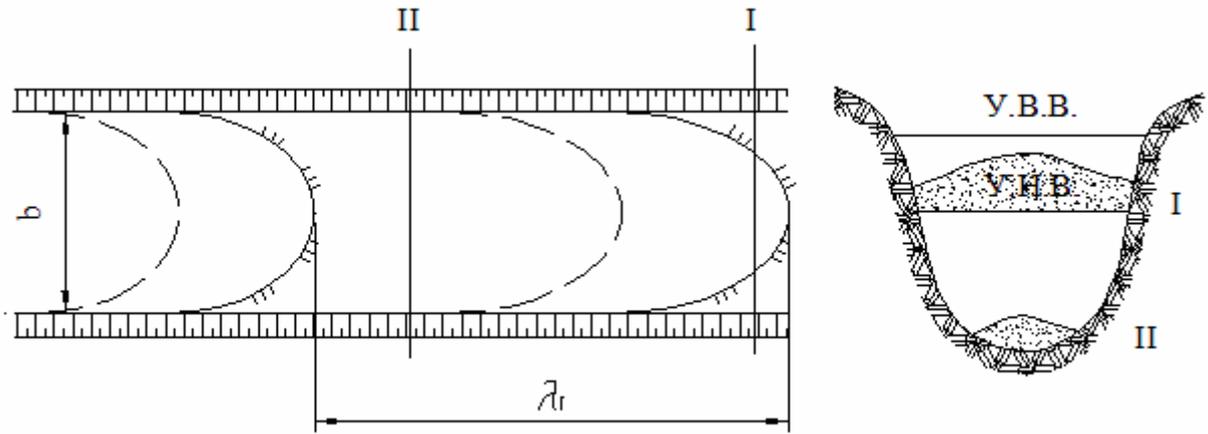


Рис. 2. Схема ленточно-грядового руслового процесса

I – голова гряды, II – подвалье гряды; У.В.В. и У.Н.В. – уровень соответственно высоких и низких вод

Сползая по руслу, гряды вызывают местное повышение дна, сменяющиеся последующим его понижением.

Осередковый тип руслового процесса (русловая многоруканность) возникает на реках, перегруженных донными наносами, и определяется по обилию крупных гряд, сползающих по руслу и образующих осередки и острова, легко обнаруживаемые на планах и аэрофотоснимках. Границы русла в плане не имеет закономерной искривленности, и в целом река не меандрирует. Поперечное сечение русла распластано. Пойма островная, со следами множества протоков. Схема осередкового руслового процесса показана на рисунке 3.

Основные деформации русла выражаются в образовании и сползании вниз по течению крупных ленточных гряд, расплзающихся на отдельные отмели, обсыхающие при спаде уровня воды в виде осередков.

Побочневый тип руслового процесса, в отличие от ленточно-грядового, образуется в русле с единой цепью гряд, отличающихся перекосом плановой линии гребней. Эту систему гряд можно представить как две параллельные цепи гряд, смещенные своими наиболее возвышенными частями к противоположным берегам и сдвинутые одна относительно другой на половину их шага. В межень наиболее повышенные и выступающие вперед (вниз по течению) части гряд обсыхают, образуя песчаные отмели-побочни, примыкающие к берегам в шахматном порядке.

В результате этого меженный поток приобретает извилистые очертания, пониженные части гряд в межень образуют пережат. Плановые деформации русла для побочневого типа не характерны.

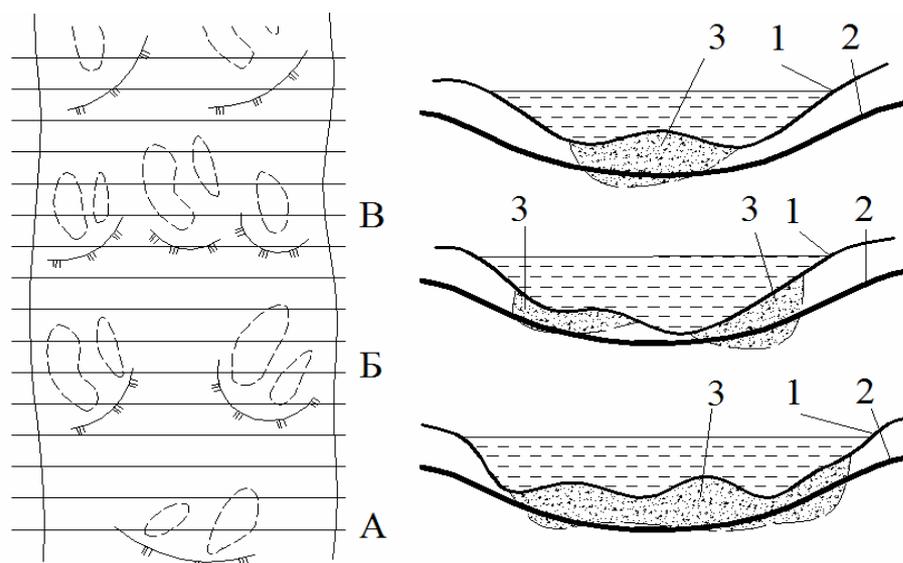


Рис. 3. Схема осередкового руслового процесса

a – план участка; А, Б, В – створы трубопроводов; *б* – размыв в средней части русла; *в* – размывы приурезных участков; *г* – размыв по всей ширине русла; 1 – линия берега и дна реки; 2 – трубопровод; 3 – зона размыва

В наиболее четкой форме побочный тип руслового процесса проявляется при естественном и искусственном закреплении берегов относительно прямолинейного русла.

Деформация русла сводится к сползанию вниз по течению реки крупных гряд (побочней), происходящему в половодье, размыву в межень гребней гряд (перекатов) и их восстановлению в последующее половодье. Схема побочного руслового процесса показана на рисунке 4.

Ограниченное меандрирование является дальнейшим развитием руслового процесса побочного типа и выражается в сползании слабо выраженных излучин (углы разворота до 60°) при сохранении ими своих размеров и форм. Схема ограниченного меандрирования показана на рисунке 5.

При *свободном меандрировании* в отличие от излучин, образующихся при ограниченном меандрировании, при котором наблюдается их сползание без закономерного изменения размеров и плановых очертаний. Излучины проходят определенные циклы развития. Схема свободного меандрирования показана на рисунке 6.

В начальной стадии развития излучины (при $\alpha < 90^\circ$) сползают вниз по течению по схеме ограниченного меандрирования, но в отличие от него одновременно и постепенно увеличивают угол разворота. По мере увеличения угла разворота сползание излучины замедляется, но ускоряется ее разворот.

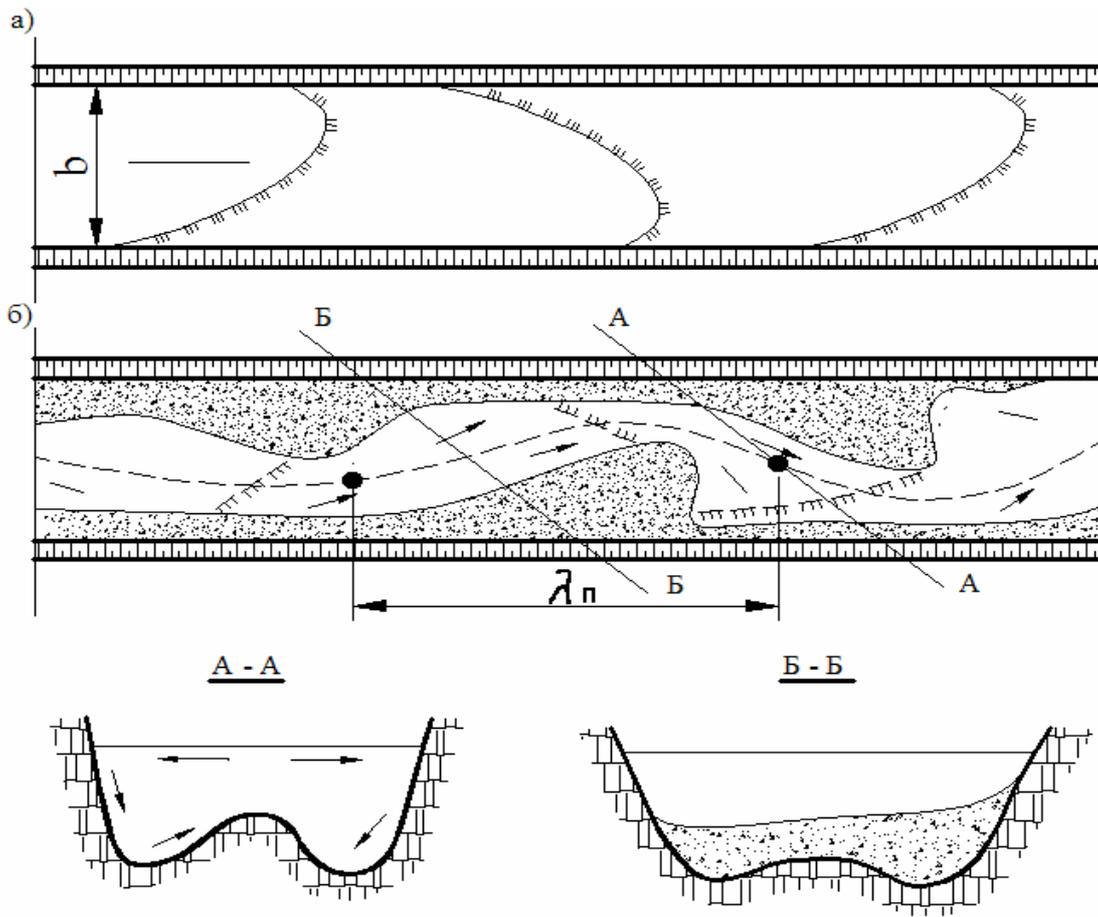


Рис. 4. Схема побочного руслового процесса

a – в паводок; *б* – в межень

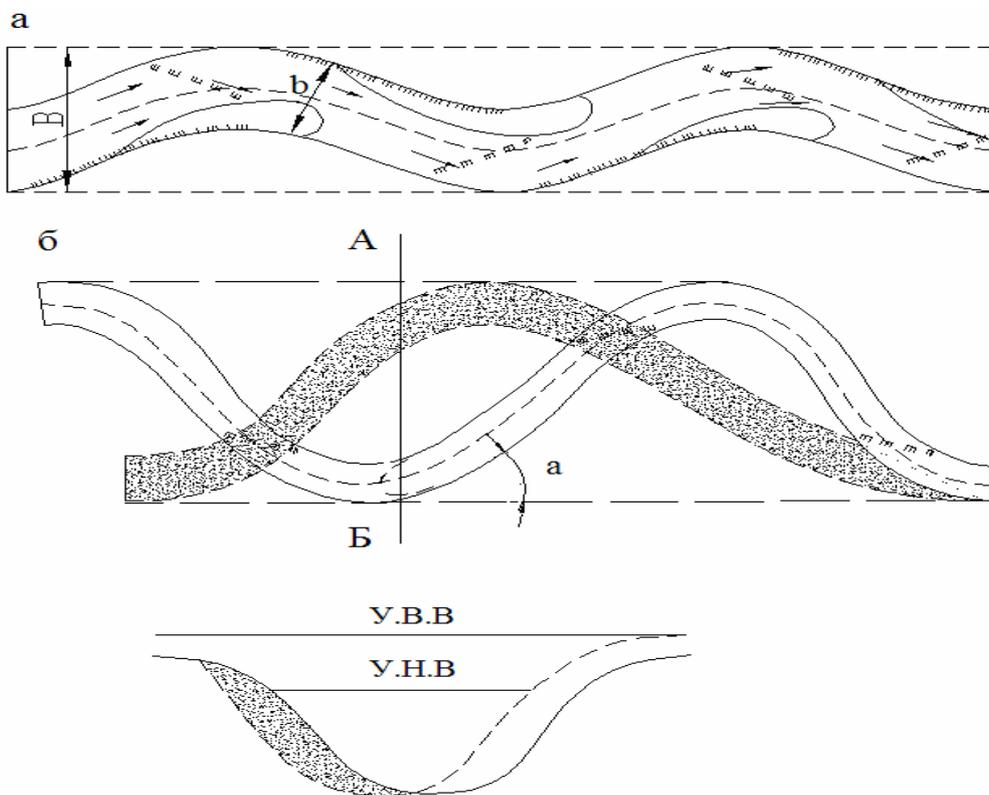


Рис. 5. Схема ограниченного меандрирования

a – план; *б* – переформирование излучины в плане

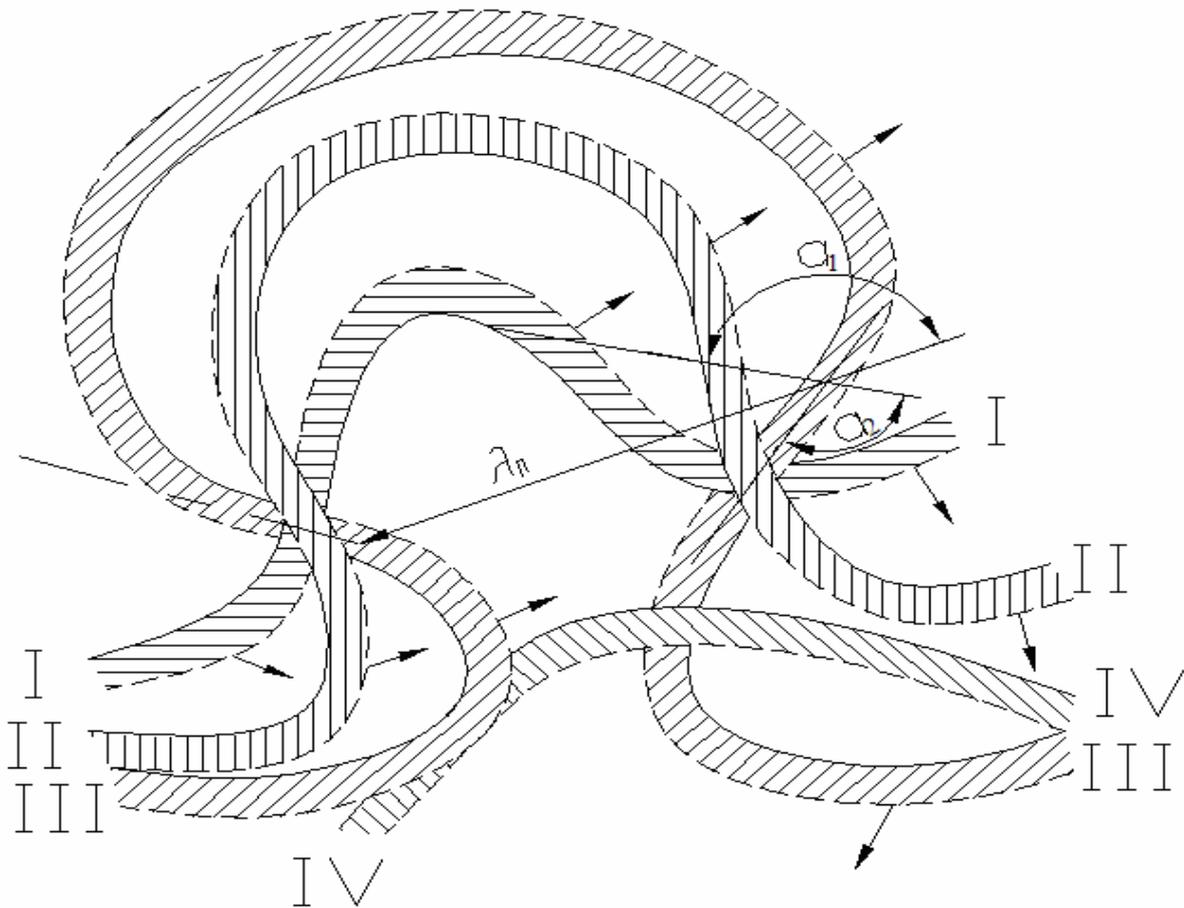


Рис. 6. Схема свободного меандрирования

I, II, III, IV – последовательные положения меандрирования

Развитие излучин завершается сближением подмываемых берегов смежных излучин и прорывом образовавшегося между ними перешейка.

Под *незавершенным меандрированием* понимают русловой процесс, при котором не образуются характерные для свободного меандрирования излучины. Схема незавершенного меандрирования показана на рисунке 7.

Основные признаки образовавшегося – однорукавное русло в широкой пойме со староречьями, с грядовым рельефом поверхности, представленной сериями дугообразно изогнутых гряд и ложбин между ними (вееров перемещения русла); наличие излучин, находящихся в разных стадиях развития, и скопление наносов у выпуклых берегов, имеющих вид пляжей. У вогнутого берега одна – три (редко более трех) плесовые лоцины. Наличие перекатов. Расположенные у точек перегиба русла, протягиваются между оконечностями пляжей, что нередко приводит к образованию у пляжей низовой косы затона.

В начальной стадии (при малых a) излучины развиваются по схеме *свободного меандрирования*, а в последующем возникает спрямляющий проток, постепенно развивающийся и превращающийся в главное русло.

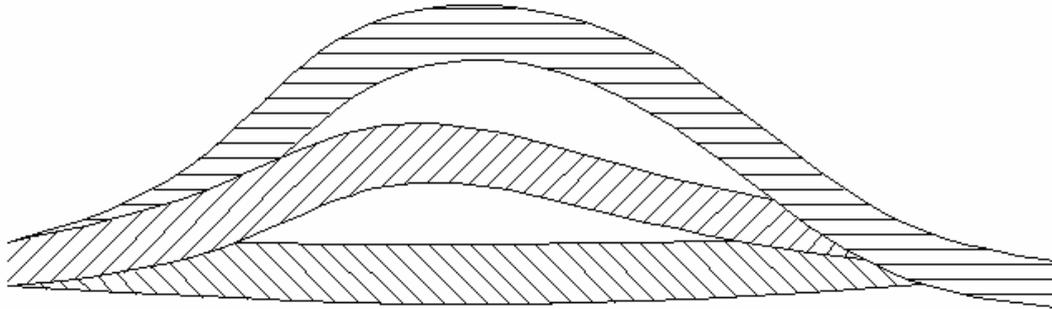


Рис. 7. Схема незавершенного меандрирования

Более ранний прорыв меандры проявляется при легкоразмываемых грунтах поймы или других условиях пойменного участка (при наличии оврагов, повышенной затопляемости и т.п.), способствующих размыву. Деформации главного русла по мере развития спрямляющего протока ослабевают, а затем прекращаются.

Развивающийся спрямляющий поток вначале деформируется (часто по схеме ленточно-рядового или побочного типа), а в последующем начинает меандрировать, и цикл развития незавершенного меандрирования повторяется.

Тип руслового процесса легко опознается по наличию спрямляющих протоков, находящихся в разных стадиях развития. Хорошо выраженные петли русла на участках свободного меандрирования отсутствуют.

Пойменная многорукавность представляет собой дальнейшее развитие и усложнение незавершенного меандрирования. Деформация русла реки, взятой в целом, сводится к медленному развитию спрямляющих протоков и отмиранию спрямляющих излучин, особенно на общих поворотах реки. Русловой процесс внутри каждого спрямляющего протока протекает так же, как в самостоятельном русле соответствующего типа. Схема пойменной многорукавности показана на рисунке 8.

Признак пойменной многорукавности – наличие широкой поймы, в которой река протекает многими рукавами. Острова, образованные протоками на участках пойм, обладают большой плановой устойчивостью. Отдельные рукава (спрямления ряда излучин) имеют значительную протяженность и могут рассматриваться как самостоятельные реки того или иного типа.

Количественные характеристики процесса остаются теми же, что и для описанных выше типов руслового процесса.

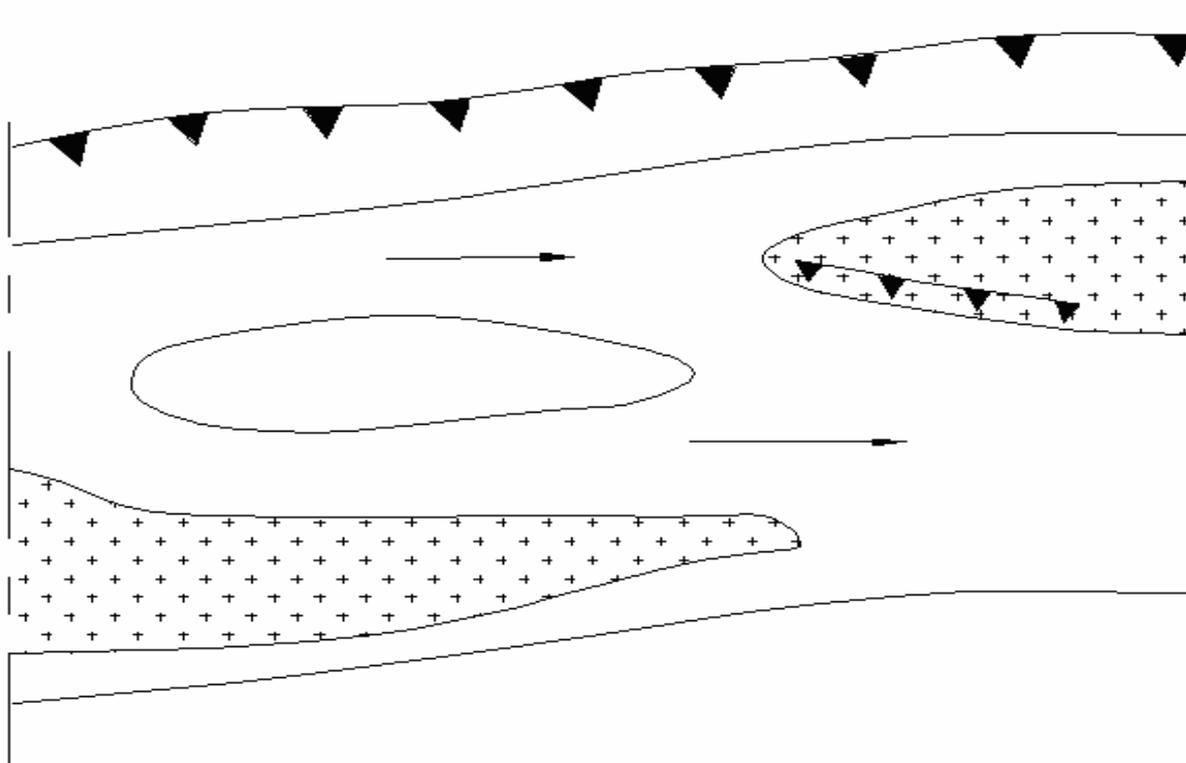


Рис. 8. Схема пойменной многорукавности

Глава 2. Анализ существующих способов строительства подводных переходов магистральных трубопроводов

Подводным переходом (ПП) называется гидротехническая система сооружений одного или нескольких трубопроводов, пересекающая реку или водоем, при строительстве которой применяются специальные методы производства подводно-технических работ. К подводным следует относить трубопроводы, уложенные по дну или ниже отметок дна водоема.

Трубопроводы, прокладываемые на пойменных участках рек, также следует относить к категории подводных, так как при эксплуатации во время паводка они будут находиться под водой. При проектировании и строительстве таких трубопроводов необходимо соблюдать те же требования, что и при сооружении подводных трубопроводов.

Подводный переход, как правило, представляет в плане двух- или трехтрубную (или, как говорят проектировщики и строители, «ниточную») систему. Число труб может быть и большим.

При меженном (среднем) уровне воды 75 м и более пересечение водной преграды по СНиП II-45 – 75 рекомендуется осуществлять с обязательной укладкой резервной нитки трубопровода.

В порядке исключения при ширине рек более 75 м допускается (при соответствующем обосновании) укладка однониточного перехода. На рисунке 9 показана схема подводного перехода.

На границах перехода устанавливаются отключающие устройства 1 (задвижки на нефтепроводах, краны на газопроводах). Резервную нитку 3 подключают к основной 2 и обычно включают в работу при возникновении аварийной ситуации на основной или при капитальном ремонте.

Подводный трубопровод заглубляется в грунт ниже возможной границы размыва дна реки и ее берегов.

В этом случае не производится крепления дна, берега же реки закрепляются.

Если же трубопровод не может быть уложен ниже границ размыва, то участки, на которых возможен размыв, крепятся в обязательном порядке. В пределах длины подводного перехода желательно укладывать трубопроводы без кривых вставок предварительного гнущья, так как это усложняет условия строительства и статическую работу материала труб. Такие вставки вводят в трубопровод обычно при наличии высоких и крутых берегов.

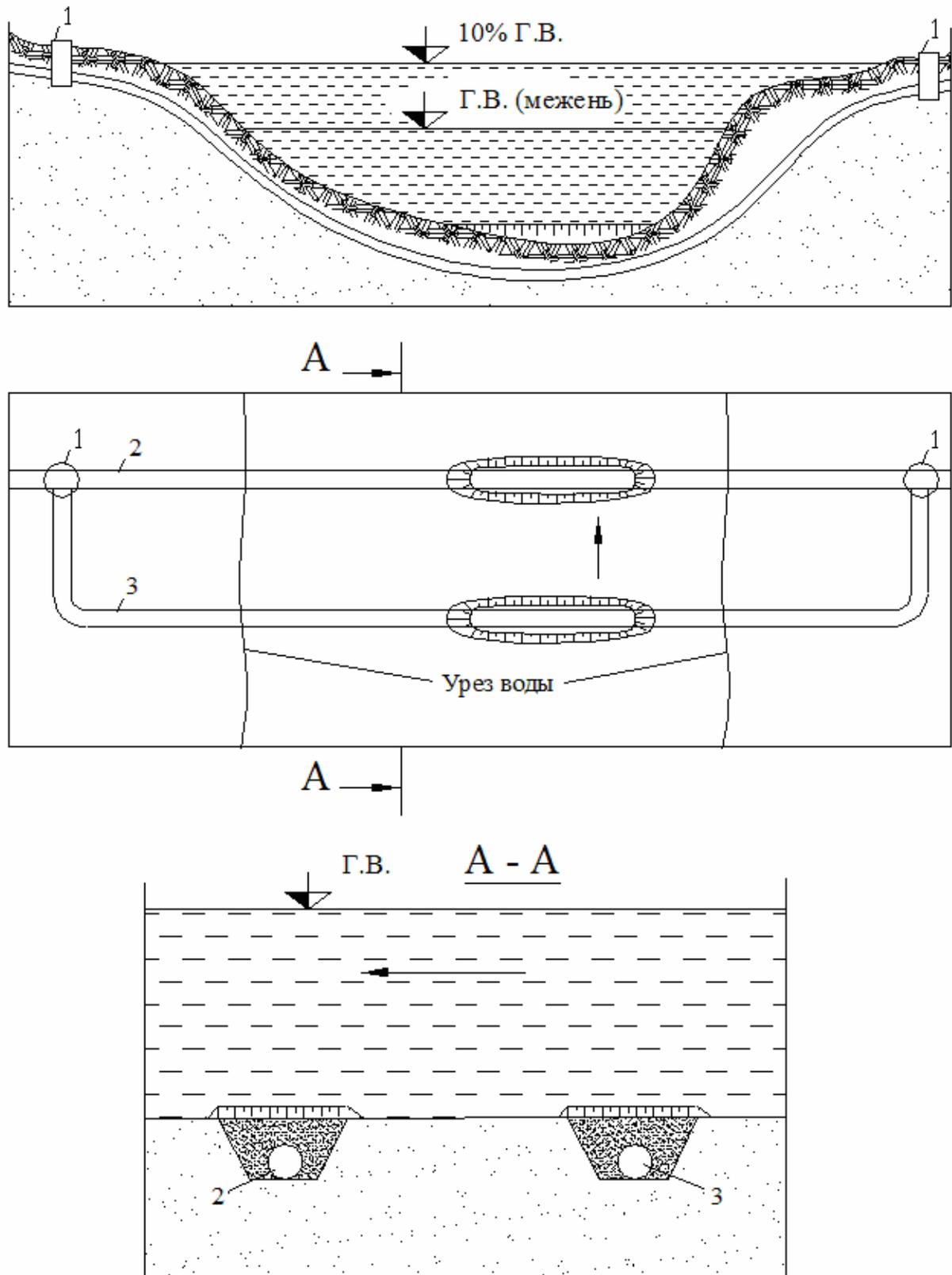


Рис. 9. Схема подводного перехода

1 – отключающие устройство; 2 – основная нитка подводного перехода; 3 – резервная нитка подводного перехода

2.1 Выбор участков расположения подводных переходов трубопроводов

Выбор участков расположения подводных переходов нефтепроводов, являющийся первым этапом инженерных изысканий, проводимых в местах предполагаемого пересечения водных преград трассами нефтепроводов, включает в себя комплекс обязательных работ, выполняемых в два этапа – в предполевой и полевой периоды.

Предполевые работы, включаемые в объем инженерных изысканий, выполняются специализированной проектно-изыскательской организацией в соответствии с общими требованиями технического задания, утвержденными Заказчиком (или Генпроектировщиком).

На данном этапе Генпроектировщиком, вместе с субподрядной проектно-изыскательской организацией, определяются предварительные варианты участков пересечения рек подводными переходами, исходя из намечаемых вариантов общих направлений трассы нефтепровода (первый этап).

На основании анализа имеющихся материалов по заданному району расположения участков переходов проектная организация составляет предварительную оценку этого района с целью представления на втором этапе работ своих предложений по одному или нескольким вариантам переходов комиссии, участвующей в рекогносцировочном осмотре территории и окончательном выборе участка перехода в полевых условиях.

Для сооружения подводных переходов трубопроводов способом наклонно-направленного бурения наиболее благоприятными являются реки (при доступной ширине и геологии русла и берегов), имеющие ленточно-грядовый, побочневый и ограниченно-меандрирующий типы руслового процесса, а также русловую многорукавность, где русловые процессы в рукавах развиваются по тому же типу.

На реках, имеющих типы руслового процесса в виде *свободного меандрирования, незавершенного меандрирования и пойменной многорукавности*, характеризующихся большими и труднопрогнозируемыми плановыми деформациями, широкой и низкой поймой, разновысотностью береговых склонов и представляющих большие сложности для выбранного способа строительства переходов, выбор участков переходов допускается только в случаях с незначительными параметрами русел этих рек (ширины, высоты, состояния берегов, скорости их размыва и др.) с последующим прогнозированием условий их дальнейшего развития и разработкой дополнительных мер по их стабилизации и предупреждению опасных русловых процессов.

2.2 Полевые инженерные изыскания на переходах

Полевые инженерные изыскания на выбранном участке перехода, выполняемые изыскательской партией по техзаданию Генпроектировщика должны включать:

- геодезические изыскания;
- гидрографические и гидрологические изыскания;
- геологические изыскания;
- гидрогеологические изыскания;
- гидрометеорологические изыскания;
- экологические изыскания;
- оценку магнитного фонового состояния.

Перед началом топографо-геодезических работ:

- проводится предварительное определение границ обследуемого участка водной преграды;
- определяется схема размещения сети планово-высотной привязки участка работ к намечаемому створу перехода:
- выявляются (или уточняются) характерные особенности местности и водной преграды в зоне перехода (тип руслового процесса, острова, оползневые участки, места образования берегоразрушительных заторов льда и др.).

Топографо-геодезические работы, выполняемые в масштабе 1:500-1:2000, включают в себя следующие основные виды работ:

- создание опорной основы и разбивочных геодезических сетей для строительства перехода;
- съемку местности в границах намечаемого перехода (очертания береговых линий, склонов примыкающих к урезу территорий) на обоих берегах;
- привязку уровня воды водоема и намечаемых объектов строительства к опорной сети (оси перехода, строительной площадки, подъездных дорог, буровых геологических скважин и других сооружений);
- привязку к существующим сооружениям и коммуникациям в зоне перехода;
- установку основных реперов, гидропоста и временных знаков планово-высотной привязки сооружений на обоих берегах.

По результатам съемки составляется топографический план местности по обоим берегам на площади и в масштабе, установленных техзаданием.

Гидрографические изыскания выполняют для построения плана береговой и подводной части участка перехода, профилей по намечаемым раз-

личным створам переходов, с привязкой их к созданной на берегах постоянной геодезической сети, временному гидропосту и общей топографической основе участка.

Гидрометрические изыскания предусматривают проведение комплекса работ на переходе по нескольким створам, включающего:

- информационный поиск материалов по гидрологии реки (водоема) в районе перехода в ближайших стационарных гидропостах;
- наблюдения за уровнем воды в зоне перехода с использованием временного гидропоста;
- измерение скоростей течения, стока расхода, температуры, глубины воды и волнения;
- измерение расхода наносов;
- определение толщины льда и оценку ледовых явлений;
- камеральную обработку материалов полевых изысканий.

При проведении гидрогеологических изысканий, применительно к данному способу строительства переходов, определяются: наличие водоносных горизонтов, их мощность и глубина залегания; границы распространения, степень водонасыщенности и фильтрационные свойства грунтов; интенсивность поступления воды из водоносных горизонтов в реку; химический состав воды. Особое внимание этому уделяется в местах предполагаемого строительства переходов, где осуществляется использование подземных вод для целей водоснабжения.

При проведении полевых изысканий на подводных переходах, в дополнение к предполевым работам, проводится гидролого-морфологическая оценка руслового участка, уточняющая тип и характер русловых процессов, виды и размеры деформаций дна и берегов русла и поймы, обусловленные действием потока, с целью в определении в последующем (путем расчетов) предельного профиля размыва русла, исходя из максимального срока эксплуатации перехода.

В результате геологических изысканий должны быть получены данные, необходимые для принятия решения об использовании выбранного способа строительства, разработки технологии строительства перехода, включающие физико-механические характеристики грунтов на береговых и русловых участках – гранулометрический состав, прочность, слоистость, пластичность, текучесть, трещиноватость, пористость, водонасыщенность и другие свойства грунтов, а также указывающие наличие и распространение специфических грунтов и их состояние: карстовых, просадочных, засоленных, с границами их расположения и мощностью залегания слоев. Дополнительные данные по характеристике грунтов (категорийность по прочности, степень проницаемости в них бу-

рового раствора и другие показатели), необходимые для ННБ, собираются специалистами-геологами путем проведения лабораторных исследований проб грунта, полученных в полевых условиях.

При выполнении экологических изысканий следует руководствоваться требованиями нормативных и инструктивных документов Государственного комитета РФ по окружающей среде, государственными стандартами, ведомственными природоохранными и санитарными нормами, а также правилами региональных органов исполнительной власти.

В задачи экологических изысканий входит:

- определение задач локального экологического мониторинга на время строительства перехода;
- определение источников возможного техногенного воздействия на окружающую среду в процессе строительства и последующей эксплуатации подводного перехода.
- прогноз характера отрицательного воздействия на окружающую территорию и водную среду при возникновении различных нештатных ситуаций в процессе строительства и эксплуатации перехода.

2.3 Обзор существующих методов строительства подводных переходов

Существует множество методов прокладки трубопроводов через естественные и искусственные препятствия и конструкций таких переходов.

Выбор конкретного метода (или конструкции) в каждом конкретном случае должен основываться на рассмотрении совокупности условий прохождения и требований к переходу – технических, экономических, экологических и др. В таблице 3 рассмотрены основные методы прокладки переходов, области и технические ограничения на их применение.

Опыт многих стран, например, Германии, Японии Великобритании доказывает, что дешевизна традиционной прокладки трубопроводов на переходах – иллюзия, а косвенные убытки от строительства переходов традиционными способами значительны.

Бестраншейные методы строительства являются экономически более выгодными по сравнению с традиционными методами. Это объясняется экономией средств, которые при открытом способе замены коммуникаций идут на строительство траншей, вывоз мусора, восстановление берегов, благоустройство территорий, озеленение и многое другое.

Таблица 3

Область применения методов прокладки
трубопроводов через естественные и искусственные препятствия

Метод прокладки перехода трубопровода	Область применения и достоинства метода	Ограничения применения и недостатки метода
Траншейные методы: В грунте, в защитном кожухе. В канале, под защитными плитами, со специальной засыпкой, с бетонным покрытием и др.	Переходы через водоемы, дороги, существующие коммуникации	В ходе строительства нарушается поверхность и грунтовая толща, возникают воздействия на пересекаемый объект
Бестраншейные методы: Прокол, продавливание, горизонтальное бурение, микротоннелирование, горизонтально (наклонно)-направленное бурение, расширение лидерной скважины раскатчиком	Переходы под водоемами, дорогами, зданиями и др. сооружениями, природными объектами, прибрежными участками моря. Методы применяются при необходимости избежать нарушения поверхности в ходе строительства	Ограниченная длина перехода (кроме микротоннелирования). Ограничения, связанные с геологическими условиями
Прокладка по дну водоема (с механической защитой или без неё). Трубопровод в толще воды (на опорах, на поплавках, самонесущий)	Методы применяются при пересечении очень широких водоемов (несколько километров и более), либо для устройства временных (например, военных) переходов, при нестабильной поверхности дна, берегов или грунтовой толщ	Должна быть обеспечена защита перехода от контактов с судами, якорями, рыболовецкими снастями и др., либо глубина должна гарантировать отсутствие таких воздействий

Все эти факторы ощутимо снижают сроки производства работ, удешевляют их стоимость и снижают затраты.

Современная буровая техника, позволяет работать в сложных геологических условиях практически без ограничений по факторам сезонности. А современные технологии бестраншейной прокладки позволяют вести работы быстро, качественно и эстетично, при этом удается сохранить все объекты внешнего благоустройства, архитектурный и природный ландшафт, избежать перекрытия автомагистралей, железнодорожных путей и наземных пешеходных переходов.

Бестраншейные способы прокладки подводных переходов, решают следующие задачи:

- высокое качество построенного перехода за счет заглубления трубопровода значительно ниже линии предельных деформаций дна и берегов реки, а также за счет использования при строительстве высококачественных труб с заводским изоляционным покрытием из экструдированного полиэтилена;

- исключается необходимость берегоукрепительных работ;

- резкое сокращение объемов компенсационных затрат при согласовании с природоохранными и рыбохозяйственными службами;

- обеспечение ремонтной способности трубопровода, в случае его прокладки в защитном кожухе или в тоннеле при строительстве методом микрононелирования.

В связи с выше перечисленным, в данном учебном пособии будет рассматриваться вопрос о возможности и первоочередности проектирования переходов магистрального трубопровода через водные преграды бестраншейными методами.

При выборе способа строительства переходов необходимо учитывать его преимущества и ограничения по его применению.

В качестве преимуществ бестраншейных методов строительства следует рассматривать:

- надежную защиту трубопровода от внешних механических повреждений в результате его более глубокого заложения;

- возможность выполнения строительно-монтажных работ на ограниченных по площади строительных площадках и в стесненных условиях;

- возможность прокладки трубопровода под гидротехническими сооружениями (дамбами, набережными стенками, подводными трубопроводами и другими коммуникациями);

- отсутствие продолжительных и дорогостоящих работ по подготовке траншей, водолазным и берегоукрепительным работам, балластировке трубопровода и др.;

- отсутствие опасности обнажения трубопровода при размывах русел реки повреждения их на судоходных участках;

- обеспечение сохранности естественного рельефа местности, береговых склонов и водного режима реки за счет исключения подводных и береговых земляных, буровзрывных, берегоукрепительных и других работ, вызывающих, кроме того, отрицательное воздействие на экологию водной преграды в зоне строительства перехода.

2.4 Траншейный метод

2.4.1 Технология укладки подводных трубопроводов

Подготовленный к укладке в подводную траншею переход представляет отрезок или несколько отрезков трубопровода, общая длина которых на несколько десятков метров превышает ширину водной преграды между урезами воды.

Сваренный в нитку, заизолированный и футерованный, утяжеленный грузами и оснащенный необходимыми приспособлениями трубопровод устанавливают в исходном перед укладкой положении.

Операция по укладке является основной, завершающей большой объем подготовительных работ. Поэтому к ее проведению необходимо готовиться тщательным образом.

Существует много способов и схем укладки трубопроводов в подводные траншеи. Все они могут быть разбиты на три способа:

- протаскивание по дну,
- погружение с поверхности воды трубопровода полной длины,
- погружение с поверхности воды последовательным наращиванием секций трубопровода.

2.4.2 Укладка способом протаскивания

Суть способа заключается в следующем. Трубопровод протаскивают по дну подводной траншеи с одного берега к другому с помощью троса, заранее проложенного в траншее. Этот способ позволяет выполнить укладку трубопро-

вода, не создавая помех судоходству, что очень важно, так как практически на всех реках в летний период судоходство весьма интенсивное.

Технологическая последовательность основных операций, связанных с укладкой протаскиванием, следующая:

- трубопровод сваривают на берегу в нитку, опрессовывают, изолируют, футеруют, а в необходимых случаях балластируют;
- устраивают спусковую дорожку, на которую помещают подготовленный к укладке трубопровод;
- по дну подводной траншеи укладывают тяговый трос;
- протаскивают трубопровод через водную преграду с помощью тракторов или лебедок;
- по окончании протаскивания проводят водолазное обследование и испытание уложенного трубопровода. Определяют его положение и затем засыпают грунтом.

К моменту укладки должны быть подготовлены как трубопровод, так и береговые и подводные траншеи. К протаскиванию трубопровода можно приступить после того, как будет установлено, что фактические данные подводной траншеи соответствуют проектным.

2.4.3 Укладка трубопровода с поверхности воды

Суть способа укладки с поверхности воды заключается в следующем. Полностью подготовленный к укладке трубопровод устанавливают на плаву над подготовленной заранее траншеей, а затем погружают на ее дно затоплением при положительной плавучести или отсоединением специальных устройств, удерживающих трубопровод на поверхности воды.

2.4.4 Земляные работы

Подводное исполнение переходов предполагает значительный объем земляных работ. По данным различных источников, стоимость подводных работ составляет от 50 до 70% стоимости строительства подводного перехода. В состав земляных работ входят: срезка крутых береговых склонов; разработка траншей на русловых, береговых и пойменных участках; засыпка траншей; укрепление берегов; устройство водоотводных канав, перемычек; планировка береговых строительных площадок и др.

Значительное снижение стоимости и трудоемкости, а также сокращение сроков строительства подводного перехода магистрального трубопровода достигается в результате применения эффективных способов производства подводных земляных работ и повышения их механизации.

Технология устройства подводных траншей для трубопроводов отличается от технологии подводных земляных работ при строительстве других гидротехнических сооружений, так как подводные траншеи представляют собой узкопрофильную выемку, направленную поперек течения. Эти особенности производства земляных работ при строительстве подводного трубопровода обуславливают применение специальных машин и оборудования.

Выбор и рациональное использование технических средства для разработки подводных траншей на реках и водоемах зависят от грунтовых условий по трассе перехода, глубины грунтозабора, объемов работ и возможностей доставки техники на строительный объект.

Подводные переходы магистральных трубопроводов, строительство которых осуществляется в различных геологических условиях, характеризуются большим разнообразием грунтов, слагающих русла рек в зоне заглубления трубопроводов. На переходах встречаются грунты смешанного типа (до 68% от общего количества сооружаемых трубопроводов). В остальных случаях в пределах русла реки грунты однородного состава представлены в основном песками различной крупности, песчано-гравелистыми и гравелисто-галечниковыми отложениями.

От вида и прочности грунтов зависит способ их рыхления и удаления в процессе разработки подводной траншеи. В таблице 4 показано укрепленное разделение грунтов по трудности разработки их рабочими органами землеройных машин. Для количественной оценки трудности разработки принят коэффициент прочности по М.М. Протодяконову, а для качественной – используют классификацию грунтов при работе землесосных снарядов.

Как правило, глубина разработки подводной траншеи возрастает с увеличением ширины водной преграды. Ширина рек на переходах глубиной до 5 м обычно не превышает 200 м, в редких случаях она достигает 300 м; ширина рек на переходах глубиной до 10 м примерно составляет 500 м.

Крутизна откосов подводной траншеи при ширине водной преграды более 30 м или глубине более 1,5 м (при среднем рабочем уровне воды) с учетом безопасных условий производства водозазных работ принимается по таблице 5.

Наибольшую крутизну откосов обводненной береговой траншеи следует принимать по таблице 6.

Таблица 4

Разделение грунтов в зависимости от трудности их разработки
под водой рабочими органами землеройных машин

Характеристика грунтов по трудности их разработки	Коэффициент прочности	Группа грунта при разработке землеройным снарядом	Способ рыхления	Способ извлечения
Легкие				
Илы, пески, супеси, рыхлые и легкоразмываемые, связанные грунты, текучие и мягкопластичные грунты, торф	0,05 – 0,6	I – III	Гидравлический – струями воды	Гидравлический
Средние				
Пески и супеси плотные с включением гравия	0,6 – 1,5	III – IV	Механический (легкими фрезами и черпаками)	Гидравлический, механический
Гравий чистый, связные грунты тугопластичные, липкие	1,5 – 2,0	IV – VI	Механический (тяжелыми фрезами и черпаками)	Тоже
Тяжелые				
Грунты твердые и сцементированные, очень липкие	2,0 – 3,0	IV – VI	Механический (тяжелыми фрезами и черпаками)	Гидравлический, механический
Твердые скальные грунты, раздробленные скалодробильными средствами или взрывом	3,0 – 5,0	IV – VI	Механический (тяжелыми черпаками и долотами)	Механический
Скальные грунты нераздробленные	5,0 – 14	IV – VI	Механический (тяжелыми долотами)	Тоже
Скальные грунты нераздробленные	14 – 20	IV – VI	Буровзрывной	Тоже

Таблица 5

Крутизна откосов подводных траншей

Характеристика грунта	Глубина траншеи, м	
	До 2,5	Более 2,5
Пески пылеватые и мелкие	1 : 2,5	1 : 3
Пески средней крупности	1 : 2	1 : 2,5
Пески неоднородного зернового состава	1 : 1,8	1 : 2,3
Пески крупные	1 : 1,5	1 : 1,8
Гравий и галечниковый грунт	1 : 1	1 : 1,5
Супеси	1 : 1,5	1 : 2
Суглинки	1 : 1	1 : 1,5
Глины	1 : 0,5	1 : 1
Предварительно разрыхленный скальный грунт	1 : 0,5	1 : 1
Илы и заторфованные	По проекту	

Таблица 6

Крутизна откосов обводненной береговой траншеи

Характеристика грунта	Глубина траншеи, м	
	До 2,5	Более 2,5
Пески пылеватые и мелкие	1 : 1,5	1 : 2
Пески средней зернистости и крупные	1 : 1,25	1 : 1,5
Суглинки	1 : 0,67	1 : 1,25
Гравийный и галечниковый грунт	1 : 0,75	1 : 1
Глины	1 : 0,5	1 : 0,75
Предварительно разрыхленный скальный грунт	1 : 0,25	1 : 0,25

Примечание: крутизна откосов дана с учетом грунтовых вод

Если спуск будет производится по створу, то трубопровод укладывают на спусковую дорожку, а по дну водной преграды прокладывают буксировочный трос. Для увеличения плавучести трубопровод оснащен понтонами.

2.4.5 Подготовка трубопровода к укладке

Трубопровод сваривают в нитку, длина которой на несколько метров (или десятков метров) больше ширины зеркала воды между урезами.

Затем его испытывают на прочность и плотность, изолируют, футеруют, оснащают (в необходимых случаях) понтонами, крепят тросы, которыми трубопровод будет удерживаться в створе перехода.

Установка трубопровода в створ является наиболее ответственной при укладке с поверхности воды, так как при недостаточно точном ее выполнении трубопровод может быть изогнут потоком воды и даже сломан.

В практике строительства применяют различные технологические схемы. Основной особенностью любой схемы является способ перемещения трубопровода в створ на плаву и удержание его в таком положении до погружения. В зависимости от ширины русла водоема средства, с помощью которых трубопровод устанавливают в створ и удерживают в нем, могут располагаться либо только на берегах, либо на берегах и в русле водоема.

Если установка в створе будет осуществляться разворотом на плаву, то устройства спусковой дорожки не требуется. В этом случае трубопровод размещают в непосредственной близости от уреза воды (вдоль него).

2.5 Виды бестраншейных технологий прокладки подземных трубопроводов

Бестраншейные способы строительства применяются при пересечении водоемов (рек, каналов, озер, болот) как альтернатива траншейной или воздушной прокладке.

При пересечении водных преград применяются методы:

- расширение пробуренных скважин раскатчиком;
- горизонтального (наклонного) направленного бурения (в том числе шнекового);
- *микротонелирования.*

Очевидно, что в своей области применения бестраншейные способы строительства подводных переходов конкурируют прежде всего с траншейным

методом прокладки, поэтому их преимущества и недостатки будут рассмотрены в сравнении именно с этим методом. К основным преимуществам можно отнести следующие:

- большая надежность построенного объекта. Трубопровод, уложенный в скважину, находится в массиве ненарушенного грунта на большой глубине – ниже прогнозируемых русловых деформаций. При этом просадки, всплытия и др. изменения положения трубопровода исключаются. Что касается подводных трубопроводов, проложенных в траншеях, которые не подверглись в период эксплуатации оголению, выпучиванию или всплытию, в бывшем СССР являлись скорее исключением, нежели правилом;

- сокращение эксплуатационных затрат. Исключаются водолазные обследования, отпадает необходимость периодических работ по ликвидации размывов и ремонту берегоукреплений. Известно, что именно размывы являются «головной болью» организаций, эксплуатирующих подводные переходы, проложенные в траншеях. Ежегодно на засыпку размывов, подсадку, ремонт берегоукреплений тратятся огромные средства;

- сокращения сроков строительства. Например, при траншейном методе строительства перехода диаметром 1020 мм и длиной 800 м через реку весь период строительства, включая организационно-технические мероприятия, составляет около 8 месяцев, а собственно подводно-технические работы – не менее 3 месяцев. При прокладке такого же перехода методом наклонно-направленного бурения (ННБ) общий срок строительства составит 3-4 месяца, а собственно бурение и протаскивание – 2-4 недели;

- круглогодичность строительства. В связи с отсутствием землечерпательных работ график строительства не зависит от времени года. При траншейном методе строительства график работ находится в зависимости от ледового режима, периода половодья, от режима судоходства, а для водохранилищ – от режима изменения уровня воды. При бестраншейных способах, как правило, строительные площадки находятся на достаточном возвышении, чтобы не зависеть от изменения уровня воды или наличия ледового покрова. Не создается никаких помех судоходству;

- экологическая чистота строительства. Водоем и его берега не затрагиваются строительством. Не нарушается естественный ландшафт, не угнетается флора и фауна водоемов. В последнее десятилетие это преимущество становится особенно важным, и в ряде регионов России местные природоохранные органы просто запрещают земляные работы на многих реках. При традиционном же способе замутиение воды в ходе земляных работ оказывает негативное

влияние на популяции рыб, нарушение берегов ведет к необходимости строительства берегоукрепительных сооружений, уродующих ландшафт, а объемы срезов и перемещений грунта составляют сотни тысяч, а иногда и миллионы кубометров;

- сокращение материалоемкости объекта за счет исключения балластировки. Например, при траншейной прокладке вес чугунных или железобетонных пригрузов, устанавливаемых на плеть перехода диаметром 1020 мм, составляет 130-150 тон на 100 метров трубы.

Перед началом работ тщательно изучаются свойства и состав грунта, дислокация существующих подземных коммуникаций, оформляются соответствующие разрешения и согласования на производство подземных работ. Осуществляется выборочное зондирование грунтов и, при необходимости, шурфление особо сложных пересечений трассы бурения с существующими коммуникациями. Результаты этих работ имеют определяющее значение для выбора траектории и тактики строительства скважины.

При определении экономической выгоды неправомерно простое сравнение ориентировочной стоимости методов с ориентировочной стоимостью траншейного метода. Технология бестраншейных методов строительства не является дешевой. Хотя денежные, и особенно, временные затраты значительно экономятся на стадии строительства, основная экономия от их применения лежит в долгосрочной перспективе, в чем позволяет убедиться сравнительный анализ строительства подводных переходов трубопроводов траншейным и бестраншейными методами. Сравнительный анализ строительства подводных переходов трубопроводов траншейным и бестраншейными методами показан на рисунке 10.

2.5.1 Строительство подводных переходов реверсивным раскатчиком скважин

Институтом горного дела Сибирского отделения Академии наук СССР (ныне ИГД СО АН РФ) совместно с научно-производственной фирмой «Бос» были разработаны раскатчики для бестраншейной прокладки коммуникаций.

Реверсивный раскатчик скважин предназначен для проходки скважин (вертикальных, наклонных и горизонтальных) в дисперсных уплотняемых грунтах, в том числе в грунтах, содержащих крупнообломочные частицы.

Десять лет назад первую партию раскатчиков и установок для их привода по лицензии разработчиков изготовила Российская самолетостроительная корпорация «МиГ» (РСК «МиГ»). Технология работ по прокладке трубопровода заключается в следующем.

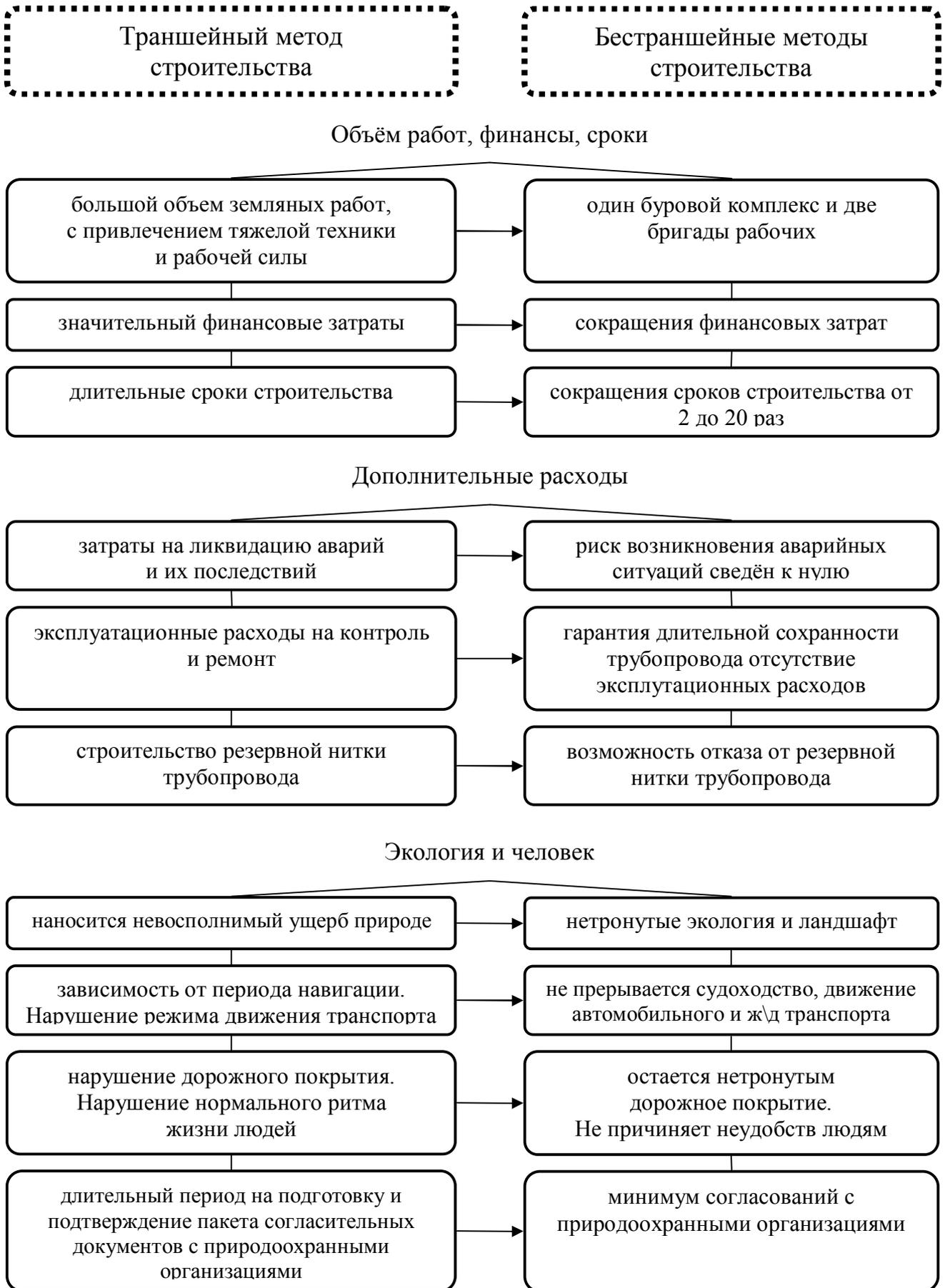


Рис. 10. Сравнительный анализ строительства подводных переходов трубопроводов траншейным и бестраншейными методами

Сначала с помощью зарубежной установки направленного бурения пробуривается *лидерная скважина*. Затем с помощью раскатчика она расширяется и одновременно в неё затягиваются трубы, причем расширение скважины производится без применения бентонитового раствора.

Раскатчики состоят из конических катков, установленных на подшипниках качения друг за другом на валу. Оси катков развернуты в поперечной и смещены в продольной плоскостях относительно оси устройства таким образом, что при его вращении катки перемещаются по винтовой линии и раскатчик ввертывается в грунт, образуя скважину.

При ввертывании раскатчика в грунт (для образования горизонтальной скважины путем вращения и осевой подачи вала) катки обкатываются по своим забоям и формируют стеку скважины. Каждый последующий каток входит в участок скважины, раскатанной предыдущим катком, увеличивая её диаметр. При этом грунт вытесняется в радиальном направлении и вокруг скважины образуется уплотненная зона диаметром равным 3-4 диаметрам скважины. Формирование скважины раскатчиком можно сравнить с уплотнением грунта на поверхности земли, когда используется группа катков, из которых каждый последующий тяжелее предыдущего.

Необходимо отметить, что в отличие от описанных выше способов проходки скважин, где разрушенная порода выносится на поверхность, раскатчики при проходке в сжимаемых грунтах вдавливают ее в стенки скважины, существенно уплотняя их. Это позволяет получить устойчивую цилиндрическую полость, в которой могут быть проложены коммуникации различного назначения. Однако сильное уплотнение грунтового массива вокруг скважины вдоль трассы может оказывать некоторое негативное влияние по отношению к параллельным инженерным коммуникациям, если они проложены в непосредственной близости от пути движения раскатчика.

Раскатчик сохраняет свою работоспособность в любых сжимаемых грунтах (до 4 категории включительно) с твердыми включениями (величиной до 1/3 диаметра раскатчика), которые закатываются им в стеки скважины при ее образовании.

Преимуществом метода раскатки, по сравнению с горизонтальным (наклонным) направленным бурением и проколом, является отсутствие необходимости использования передвижных насосных установок (для подачи воды к буровому инструменту) или компрессора (для подачи сжатого к пневмопробойнику). Кроме того, при использовании раскатчиков полностью исключается просадка грунта на поверхности. Стенки скважины уплотняются настолько, что

не требуется их укрепления бентонитовым раствором как при методе наклонно-направленного бурения, в результате снижается стоимость работ, а стоимость бентонита составляет 30-60% общей стоимости работ.

Однако раскатчики не могут применяться в стесненных условиях насыщенного коммуникациями подземного пространства города: при наличии параллельных коммуникаций на трассе проходки может произойти их деформация за счет резкого уплотнения грунта.

Раскатчик обеспечивает образование идеально гладких стенок скважин, что исключает повреждение затягиваемых полиэтиленовых труб и стальных труб с изоляцией. Уплотнение околотрубного пространства значительно повышает срок службы трубопровода.

Внешний вид раскатчика в момент раскатки скважины с одновременным протаскиванием трубопровода показан на рисунке 11.

Эффективность раскатчика скважин заключается в следующем:

- отсутствие интенсивного шума в сравнении с ударными способами проходки, динамических воздействий;
- значительное снижение энергозатрат в сравнении с ударным и статическим проколом;
- высокая точность проходки;
- проходка скважин в гравелистых и галечниковых грунтах.

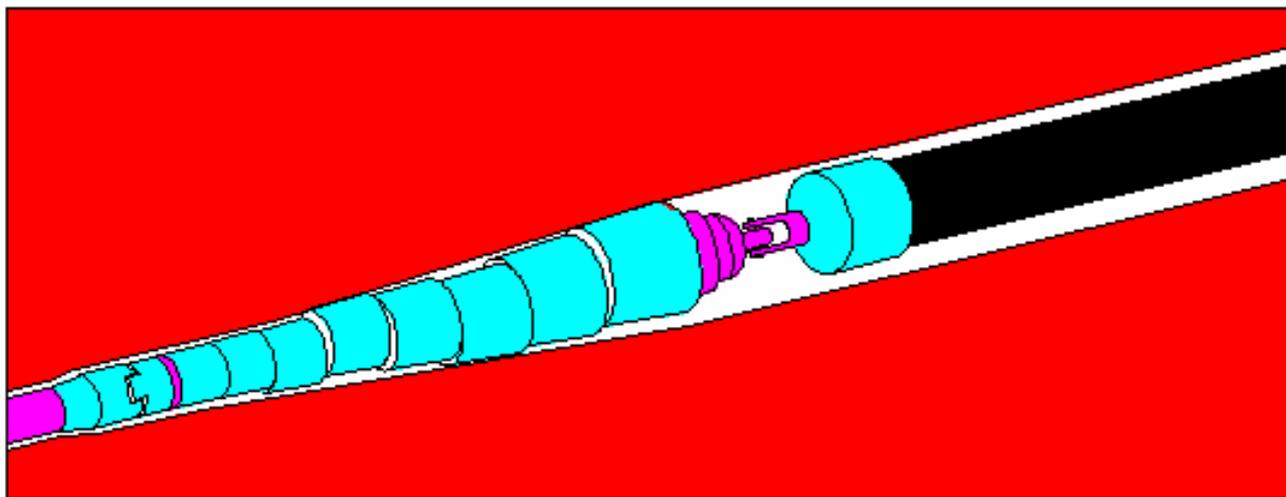


Рис. 11. Внешний вид раскатчика в момент раскатки скважины с одновременными протаскиванием трубопровода

В настоящее время РСК «МиГ» готовит к производству раскатчики диаметром 300, 400 мм (в перспективе до 1500) и установку для их привода. Раскатчики можно использовать не только для прокладки трубопроводов, но и для

их ремонта, устройства набивных свай, анкеров, глубинного уплотнения грунтов и многих других строительных работ.

2.5.2 Основные технологические принципы метода горизонтально-направленного бурения

Сущность *метода горизонтально-направленного (наклонного) бурения* состоит в использовании специальных буровых станков (буров, штанг), которые осуществляют предварительное (*пилотное*) бурение по заранее рассчитанной траектории с последующим расширением скважины (с помощью набора расширителей и буровых головок, которые могут омываться буровым раствором) и протаскиванием в образовавшуюся полость трубопровода.

На первой стадии строительства подводного перехода методом ННБ производится бурение пилотной скважины небольшого диаметра по заданной траектории. Бурение пилотной скважины – особо ответственный этап работы, от которого во многом зависит конечный результат. Оно осуществляется при помощи породоразрушающего инструмента – буровой головки со скосом в передней части и встроенным излучателем либо применяется забойный турбинный двигатель или шарошечное долото.

Буровая головка соединена посредством полого корпуса с гибкой приводной штангой, что позволяет управлять процессом строительства пилотной скважины и обходить выявленные на этапе подготовки к бурению подземные препятствия в любом направлении в пределах естественного изгиба протягиваемой рабочей нити. Буровая головка имеет отверстия для подачи специального бурового раствора, который закачивается в скважину и образует суспензию с размельченной породой. Буровой раствор уменьшает трение на буровой головке и штанге, предохраняет скважину от обвалов, охлаждает породоразрушающий инструмент, разрушает породу и очищает скважину от ее обломков, вынося их на поверхность. Контроль за местоположением буровой головки осуществляется с помощью приемного устройства *локатора*, который принимает и обрабатывает сигналы встроенного в корпус буровой головки передатчика. На мониторе локатора отображается визуальная информация о местоположении, угле, азимуте буровой головки. Также эта информация отображается на дисплее оператора буровой установки. Эти данные являются определяющими для контроля соответствия траектории строящегося трубопровода проектной траектории и минимизирует риски излома рабочей нити. При отклонении буровой головки от проектной траектории оператор останавливает вращение буровых

штанг и устанавливает скос буровой головки в нужном положении. Затем осуществляется задавливание буровых штанг без вращения с целью коррекции траектории бурения. Строительство пилотной скважины завершается выходом буровой головки в заданной проектной точке.

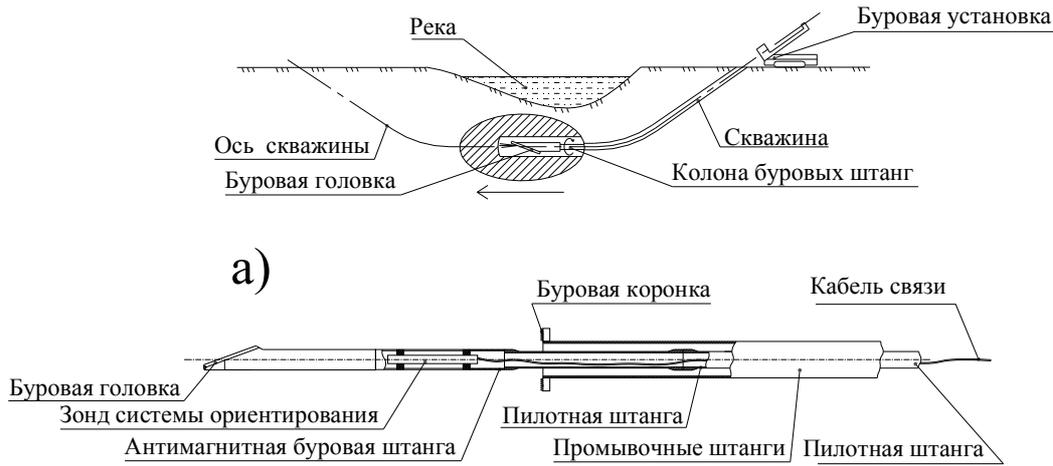
На второй стадии скважину расширяют до диаметра, который позволяет проложить трубопровод. Расширение скважины осуществляется после завершения пилотного бурения. При этом буровая головка отсоединяется от буровых штанг, и вместо нее присоединяется *риммер* – расширитель обратного действия. Приложением тягового усилия с одновременным вращением риммер протягивается через створ скважины в направлении буровой установки, расширяя пилотную скважину до необходимого диаметра для протаскивания трубопровода. Чтобы обеспечить беспрепятственное протягивание трубопровода через расширенную скважину, ее диаметр должен на 25-30% превышать диаметр трубопровода. Основные этапы строительства подводного перехода методом ННБ показаны на рисунке 12.

Третья стадия является заключительной, на ней производится протаскивание плети рабочего трубопровода в расширенную скважину. На противоположной от буровой установки стороне скважины располагается готовая к протягиванию плеть трубопровода. К переднему концу плети крепится оголовок с воспринимающим тяговое усилие вертлюгом и риммером, и в то же время не передающий вращательное движение на трубопровод. Таким образом, буровая установка затягивает в скважину плеть протягиваемого трубопровода по проектной траектории.

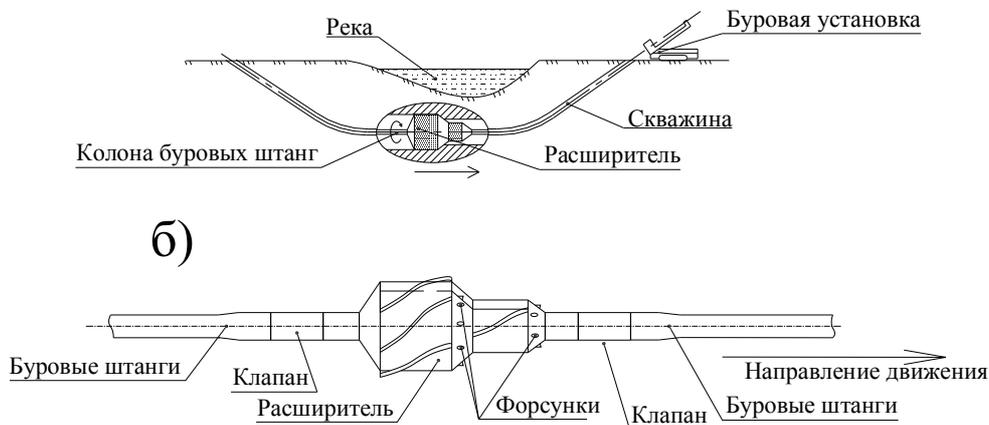
На заключительном этапе, после окончания основных технологических этапов, инженерно-технический персонал сдает заказчику исполнительную документацию, на которой указано фактическое положение уложенного трубопровода в различных плоскостях, с обязательным указанием «привязок» к ориентирам на местности. Исполнительная документация готовится с использованием специального программного продукта "DRILL SITE".

Оборудование и технология, используемые при наклонно-направленном бурении, во многом заимствованы из техники и технологии бурения скважин на нефть и газ. Узлы буровых установок, применяемых при строительстве трубопроводов, подобны аналогичным узлам буровых станков для бурения нефтегазовых скважин, с тем существенным отличием, что установка для ГНБ установлена на наклонной реме, а не на вертикальной буровой вышке. Процесс бурения пилотной скважины при ГНБ не отличается существенно от процесса бурения наклонно-направленной скважины.

I - Бурение пилотной скважины



II - Расширение скважины



III - Протаскивание трубопровода

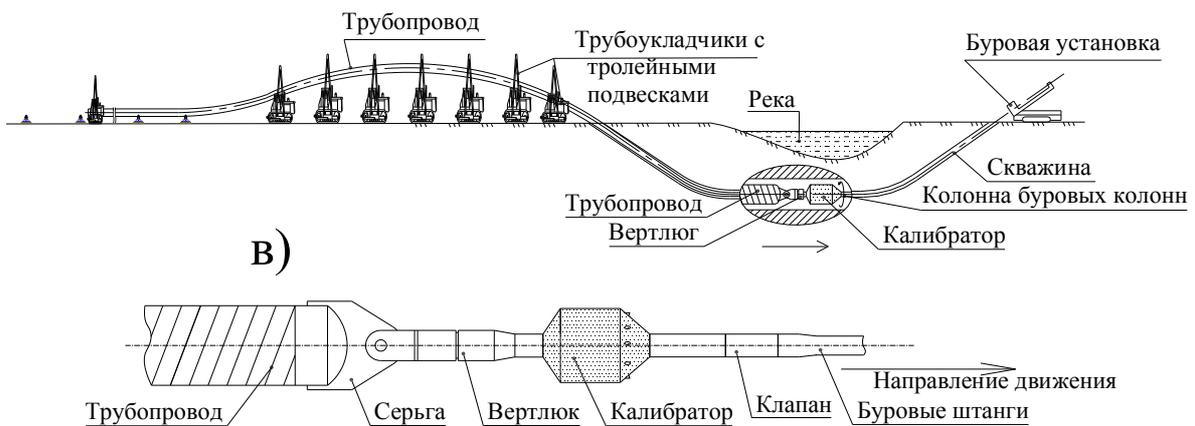


Рис. 12. Этапы строительства подводного перехода методом ГНБ

а) состав инструмента при бурении пилотной скважины; б) состав инструмента при расширении и калибровке пилотной скважины бочкообразным расширителем; в) состав инструмента при протаскивании трубопровода

Учитывая данное сходство, можно сказать, что процесс горизонтально-направленного бурения имеет гораздо больше общего с процессом наклонно-направленного бурения скважин, чем с процессом горизонтального шнекового бурения.

Технология ГНБ является технологией с высокой степенью риска. Этот риск в первую очередь заключается в том, что контроль за процессами, происходящими в скважине, является довольно косвенным и правильность решений, принимаемых в ходе бурения, расширения скважины и протаскивания плети, в огромной степени зависит от личного опыта и интуиции руководителя буровых работ. Диапазон технических рисков при ГНБ шире, чем при вертикальном бурении скважин. Это в первую очередь связано с горизонтальным расположением скважины и ее большим диаметром (например, для протаскивания трубопровода диаметром 1020 мм скважина должна разбуриваться на диаметр не менее 1420 мм). Удержать такую скважину в устойчивом состоянии более или менее продолжительное время – сложная техническая задача. С этим обстоятельством связан и риск остановок при бурении: в случае отказа какого-либо из узлов бурового оборудования либо остановке по другой причине очень высока вероятность заклинивания всей буровой колонны и инструмента в скважине.

По данным американских компаний, при бурении каждого десятого перехода возникают аварийные ситуации, для выхода из которых и завершения строительства перехода требуются затраты, в несколько раз превышающие нормальные. Именно этим обстоятельством объясняется высокий уровень запаса на технологический риск, закладываемый подрядчиками в цену контрактных работ.

Основным критерием успеха при выполнении работ методом горизонтально-направленного бурения является качественный буровой раствор.

Буровой раствор – это смесь воды и специальных добавок, соотношение и концентрация которых определяется в соответствии с типом грунта и условиями бурения. Основными ингредиентами бурового раствора являются специальные глины – бетониты и полимеры. Кроме этого используются добавки для улучшения химического состава воды, предотвращения налипания грунта на буровой инструмент и штанги.

Буровой раствор обеспечивает:

- размыв грунтов в забое скважины с применением гидромониторной буровой головки;
- устойчивость ствола и кольматацию стенок скважин;

- поддержание бурового шлама в скважине во взвешенном состоянии и удаление его из скважины;
- охлаждение буровой головки, расширителя и передатчика
- снижение величины трения рабочего трубопровода о стенки скважины при его протаскивании;
- снижение опасности возможного повреждения изоляционного покрытия на трубопроводе при его протаскивании.

Высококачественный буровой раствор позволяет снизить аварийность при бурении и проходке коммуникации, успешно осуществить любой проект. Качество бурового раствора – это 70-80% успеха в горизонтально-направленном бурении.

В последние годы стали использоваться установки сухого направленного бурения, в том числе для скальных грунтов, работающие без использования бентонитового раствора. В таких установках буровой раствор заменяется сжатым воздухом и небольшим количеством биоразлагающейся добавки (например, разработанной фирмой Powermole) или водяным распылителем (разработка фирмы Steve Vick International).

В качестве факторов, ограничивающих применение способа ННБ при строительстве подводных переходов нефтепроводов, могут быть:

- технические данные оборудования строительной организации.
- сложные геологические условия и др.

Оценка возможности и целесообразности применения ННБ осуществляется проектной организацией на основе всесторонней оценки условий сооружения такого перехода и результатов инженерных изысканий.

Все комплексы ГНБ делятся на три основные группы по значению усилия прямой/обратной тяги – основного параметра, характеризующего эту технику:

- mini – до 12 тонн;
- midi – до 50 тонн;
- maxi – свыше 50 тонн.

С учетом многообразия диаметров трубопроводов, формирующих современные системы трубопроводного транспорта, при строительстве переходов этих трубопроводов через различные преграды естественного и искусственного происхождения, практически используются комплексы ГНБ всех классов – от mini до maxi. Краткие технические характеристики некоторых установок наклонно-направленного бурения представлены в таблице 7.

Мощность буровой установки рекомендуется принимать из расчета обеспечения максимальных усилий для протаскивания трубопровода в скважину с коэффициентом запаса не менее 1,25 согласно [3] или 1,5 согласно [5].

Окончательный диаметр подготовленной скважины должен не менее чем на 25% превышать диаметр протаскиваемого трубопровода.

Таблица 7

**Основные технические характеристики
установок наклонно-направленного бурения**

Название	Длина бестраншейного участка, м	Диаметр скважины (max), мм	Тяговое усилие (max), кг
Ditch Witch,	180	300	10000
DD-40,	500	400	20000
PD-50/33	800	500	50000
PD-75/50	900	800	75000
DD-160,	900	800	80000
Robbins 18030	1372	1350	81700
Robbins 25030	1524	1500	113500
Robbins 36030	1830	1350	163400
Robbins 50030	1830	1800	230000
Robbins 100030	2000	2000	456700

2.5.3 Строительство подводных переходов методом горизонтально-наклонного бурения

Что касается технических ограничений в применении метода ННБ, то можно отметить следующие факторы:

- ограничения по геологическим условиям. Предпочтительными для применения метода ННБ являются связные однородные грунты – суглинки, супеси, алевриты. Несколько сложнее выполнять бурение в плотных глинах, водонасыщенных песках, однородных скальных породах. Наибольшую сложность для бурения представляют грунты с большим содержанием гравия (более 30%);

- ограничения в максимальной длине и диаметру перехода. Это ограничение связано в первую очередь с тяговыми возможностями буровых установок. Кроме рисков, возникающих при протаскивании, с увеличением длины и диаметра скважины увеличиваются риски обвала скважины в процессе расширения. Кроме того, от длины скважины зависит абсолютная погрешность при задании направления пилотной скважины;

- ограничения по погодным условиям. Жестких ограничений для выполнения ННБ по погодным условиям нет, однако при отрицательных наружных температурах требуются серьезные (и дорогостоящие) мероприятия по защите технологической воды и бурового раствора от замерзания: строительство укрытий, теплоизоляция технологических трубопроводов;

- ограничения по геометрии скважины. Кривизна скважины должна позволить протащить плетень без излома и заклинивания. По принятым в Америке нормам, радиус кривизны пилотной скважины не должен быть менее 1200 диаметров трубопровода (при толщине стенки не менее 1/50 диаметра). Имеются также определенные ограничения по углам входа и выхода скважины, разности высот входа и выхода, и некоторые другие, но они не являются критическими и всеобъемлющими, а связаны с параметрами конкретного бурового оборудования.

Особое внимание следует уделить оптимальному расположению бурового оборудования на строительной площадке и обеспечению безопасных условий труда буровой бригады и окружающих людей. Строительство подземных коммуникаций по технологии горизонтально-направленного бурения осуществляется в четыре этапа: бурение пилотной скважины, последовательное расширение скважины, протягивание трубопровода и заключительный этап.

Применение способа строительства трубопроводов с использованием ГНБ может быть ограничено (в случаях невозможности применения дополнительных технических решений) на участках:

- рек, русло и берега которых сложены из скальных пород выше II категории прочности или гротов с большим содержанием галечника (более 30%, крупностью 20-40 мм) и валунов;

- устьевых участков зарегулированных рек с труднопрогнозируемым развитием их многочисленных рукавов и эстуариев (глубоких заливов, примыкающих к морю), имеющих ширину русла свыше 1,2 км;

- горных рек, имеющих русло каньонообразной формы, исключающих размещение на берегу стройплощадок и укладку трубопроводов по радиусу естественного изгиба;

- рек, расположенных в районах вечной мерзлоты, с развитыми глубинными мерзлотными процессами (пучением грунта, термокарстом) и скоплениями в русловой или береговой частях ниже линии предельного размыва подземного льда и ледяных бугров способных привести к протаиванию и просадке донных грунтов;

- рек, с развитыми на береговых участках солифлюкцией, просадками грунтов, оползнями, а также расположенных в зонах с высокой сейсмичностью (более 8 баллов);

- широких равнинных водохранилищ и озер (более 2 км) с интенсивной и необратимой переработкой берегов вследствие ветроволновой абразии, а также вновь создаваемых водохранилищ, где только начинают развиваться гидроморфологические, оползневые и другие опасные процессы, вызванные интенсивным переформированием дна и берегов выше и ниже плотины;

- участков рек, расположенных ниже плотин, где русловые процессы определяются часто меняющимся режимом водного потока при работе ГЭС;

- широких озер и озер котловинного типа, образующихся в результате карстовых, тектонических, вулканических и других процессов или химического воздействия поверхностных и грунтовых вод.

На основании акта о выборе участка перехода и материалов комиссии проектно-изыскательская организация, которой поручено проектирование перехода, приступает к выполнению полевых инженерных изысканий (или поручает это субподрядной организации) в полном объеме на рекомендованном комиссией участке перехода.

2.5.4 Строительство подводных переходов методом микротоннелирования

Микротоннелирование – это безлюдная щитовая проходка пород с укреплением стенок тоннеля особо прочными и долговечными железобетонными трубами, которые продавливаются из стартовой шахты мощной пресс-рамой, оборудованной домкратами, вслед за продвигающимся в породах проходческим щитом. После продавливания щита на длину одной железобетонной трубы ее помещают перед пресс-рамой и вдавливают в разработанное отверстие тоннеля. Далее процесс повторяется.

Для уменьшения сил трения при вдавливании и прохождении железобетонного ствола по разбуренному штреку в затрубье через специальные форсунки, размещенные в теле трубы, впрессовывается бентонитовая паста нужной консистенции.

Нарастивая трубу за трубой, проходку ведут до выхода щита в приемную шахту. После чего его демонтируют, а закрепленный тоннель остается в грунте.

Точность проходки и соблюдение расчетных радиусов кривизны тоннеля обеспечиваются компьютерным комплексом управления и высокоточной измерительной лазерной техникой. Управление технологическим процессом ведется из специального помещения.

Как показал зарубежный опыт, при использовании необходимого количества промежуточных домкратов для проталкивания нарастаемых в стартовой шахте железобетонных труб микротоннели, проложенные под дном водоемов, могут иметь протяженность несколько километров.

Микротоннелирование приобретает все большее применение как метод строительства коллекторов бестраншейным способом, особенно в крупных городах. Микротоннелирование уже в течение нескольких десятилетий является основным методом строительства коллекторов в странах Европы, США, Японии. Важной особенностью микротоннелирования является высокая точность проходки и постоянный контроль за ее траекторией. Микротоннелирование позволяет выполнять задачи по прокладке коммуникаций в сложнейших условиях, где раньше без специальных методов (водопонижение, замораживание и др.) было не обойтись.

Тоннелепроходческие комплексы предназначены для сооружения тоннелей диаметрами от 0,6-ти до 12-ти метров в различных типах грунтов. Тоннелепроходческие комплексы разделяются на три класса:

- 1) SBU – для малых диаметров 0,6-1,65 м;
- 2) Rockhead – для диаметров 1,1-2,1 м;
- 3) Main TBM – для диаметров 2,5-12 м.

Открытая *тоннельная буровая машина* (ТБМ) с главной балкой хорошо подходит для преодоления сложностей проходки в твердых породах. Они эффективно используют электрические мощности для достижения высоких скоростей проходки, воспринимают непрерывное управление для плавного прохождения кривых, обеспечивают низкий уровень вибрации, необходимый для эффективного бурения. Базовая конструкция состоит из режущей головки, пристыкованной к прочному суппорту, и главной балки.

Щитовые ТБМ с одиночной или телескопной оболочкой спроектированы для достижения такой же высокой производительности, какую подрядчики ожидают от открытых ТБМ с главной балкой, но в то же время телескопные машины способны устанавливать различные виды крепи тоннеля, в т.ч. анкер-

ные болты, стальную сетку, стальные кольца, а также наносить набрызг-бетон при бурении по достаточно крепким породам, когда она необходима.

Эта универсальность является основной причиной, почему подрядчики, планирующие использовать ТБМ неоднократно и в различных проектах, чаще выбирают конструкции с телескопной оболочной. Приспособляемость таких машин к изменяющимся геологическим условиям дает подрядчикам долгосрочные экономические преимущества.

Преимущества микротоннелирования:

- быстрая и очень точная проходка в самых сложных гидрогеологических условиях (песчаные грунты, пливуны, твердые скальные породы и т.д.), в условиях плотной городской застройки без применения специальных работ (водопонижение, замораживание и т. д.);

- строительство ведется бестраншейным способом, без вскрытия поверхности, что дает существенные финансово-экономические преимущества, так как отпадает необходимость в привлечении дополнительной тяжелой землеройной техники, дополнительной рабочей силы. После проведения работ не надо заниматься восстановлением городской инфраструктуры, поврежденных участков дорог, зеленых насаждений;

- возможность прокладки коммуникаций на больших глубинах;

- управление автоматизировано и ведется из одного центра.

Принципиальная схема микротоннелирования показана на рисунке 13. На поверхности грунта строятся шахты: стартовые и приемные. В плане шахты могут быть круглыми или квадратными с размерами сторон около 5 м.

Из стартовой шахты рабочий орган микротоннельного комплекса осуществляет проходку при избыточном давлении воды в забое. Подача воды к режущему рабочему органу и отсос образовавшейся пульпы выполняются насосами, установленными на поверхности грунта рядом со стартовой шахтой. В стартовую шахту подаются также отдельные звенья стальных труб обделки, которые вдавливаются в грунт домкратами, что позволяет осуществлять горизонтальную проходку коллектора.

При реализации этого метода минимальная глубина заложения верха трубопровода (шелыги) относительно грунтовой поверхности должна быть не менее 1,5-2 диаметров трубопровода. Зазор между прокладываемым трубопроводом и расположенными в земле подземными коммуникациями и сооружениями должен составлять не менее 1 м.

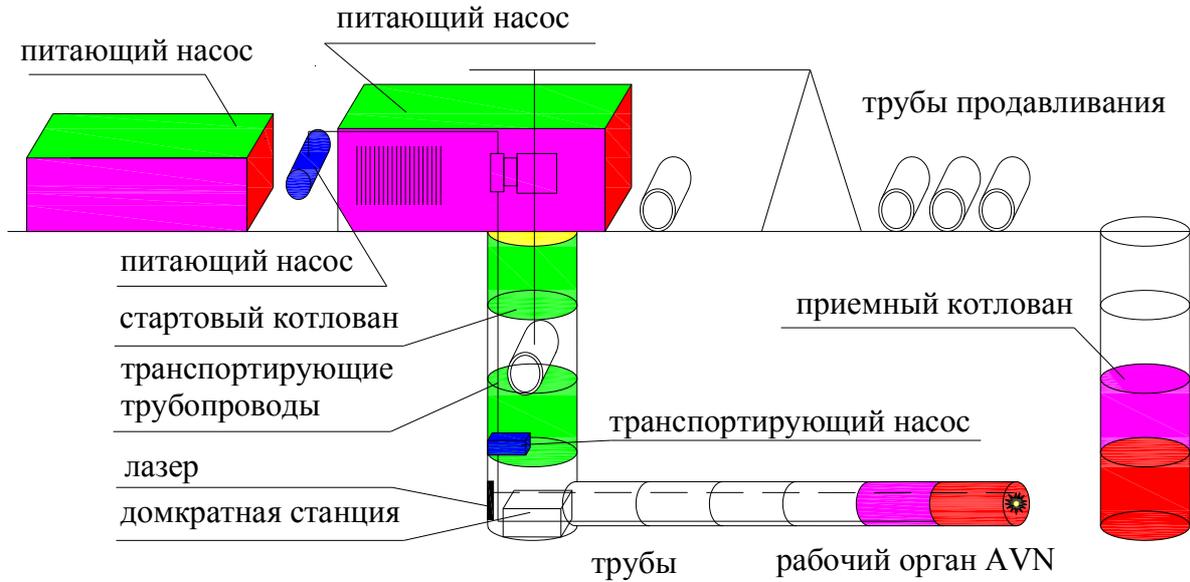


Рис. 13. Принципиальная схема микротоннелирования

Местоположение и ориентация микропроходческого щита контролируются с помощью лазерной системы. Для проходки микротоннелей используются щиты различной оснастки и компоновки. Силовое оборудование агрегата может размещаться как внутри щита, так и на поверхности земли. В зависимости от категории грунта изменяется вид и твердость режущих кромок рабочего органа. Для транспортировки породы из тоннеля на поверхность используются щиты со шнековым устройством, обеспечивающим транспортировку отработанной породы на поверхность (при необводненном грунте) и щиты с гидропригрузом (при обводненном грунте).

Все технологические и контрольные функции при микротоннелировании компьютеризованны. Отработанная пульпа насосами подается в отстойник, вода из которого повторно используется в проходке, а твердый осадок по мере накопления вывозится на свалку. Вся проходка коллектора при микротоннелировании осуществляется в автоматическом режиме под контролем операторов, находящихся в блоке управления.

Основные параметры бестраншейных методов строительства подводных переходов показаны в таблице 8.

Таблица 8

Основные параметры бестраншейных методов строительства подводных переходов

Методы	Диаметр скважины	Длина проходки	Грунтовые условия	Особенности
Реверсивный раскатчик скважин	До 0,4 м	Нет данных	Проходка скважин в дисперсных уплотняемых грунтах, в том числе в грунтах, содержащих крупнообломочные частицы и гравелистых	Образование уплотненной зоны в околотрубном пространстве диаметром, равным 3 – 4 диаметрам образованной скважины
Наклонно-направленное бурение	До 2 м	До 2000 км	Бурение в связных однородных грунтах – суглинки, супеси, алевроиты. Несколько сложнее выполнять бурение в плотных глинах, водонасыщенных песках, однородных скальных породах. Наибольшую сложность для бурения представляют грунты с большим содержанием гравия (более 30%). К неблагоприятным инженерно-геологическим условиям строительства переходов методом ННБ отнесены твердые, полутвердые (трещиноватые) и закарстованные скальные породы, отложения с большим содержанием крупных включений (валунов, обломков), неоднородные слоистые толщи, отложения с большим содержанием галечника с размером частиц более 20 мм	При добавлении необходимых присадок появляется возможность придания необходимых физико-химических свойств буровому раствору. Например, появляется возможность укрепления стенок скважины при добавлении цементирующих добавок
Микротоннелирование	0,6 – 12 м	До нескольких десятков километров	Быстрая и очень точная проходка в самых сложных гидрогеологических условиях (песчаные грунты, пlyingуны, твердые скальные породы и т.д.) позволяет выполнять задачи по прокладке коммуникаций в сложнейших условиях, в которых без специальных методов (водопонижение, замораживание и др.) прокладка была невозможна. Возможность проходки в сильно трещиноватой породе с обильными водопритоками	ТБМ способна устанавливать различные виды крепи тоннеля, в т.ч. анкерные болты, стальную сетку, стальные кольца, а также наносить набрызг-бетон при бурении по достаточно крепким породам с сопротивлением одноосному сжатию до 225 МПа

2.6 Финансово-экономический аспект бестраншейных методов строительства

Уменьшение сметной стоимости строительства трубопроводов за счет значительного сокращения сроков производства работ, затрат на привлечение дополнительной рабочей силы и тяжелой землеройной техники.

Минимализация затрат на энергообеспечение буровых комплексов вследствие их полной автономности и экономичности используемых агрегатов.

Отсутствие затрат на восстановление поврежденных участков автомобильных и железных дорог, зеленых насаждений и предметов городской инфраструктуры.

Сокращение эксплуатационных расходов на контроль и ремонт трубопроводов в процессе эксплуатации.

2.7 Социально-экономический аспект бестраншейных методов строительства

Сохранение природного ландшафта и экологического баланса в местах проведения работ, исключение техногенного воздействия на флору и фауну, на размывание берегов и донных отложений водоемов.

Отсутствие ущерба сельхозугодьям и лесным насаждениям.

Минимализация негативного влияния на условия проживания людей в зоне проведения работ.

Глава 3. Выбор способа прокладки подводного перехода

3.1 Общие положения

В практике сооружения подводных переходов магистральных трубопроводов (ППМТ) через водные преграды бестраншейные методы строительства получают все более широкое распространение.

Основным определяющим фактором в выборе способа строительства подводного перехода являются геологические условия, которые и определяют возможность или невозможность строительства тем или иным способом.

Сооружение подводных переходов способом реверсивным раскатчиком скважин, наклонно-, горизонтально-направленным бурением или микротонелированием применяется в случаях технической и экономической целесообразности и при благоприятных геологических условиях, устанавливаемых в процессе изысканий и проектирования переходов.

Выбор способа строительства подводного перехода основывается на его доступности и минимизации затрат при возможности строительства подводного перехода в данных геологических условиях.

3.2 Конструктивные решения

При проектировании строительства ППМТ учитываются общие требования СНиП 2.05.06-85 и документа «Переходы магистральных нефтепроводов через водные преграды. Общие технические требования к проектированию».

Протяженность перехода определяется с учетом геологических и топографических условий, прогнозируемых деформаций русла реки и условий размещения рабочих площадок.

Минимальная протяженность участка подводного перехода на реках шириной 50-150 м определяется допустимыми значениями радиуса естественного изгиба трубопровода. При преодолении широких водных преград длина перехода дополнительно увеличивается. В качестве одного из геометрических параметров в случае применения бестраншейных методов строительства подводных переходов можно принять отношение ширины водной преграды к общей длине скважины. Марку стали, прочностные характеристики, толщину стенки труб для участков подводных переходов принимают с учетом повышенной сложности строительства и невозможности ремонта нефтепровода в процессе эксплуатации.

Толщина стенки трубопровода ППМТ назначается конструктивно с запасом, учитывающим особенности технологии его укладки, а также повышенные требования к надежности и долговечности.

Толщина применяемого покрытия составляет 3,5 мм, в сложных геологических условиях она может быть увеличена до 5 мм. В этих же условиях возможно применение высокопрочных изоляционных покрытий на основе полипропилена, которое характеризуется высокой ударной прочностью, устойчивостью к пенетрации, высокими физико-механическими характеристиками в широком диапазоне температур, стабильностью адгезионных свойств и стойкостью к катодному отслаиванию. Полипропилен имеет самое низкое из всех полиолефинов водопоглощение и хорошо противостоит абразивному износу.

3.3 Грунтовый риск

Строительный риск при горизонтальном бурении тесно связан с грунтовым риском. Никогда нельзя на 100% утверждать, что на трассе бурения не возникнет препятствий. Грунтовый риск влияет на возможность провести бурение и, соответственно, на расходы. При выполнении горизонтального бурения возникают следующие факторы риска:

- при очень рыхлых грунтах нужно рассчитывать на потери буровой жидкости. Она проникает в трещины, пустоты и поры. Это действительно также и для песчаных и галечных грунтов. Кругооборот буровой жидкости может быть нарушен из-за ее внезапной или медленной потери. Отсюда следует дополнительный расход на бентонит, а также дополнительное время на смешение;

- пустоты и трещины могут возникать и в каменистых грунтах. Чем более застывшими являются грунты, тем больше они подвержены разломам. Статические исследования различных типов скальных грунтов на распределение разломов показали, что кварцит содержит на глубине 30 м в 7,2 раз больше трещин по сравнению с известняком (примерно 90 трещин);

- если при бурении с мотором для скальных грунтов внезапно начинается очень мягкая почва, то буровым мотором приходится управлять с трудом. Из-за своего большого веса он стремится отклониться от трассы бурения. Также могут возникнуть проблемы с некоторыми буровыми головками (в зависимости от управляющей поверхности). Давление/сопротивление грунта, влияющее на управляющую головку диагонально, будет в этом случае недостаточным для управления;

- формации грунта, содержащие большие посторонние включения, могут осложнить бурение. Такие грунты являются причиной сразу двух проблем: при

пилотном бурении можно наткнуться на объект большой твердости. Эту проблему можно решить, либо пробуравив его насквозь (при применении шарошковой головки), либо отодвинув его в сторону, либо изменив трассу бурения. Если бурение проходило с обыкновенной буровой головкой, то, практически, остается только возможность уклониться. Вторая проблема может возникнуть как при пилотном бурении, так и при расширении. Задвинутые в стенку бурового канала камни могут выпасть обратно в буровое отверстие, несмотря на укрепляющее воздействие буровой жидкости;

- резкий переход от твердых грунтов к мягким или наоборот представляет для горизонтального направленного бурения проблему: продолжение бурения приведет к образованию «ступеньки», а «ступенька» – к тому, что труба будет застревать в буровом отверстии;

- очень твердые слои грунтов, которые расположены под маленьким углом (почти параллельно) к буровой трассе, могут усложнить бурение. Например, во время пилотного бурения штанги заводились в землю с постоянным углом наклона. Однако при столкновении с очень твердой формацией, расположенной почти параллельно к углу входа буровой головки, возникает следующая проблема: головка скользит по этой поверхности и, уклоняясь все больше от намеченной трассы, не может проникнуть в этот слой;

- если в грунте находится небольшое количество гальки (так называемые галечные гнезда), то, возможно, придется укреплять скважины с помощью инъекций цементного раствора или искусственных смол, чтобы достичь стабильности бурового канала;

- формации, чьи сильные магнитные свойства не были обнаружены или чьи потенциалы возросли, могут исказить данные локационных приборов. Из-за этого может произойти отклонение от запланированной буровой трассы. Избежать этого можно, применив локационную систему со специальным зондом с низкой частотой излучения.

3.4 Геологические условия

Метод ННБ имеет технические ограничения по применению – по предельной длине и диаметру перехода (определяются мощностью оборудования и особенностями передачи нагрузки на забой скважины), по геологическим условиям (предельные параметры грунтов – по возможности сохранить устойчивость ствола скважины в несцементированных породах или по скорости проходки пород крепких отложений).

К неблагоприятным инженерно-геологическим условиям строительства переходов методом ННБ отнесены: твердые, полутвердые (трещиноватые) и закарстованные скальные породы, отложения с большим содержанием крупных включений (валунов, обломков), неоднородные слоистые толщи, отложения с большим содержанием галечника с размером частиц более 20 мм.

Прохождение трещиноватых и закарстованных скальных пород осложнено такими проблемами, как отклонение от проектной траектории бурения из-за сложности удержания заданного направления скважины, заклинивание бурового инструмента обломками породы при расширении ствола скважины, возможность повреждения изоляционного покрытия трубопровода обломками пород при протягивании.

При прохождении моренных отложений, состоящих из крайне неотсортированного материала, магматических и метаморфических пород высокой прочности, при 7 категории по буримости возникают аналогичные проблемы. Размеры окатанных обломков могут достигать до 1 м.

Неоднородные толщи, сложенные переслаивающимися доломитами, глинами, мергелями, алевролитами слабосцементированными песчаниками, аргиллитами, сильно отличаются по условиям бурения (3-7 категории), при их прохождении сложно сохранять проектную траекторию скважины из-за отражения бурового инструмента от более твердой поверхности, что может потребовать неоднократных проработок отдельных участков скважины. Бурение в таких грунтах оказывается значительно сложнее, чем в более плотных, но однородных. Твердые абразивные включения вызывают значительный износ бурового инструмента, возможно расклинивание шарошек расширителя обломками твердых пород. Ошибка в определении момента подъема породоразрушающего инструмента для его замены может привести к потере шарошек (вследствие износа узлов их креплений к корпусу расширителя) и повреждению изоляционного покрытия трубопровода при протягивании.

В глинистых грунтах работа инструмента осложняется возможностью образования сальников.

При наличии в грунтах крупных фракций производство буровых работ дополнительно осложняется. Если крупные фракции сцементированы относительно прочным, например, глинистым заполнителем, то, ствол скважины при правильно подобранном растворе может сохранять устойчивость в течение длительного времени. Выбуренные крупные частицы, не вынесенные на поверхность, откладываются в нижней зоне скважины. При последовательном расширении скважины это осложняет работу расширителей, а при протягивании трубопровода создает дополнительное сопротивление движению.

Если в геологическом разрезе присутствуют отдельные валуны, их прослой или скопления, то такие условия относятся к наиболее неблагоприятным и характеризуются труднопредсказуемыми рисками на всех этапах технологического процесса. При наличии валунов сложно выдержать проектные радиусы продольного профиля. При формировании ствола скважины происходит значительный износ долот и расширителей. Выпадение валунов при протягивании трубопровода может приводить к его остановке или повреждению изоляции. Задача сканирования пород стенок скважины или просвечивания грунтов через забой по ходу бурения скважины для определения положения валунов пока не решена. В случае попадания валуна в ствол скважины он может создавать помехи в работе на всех этапах. При работе в рыхлых отложениях валун может быть вдавлен в стенку скважины при ее калибровке.

Успешное строительство конкретного *подводного перехода магистрального трубопровода* (ППМТ) методом ННБ возможно при наличии ряда субъективных и объективных обстоятельств. Не последнюю роль в этом играет техническая оснащенность подрядчика и его опыт работы в различных геологических условиях. Возможные риски не поддаются строгой количественной оценке и носят преимущественно качественный характер, что осложняет обоснованный выбор участков строительства методом ННБ по геологическим условиям на стадии проектирования. Из общего количества построенных в АК «Транснефть» ППМТ лишь для относительно небольшого их числа геологические условия можно охарактеризовать как благоприятные для метода ННБ.

Почти все вышесказанное можно отнести и строительству *подводного перехода* (ПП) реверсивным раскатчиком скважин с той лишь разницей, что для данного метода необходимы уплотняемые грунты, так как порода не разбурируется и не выносится на поверхность в связи с отсутствием буровой жидкости.

Строительство ПП методом мекротонелирования представляется возможным практически во всех грунтовых условиях ввиду отсутствия ограничивающих факторов по геологическим условиям.

3.5 Экономическая целесообразность

Экономическая целесообразность строительства подводного перехода выбранным методом основывается на совокупности факторов:

- стоимость строительства;
- эксплуатационные затраты;
- срок полезного использования подводного перехода.

При выборе способа строительства также важно учитывать и то, что сроки строительства различны.

Для обеспечения долгосрочной безаварийной работы подводных переходов наиболее целесообразным является их строительство бестраншейными методами.

3.6 Возможность строительства подводного перехода по ограничивающим факторам

Основным определяющим фактором в выборе способа строительства подводного перехода являются геологические (грунтовые) условия, которые и определяют возможность или невозможность строительства подводного перехода тем или иным способом. Дополнительными ограничивающими факторами в возможности строительства ПП необходимого диаметра и протяженности являются возможности бурильных установок, но даже их возможности напрямую или косвенно зависят от физико-химических особенностей грунтов, которые приходится проходить.

Самым выгодным в экономическом плане и удобным технологически является расширение пробуренных скважин раскатчиком, но данный способ пригоден только для проходки скважин в дисперсных уплотняемых грунтах, в том числе в грунтах, содержащих крупнообломочные частицы. Хотя в перспективе разработчики данных установок и планируют создать установку способную расширять скважину до 1500 мм в диаметре, но на данный момент такой установки нет. Максимально возможный диаметр скважины, который может создать реверсивный раскатчик, это 400 мм.

Следующим и более дорогим методом строительства ПП является наклонно-направленное бурение. Цена строительства возрастает на 30-60%, в основном за счет применения большего количества бетонитного раствора который уже сам по себе довольно дорог, и цена на его закупку составляет почти половину стоимости всех затрат на производство работ по прокладке русловой части подводного перехода методом ННБ. Методом ННБ возможно бурение скважины диаметром до 2-х м и длиной до 2 км. Хотя данный метод позволяет проводить проходку в более широком диапазоне видов грунтов, но все-таки есть большие ограничения по возможности разбуривания. Это уход бурильной головки в сторону при определённых условиях, обвал стенок скважины, вероятность которого увеличивается с увеличением диаметра скважины, а отсюда появляются такие риски, как заклинивание бурильной головки и трубопровода при протаскивании и др.

Наиболее технологичным, но и самым дорогостоящим, является строительство ПП при помощи тоннельной буровой машины – микротоннелирование. Данный способ требует больших затрат, но возможности этого метода таковы, что он позволяет производить проходку в самых сложных геологических условиях. Дополнительное преимущество микротоннелирования заключается в возможности одновременно с процессом бурения устанавливать тоннельную крепь, например железобетонные кольца, которые предохраняют скважину от обрушения и затопления. В эксплуатации данный метод является предпочтительней, так как появляется возможность доступа к эксплуатируемому объекту, который проложен в тоннеле или его замене.

Выбор оптимального метода строительства в каждом конкретном случае должен основываться на рассмотрении совокупности условий прохождения и требований к переходу – технических, экономических и экологических.

В данном учебном пособии рассмотрена возможность строительства подводных переходов для массовых рек с учетом экономической целесообразности и технических возможностей на данный момент.

На начальном этапе подводные переходы классифицируются на три группы сложности в зависимости от ширины водного объекта (рисунок 14).

Далее определяются максимальные ограничивающие факторы:

- уклон (при относительно небольшой ширине непосредственно подводной части перехода длина скважинного участка подводного перехода, построенного бестраншейным методом, может быть существенно больше, чем траншейным методом, что приводит к значительной разнице капитальных вложений, т.к. при увеличении диаметра трубопровода увеличивается радиус упругого изгиба, что в свою очередь приводит к удлинению скважины). В данном случае разумно найти «золотую середину» по финансовым затратам с учетом затрат эксплуатационных;

- грунтовые условия (возможность проходки от физико-химических особенностей грунтов);

- длина перехода (зависит от технических параметров буровой установки).

При выборе способа строительства необходимо также учесть, что трубопроводы, прокладываемые через ручьи и реки шириной до 15 м и глубиной до 1,5 м, не относятся к подводным переходам, так как при их сооружении и ремонте не требуется специальное подводно-техническое оборудование. Далее, если трубопровод невозможно проложить через малый переход способом, существенно не отличающимся от строительства линейной части, то для выбора метода его условно можно принять как средний переход согласно рисунка 14.

После этого определяется конкретный способ строительства.

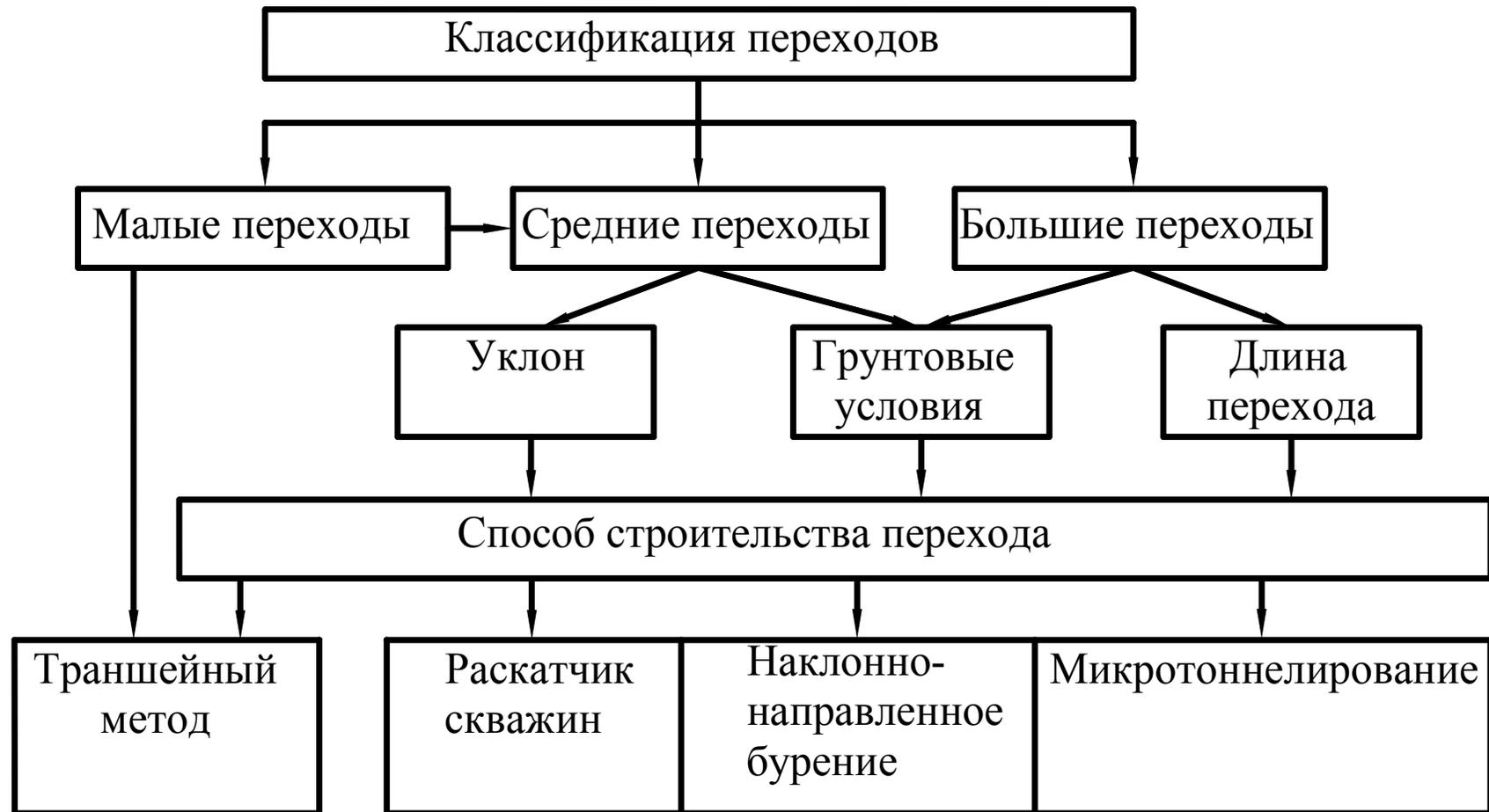


Рис. 14. Выбор оптимального способа строительства подводного перехода

Глава 4. Построение и расчет длины ствола скважины подводного перехода

4.1 Анализ ситуационных планов рек на участках строительства подводных переходов

В данном разделе и далее по тексту приводится инженерно-геологическая характеристика, ширина зеркала воды, высота и уклон берегов с целью определения возможности строительства подводных переходов различными методами с приведенными расчетами на примере строительства газопровода «Бованенково-Ухта-Торжок», который будет транспортировать газ от месторождений полуострова Ямал.

Для работы использовались материалы по подводным переходам через реки южной части Печорского бассейна: Печора, Чикшина, Ижма, Ухта, Тобысь. Данные участки рек рассматривались с точки зрения возможности строительства подводных переходов проектируемого магистрального газопровода «Бованенково-Ухта-Торжок» диаметром 1420 мм и рабочим давлением 11,8 МПа. В таблице 9 представлены основные параметры рек в районе строительства подводных переходов.

Согласно таблице 1, по группе сложности подводные переходы через реки Ухта и Тобысь относятся к средним; Ижма, Чикшино, Печора – к большим.

Участки рек в зоне перехода по плановым и глубинным переформированиям относятся к первой категории (см. табл. 2).

Выбор способа строительства подводного перехода основывается на его доступности и минимизации затрат при возможности строительства в данных геологических условиях.

Исходя из приведённых данных инженерно-геологических характеристик рек (см. табл. 9), можно сделать вывод, что строительство подводных переходов методом наклонно-направленного бурения на реках Печорского бассейна; Тобысь, Ухта, Чикшино и Печора возможно.

Основанием и средой проектируемого подводного перехода через реку Ижма будут являться все вскрытые отложения. Доломиты, доломиты загипсованные и глина аргиллитоподобная относятся к полускальным грунтам и закарстованы на 21-26%, что может усложнить проходку грунтов наклонно-направленным способом бурения, а также вызвать утечку закачиваемого раствора, так как карстовые пустоты могут быть заполнены подземными водами или полностью быть полыми.

Таблица 9

Характеристика рек

Название реки	Параметры рек на участках переходов					
	Ширина реки, м	Гидрологическая характеристика	Уклон берега /расстояние (левый и правый берега соответственно)	Высотные отметки м (мБС); левый берег /дно / правый берег	Инженерно-геологическая характеристика	Группы сложности подводных переходов
1	2	3	4	5	6	7
Тобысь	39	1% обеспеченность – 125,80 м Бс; 10%обеспеченность – 125,36 м Бс. Средний меженный уровень равен 121,54 м Бс	0,422/220; 0,107/72	/133,8 м/ /120 м/ /127,8 м	Не судоходна. Правый берег: песок средней плотности, средней степени водонасыщения, толщиной 3-4 м, на глубине более 3-4 м песок пылеватый, средней плотности, насыщенный водой. На глубине 12 метров пласт глины легкий пылеватый мягкопластичный, устилающий дно реки мощностью 1,5 м. На глубине ниже 1 м находится известняк малопрочный. Левый берег: песок средней плотности, средней степени водонасыщения, мощностью пласта 2-2,5 м. Под ним простирается пласт глины легкой пылеватой мягкопластичной толщиной 2,5-3 м, глубже известняк малопрочный	Средний переход
Ухта	60	Урез воды в реке Ижма (на февраль 2003 г.) составляет 99,35 м. Ширина река в межень на участке перехода 60 м, наибольшая глубина 2,0 м. Русло реки прямолинейное, устойчивое	0,214/220; 0,0922/200	128,87 м/ /97,35 м/ /109,22 м	Не судоходна. Горные породы, слагающие берега р. Ухты представлены известняками. Известняки перекрыты слоем глин и наносного грунта. В русле реки залегают пески мелкие и средние вместе с гравием и галькой. С приближением к правому берегу мощность слоя песков и гальки уменьшается. Правый берег реки сложен преимущественно песком гравелистым мощностью, пласта 2-3 м, ниже располагается песок средней крупности. Левый берег устилает песок мелкий толщиной пласта 2 м, под ним мука известковистая	

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7
Ижма	120	<p>1% обеспеченность – 73,27 м Бс; 10% обеспеченность – 71,60 мБс. Средний меженный уровень равен 65,06 м Бс. Русло р. Ижма неразветвленное, слабо извилистое, хорошо врезано в дно долины. В целом деформации дна в русле р. Ижма в пределах исследуемого участка имеют обратимый характер, тенденций к направленным размывам не наблюдается</p>	<p>0,1995/41,7; 0,356/131,6</p>	<p>71,25 м/ /62,93 м/ 109,73 м</p>	<p>Не судоходна. Русло р. Ижма сложено песком гравелистым с гравием кварца и кремнистых пород. Левый берег реки выше отметки 65,91 м БС, сложен песком мелким и пылеватым с включением гравия глинистых пород (3-5 см до 5-10%). Правый берег реки выше отметки 68,52 м БС – прослоями глинистых грунтов различной плотности. Грунт содержит большое количество (30-50%) полуокатанных обломков в основном карбонатных пород (известняков, как правило, органогенных, ракушечников, доломитов, мергелей), наблюдаются тонкие прослои серого мергеля. Мощность отложений от 3,0 до 15,2 м. Карбонатно-сульфатная порода закарстована (закарстованность высокая – достигает 25-26 %), мощность карста до 1,6 м. Естественные донные отложения в русле р. Ижма представлены гравийно-галечниковым грунтом в прибрежной части правого берега, галечником и песками (гравелистым и крупнозернистым) в центральной и левобережной частях русла. В основном грунт II – V групп</p>	Большой переход
Чикшино	115	<p>1% обеспеченность – 62,15 м БС; 10% обеспеченность – 61,27 м БС. Минимальная отметка прогнозируемого предельного профиля размыва русла реки составляет 54,75 м БС. Глубина достигает 0,95м</p>	<p>0,112/19; 0,122/10,5</p>	<p>60,8 м/ /55,8 м/ /57,22 м</p>	<p>Не судоходна. Левый и правый береге устилает слой, состоящий из песка мелкой и средней крупности, кварцевый, преимущественно однородный, средней плотности, маловлажный, влажный и водонасыщенный, темно-серый с включением гравия и гальки до 25%. Мощность песка до 2,0-6,9 м. От одного берега через реку, составляя дно реки к другому берегу, простирается слой песка крупного с включением гравия и гальки до 20% и песок гравелистый, влажный и водонасыщенный, преимущественно однородный, серый и темно-серый с тонкими прослойками песка средней крупности. Мощность пласта от 1,1 до 4,0 м.</p>	

Окончание таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7
					Ниже находится суглинок легкий, песчанистый, полутвердый до тугопластичного, темно-серый с синеватым оттенком с включением гравия, гальки и мелких валунов твердых кристаллических пород до 25%. Мощность суглинка 9,4 – 11,0 м	Большой переход
Печора	630	1% обеспеченность – 53,8 м БС; 10% обеспеченность – 51,1 м БС; Средний меженный уровень равен 43,28 м Бс. Средняя глубина 2,5 м, максимальная глубина перехода 5 м	0,12/100; 0,034/100	63м / /41 м / /50 м	Судоходна. Тип грунтов (до отметки на 2,5 м глубже нижней образующей) – пески с галькой; русло у правого берега – песчаное, у левого – песчано-галечное. Левый русловой берег – крутой, правый русловой берег – пологий. Сезонное смещение русловых форм происходит по общему направлению потока на участке перехода	

Доломиты загипсованные создают при проходке скважин дополнительные трудности, измельчаясь до мылообразной массы, забивающей инструмент.

Очень твердые слои грунтов, которые расположены под маленьким углом (почти параллельно) к буровой трассе, могут усложнить бурение. Это в первую очередь связано с горизонтальным расположением скважины и ее большим диаметром (для протаскивания трубопровода диаметром 1420 мм скважина должна разбуриваться на диаметр не менее 1800 мм). Удержать такую скважину в устойчивом состоянии более или менее продолжительное время – сложная техническая задача. А так как на реке Ижма мы встречаемся с породами подверженными осыпям, с острыми краями камней практически неуплотняемых пород, с образованием ступенек при прохождении резких переходов от твердых грунтов к мягким и наоборот, то в данном случае необходимо строительство подводного перехода в защитном кожухе (футляре). При сооружении подводного перехода 1420 мм и гарантированного протаскивания футляра (диаметр которого должен обеспечить расстояние от поверхности изоляции протаскиваемого трубопровода до внутренней стенки футляра не менее 100 мм по кругу) необходимо диаметр скважины увеличить ещё на коэффициент равный 1,25 [3, 5]. Так как в данном случае диаметр скважины необходим не менее 2,2 метра (при минимально возможном диаметре футляра 1720 мм), то строительство подводного перехода на данной реке при нынешних технических возможностях методом ННБ невозможно.

Строительство подводного перехода на данной реке реверсивным раскатчиком скважин невозможно по грунтовым условиям.

Строительство ПП на реке Ижма бестраншейным методом возможно только с применением тоннелепроходческих комплексов, предназначенных для сооружения тоннелей в различных типах грунтов с установлением тоннельной крепи в виде железобетонных колец, которые предохраняют скважину от обвала.

4.2 Построение продольного профиля подводного перехода с учетом упругого изгиба трубопровода

В данном разделе рассмотрен вопрос о возможности строительства подводных переходов бестраншейными методами строительства с учетом рельефа местности и длины предполагаемого бурения скважины.

Так как переходы разделены по группе сложности, то для средних переходов в качестве показательной был выбрана река Ухта, как самая сложная с точки зрения геометрии (наибольшая разница высотных отметок дна и бере-

гов). Для больших переходов выбрана река Печора, имеющая самый большой показатель по ширине реки.

4.2.1 Река Ухта

4.2.1.1 Продольный профиль ствола скважины

Построение продольного профиля трубопровода бестраншейными методами строительства, зависящего от характеристики водной преграды, параметров прокладываемого трубопровода, используемой техники и технологии бурения скважины, экологических условий района строительства и других факторов, выполняется при проектировании подводного перехода и может, при необходимости, уточняться перед началом работ с учетом дополнительных исходных данных по переходу и условиям строительства.

Продольный профиль ствола скважины представляет собой пологую кривую, состоящую из сопрягаемых между собой прямолинейных и криволинейных участков с определенными радиусами, которые определяются радиусом естественного изгиба протаскиваемого трубопровода. Углы входа и выхода буровой головки относительно горизонта, протяженности прямолинейных и криволинейных участков, а также радиусы изгиба представляются в чертежах Рабочего проекта, в соответствии с которыми производится бурение пилотной скважины.

При описании профиля приводятся параметры, позволяющие однозначно определить профиль скважины – углы входа и выхода бурильного инструмента, длины участков и радиусы искривления.

Данные скважины сводятся в таблицу, как показано в таблице 10.

Таблица 10

Основные параметры скважины

Наименование параметра	Обозначение	Размерность
Диаметр скважины	D_c	м
Угол входа (выхода трубопровода)	$\alpha_{вх.}$	град.
Угол выхода (входа трубопровода)	$\alpha_{вых.}$	град.
Радиус кривизны профиля	R_k	м
Длина скважины по оси	L	м

Наиболее типичным являются профили:

- состоящие из двух прямолинейных граничных участков и центрального, искривленного по радиусу, участка;
- профили, включающие дополнительно центральную прямолинейную вставку.

Если позволяют условия проектирования, то длина центральной вставки должна превышать 50 м (около пяти бурильных труб) в целях получения возможности корректировать профиль при бурении скважины.

Длина перехода определяется расстоянием между точкой забуривания пилотной скважины и местом ее выхода и характеризуется углами входа и выхода бура. Границами русловой части подводного перехода, выполненного бестраншейным методом, являются точки входа и выхода скважины. Бурение пилотной скважины ведется в соответствии с чертежами Рабочего проекта.

Трубопровод в грунтовой скважине необходимо проложить ниже линии предельного размыва по радиусу не менее радиуса упругого изгиба трубопровода.

Радиус изгиба проектируемой скважины должен быть не менее радиуса упругого изгиба трубопровода. Минимально допустимые радиусы упругого изгиба, обеспечивающие прокладку трубопроводов без опасных напряжений в стеках трубы, должны соответствовать формуле:

$$R_{\min} = 1200 \cdot D_n,$$

где R_{\min} – радиус минимального изгиба трубопровода, м;
 D_n – наружный диаметр трубопровода.

Проектная величина заглубления трубопровода составляет не менее 3 м от линии предельного размыва русла реки и не менее 8 м от наименьшей отметки дна.

Точка входа буровой колонны (выхода рабочего трубопровода) принимается с учетом оптимального размещения бурового комплекса, удобства выполнения буровых работ и работ по монтажу рабочего трубопровода, а также с учетом уменьшения тяговых усилий. Предпочтительно, чтобы протаскивание в скважину трубопровода велось с более высокого берега к более низкому, и буровой комплекс располагался для рек Ухта и Печора на правом берегу.

4.2.1.2 Расчет длины скважины трубопровода

Для определения расстояния и между точками входа и выхода трубопровода в горизонтальной проекции и общей длины трубопровода, укладываемого

способом ННБ, необходимо найти ширину прогнозируемого профиля размыва по верху и по низу B_n и b_n соответственно (точки 1,2,3,4).

Схема построения подводного перехода газопровода диаметром 1420 мм через реку Ухта представлена на рисунке 15.

- ширина зеркала воды B_0 , м. $B_0 = 46,5$ м;
- ширина русла между береговыми кромками B_1 , м. $B_1 = 68$ м;
- прогнозируемые величины отступления береговых склонов:
- левого ΔBp_1 , м. $\Delta Bp_1 = 1$ м;
- правого ΔBp_2 , м. $\Delta Bp_2 = 0,1$ м;
- заложения откосов береговых склонов:
- левого m_1 , $m_1 = 0,214$;
- правого m_2 , $m_2 = 0,0922$;
- прогнозируемая глубина размыва дна от наинизшей его отметки Δh_p .

$$\Delta h_p = 0,1 \text{ м.}$$

Ширина проектного профиля размыва по верху, B_n , м,

$$B_n = B_1 + \Delta Bp_1 + \Delta Bz_1 + \Delta Bp_2 + \Delta Bz_2, \quad (1)$$

- где B_1 – ширина русла между бровками берегов м;
- $\Delta Bp_1, \Delta Bp_2$ – прогнозируемые величины отступления береговых склонов по материалам инженерных изысканий и гидролого-морфологического анализа руслового процесса, м;
- $\Delta Bz_1, \Delta Bz_2$ – запасы к прогнозируемым значениям отступления берегов, м;

ΔBz_1 должен удовлетворять условию,

$$\Delta Bz_1 > m_1 \cdot \Delta h_z, \quad (2)$$

- где m_1 – заложения откоса берегового склона; $m_1 = 0,214$;
- Δh_z – запас к прогнозируемой глубине размыва дна, м;
- $$\Delta h_z = 2 \cdot D_n,$$
- D_n – наружный диаметр трубопровода, м; $D_n = 1,42$ м;
- $$\Delta h_z = 2 \cdot 1,42 = 2,84 \text{ м};$$
- $$\Delta Bz_1 > 0,214 \cdot 2,84 \text{ м};$$
- $$\Delta Bz_1 > 0,607 \text{ м.}$$

Принимаем $\Delta Bz_1 = 0,7$ м.

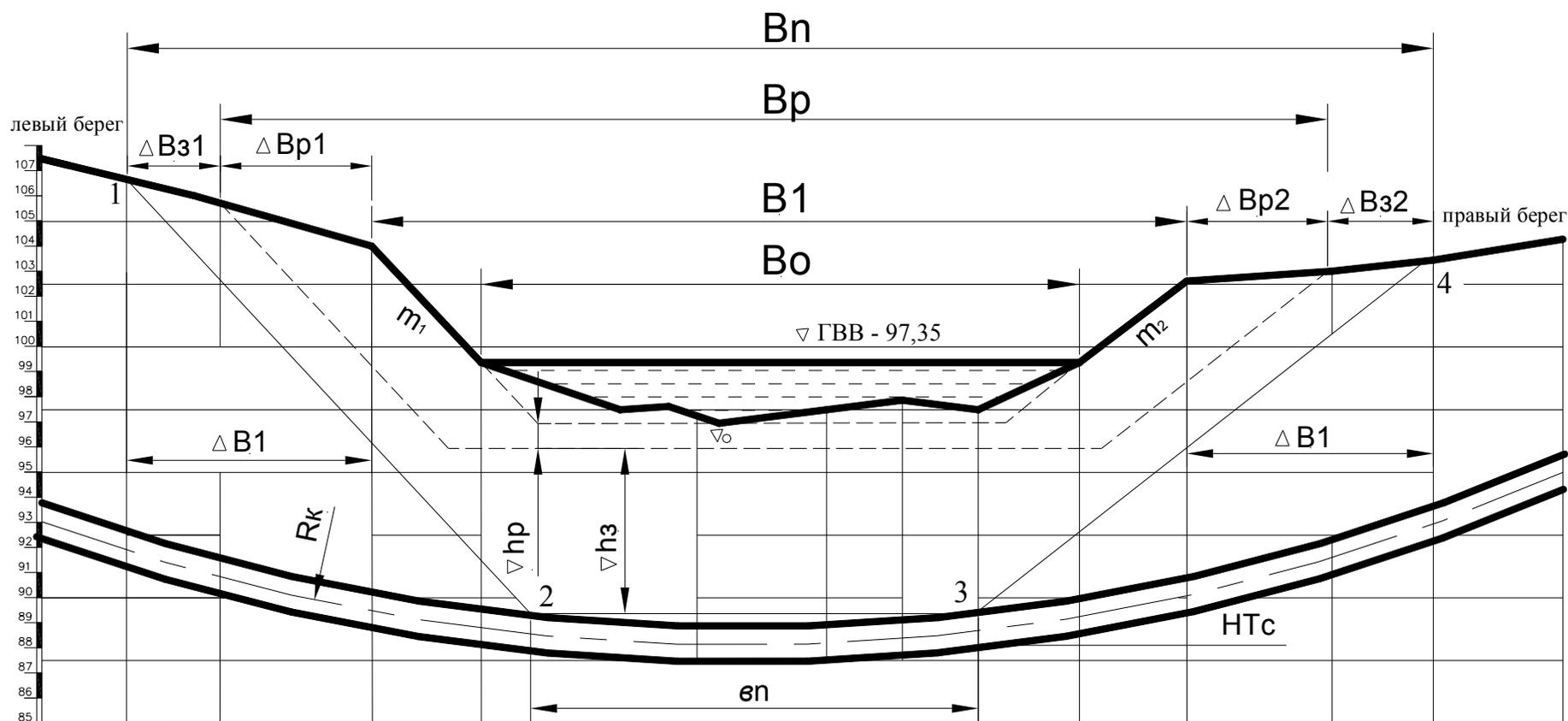


Рис. 15. Схема построения продольного профиля трубопровода, прокладываемого способом ННБ

B_n , b_n – ширина проектного профиля размыва соответственно по верху и по низу; B_p – ширина прогнозируемого профиля размыва русла по береговым бровкам; B_1 – ширина русла между бровками берегов; B_o – ширина русла при УВВ 10 % обеспеченности; ΔB_{p1} , ΔB_{p2} – прогнозируемые величины отступления береговых склонов; $\Delta B_{з1}$, $\Delta B_{з2}$ – запасы к прогнозируемым значениям отступления берегов; m_1 , m_2 – заложения откосов береговых склонов; R_k – радиус криволинейной искусственного изгиба трубопровода; h_p – прогнозируемая глубина размыва дна от наиболее низшей его отметки; $h_з$ – запас к прогнозируемой глубине размыва дна; НТс – нижняя точка оси скважины БС; Δ_o – наинизшая отметка дна реки

ΔB_{z_2} должен удовлетворять условию,

$$\Delta B_{z_2} > m_2 \cdot \Delta h_3, \quad (3)$$

где m_2 – | заложения откосов береговых склонов; $m_2 = 0,0922$;

$$\Delta B_{z_2} > 0,0922 \cdot 2,84 \text{ м};$$

$$\Delta B_{z_2} > 0,26 \text{ м}.$$

Принимаем $\Delta B_{z_1} = 0,3 \text{ м}$.

$$B_n = 68 + 1 + 0,7 + 1 + 0,3 = 71 \text{ м}.$$

Ширина проектного профиля размыва по низу b_n , м,

$$b_n = B_n - H_1 \cdot m_1 - H_2 \cdot m_2, \quad (4)$$

где H_1 – разница высот наименьшей отметки профиля размыва относительно высоты левого берега, м;

$$H_1 = H_{б_1} + \Delta h_p + \Delta h_3, \quad (5)$$

где $H_{б_1}$ – высота левого берега относительно наименьшей отметки дна, м;

$$H_{б_1} = D_1 - D_0, \quad (6)$$

где D_1 – высотная отметка левого берега, м; $D_1 = 128,87 \text{ м}$;

D_0 – высотная отметка дна БС, м; $D_0 = 97,35 \text{ м}$.

$$H_{б_1} = 128,87 - 97,35 = 31,52 \text{ м};$$

$$H_1 = 31,52 + 0,5 + 2,84 = 34,86 \text{ м};$$

H_2 – разница высот наименьшей отметки профиля размыва относительно высоты правого берега, м;

$$H_2 = H_{б_2} + \Delta h_p + \Delta h_3 \text{ м}, \quad (7)$$

где $H_{б_2}$ – высота правого берега относительно наименьшей отметки дна, м;

$$H_{б_2} = D_2 - D_0, \quad (8)$$

где D_2 – высотная отметка правого берега, м; $D_2 = 109,22 \text{ м}$;

$$H_{б_2} = 109,22 - 97,35 = 11,87 \text{ м};$$

$$H_2 = 11,87 + 0,5 + 2,84 = 15,21 \text{ м};$$

$$b_n = 71 - 34,86 \cdot 0,214 - 15,21 \cdot 0,0922 = 49 \text{ м}.$$

Радиус кривой искусственного изгиба трубопровода, R_k , м;

$$R_k \geq R_{\min},$$

где R_{\min} – радиус минимального изгиба трубопровода, м;

$$R_{\min} = 1200 \cdot D_n,$$

$$R_{\min} = 1200 \cdot 1,42 = 1700 \text{ м},$$

$$R_k = 1700 \text{ м}.$$

Диаметр скважины необходимой для протаскивания трубопровода, D_c , м,

$$D_c = 1,25 \cdot D_n,$$

$$D_c = 1,25 \cdot 1,42 = 1,8 \text{ м.}$$

Угол скважины в точке 2, a_2 , град,

$$a_2 = \arcsin \frac{b_n}{2R},$$

$$a_2 = \arcsin \frac{41}{2 \cdot 1700} = 0,689^\circ.$$

Угол скважины в точке 3, a_3 , град,

$$a_3 = \arcsin \frac{b_n}{2R},$$

$$a_3 = \arcsin \frac{41}{2 \cdot 1700} = 0,689^\circ.$$

Нижняя точка оси скважины БС, HTc , м,

$$HTc = D_o - \Delta hp - \Delta h_3 - \left(\frac{D_c}{2} \right) - \frac{b_n \cdot \operatorname{tg} a_{2,3}}{2}, \quad (9)$$

$$HTc = 97,35 - 0,5 - 2,84 - \left(\frac{1,8}{2} \right) - \frac{41 \cdot \operatorname{tg} 0,689}{2} = 88,35 \text{ м.}$$

Угол входа скважины, a_4 , град,

$$a_4 = \arccos \frac{R - (D_2 - HTc)}{R}, \quad (10)$$

$$a_4 = \arccos \frac{1704 - (109,22 - 92,86)}{1704} = 7,8^\circ.$$

Угол выхода скважины, a_1 , град,

$$a_1 = \arccos \frac{R - (D_1 - HTc)}{R}, \quad (11)$$

$$a_1 = \arccos \frac{1704 - (128,87_1 - 92,86)}{1704} = 11,7^\circ.$$

Протяженность от нижней точки оси скважины до входа скважины по горизонтальной проекции, $L_{n,ex}$, м,

$$L_{n,ex} = (R - (D_2 - HTc)) \cdot \operatorname{tg} a_4,$$

$$L_{n,ex} = (1704 - (109,22 - 92,86)) \cdot \operatorname{tg} 8 = 233 \text{ м.}$$

Протяженность от нижней точки оси скважины до выхода скважины по горизонтальной проекции, $L_{n,вых}$, м,

$$L_{n,вых} = (R - (D_1 - HTc)) \cdot \operatorname{tg} a_1,$$

$$L_{n,вых} = (1704 - (106,22 - 92,86)) \cdot \operatorname{tg} 11,8 = 347 \text{ м.}$$

Расстояние между точками входа и выхода трубопровода (горизонтальная проекция), L , м,

$$L = L_{п.вх} + L_{п.вых}, \quad (12)$$

$$L = 236 + 349 = 581 \text{ м.}$$

Общая протяженность бурения скважины, S , м,

$$S = \frac{\pi \cdot 2R \cdot (a_1 + a_4)}{360},$$

$$S = \frac{3,14 \cdot 2 \cdot 1700 \cdot (11,7 + 7,8)}{360} = 584 \text{ м.}$$

Пилотная скважина состоит из одного криволинейного участка по дуге окружности.

Вход в скважину происходит под углом $a_4 = 7,8^\circ$ к плоскости горизонта, длина участка $S = 583$ м по дуге окружности с радиусом $R = 1700$ м с выходом на поверхность под углом $a_1 = 11,7^\circ$ плоскости горизонта.

Геометрические характеристики перехода через реку Ухта сведены в таблицу 11.

4.2.2 Река Печора

Расчет длины скважины трубопровода выполняем аналогично разделу 4.2.1.2.

Для определения расстояния и между точками входа и выхода трубопровода в горизонтальной проекции и общей длины трубопровода, укладываемого способом ННБ, необходимо найти ширину прогнозируемого профиля размыва по верху и по низу B_n и b_n соответственно (точки 1,2,3,4). Профиль подводного перехода через реку Печора представлен на рисунке 16.

- ширина зеркала воды $В_0$, м; $В_0 = 630$ м;
- ширина русла между береговыми кромками $В_1$; м, $В_1 = 652$ м;
- высотные отметки:
- левого берега $Нб_1$, м; $Нб_1 = 63$ м;
- дна $Д_0$, м; $Д_0 = 41$ м;
- правого берега $Нб_2$, м; $Нб_2 = 50$ м;
- прогнозируемые величины отступления береговых склонов:
- левого ΔBp_1 , м; $\Delta Bp_1 = 2$ м;
- правого ΔBp_2 , м; $\Delta Bp_2 = 1$ м;
- заложения откосов береговых склонов ($\Delta hp = 1$):
- левого m_1 ; $m_1 = 0,12$;

- правого m_2 ; $m_2 = 0,034$;
- прогнозируемая глубина размыва дна от наименьшей его отметки Δh_p , м.
- запас к прогнозируемой глубине размыва дна, м; $\Delta h_z = 2,84$ м;
- минимальный радиус кривой искусственного изгиба трубопровода, м;
 $R_k = 1700$, м.

Найдем ΔB_{z_1} по условию (2),

$$\Delta B_{z_1} > 0,12 \cdot 2,84 \text{ м};$$

$$\Delta B_{z_1} > 0,34 \text{ м};$$

Принимаем $\Delta B_{z_1} = 0,4$ м.

Найдем ΔB_{z_2} по условию (3),

$$\Delta B_{z_2} > 0,034 \cdot 2,84 \text{ м};$$

$$\Delta B_{z_2} > 0,97 \text{ м}.$$

Принимаем $\Delta B_{z_2} = 1$ м.

Ширина проектного профиля размыва по верху, B_n , м, по формуле (1),

$$B_n = 630 + 2 + 0,4 + 1 + 1 = 656 \text{ м}.$$

Высота левого берега относительно наиболее низшей отметки дна, $Hб_1$, м, по формуле (6),

$$Hб_1 = 63 - 41 = 22 \text{ м}.$$

Разница высот наиболее низшей отметки профиля размыва относительно высоты левого берега, H_1 , м, по формуле (5),

$$H_1 = 22 + 1 + 2,84 = 25,84 \text{ м}.$$

Высота правого берега относительно наиболее низшей отметки дна, $Hб_2$, м, по формуле (8),

$$Hб_2 = 50 - 41 = 9 \text{ м}.$$

Разница высот наиболее низшей отметки профиля размыва относительно высоты правого берега, H_2 , м, по формуле (7),

$$H_2 = 9 + 1 + 2,84 = 12,84 \text{ м}.$$

Ширина проектного профиля размыва по низу, b_n , м, по формуле (4),

$$b_n = 634 - 25,84 \cdot 0,12 - 12,84 \cdot 0,034 = 641 \text{ м}.$$

Из-за большой протяженности проектного профиля размыва по низу, спроектируем горизонтальный прямолинейный участок в серединной части скважины равный $l_{гор} = 450$ м.

Радиус кривой искусственного изгиба трубопровода, R_k , принимаем равным 1700 м.

Характеристика перехода через реку Ухта

Наименование параметра	Обозначение	Значение
Ширина зеркала воды	B_0	46,5 м
Ширина русла между береговыми кромками	B_1	68 м
Высотные отметки м (мБС): - левый берег, - дно, - правый берег	∇_0	128,87 м 97,35 м 109,22 м
Прогнозируемые величины отступления береговых склонов: - левого, - правого	$\Delta B p_1$ $\Delta B p_2$	1 м 0,1 м
Запас к прогнозируемому значению отступления левого берега	$\Delta B z_1$	0,7 м
Запас к прогнозируемому значению отступления правого берега	$\Delta B z_2$	0,3 м
Заложения откосов береговых склонов: - левого, - правого,	m_1 m_2	0,214 0,0922
Прогнозируемая глубина размыва дна	$\Delta h p$	0,1 м
Запас к прогнозируемой глубине размыва m_{in}	$\Delta h z$	2,84 м
Ширина проектного профиля размыва по верху	B_n	71 м
Ширина проектного профиля размыва по низу	b_n	49 м
Радиус кривой искусственного изгиба трубопровода	R_k	1700 м
Нижняя точка оси скважины БС	HT_c	88,35 м
Диаметр скважины	D_c	1,8 м
Угол входа	a_4	7,8°
Угол выхода	a_1	11,7°
Длина скважины по оси	S	584 м

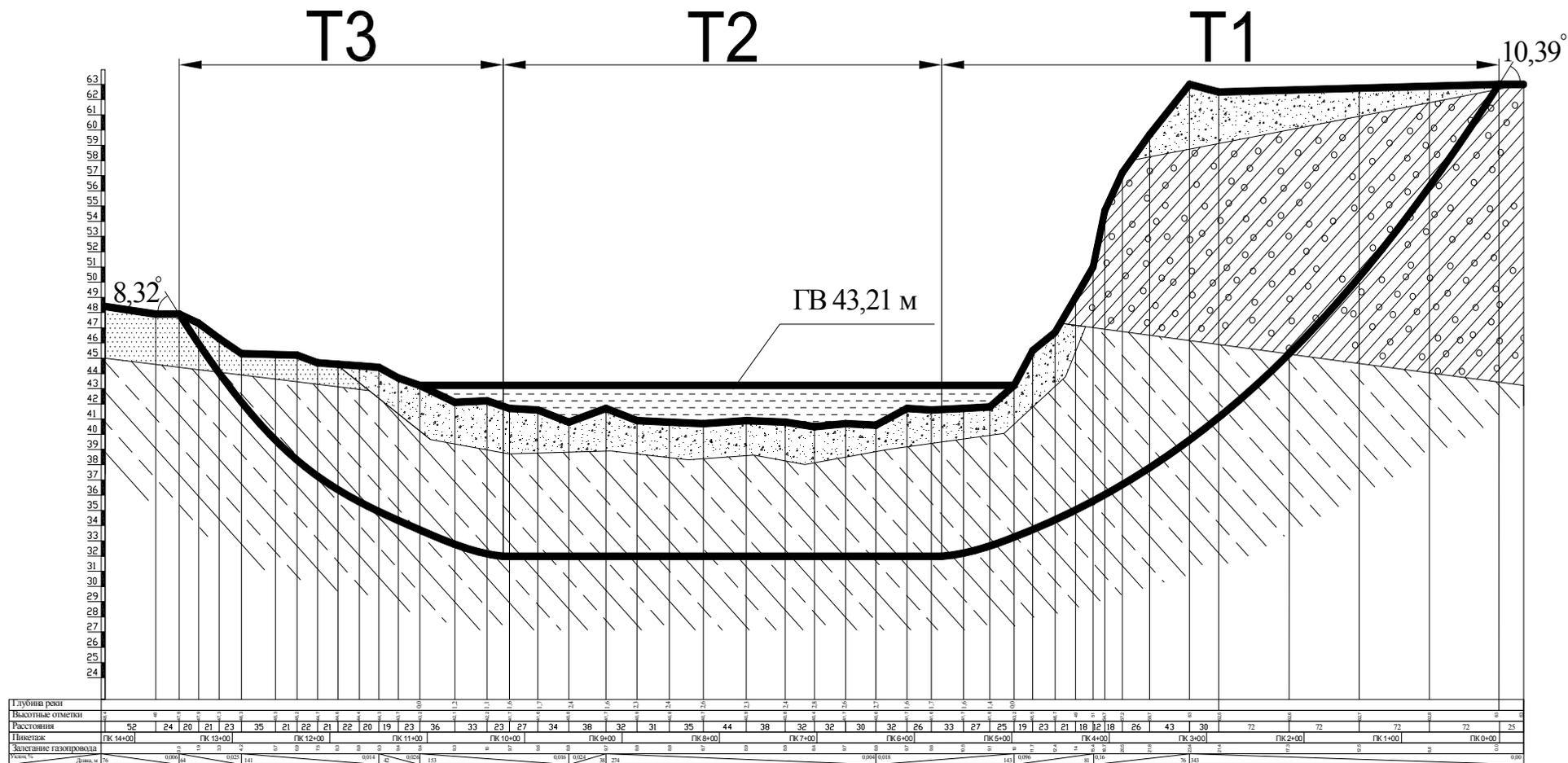


Рис. 16. Профиль подводного перехода через реку Печора

T1 – первый расчетный участок; T2 – второй расчетный участок; T3 – третий расчетный участок

Угол скважины в точке 2, a_2 град,

$$a_2 = \arcsin \frac{(b_n - l_{\text{зоп}})}{2 \cdot R},$$

$$a_2 = \arcsin \frac{(619 - 450)}{2 \cdot 1700} = 2,84^\circ.$$

Угол скважины в точке 3, a_3 град,

$$a_3 = \arcsin \frac{(b_n - l_{\text{зоп}})}{2 \cdot R},$$

$$a_3 = \arcsin \frac{(619 - 450)}{2 \cdot 1700} = 2,84^\circ.$$

Нижняя точка оси скважины БС, HTc , м, по формуле (9),

$$HTc = 41 - 1 - 2,84 - \left(\frac{1,8}{2}\right) - \frac{619 \cdot \text{tg} 2,84}{2} = 32,06 \text{ м.}$$

Угол входа скважины, a_4 , град, по формуле (10),

$$a_4 = \arccos \frac{1704 - (50 - 32,06)}{1704} = 8,32^\circ.$$

Угол выхода скважины, a_1 , град, по формуле (11),

$$a_1 = \arccos \frac{1704 - (128,87_1 - 32,86)}{1704} = 10,93^\circ.$$

Протяженность от центра скважины до входа скважины по горизонтальной проекции, $L_{n, \text{вх}}$, м,

$$L_{n, \text{вх}} = \frac{Ln_{\text{cp}}}{2} + (R - (D_2 - HTc)) \cdot \text{tga}_4,$$

$$L_{n, \text{вх}} = \frac{450}{2} + (1704 - (50 - 32,06)) \cdot \text{tg} 8 = 472 \text{ м.}$$

Протяженность от центра скважины до выхода скважины по горизонтальной проекции, $L_{n, \text{вых}}$, м,

$$L_{n, \text{вых}} = \frac{Ln_{\text{cp}}}{2} + (R - (D_2 - HTc)) \cdot \text{tga}_1,$$

$$L_{n, \text{вых}} = \frac{450}{2} + (1704 - (D_2 - HTc)) \cdot \text{tg} 11,8 = 549 \text{ м.}$$

Расстояние между точками входа и выхода трубопровода (горизонтальная проекция), L , м, по формуле (12),

$$L = 472 + 549 = 1021 \text{ м.}$$

Общая протяженность бурения скважины, S , м,

$$S = Ln_{cp} + \frac{\pi \cdot 2R \cdot (a_1 + a_4)}{360},$$

$$S = 450 + \frac{3,14 \cdot 2 \cdot 1704 \cdot (10,93 + 8,32)}{360} = 1023 \text{ м.}$$

Протяженность бурения скважины по криволинейному участку со стороны входа буровой колонны, $l_{вход}$, м,

$$l_{вход} = \frac{\pi \cdot 2 \cdot R \cdot a_4}{360},$$

$$l_{вход} = \frac{3,14 \cdot 2 \cdot 1704 \cdot 8,32}{360} = 247,5 \text{ м.}$$

Протяженность бурения скважины по криволинейному участку со стороны выхода буровой колонны, $l_{выход}$, м,

$$l_{выход} = \frac{\pi \cdot 2 \cdot R \cdot a_1}{360},$$

$$l_{выход} = \frac{3,14 \cdot 2 \cdot 1704 \cdot 10,93}{360} = 325,2 \text{ м.}$$

Общая протяженность бурения по криволинейным участкам, $l_{общ}$, м,

$$l_{общ} = l_{вход} + l_{выход},$$

$$l_{общ} = 247,5 + 325,2 = 572,7.$$

Пилотная скважина состоит из одного прямолинейного и двух участков по дуге окружности.

Профиль подводного перехода через водную преграду включает в себя три участка.

Вход в скважину происходит под углом $a_1=8,32^\circ$ к плоскости горизонта, длина входного участка $l_{вход}=247,5$ м по дуге окружности с радиусом $R=1700$ м, затем идет прямолинейный участок в нижней части скважины $l_{гор} = 450$, затем идет длина окружности с радиусом $R = 1700$ м и длиной $l_{выход} = 325,2$ м.

Общая протяженность бурения составляет ~ 1023 м. Бурение прямолинейного участка выполняется без изгиба буровой колонны. Общая протяженность бурения по криволинейным участкам $l_{общ} = 572,7$ м.

Геометрические характеристики перехода через реку Печора сведены в таблицу 12.

Таблица 12

Характеристика скважины реки Печора

Наименование параметра	Обозначение	Значение
Ширина зеркала воды	B_0	630 м
Ширина русла между береговыми кромками	B_1	652 м
Высотные отметки м (мБС); - левый берег, - дно, - правый берег		63 м 41 м 50 м
Прогнозируемые величины отступления береговых склонов: - левого, - правого	$\Delta B p_1$ $\Delta B p_2$	2 м 1 м
Запас к прогнозируемому значению отступления левого берега	$\Delta B z_1$	0,4 м
Запас к прогнозируемому значению отступления правого берега	$\Delta B z_2$	0,1 м
Заложения откосов береговых склонов: - левого, - правого	m_1 m_2	0,12 0,034
Прогнозируемая глубина размыва дна	$\Delta h p$	1 м
Запас к прогнозируемой глубине размыва m_{in}	$\Delta h z$	2,84 м
Ширина проектного профиля размыва по верху	B_n	634 м
Ширина проектного профиля размыва по низу	b_n	619 м
Радиус кривой искусственного изгиба трубопровода	R_k	1700 м
Нижняя точка оси скважины мБС	HT_c	32,06 м
Диаметр скважины	D_c	1,8 м
Угол входа	a_4	8,32°
Угол выхода	a_1	10,39°
Участки 1 – первый криволинейный, 2 – прямолинейный, 3 – второй криволинейный	$l_{вход}$ $l_{гор}$ $l_{выход}$	247,5 м 450 м 325,2 м
Длина скважины по оси	S	1023 м

4.3 Выводы

Согласно произведенным расчетам, строительство ППМТ диаметром 1420 мм при радиусе искусственного изгиба трубопровода равном 1700 м, что является более радиуса упругого изгиба трубопровода данного диаметра, по геометрическим параметрам на реке Ухте бестраншейным методом строительства возможно. Длина скважины бурения по оси составила 583 м, что является приемлемым. Для данной длины скважины возможно выбрать установку наклонно-направленного бурения Robbins 50030 способную разбуривать скважину до диаметра 1800 мм, и длиной бестраншейного участка до 1830 м. Так как река Ухта является наиболее сложная из представленных рек средней группы сложности подводных переходов, то условно принимаем, что строительство ПП через реку Тобысь для данного магистрального трубопровода методом ННБ тоже возможно.

Среди рассматриваемых больших переходов по группе сложности, скважинная часть через реку Печора составила 1023 м. Строительство ПП методом ННБ через реки Печора и Чикшино по геометрическим параметра возможно. Бурение скважины возможно выполнить установкой наклонно-направленного бурения Robbins 50030.

Глава 5. Строительство подводного перехода

5.1 Общие требования

Заблаговременно до начала протаскивания должен быть выполнен комплекс сварочно-монтажных работ по подготовке дюкера трубопровода. Трубы с заводским изоляционным покрытием должны быть доставлены на монтажную площадку, смонтированы и сварены в единую плеть. Все трубы и сварочные материалы должны иметь сертификаты заводов-изготовителей, подтверждающие качество и соответствие требованиям техдокументации.

После сварки трубопровода должен быть произведен 100% радиографический контроль сварных стыков с использованием рентгеновских аппаратов и источников радиоактивного излучения в соответствии с требованиями ГОСТ 7512-82. Результаты проверки стыков должны быть оформлены в виде заключений. Согласно Рабочего проекта и в соответствии с «Регламентом технической эксплуатации переходов магистральных нефтепроводов через водные преграды» АК «Транснефть», должна быть проведена 100% повторная проверка сварных стыков силами Заказчика.

Сварные стыки должны быть заизолированными термоусадочными манжетами, устанавливаемые на эпоксидный праймер.

5.2 Повышение требований к техническим характеристикам труб

Вопрос обеспечения объектов ОАО «ГАЗПРОМ» трубами с повышенными потребительскими свойствами является ключевым в плане поддержания и укрепления стратегической стабильности не только газовой отрасли, но и государства в целом.

Эффективный, качественный и надежный транспорт газа предполагает целый комплекс технических требований к трубной продукции, который заложен в нормативно-технической базе на трубы и соединительные детали для магистральных газопроводов, основу которой в нашей стране составляют Технические условия (ТУ).

В настоящее время для строительства сухопутных газопроводов на рабочее давление 9,8–11,8 МПа становится целесообразным применение труб диаметром до 1420 мм из стали повышенного класса прочности К65 (X80). В частности, транспорт газа с полуострова Ямал предполагается осуществлять по га-

зопроводам диаметром 1420 мм на рабочее давление 11,8 МПа. Строительство должно начаться не позднее 2008 г. Это требует разработки нормативной документации на газопроводы и трубы, проведение аттестационных испытаний опытных партий труб и разработки технических условий на трубы, которые должны завершиться не позднее 2007 г.

5.3 Виды труб

В настоящее время существуют два вида труб большого диаметра: прямошовные и спиральношовные.

По мнению компании Borusan Mannesmann, *спиральношовные* трубы не только являются эквивалентной заменой прямошовным, но и дополнительно имеют ряд преимуществ:

- не требуется калибровочных процедур (холодное экспандирование или калибровка на вальцах);

- механические свойства соответствуют показателям исходного металла, в то время как любое холодное экспандирование приводит к потере механических свойств, прежде всего пластичности и вязкости, поэтому спиральношовные трубы более надежны;

- при проведении гибки спиральношовных труб в полевых условиях, что является общепринятой мировой практикой, нет необходимости контролировать положение сварного шва;

- ориентация сварного шва и направления прокатки рулона в высшей степени благоприятны относительно главных действующих напряжений.

Основные потребители спиральношовных труб с покрытием – ОАО «Газпром», ОАО АК «Транснефть» и другие крупные нефтяные компании.

Спиральношовные трубы даже с поперечным швом в предельных условиях сложного напряженного состояния удовлетворительно реализуют прочностные и пластические свойства, как основного металла, так и спирального, поперечного швов, и могут применяться для строительства магистральных нефтегазопроводов.

Сравнительные результаты по циклическим статическим испытаниям *прямошовных спиральношовных* труб (производства Выксунского трубокатного завода) показали:

- при одинаковых, искусственно нанесенных дефектах сварного шва, циклическая долговечность спиральношовной трубы в 2,7 раза выше, чем прямошовной;

- статическая трещиностойкость спиральношовной трубы в 1,7 раза выше, чем прямошовной.

Таким образом, результаты многолетних аттестационных испытаний газонефтепроводных труб подтверждают, что спиральношовные трубы большого диаметра по работоспособности не уступают, а в ряде случаев и превосходят прямошовные трубы аналогичного сортамента.

За рубежом, в отличие от нашей страны, за последние 10 лет метод направленного бурения для прокладки нефтегазопроводов стал бурно развиваться. Для бестраншейной прокладки через водные преграды стали чаще применять не стальные трубопроводы, а трубопроводы из современных композиционных материалов. Зарубежный опыт показал, что при прокладке стального трубопровода методом направленного бурения происходит потеря устойчивости формы трубопровода за счет комбинации действия растягивающего напряжения, вызванного осевой нагрузкой, напряжения от изгиба (вследствие искривления скважины и напряжения, возникающего под действием нагрузки от вышележащего грунта), а также внутреннего давления жидкости и газа. В результате происходит образование складок на трубопроводе или сплющивание его поперечного сечения.

Трубопроводы из композиционных материалов, например из стекловолоконистых эпоксидных материалов, лишены этих недостатков. Кроме того, *стекловолоконистые эпоксидные трубы*, по сравнению со стальными, имеют огромные преимущества:

- устойчивы к коррозии, гарантированный срок эксплуатации не менее 50 лет;
- масса в 4 раза меньше стальных, что позволяет их укладывать без применения тяжелого оборудования;
- наличие резьбовых и механических соединений обеспечивает быстрый и легкий монтаж без сварки;
- наличие идеально гладких поверхностей внутренних стенок предотвращает парафиновые и другие отложения, следовательно не требуется очистки труб, и гибкость позволяет укладывать трубы по дну реки и прочих водоемов с глубокими и крутыми склонами;
- высокая прочность. В результате трубы выдерживают давление в 2-3 раза больше, чем стальные, это повышает их ресурс;
- возможны демонтаж после длительной эксплуатации и повторное их использование;
- не требуется катодная защита от коррозии;

- устойчивость к динамическим воздействиям (при землетрясениях) и воздействию ультрафиолетовых лучей;
- широкая область применения;
- требуются меньшие затраты на техническое обслуживание;
- не снижается надежность работы при низких температурах, пожарах и др.

5.4 Технические требования к трубам для магистральных газопроводов на современном этапе

Что касается перспективного сортамента, то трубы диаметром 1420 мм на давление 11,8 МПа будут иметь толщину стенки ориентировочно 24,9 и 29,7 мм (III-IV и I-II участки категории) и 36,7 мм (участки категории B).

Высокая прочность труб должна сочетаться с высоким уровнем вязкости и пластичности трубной стали.

Рассмотрим более подробно технические требования, предъявляемые к трубам категории прочности X80.

Базовыми техническими требованиями для труб категории прочности X80 являются Спецификации Американского нефтяного института API 5L, в соответствии с которыми трубы должны отвечать прочностным требованиям:

- временное сопротивление разрыву, 621–827 МПа;
- предел текучести, 552–690 МПа.

Снижение содержания углерода в стали, благодаря совершенствованию технологии выплавки и прокатки стали, позволило обеспечить хорошую свариваемость стали категории прочности X80 — углеродный эквивалент (Сэкв) не превышает 0,43, а параметр против растрескивания при сварке не превышает 0,18.

5.5 Механический расчёт трубопровода

5.5.1 Выбор труб для строительства газопровода высокого давления

В данном разделе и далее по тексту расчет технических параметров трубопровода будет проводиться по техническим характеристикам соответствующим реке Печора, как переходу самому протяженному среди рассматриваемых рек.

При заданном рабочем давлении равным $P_{\text{раб}} = 11,8$ МПа, учитывая коррозионную активность перекачиваемого продукта и высокую степень экологической уязвимости данных районов, для снижения аварийности, в проекте при-

нимаем трубы с заводским изоляционным покрытием, изготовленные из стали повышенной прочности, хладностойкости и коррозионной стойкости марки, класс прочности К65 (X80, по API 5L) Выксунского трубопрокатного завода.

В качестве примера приведены максимально возможные механические свойства данной стали. Характеристика конструктивных параметров трубы магистрального газопровода приведена в таблице 13.

Таблица 13

Характеристика конструктивных параметров труб

Нормативные характеристики основного металла		Диаметр D_n , мм	Эквивалент углерода, не более	Конструкция трубы, состояние поставки металла	Коэффициент надежности по материалу, K_I
временное сопротивление разрыву, R_m^H , МПа	предел текучести, R_{eH} , МПа				
827	690	1420	0,43	Электросварные прямошовные трубы с одним продольным швом из стали контролируемой прокатки	1,34

Эти трубы отличаются от традиционных стальных прямошовных труб из стали контролируемой прокатки повышенной стабильностью механических характеристик, низкой температурой вязкохрупкого перехода, повышенной стойкостью к общей и язвенной коррозии, стойкостью к сульфидному коррозионному растрескиванию и образованию водородных трещин. Все трубы на заводе-изготовителе подвергаются 100%-ному контролю неразрушающим способом, гидравлическому испытанию.

5.5.2 Расчет толщины стенки

Подземные трубопроводы следует проверять на прочность, деформативность и общую устойчивость в продольном направлении и против всплытия.

Толщину стенки трубы находят, исходя из нормативного значения временного сопротивления на разрыв, диаметра трубы и рабочего давления с использованием предусмотренных нормами коэффициентов СНиП III-42-80*.

Расчетная толщина стенки труб, δ , см,

$$\delta = \frac{n \cdot P \cdot D_H}{2 \cdot (R_1 + n \cdot P)},$$

где n – коэффициент надежности по нагрузке – внутреннему рабочему давлению в трубопроводе, $n=1,15$;

P – внутреннее давление в трубопроводе, МПа; $P = 11,8$ МПа;

D_H – наружный диаметр трубопровода, см; $D_H = 142$ см;

R_1 – расчетное сопротивление металла труб растяжению, МПа;

$$R_1 = \frac{R_1^H \cdot m}{k_1 \cdot k_H},$$

где R_1^H – нормативное сопротивление растяжению металла труб, МПа; $R_1^H = 827$ МПа;

m – коэффициент работы трубопровода, $m = 0,75$;

k_1 , – коэффициенты надежности по материалу, $k_1=1,34$;

k_H – коэффициент надежности по назначению трубопровода, $k_H=1,15$;

$$R_1 = \frac{827 \cdot 0,75}{1,34 \cdot 1,15} = 402,5 \text{ МПа.}$$

Расчетное сопротивление материала трубы сжатию, R_2 , МПа,

$$R_2 = \frac{R_2^H \cdot m}{k_2 \cdot k_H},$$

где R_2^H – нормативное сопротивление сжатию металла труб, МПа, $R_2^H = 690$ МПа;

k_2 – коэффициент надежности по материалу, $k_2=1,15$;

$$R_2 = \frac{690 \cdot 0,75}{1,34 \cdot 1,15} = 375 \text{ МПа.}$$

$$\delta = \frac{1,15 \cdot 11,8 \cdot 142}{2 \cdot (402,5 + 1,15 \cdot 11,8)} = 2,2 \text{ см.}$$

Толщину стенки труб, определенную по формулам, следует принимать не менее $1/140 D_H$, но не менее 4 мм для труб с Ду свыше 200 мм. Принимаем предварительное значение толщины стенки $\delta = 29,7$ мм.

Внутренний диаметр трубопровода $D_{вн}$, мм,

$$D_{вн} = D_H - 2 \cdot \delta,$$

$$D_{вн} = 1420 - 2 \cdot 29,7 = 1360 \text{ мм.}$$

Проверка на осевые сжимающие напряжения в трубопроводе, $\sigma_{np.N}$, МПа,

$$\sigma_{np.N} = -\alpha E \Delta t + \mu \frac{npD_{вн}}{2\delta},$$

- где α – коэффициент линейного расширения, град⁻¹; $\alpha = 0,000012$ град⁻¹
 E – модуль упругости стали, МПа, $E = 20600$ МПа;
 Δt – расчетный температурный перепад, равный разности между максимальной температурой эксплуатации и минимальной температурой укладки трубопровода, °С, $\Delta t = 55$ °С;
 μ – переменный коэффициент поперечной деформации стали (коэффициент Паусона), $\mu = 0,3$;

$$\sigma_{np.N} = -0,000012 \cdot 206000 \cdot 55 + 0,3 \frac{1,15 \cdot 11,8 \cdot 136}{2 \cdot 2,97} = -46,76 \text{ МПа.}$$

Коэффициент, учитывающий двухосное напряженное состояние металла труб Ψ_1 ,

$$\Psi_1 = \sqrt{1 - 0,75 \cdot \left(\frac{|\sigma_{np.N}|}{R_1} \right)^2} - 0,5 \cdot \frac{|\sigma_{np.N}|}{R_1},$$

$$\Psi_1 = \sqrt{1 - 0,75 \cdot \left(\frac{|46,76|}{402,5} \right)^2} - 0,5 \cdot \frac{|46,76|}{402,5} = 0,937.$$

Расчётная толщина стенки с учётом влияния осевых сжимающих напряжений, δ , см,

$$\delta = \frac{n \cdot P \cdot D_H}{2 \cdot (\Psi_1 \cdot R_1 + n \cdot P)},$$

$$\delta = \frac{1,15 \cdot 11,8 \cdot 142}{2 \cdot (0,937 \cdot 402,5 + 1,15 \cdot 11,8)} = 2,36 \text{ см.}$$

Принимаем значение толщины стенки $\delta = 29,7$ мм.

Проверка трубопровода на прочность производится по условию:

$$|\sigma_{np.N}| \leq \Psi_2 \cdot R_1,$$

- где Ψ_2 – коэффициент, учитывающий двухосное напряжённое состояние металла труб, при $\sigma_{np.N} < 0$, определяем по формуле;

$$\Psi_2 = \sqrt{1 - 0,75 \cdot \left(\frac{\sigma_{кц}}{R_1} \right)^2} - 0,5 \cdot \frac{\sigma_{кц}}{R_1},$$

- где $\sigma_{кц}$ – кольцевые напряжения от расчётного внутреннего давления, МПа;

$$\sigma_{кц} = \frac{n \cdot p \cdot D_{вн}}{2 \cdot \delta}.$$

$$\sigma_{ки} = \frac{1,15 \cdot 11,8 \cdot 136}{2 \cdot 29,7} = 46,76 \text{ МПа.}$$

$$\Psi_2 = \sqrt{1 - 0,75 \cdot \left(\frac{46,76}{402,5}\right)^2} - 0,5 \cdot \frac{46,76}{402,5} = 0,4.$$

Проверка на прочность подземного трубопровода,

$$46,76 \leq 0,4 \cdot 402,5,$$

$$46,76 \leq 160,7.$$

Условие проверки прочности подземного трубопровода выполняется. Следовательно, результаты расчетов принимаем как удовлетворительными.

Длина дюкера назначается с запасом, который компенсирует удлинение скважины в случае выхода бура за проектную отметку в неблагоприятных условиях бурения.

Длина дюкера, $L_{мб}$, м,

$$L_{мб} = L + \Delta L,$$

где ΔL – запас, который компенсирует удлинение скважины в случае выхода бура за проектную отметку в неблагоприятных условиях бурения, м; $\Delta L = 20$ м, [1];

$$L_{мб} = 1023 + 20 = 1043.$$

Техническая характеристика трубопровода сведена в таблицу 14.

5.5.3 Расчет весовых характеристик трубопровода

Внутренний диаметр трубопровода, $D_{вн}$, м,

$$D_{вн} = D_n - 2 \cdot \delta,$$

где D_n – наружный диаметр трубопровода, м; $D_n = 1,42$ м;

δ – толщина стенки, м; $\delta = 0,016$ м;

$$D_{вн} = 0,82 - 2 \cdot 0,016 = 0,788 \text{ м.}$$

Вес единицы длины трубопровода, q_T , н/м,

где $D_{вн}$ – внутренний диаметр трубопровода, м; $D_{вн} = 1,36$ м;

ρ_T – плотность материала трубы, кг/м³; $\rho_T = 7850$ кг/м³;

$$q_T = 0,25 \cdot \pi \cdot (D_n^2 - D_{вн}^2) \cdot \rho_T \cdot g,$$

Характеристика трубопровода

Наименование параметра	Обозначение	Значение
Длина дюкера по упругому изгибу	$L_{\text{д.у.изг.}}$	1023 м
Длина дюкера с учетом технологического запаса	$L_{\text{тб}}$	1043 м
Наружный диаметр	D_n	1,42 м
Внутренний диаметр	$D_{вн}$	1,360 м
Толщина стенки	δ	29,7 м
Предел материала труб	σ_T	827 МПа
Предел прочности стали	$\sigma_{\text{сп}}$	690 МПа
Тип изоляции	экструдированный полиэтилен	
Толщина изоляции	δ_u	0,003 м
Плотность материала изоляции	ρ_u	(1000) кг/м ³

$$q_T = 0,25 \cdot 3,14 \cdot (1,42^2 - 1,36^2) \cdot 7850 \cdot 9,81 = 9989,72 \text{ н/м.}$$

Диаметр трубопровода с изоляцией, D_n , м,

$$D_n = D_n + 2 \cdot \delta_u,$$

где δ_u – толщина изоляции трубопровода, м; $\delta_u = 0,003$;

$$D_n = 1,42 + 2 \cdot 0,003 = 1,426 \text{ м.}$$

Вес изоляции на единицу длины, q_n , Н/м,

$$q_n = 0,25 \cdot \pi \cdot (D_n^2 - D_n^2) \cdot \rho_n \cdot g,$$

где ρ_n – плотность изоляции, кг/м³; $\rho_n = 1000$ кг/м³;

$$q_n = 0,25 \cdot 3,142 \cdot (1,426^2 - 1,42^2) \cdot 1000 \cdot 9,81 = 131,56 \text{ Н/м.}$$

Вес трубопровода с изоляцией, $q_{T.n}$, н/м,

$$q_{T.n} = q_T + q_n,$$

$$q_{T.n} = 9989,72 + 131,56 = 10121,291 \text{ н/м.}$$

Полученные параметры весовые характеристики трубопровода сведем в таблицу 15.

Весовые характеристики трубопровода на единицу длины

Единица	Обозначение	Значение
Диаметр трубопровода с изоляцией	D_u	1,426 м
Вес единицы длины трубопровода	q_T	9989,72 н/м
Вес изоляции на единицу длины	q_{II}	131,56 н/м
Вес трубопровода с изоляцией	$q_{T.II}$	10121,291 н/м

5.6 Сварка трубопровода

Сварку трубопровода необходимо выполнять в соответствии с требованиями ВСН 006-89, ВСН 010-88, СНиП Ш-42-80*, РД 153-006-02 по аттестованной технологии сварки с соблюдением правил техники безопасности и пожарной безопасности.

Соединение труб между собой и труб с деталями заводского изготовления выполнить согласно СНиП Ш-42-80*, ВСН 006-89.

Технологические захлесты трубопроводов следует производить после полной готовности нового трубопровода согласно ВСН 006-89, РД 153-006-02.

5.7 Изоляция трубопровода

Применяемые трубы, производства Выксунского металлургического завода, имеют изоляционное покрытие толщиной не менее 3,5 мм, наносимое в заводских условиях, и выполненное по специальным техническим условиям (для строительства трубопроводов методом ГНБ).

Изоляция сварных стыков предусмотрена применением термоусаживающихся манжет и термоусаживающихся армированных манжет типа фирмы «Райхен», обладающих большой прочностью.

Дополнительная защита изоляционного покрытия на время протаскивания не предусматривается.

5.8 Расчёт параметров спусковой дорожки

С целью снижения тяговых усилий при укладке трубопровода в криволинейную скважину, сохранности изоляционного покрытия от повреждения и обеспечения заданного угла входа его в скважину к моменту окончания процесса расширения скважины в створе протаскивания на монтажной площадке, трубопровод должен быть уложен на спусковой стапель – роликовые опоры.

Для того, чтобы исключить удары конечного участка трубопровода при движении о землю и опоры, конец трубопровода следует поддерживать трубоукладчиком, оснащённым мягким полотенцем.

Применяемые при протаскивании роликовые опоры должны обеспечивать сохранность изоляционного покрытия трубопровода.

Параметры расстановки механизмов рассчитаны с учетом допустимого радиуса упругого изгиба и возможных максимальных силовых воздействий, вызывающих продольные и изгибающие напряжения в трубопроводе в процессе протаскивания. Параметры протаскивания уточняются в процессе производства работ.

По окончании работ по прокладке дюкера следует демонтировать направляющие опоры спускового стапеля.

При производстве работ по протаскиванию дюкера в грунтовую скважину подрядчик должен иметь в наличии резервный запас техники (трудоукладчик, роликовые опоры).

Опора состоит из *рамы*, на которую установлен *каток*.

Номинальная грузоподъемность опоры – 100 кН. Разработчик – Центр технической диагностики (ЦТД).

На рисунке 17 представлен трубопровод на опоре ОПР.00-000 ГЧ.

Принимается, что опора может выдерживать в качестве допустимой экстремальной нагрузки усилие $P_{on} = 150$ кН.

Максимальное расстояние между опорами по условию грузоподъемности, l_{max} , м,

$$l_{max} = \frac{P_{on}}{q_{mi}},$$

где P_{on} – номинальная грузоподъемность опоры, кН; $P_{on} = 100$ кН;

q_{mi} – вес единицы длины трубы с изоляцией, Н/м; $q_{mi} = 10121,291$ Н/м;

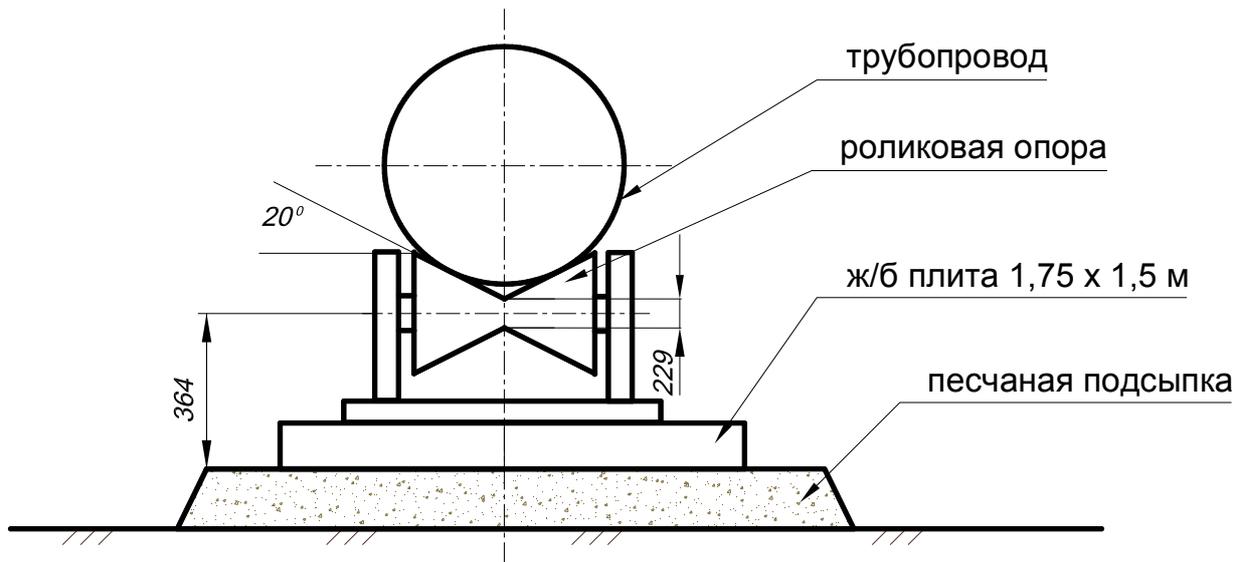


Рис. 17. Схема установки роликовой опоры

$$l_{\max} = \frac{100000}{10121,291} = 9,88 \text{ м.}$$

Минимально необходимое число опор, при котором опорная реакция не превышает номинальной грузоподъемности опоры, N_{\min} , шт,

$$N_{\min} = \frac{S + 20}{l_{\max}},$$

где S — длина скважины, м; $S = 1023$ м;

$$N_{\min} = \frac{1023 + 20}{9,88} = 106 \text{ шт.}$$

В выражении для N_{\min} учитывается, что число пролетов на единицу меньше числа опор. Принимаем с запасом около 25% число опор, N , шт,

$$N = N_{\min} + \frac{N_{\min}}{0,25},$$

$$N = 106 + \frac{106}{0,25} = 133 \text{ шт.}$$

Расстояние между опорами, l , м,

$$l_{on} = \frac{S + 20}{N - 1},$$

$$l_{on} = \frac{1023 + 20}{133 - 1} = 8 \text{ м.}$$

Нагрузка на одну опору, R , Н,

$$R = \frac{q_{mu} \cdot (S + 20)}{N},$$

$$R = \frac{10121,261 \cdot (1023 + 20)}{133} = 79372 \text{ Н.}$$

В случае полного выключения какой-либо опоры из работы при осложнениях типа просадки одной из опор трубопровод прогибается.

Реакция на ближайшие опоры, R_6 , Н,

$$R_6 = R \cdot 1,5,$$

$$R_6 = 79372 \cdot 1,5 = 119058,4 \text{ Н.}$$

Допустимая длина консоли, l_k , м,

$$l_k = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot R_2'' \cdot w_z}{q_{mu}}},$$

где m – коэффициент условий работы трубопровода, $m = 0,75$;

w_z – осевой момент инерции сечения трубопровода, м^3 ;

$$w_z = \frac{\pi \cdot D_n^3}{32} \cdot \left(1 - \left(\frac{D_{вн}}{D_n} \right)^4 \right),$$

$$w_z = \frac{3,14 \cdot 1,42^3}{32} \cdot \left(1 - \left(\frac{1,361}{1,42} \right)^4 \right) = 0,044 \text{ м}^3,$$

$$l_k = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,75 \cdot 690 \cdot 0,044}{10121,291}} = 67,2 \text{ м.}$$

Условие расстановки опор на допустимую длину консоли:

$$l_{on} \leq l_k,$$

$$8 \text{ м} \leq 67,2 \text{ м.}$$

Условие выполняется. Следовательно, расстояние между опорами принимаем равным 8 м.

Высота оси трубопровода на роликовой опоре и плите, H , м,

$$H = h + a + 0,5 \cdot d + \frac{D_{mu}}{2 \cos\left(\pi \cdot \frac{20}{180}\right)},$$

где h – высота железобетонной плиты, м; $h = 0,21$ м;

a – высота оси ролика, м; $a = 0,364$ м;

d – диаметр средней части ролика, м; $d = 0,229$ м;

$$H = 0,21 + 0,364 + 0,5 \cdot 0,229 + \frac{1,426}{2 \cos\left(3,14 \cdot \frac{20}{180}\right)} = 1,4 \text{ м.}$$

Расстояние от точки выхода скважины до точки максимального подъёма трубопровода на трубоукладчике, L_{\max} , м,

$$L_{\max} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot E \cdot I \cdot \alpha_{\text{вых}}}{q_{\text{пр}}}},$$

где $\alpha_{\text{вых}}$ – угол выхода скважины, рад; $\alpha_{\text{вых}} = 0,19$ рад;
 I – момент инерции сечения трубопровода, м⁴;

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot (D_{\text{н}}^4 - D_{\text{вн}}^4),$$

$$I = \frac{3,14}{64} \cdot (1,42^4 - 1,361^4) = 0,03135 \text{ м}^4,$$

$$L_{\max} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 206000 \cdot 10^6 \cdot 0,03135 \cdot 0,19}{10121,291}} = 90,07 \text{ м.}$$

Высота подъёма трубопровода на расстоянии L_{\max} от точки выхода скважины определяется, h_{\max} , м,

$$h_{\max} = \frac{q_{\text{пр}} \cdot L_{\max}^4}{24 \cdot E \cdot I},$$

$$h_{\max} = \frac{10121,291 \cdot 90,07^4}{24 \cdot 206000 \cdot 10^6 \cdot 0,03135} = 4,3.$$

Монтажная схема расстановки роликовых опор и трубоукладчиков должна обеспечить угол входа в скважину равный углу выхода пилотной скважины.

Для возможности поднятия трубопровода на проектную высоту необходимо устройство насыпной дамбы высотой до 2 метров. Для обеспечения устойчивости трубоукладчиков ширина дамбы должна быть не менее 6 м.

Для поддержания трубопровода трубоукладчиками используются троллейные подвески ТПП 1421 грузоподъемностью 63 т.

5.9 Бурение скважины

5.9.1 Бурение пилотной скважины

Перед началом производства работ по ННБ необходимо уточнить ширину русла реки и длину бестраншейной прокладки в створе строительства на период начала работ с учетом фактической отсыпки территории монтажных площадок.

За точки отсчета при разбивочных работах на монтажных площадках (на каждом берегу) следует выбирать точки входа и выхода скважины перехода, привязанной к реперам перехода трубопровода. Разбивочные точки закрепляются указательными знаками (маркировочными вешками) высотой не менее метра, которые устанавливаются на обоих берегах реки через каждые 40-50 м. Также необходимо выполнить контрольную нивелировку основных и привязку к ним временных реперов. Затем – провести закрепление на местности существующих подземных коммуникаций.

В процессе проектирования для максимального использования преимуществ метода ГНБ следует уделить особое внимание определению характеристик преодолеваемого препятствия. Например, река представляет собой динамичный объект. При проектировании следует учитывать не только ширину и глубину водного потока, но также и потенциальную миграцию берегов, и подмыв дна в течение расчетного срока эксплуатации перехода. Не следует забывать о том, что при использовании метода ГНБ можно выбирать наиболее благоприятные маршруты прокладки трубопровода не только в горизонтальной, но и в вертикальной плоскости.

Расчетная траектория бурения состоит из ряда прямолинейных и криволинейных отрезков. Прямые линии обычно называют *тангентами* (касательными), а криволинейные участки – *провесными*, *навесными* или *боковыми кривыми*, в зависимости от того в какой осевой плоскости они находятся. Можно также применять сложные пространственные кривые, но лучше этого следует избегать, чтобы упростить бурение. Местонахождение и конфигурация профиля скважины определяются точками входа и выхода, углами входа и выхода, радиусом кривизны и точками сопряжения прямолинейных и криволинейных участков.

Углы входа должны составлять от 8° до 12° к горизонтали. Эти пределы обусловлены, в основном, возможностями бурового оборудования. Станки для горизонтального бурения обычно рассчитаны так, чтобы облегчить опирание в точке перегиба. Это означает, что угол выхода не должен быть настолько крутым, что протягиваемую плетть придется поднять на большую высоту для направления в скважину. Требуемый угол для трубопроводов большого диаметра обычно составляет менее 10° .

Бурение пилотной скважины ведется *ориентированным способом*. Перед забуриванием скважины породоразрушающая головка ориентируется в нужном направлении, и после каждого наращивания буровой штанги производится контроль траектории ствола скважины. При необходимости производится корректировка параметров искривления в соответствии с проектом.

Породоразрушающим инструментом при бурении пилотной скважины является *гидромониторная* или *шарошечная* буровая головка, в зависимости от разбуриваемых грунтов. Бурение по заданной траектории осуществляется при помощи бурового инструмента, низ которого имеет специальную компоновку, позволяющую контролировать и управлять направлением бурения.

Первый этап бурения наклонно-направленной скважины заканчивается выходом буровой колонны на противоположном берегу водной преграды.

Бурение и расширение пилотной скважины возможно осуществить буровым комплексом Robbins 50030.

Краткие технические характеристики этого комплекса:

- диаметр коммуникации D , м, $D = 1800$ м;
- длина бестраншейного участка L , м, $L = 1830$ м;
- усилие проходки / вытягивание T_{\max} , кг, $T_{\max} = 230000$ кг;
- способ перемещения каретки – кремальера (рейка);
- двигатель – дизельный Caterpillar;
- кассета для буровых штанг – нет;
- трейлер.

Перед началом бурения пилотной скважины необходимо:

- смонтировать буровую установку и установить лафет в соответствии с заданным углом входа буровой скважины;
- проверить надежность и устойчивость радиосвязи между берегами водной преграды (пунктами входа и выхода скважины);
- проверить и выполнить калибровку системы ориентации с целью получения и записи исходных показателей прибора для последующей корректировки направления бурения скважины;
- проверить готовность к работе и работу всех систем и механизмов буровой установки и вспомогательного оборудования.

Бурение скважины осуществляется гидромеханическим способом, при котором грунт разрушается под воздействием породоразрушающего инструмента.

Собрать бурильную колонну согласно рисунку 12.

Режимы расширения пилотной скважины определяются следующими параметрами:

- грунтовыми условиями в створе расширения скважины – согласно проекта;
- величиной давления и расходом бентонита;
- скоростью вращения расширителя – 25 об/мин;

- величиной усилия протаскивания расширителя;
- скоростью протаскивания.

В процессе производства работ допускается корректировка параметров расширения с учетом фактических грунтовых условий и пробуренной пилотной скважины.

Для увеличения продольной жесткости и с целью исключения прихватов буровой колонны через 30-40 м от гидромониторной головки начинается бурение промывочной буровой колонной с буровой коронкой \varnothing 300-350 мм, имеющей твердосплавные режущие элементы. При этом колонна пилотных штанг остается в скважине в свободном состоянии.

Бурение наклонно-направленной скважины заканчивается выходом буровых колон пилотных и промывочных штанг на противоположном берегу водной преграды.

Допустимые отклонения места выхода скважины на дневную поверхность от проектного створа не должна превышать 3 м по ширине от створа; на 9,1 м дальше и 3,5 м ближе точки выхода для нефтепроводов. Для газопроводов не допускается превышение площади, равной 3х3 м.

После выхода пилотного бура на противоположном берегу реки, гидромониторная буровая головка и комплект антимагнитных штанг демонтируются.

Пилотные штанги вытаскиваются из промывочной колонны путем обратного протаскивания в направлении к буровой установки и складываются на стеллаже. В стволе скважины остается буровая колонна промывочных штанг, с помощью которых будут производиться все дальнейшие операции.

5.9.2 Расширение пилотной скважины

Расширение пилотной скважины производится в направлении к буровой установке путем последовательного протаскивания расширителей. При расширении скважины следует учитывать неблагоприятные грунтовые условия на отдельных участках.

Если в процессе прохода последних расширителей \varnothing 1000- \varnothing 1200 мм на отдельных участках будут значительно увеличиваться тяговые усилия и вращающий момент, то рекомендуется протаскивать их по несколько раз.

Процесс расширения должен проводиться непрерывно с кратковременными остановками для снятия штанг на буровой установке. При этом, снимаемые в процессе работы штанги необходимо перевозить на противоположную монтажную площадку и навинчивать на хвостовую часть расширителя. Демон-

таж штанг на буровой производится штатным краном-манипулятором буровой установки, а навинчивание – с помощью трубоукладчика или автомобиля, оборудованного краном-манипулятором.

Окончательное решение по выбору схемы расширения, применяемых расширителей по диаметру, их количеству и последовательности протаскивания подрядчик оставляет за собой и может вносить коррективы в процессе выполнения работ по ННБ.

Перед началом расширения пилотной скважины необходимо:

- проверить надежность и устойчивость радиосвязи между склонами реки (пунктами входа и выхода скважины);
- проверить готовность к работе и работу всех систем, механизмов буровой установки, вспомогательного оборудования;
- установить маршрут перевозки буровых штанг;
- завезти буровые штанги на рабочую площадку № 2 на противоположном берегу реки.

Расширение скважины производится с помощью промывочных штанг (буровые штанги диаметром 6 5/8 (169 мм)), находящихся в скважине. При расширении скважины следует учитывать неблагоприятные грунтовые условия и протяженность перехода.

Если в процессе прохода последних расширителей \varnothing 1000-1800 мм на отдельных участках будут значительно увеличиваться тяговые усилия и вращающий момент, то рекомендуется протаскивать расширители по несколько раз.

Перед протаскиванием рекомендуется произвести калибровку скважины путем протаскивания (прохода) через скважину бочкообразного расширителя диаметром 1800 мм (по диаметру последнего расширения скважины). Окончательное решение о необходимости проведения калибровки принимается после завершения полного цикла расширения скважины и остается за подрядчиком по ННБ.

Приложением тянущего усилия и одновременным вращением расширитель протаскивается через ствол скважины в направлении буровой установки, при этом увеличивается диаметр и уплотняются стенки скважины.

Процесс расширения повторяется несколько раз до прохода последнего по диаметру расширителя, при этом производится увеличение ствола скважины до проектного значения равного 1800 мм.

Скважина считается подготовленной к протаскиванию трубопровода после достижения проектного значения ее диаметра и длины.

5.9.3 Калибровка

Перед протаскиванием трубопровода рекомендуется произвести *калибровку скважины* путем протаскивания (прохода) через скважину бочкообразного расширителя диаметром 1800 мм (по диаметру последнего расширения скважины). Окончательное решение о необходимости проведения калибровки принимается после завершения полного цикла расширения скважины и остается за подрядчиком по ННБ.

5.10 Балластировка трубопровода водой

Для сокращения усилия на преодоление трения протаскиваемого трубопровода о грунт внутри скважины, заполненной бентонитом, и снижения тяговых усилий при протаскивании, трубопровод необходимо забалластировать водой.

Цель балластировки – регулирование величины эквивалентного веса единицы длины трубопровода.

В наиболее простом варианте балластировки трубопровод заполняется водой. В этом случае происходит увеличение эквивалентного веса единицы длины трубопровода на величину веса воды в трубопроводе.

Так как буровой раствор имеет плотность, превышающую плотность воды, то для трубопроводов большого диаметра выталкивающие силы принимают большие значения, поэтому эффект от заполнения трубопровода водой увеличивается с ростом его диаметра.

В случае протяженных переходов профиль имеет центральный горизонтальный участок значительной длины. При неполном заполнении трубопровода свободная вода располагается в наиболее низкой его части.

В случае отсутствия горизонтального участка скважины или при его малой длине, эффект нулевой плавучести не может быть реализован с использование свободной воды, так как центральная часть трубопровода будет полностью заполнена ею, а на участках входа и выхода будет находиться не заполненный водой трубопровод.

При протягивании трубопровода в местах недостаточной балластировки трубопровода возможен подъем бурильной колонны или самого трубопровода к своду скважины (особенно на искривленных участках профиля). Бурильная колонна, расположенная перед трубопроводом, оголовок или сам трубопровод, находятся в контакте с верхней образующей стенки скважины.

Движение колонны в условиях прижатия к верхней образующей ствола скважины способствует обрушению стенок и развитию осложнений при протягивании.

При выполнении работ из условия сохранения устойчивости стенок скважины более предпочтительным является вариант движения бурильной колонны и трубопровода в условиях прижатия к нижней образующей стенки скважины.

Вес воды в трубопроводе при заполнении водой, q_e , Н/м,

$$q_e = 0,25 \cdot \pi \cdot D_{вн}^2 \cdot \rho_e \cdot g,$$

где ρ_e – плотность воды, кг/м³; $\rho_{бр} = 1000$ кг/м³;

$$q_e = 0,25 \cdot 3,142 \cdot 1,361^2 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 14263,294 \text{ Н/м.}$$

Выталкивающая сила, действующая на полый трубопровод в буровом растворе, $q_{выт}$, Н/м,

$$q_{выт} = 0,25 \cdot \pi \cdot D_{н}^2 \cdot \rho_{бр} \cdot g,$$

где $\rho_{бр}$ – плотность бурового раствора, кг/м³; $\rho_{бр} = 1050$ кг/м³;

$$q_{выт} = 0,25 \cdot 3,142 \cdot 1,426^2 \cdot 1050 \cdot 9,81 = 16455,808 \text{ Н/м.}$$

Вес единицы длины полого трубопровода в буровом растворе, $q_{н.м.}$, Н/м,

$$q_{н.м.} = q_{Т.И} - q_{выт},$$

$$q_{н.м.} = 10121,291 - 16455,808 = -6329,517 \text{ Н/м.}$$

Вес единицы длины трубопровода, заполненного водой и находящегося в буровом растворе, $q_{з.т.}$, Н/м,

$$q_{з.т.} = q_{Т.И} + q_e - q_{выт},$$

$$q_{з.т.} = 10121,291 + 14263,294 - 16326,517 = 7933,776 \text{ Н/м.}$$

В отсутствии горизонтального участка скважины или при его малой длине эффект нулевой плавучести не может быть реализован с использованием свободной воды, так как центральная часть трубопровода будет полностью заполнена водой, а на участках входа и выхода будет находиться незаполненный трубопровод.

Весовые характеристики трубопровода на единицу длины представлены в таблице 16.

Таблица 16

Весовые характеристики трубопровода на единицу длины

Единица	Обозначение	Значение
Выталкивающая сила	$q_{\text{выт}}$	16455,808 Н/м
Полый трубопровод с изоляцией в буровом растворе	$q_{\text{п.т.}}$	-6329,517 Н/м
Заполненный водой трубопровод с изоляцией в буровом растворе	$q_{\text{з.т.}}$	7933,776 Н/м

5.11 Расчет максимального тягового усилия при протаскивании

В начальный момент протаскивания, когда весь трубопровод находится на берегу, усилие протаскивания определяется по формуле:

$$T_{\text{бер}} = (f_{\text{он}} \cos \alpha_o - \sin \alpha_o) q_{\text{мп}} \cdot L + T_p,$$

где $f_{\text{он}}$ – коэффициент трения трубопровода при движении по рельсовым опорам, $f_{\text{он}} = 0,05$;

α_o – угол наклона оси трубопровода, уложенного на роликовые опоры, к горизонту;

$q_{\text{мп}}$ – вес единицы длины трубопровода;

L – длина трубопровода;

T_p – усилие, необходимое для протягивания расширителя (зависит от типа расширителя и условий строительства).

В момент, когда трубопровод двигается по наклонной прямой, тяговое усилие с учетом прироста осевого усилия по спусковой дорожке определяется по формуле:

$$T_{\text{нак}} = T_{\text{бер}} + (f \cdot q_{\text{з.т}} \cdot \cos \alpha_{1,2} - q_{\text{з.т.}} \cdot \sin \alpha_{1,2}) L$$

где f – коэффициент трения трубопровода и бурильных труб о стенки скважины, $f = 0,5$;

$\alpha_{1,2}$ – угол входа трубопровода, град;

α_2 – угол выхода трубопровода в данном случае принимается со знаком минус, град.

Тяговое усилие определяем для конечного момента протягивания перехода, т.е. когда весь трубопровод находится в скважине, а колонна буровых труб – на берегу. Усилие сопротивления движению расширителя равно нулю.

Расчет тягового усилия ведется от конца скважины. При вычислениях проводим округление до целых значений. Для движения трубопровода в вязкопластичном буровом растворе требуется преодолеть дополнительно силы сопротивления на единицу длины.

Сила сопротивления движению трубопровода в вязкопластичном буровом растворе на единицу длины, τ , Н/м,

$$\tau = \pi \cdot D_H \cdot \tau_0,$$

где τ_0 – динамическое напряжение сдвига бурового раствора, Па, $\tau_0=100$ Па;

$$\tau = 3,142 \cdot 1,426 \cdot 100 = 448 \text{ Н/м.}$$

Рассмотрим первый расчетный участок:

Первый расчётный участок профиля представляет собой криволинейный участок профиля с радиусом искривления $R=1700$ м, представленный на рисунке 16.

Тяговое усилие на I участке T_1 , Н,

$$T_1 = \left[(1 - f^2) \cdot (A \cdot \cos \alpha_{\text{вх}} - \cos \alpha_{\text{вых}}) + 2 \cdot F \cdot (A \cdot \sin \alpha_{\text{вх}} - \sin \alpha_{\text{вых}}) \right] \times \\ \times G + \frac{R \cdot \tau}{F} \cdot (1 - A), \quad (13)$$

где f – коэффициент трения трубопровода и бурильных труб в скважине, $f=0,5$;

A – промежуточная величина;

$$A = e^{F \cdot (\sin \alpha_{\text{вых}} - \sin \alpha_{\text{вх}})} \quad (14)$$

где $F_{\text{б.к.}}$ – сила прижатия трубопровода к стенкам скважины, безразмерная величина;

$$F_{\text{б.к.}} = f \cdot \sin \cdot (q_{T.H} \cdot \cos \cdot a_{\text{вх}}),$$

где $\alpha_{\text{вх}}$ – угол входа трубы, град, $\alpha_{\text{вх}}=10,4^\circ$;

$$F_{\text{б.к.}} = 0,5 \cdot \sin \cdot (7934 \cdot 0,989) = 0,469.$$

$\alpha_{\text{вых}}$ – угол выхода трубы, град, $\alpha_{\text{вых}}=0^\circ$;

$$A = e^{0,46(\sin 0 - \sin 11)} = 1,07.$$

G – коэффициент, учитывающий влияние изгиба, Н;

$$G = \frac{R \cdot q_{T.H}}{f^2 + 1},$$

R – радиус искривления оси трубопровода, м, $R=1700$ м.

$$G = \frac{1700 \cdot 7934}{0,5 + 1} = 10815324 \text{ Н.}$$

$$T_1 = [(1 - 0,5^2) \cdot (1,07 \cdot \cos 11 - \cos 0) + 2 \cdot (0,469) \cdot (1,07 \cdot \sin 11 - \sin 0)] \times \\ \times 10815324 + \frac{1700 \cdot 448}{0,469} \cdot (1 - 1,07) = 869908 \text{ Н.}$$

Рассмотрим второй расчётный участок (рисунок 16).

Второй расчётный участок представляет собой прямолинейный участок.

Тяговое усилие на II участке T_2 , Н,

$$T_2 = T_1 + (f \cdot |q_{T.II}| \cdot \cos a_{\text{вых}} - q_{T.II} \cdot \sin a_{\text{вых}} + \tau) \cdot L_2,$$

где L_2 - длина второго участка, м, $L_2 = 450$ м.

$$T_2 = 869908 + (0,5 \cdot |7934| \cdot \cos 0^0 - 7934 \cdot \sin 0^0 + 448) \cdot 450 = 2856604 \text{ Н.}$$

Рассмотрим третий расчётный участок.

Он представляет собой криволинейный участок профиля с радиусом искривления $R=1700$ м.

Тяговое усилие на III участке T_3 , Н,

$$T_3 = T_2 A + ((1 - f^2) \cdot (A \cdot \cos a_{\text{ex}} - \cos a_{\text{вых}}) + \\ + 2 \cdot F_{\text{б.к}} \cdot (A \cdot \sin a_{\text{ex}} - \sin a_{\text{вых}})) \cdot G + \frac{R \cdot \tau \cdot (1 - A)}{F}, \quad (15)$$

где $\alpha_{\text{вых}}$ - угол выхода трубы, град, $\alpha_{\text{вых}} = 8,3^\circ$;

$F_{\text{б.к}}$ - сила прижатия трубопровода к стенкам скважины;

$$F_{\text{б.к.}} = f \cdot \sin \cdot \left(-\frac{T_2}{R} + q_{T.II} \cdot \cos \cdot a_{\text{ex}} \right);$$

$$F_{\text{б.к.}} = 0,5 \cdot \sin \cdot \left(-\frac{2856604}{1700} + 7934 \cdot \cos 8,3 \right) = 0,339.$$

A - промежуточная величина;

$$A = e^{F \cdot (\sin \alpha_{\text{ввх}} - \sin \alpha_{\text{вх}})}.$$

$$A = 2,7^{0,339(\sin 8,3 - \sin 0)} = 0,95.$$

$$T_3 = 2856604 \cdot 0,95 + ((1 - 0,5^2) \cdot (0,95 \cdot \cos 0 - \cos(-8,3)) + \\ + 2 \cdot 0,339 \cdot (0,95 \cdot \sin 0 - \sin(-8,3))) \cdot 10815324 + \frac{1700 \cdot 448}{0,339} \cdot (1 - 0,955) = 3888020 \text{ Н.}$$

Таким образом, в конечный момент движения (при неработающем расширителе) необходимо развить усилие на буровой установке $T_p = 396$ т.

Бурение пилотной скважины осуществляется буровым комплексом Robbins 100030.

Краткие технические характеристики:

- усилие проходки / вытягивание T_{\max} , кг, $T_{\max} - 456700$ кг;
- способ перемещения каретки – кремальера (рейка);
- фронтальная гидравлическая система соединения и разъединения штанг – стандартная;
- двигатель – дизельный Caterpillar;
- кассета для буровых штанг – нет;
- трейлер.

Данная буровая установка позволяет протащить плетть трубопровода через скважину, но согласно источника [5], который рекомендует мощность буровой установки принимать из расчета обеспечения максимальных усилий для протаскивания трубопровода в скважину с коэффициентом запаса не менее 1,5, при такой балластировке и величине тягового усилия строительство перехода данным методом не рекомендовано, так как коэффициент запаса в данном случае составляет 1,15.

Для увеличения коэффициента запаса необходимо уменьшить величину тягового усилия. Это представляется возможным за счет уменьшения силы трения протягиваемого трубопровода о стенки скважины за счет более тщательной балластировки трубопровода и придания ему весовых характеристик близких к нулевой плавучести.

5.12 Расчет необходимой величины частичного заполнения трубопровода

Для придания трубопроводу плавучести близкой к нулевой, необходимо по всей длине обеспечить частичное заполнение трубопровода путем размещения внутри дополнительного трубопровода, заполненного.

Схема предлагаемого варианта заполнения трубопровода представлена на рисунке 18, на которой условно-схематически представлено увеличение тягового усилия в зависимости от веса трубопровода в буровом растворе.

Согласно [10], применим стальные трубы со следующими техническими характеристиками по ГОСТ 20295-85*:

- наружный диаметр D_{nl} , м, $D_{nl} = 0,82$ м;
- номинальное давление P , МПа, по ГОСТ 3845-7;
- толщина стенки δ_{nl} , м, $\delta_{nl} = 0,008$ м;
- плотность материала трубы ρ г/см³, $\rho = 7850$ г/см³.

$$F1_{\text{тяг}} > F2_{\text{тяг}}$$

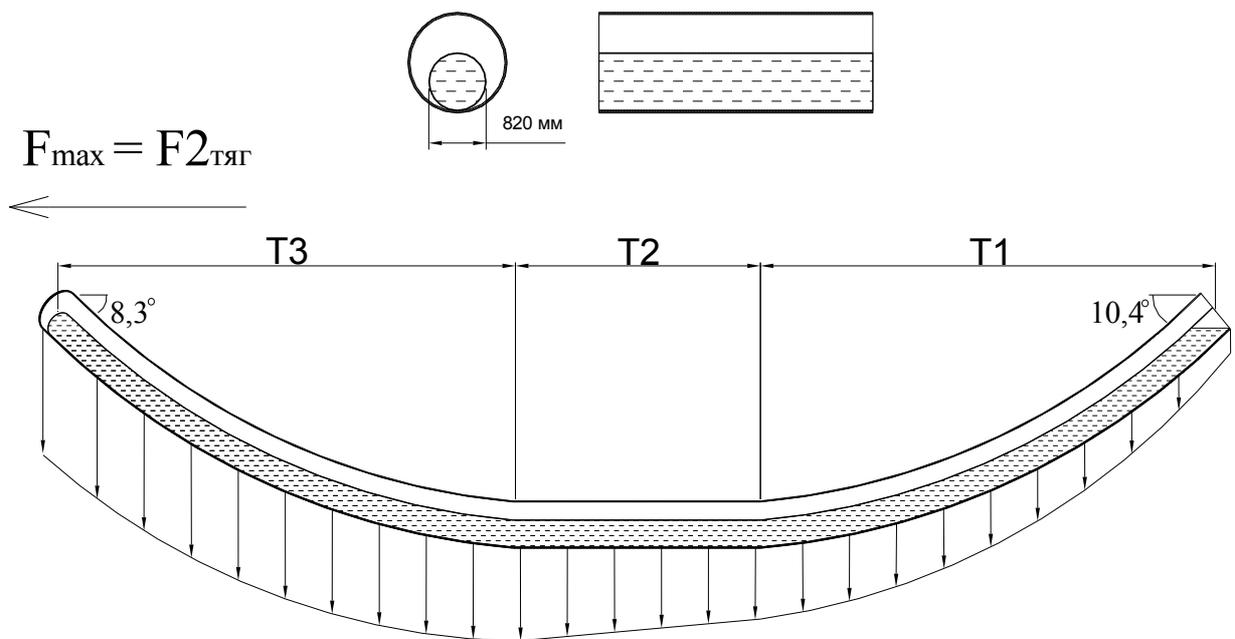
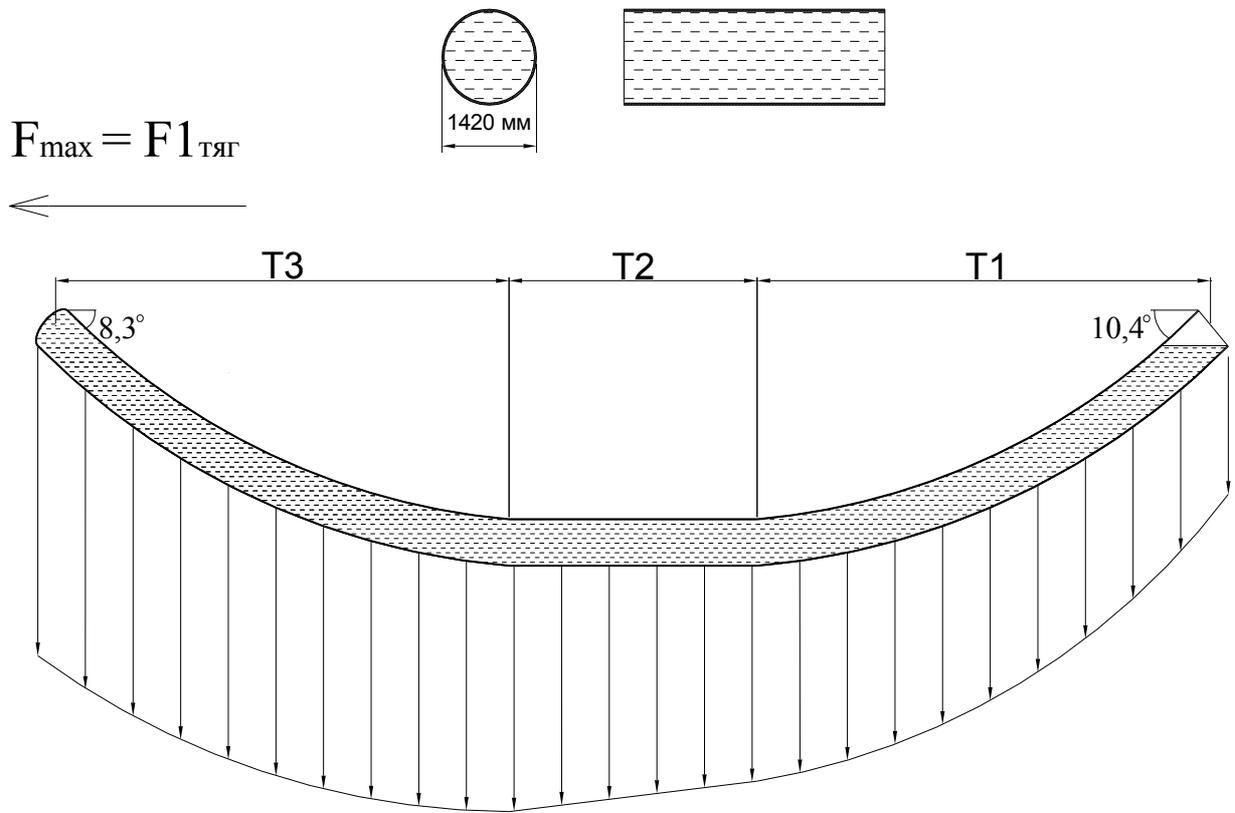


Рис. 18. Варианты балансировки трубопровода

Внутренний диаметр трубопровода, $d_{вн.пл}$, м,

$$d_{вн.пл} = D_{пл} - 2 \cdot \delta_{пл};$$

$$d_{вн.пл} = 0,82 - 2 \cdot 0,016 = 0,804 \text{ м.}$$

Вес единицы длины трубопровода, $q_{пл}$, Н/м,

$$q_{пл} = 0,25 \cdot \pi \cdot (D_{н.пл}^2 - d_{вн.пл}^2) \cdot \rho_{пл} \cdot g,$$

где ρ_T – плотность материала трубы, кг/м³; $\rho_T = 7850$ кг/м³;

$$q_{пл} = 0,25 \cdot 3,142 \cdot (0,82^2 - 0,804^2) \cdot 7850 \cdot 9,81 = 1572 \text{ Н/м.}$$

Вес трубопровода при заполнении водой, $q_{пл.в}$, Н/м,

$$q_{пл.в} = q_{пл} + 0,25 \cdot \pi \cdot d_{пл.вн}^2 \cdot \rho_в \cdot g,$$

где $\rho_в$ – плотность воды, кг/м³; $\rho_в = 1000$ кг/м³;

$$q_{пл.в} = 1572 + 0,25 \cdot 3,142 \cdot 0,804^2 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 6552 \text{ Н/м.}$$

Вес стального трубопровода в буровом растворе при его частичном заполнении, $q_{ч.з.т.}$, Н/м,

$$q_{ч.з.т.} = q_{нт} + q_{пл.в.},$$

$$q_{ч.з.т.} = -6329,517 + 6890 = 222,5 \text{ Н/м.}$$

Полученные параметры весовые характеристики трубопровода сведем в таблицу 17.

Таблица 17

Весовые характеристики трубопровода на единицу длины

Составляющие нагрузки	Обозначение	Значение
Выталкивающая сила	$q_{выт}$	16451 Н/м
Полый трубопровод с изоляцией в буровом растворе	$q_{н.т.}$	-6329,517 Н/м
Заполненный водой трубопровод с изоляцией в буровом растворе	$q_{з.т.}$	7934 Н/м
Вес наполняемого трубопровода при заполнении водой	$q_{пл.в}$	6552 Н/м
Вес стального трубопровода в буровом растворе при его частичном заполнении	$q_{ч.з.т.}$	222,5 Н/м

В результате дополнительных расчетов подтверждена правильность решений, что показано на рисунке 19, на котором наглядно видно, что при толщине стенки дополнительного трубопровода 6 мм и менее будет создана положительная плавучесть, что крайне нежелательно.

При толщине стенки 7 мм достигается отрицательная плавучесть, но расчетная величина $F_{б.к}$ меньше нуля, что соответствует подъёму бурильной колонны и трубопровода к своду скважины на искривленных участках профиля.

Для осуществления балластировки на этапе сварки дюкера в плетть необходимо внутри трубы расположить канат для последующего протаскивания наполняемого трубопровода. Длина каната и наполняемого трубопровода должны быть соразмерны с длиной дюкера.

После проведения гидравлического испытания дюкера и укладки на направляющие опоры, наполняемый трубопровод необходимо затащить в сваренный трубопровод. Предварительно в наполняемый трубопровод должен быть уложен подводный рукав для заполнения трубопровода водой.

Балластировку трубопровода при протаскивании в скважину осуществлять со стороны открытого конца дюкера следующим образом: в процессе протаскивания наполнительный рукав в месте выхода из дюкера должен быть закреплён неподвижно (для возможности заполнения из одной точки), а подачу воды необходимо осуществлять от насосного агрегата производительностью не менее $1,7 \text{ м}^3/\text{мин}$.

На рисунке 20 показана схема строительной площадки для монтажа дюкера с расположением амбара насосной станции необходимой для заполнения трубопровода, способ расположения дополнительного трубопровода, схема спусковой дорожки с расстановкой трубоукладчиков и роликовых опор с учетом обеспечения равномерности их нагружения и обеспечения заданного угла входа трубопровода в скважину.

Расчетный расход воды на 1 п.м. протаскиваемого дюкера составляет $1,597 \text{ м}^3$. Общий объем воды для балластировки $V = 1665,763 \text{ м}^3$.

Режим заполнения водой в процессе протаскивания уточнить на стадии ППР.

Объем подачи воды для балластировки контролировать счетчиком-расходомером.

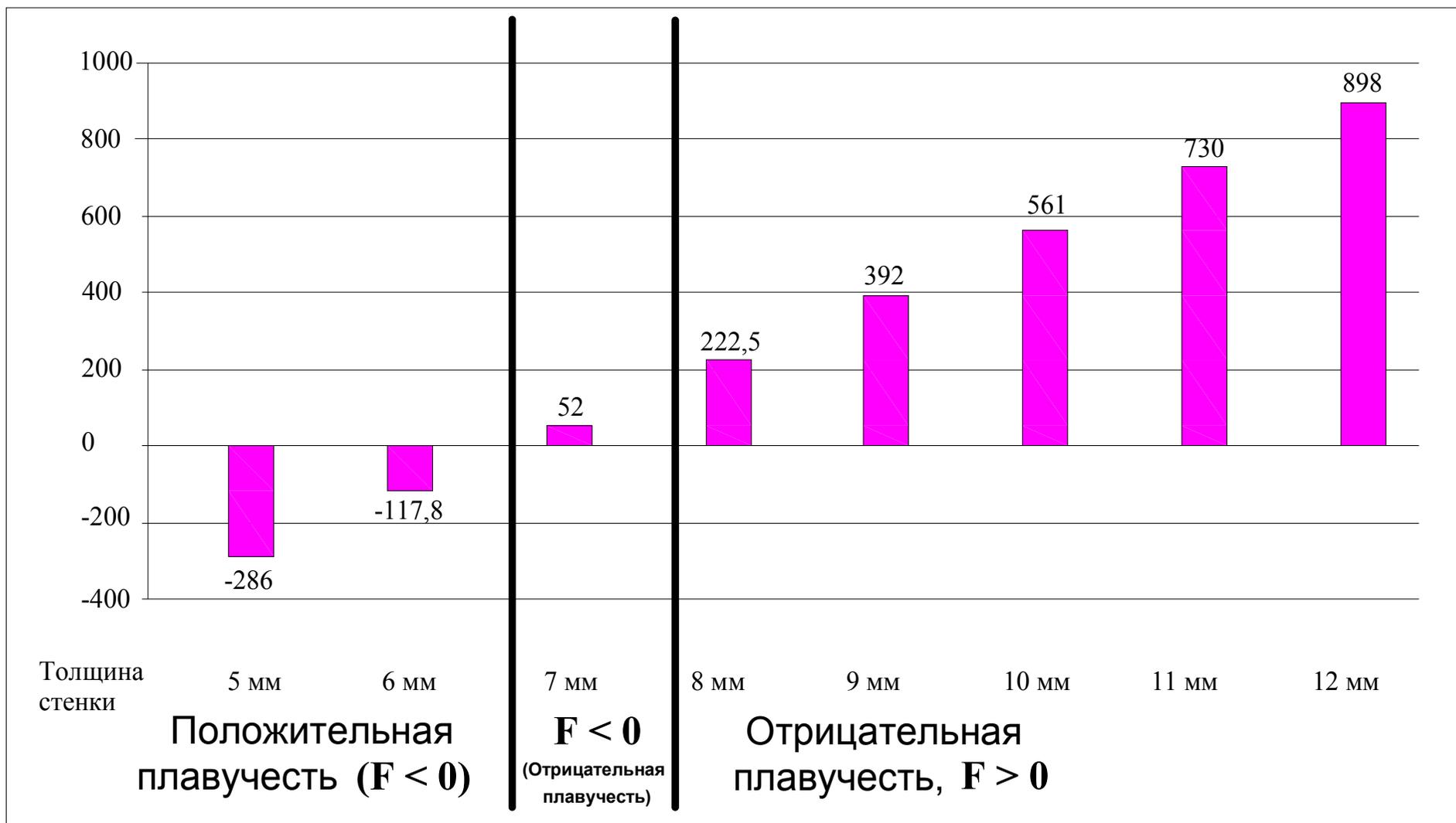


Рис. 19. Гистограмма зависимости веса трубопровода в буровом растворе от толщины стенки балансирующего трубопровода

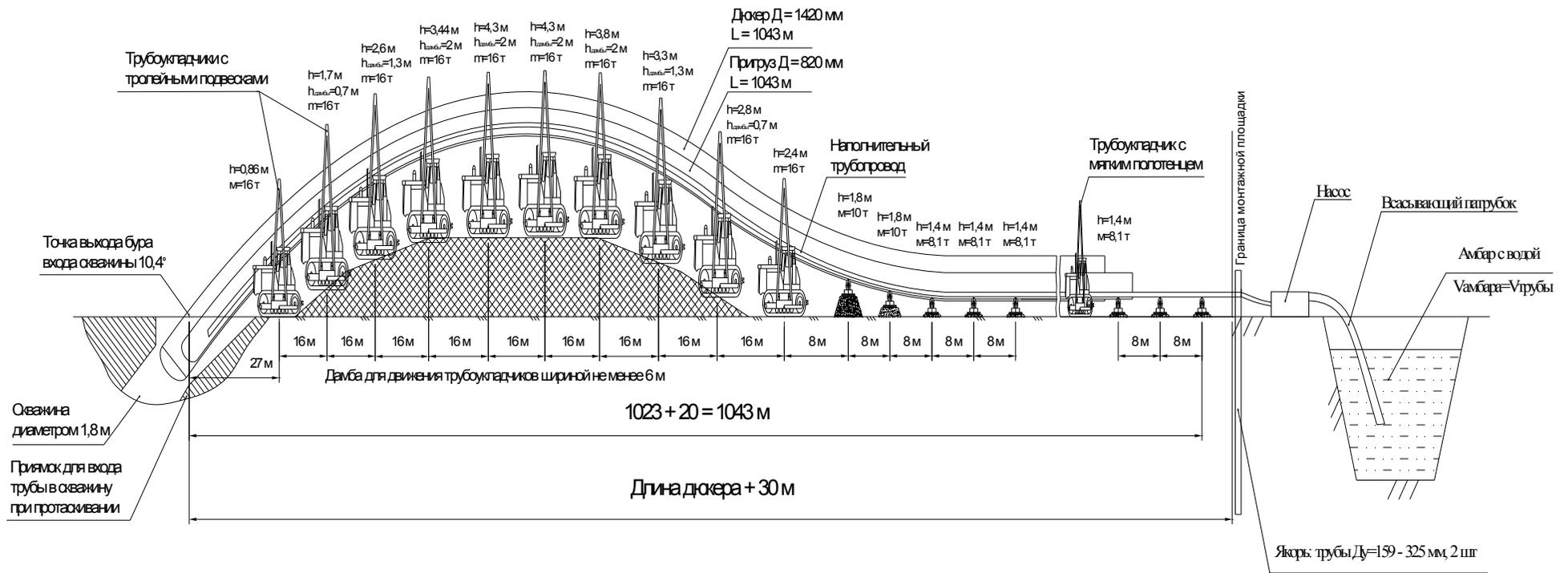


Рис. 20. Схема строительной площадки для монтажа дюкера

5.13 Уточнение максимального тягового усилия при протаскивании

В данном разделе будет производиться расчет тягового усилия при частичном заполнении трубопровода с помощью размещения внутри трубопровода стальной трубы, заполненной водой.

Расчет тягового усилия на I участке,

Сила прижатия трубопровода к стенкам скважины, $F_{\text{б.к.}}$, Н,

$$F_{\text{б.к.}} = f \cdot \sin \cdot (q_{\text{ч.з.м}} \cdot \cos \cdot a_{\text{вх}}),$$

где $q_{\text{ч.з.м}}$ – вес стального трубопровода в буровом растворе при его частичном заполнении, Н/м; $q_{\text{ч.з.м}} = 222,5$ Н/м;

$$F_{\text{б.к.}} = 0,5 \cdot \sin \cdot (222,5 \cdot 0,989) = 0,31.$$

Промежуточная величина A , по формуле (14),

$$A = e^{0,1315(\sin 0 - \sin 11^\circ)} = 0,94.$$

Коэффициент учитывающий влияние изгиба G , Н,

$$G = \frac{R \cdot q_{\text{ч.з.м}}}{f^2 + 1},$$

где R – радиус искривления оси трубопровода, м; $R = 1700$ м.

τ – сила сопротивления движению трубопровода в вязкопластичном буровом растворе на единицу длины, н/м; $\tau = 448$ Н/м;

$$G = \frac{1700 \cdot 222,5}{0,5^2 + 1} = 10815324 \text{ Н.}$$

Тяговое усилие на I участке T_1 , Н,

$$T_1 = \left[(1 - 0,5^2) \cdot (0,94 \cdot \cos 11 - \cos 0) + 2 \cdot (0,1315) \cdot (0,94 \cdot \sin 11 - \sin 0) \right] \times \\ \times 10815324 + \frac{1700 \cdot 222,5}{0,1315} \cdot (1 - 0,98) = 750790 \text{ Н.}$$

Расчет тягового усилия на II участке, T_2 , Н,

$$T_2 = T_1 + (f \cdot |q_{\text{ч.з.м}}| \cdot \cos a_{\text{вых}} - q_{\text{Т.И}} \cdot \sin a_{\text{вых}} + \tau) \cdot L_2,$$

где L_2 – длина второго участка, м; $L = 450$ м;

$$T_2 = 750790 + (0,5 \cdot |222,5| \cdot \cos 0^\circ - 222,5 \cdot \sin 0^\circ + 448) \cdot 450 = 2737485,8 \text{ Н.}$$

Расчет тягового усилия на III участке.

Сила прижатия трубопровода к стенкам скважины $F_{\text{б.к.}}$, Н,

$$F_{\text{б.к.}} = f \cdot \sin \cdot \left(-\frac{T_2}{R} + q_{\text{ч.з.м}} \cdot \cos \cdot a_{\text{вх}} \right),$$

$$F_{\text{б.к.}} = 0,5 \cdot \sin \cdot \left(-\frac{2737485}{1700} + 222,5 \cos 8,3 \right) = 0,23 \text{ Н.}$$

Промежуточная величина A , по формуле (14),

$$A = 2,7^{0,23 \cdot (\sin 8,3 - \sin 0)} = 1,03,$$

Тяговое усилие на III участке T_3 , Н,

$$T_3 = 2737485,8 \cdot 1,03 + ((1 - 0,5^2) \cdot (1,03 \cdot \cos 0 - \cos(-8,3)) + \\ + 2 \cdot 0,23 \cdot (1,03 \cdot \sin 0 - \sin(-8,3))) \cdot 10815324 + \frac{1700 \cdot 448}{1,08} \cdot (1 - 1,04) = 2207348 \text{ Н.}$$

В результате произведенных расчетов, принимая толщину стенки балансирующего трубопровода 8 мм, получаем тяговое усилие в конечный момент движения трубопровода 225 т, что в 2 раза меньше тяговой мощности буровой установки.

Таким образом, расчетный коэффициент запаса превышает минимальный рекомендованный на 35 %. Следовательно, надежность обеспечивается.

5.14 Проверка трубопровода на пластические деформации при протаскивании

Условие пластичности трубопровода под воздействием нагрузок:

$$\sigma_{\Sigma} \leq R_2^u,$$

где σ_{Σ} – суммарное напряжение в трубопроводе σ , МПа;

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_p + \sigma_{из},$$

где σ_p – напряжение растяжения от тягового усилия, МПа;

$$\sigma_p = \frac{T_{\max}}{F},$$

где T_{\max} – максимальное расчётное тяговое усилие при протаскивании, кН;

F – площадь сечения трубопровода, м²; $F=1,128 \text{ м}^2$.

$$\sigma_p = \frac{2207 \cdot 10^3}{1,128} = 22,7 \text{ МПа.}$$

$\sigma_{из}$ – напряжение от изгиба трубопровода в скважине, МПа;

$$\sigma_{из} = \frac{E \cdot D_H}{2 \cdot R};$$

$$\sigma_{из} = \frac{206000 \cdot 1,42}{2 \cdot 1700} = 85,83 \text{ МПа.}$$

R_2^H – предел текучести, МПа; $R_2^H = 690$ МПа;

$$\sigma_{\Sigma} = 22,7 + 85,83 = 108,54 \text{ МПа.}$$

$$108,54 \text{ м} \leq 690 \text{ м.}$$

Условие пластичности трубопровода под воздействием нагрузок выполняется. Следовательно, надежность обеспечивается.

5.15 Проверка трубопровода на смятие

При протаскивании (без заполнения или неполном заполнении водой) проводится проверка трубопровода на смятие. Если трубопровод не выдерживает расчетную проверку на смятие, толщина стенки должна увеличиваться.

Смятие происходит при гидростатическом давлении, создаваемым столбом бурового раствора высотой $h_{кр}$, м,

$$h_{кр} = \frac{2E}{\rho_{бр} \cdot g \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{\delta}{D_H} \right)^3,$$

где $\rho_{бр}$ – плотность бурового раствора, г/см³; $\rho_{бр} = 1050$ г/см³;

$$h_{кр} = \frac{2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{1050 \cdot 9,81 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \left(\frac{0,0297}{1,42} \right)^3 = 409 \text{ м.}$$

Условие сохранения устойчивости:

$$H \langle k_{см} \cdot h_{кр},$$

где H – максимальное значение разности высотных отметок входного или выходного сечения с наиболее низкой точки скважины, м;

$$H = H_{вых} - H_3;$$

$$H = 63 - 32 = 31 \text{ м};$$

$k_{см}$ – коэффициент перегрузки, учитывающий влияние гидродинамической составляющей давления, наличие осевого растяжения, контактной реакции, эллиптичности сечения трубы, разностенности, возможное увеличение плотности бурового раствора, $k_{см} = 0,75$;

$$31 \langle 0,75 \cdot 409,$$

$$31 \text{ м} \langle 307 \text{ м.}$$

Следовательно, условие сохранения устойчивости соблюдается. Так как глубина погружения трубопровода не превышает критической величины, увеличение толщины стенки не требуется.

Длина дюкера назначается с запасом, который компенсирует удлинение скважины в случае выхода бура за проектную отметку в неблагоприятных условиях бурения.

5.16 Протаскивание трубопровода в грунтовую скважину

К моменту протаскивания трубопровода должны быть выполнены следующие работы:

- проведено гидравлическое испытание трубопровода;
- нанесены термоусаживающиеся манжеты на кольцевые сварные стыки;
- рабочий трубопровод уложен на роликовые опоры.

Непосредственно к дюкеру необходимо приварить оголовок из комплекта оборудования ГНБ $\varnothing 1420$ мм, содержащий шарнирное соединение (вертлюг).

Опоры должны быть расположены строго в створе буровой скважины. При протаскивании необходимо выдерживать допустимый радиус кривизны трубопровода. Заданный вертикальный угол входа трубопровода в скважину обеспечивается определенной высотой подъема трубопровода.

Протаскивание трубопровода осуществляется вытягиванием буровой колонны «на себя», до выхода конца трубопровода на поверхность в точке забуривания на левом берегу.

Для того, чтобы исключить удары конечного участка трубопровода при движении о землю и опоры, конец трубопровода необходимо поддерживать трубоукладчиком, оснащенный мягким полотенцем. Применяемые при протаскивании роликовые опоры должны обеспечивать сохранность изоляционного покрытия трубопровода. В процессе протаскивания трубопровода следует производить постоянный визуальный контроль изоляционного покрытия.

Параметры расстановки механизмов рассчитаны с учетом допустимого радиуса упругого изгиба и возможных максимальных силовых воздействий, вызывающих продольные и изгибающие напряжения в трубопроводе в процессе протаскивания. Параметры протаскивания уточняются в процессе производства работ.

Непосредственно перед протаскиванием в точке выхода скважины отывается приямок для входа трубопровода размером 4х30х0,5 м, необходимый для обеспечения трубопроводу задаваемого радиуса изгиба и снижению высоты максимального подъема его трубоукладчиками. Длина приямка уточняется перед протаскиванием, по месту, в зависимости от реальной ситуации после расширения.

Библиографический список

1. Бородавкин, П.П. Сооружение магистральных трубопроводов [Текст]: учебник для вузов / П.П. Бородавкин, В.Л. Березин. – М.: Недра, 1987. – 471 с.
2. Шаммазов, А.М. Подводные переходы магистральных нефтепроводов [Текст] / А.М. Шаммазов, Ф.М. Мугалимов, Н.Ф. Нефёдова. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. – 237 с.: ил.
3. Ведомственные нормы: «Строительство подводных переходов нефтепроводов способом наклонно-направленного бурения» ОАО АК по транспорту нефти «ТРАНСНЕФТЬ» [Текст] / ОАО «ВНИСТ»: Срок введ. в действие установлен с 10.09.99. – М., 1999. – 82 с.
4. Храменков, С.В. Технологии восстановления подземных трубопроводов бестраншейными методами [Текст]: учеб. пособие / С.В. Храменков, В.А. Орлов, В.А. Харькин. – М. : Ассоц. строит. вузов, 2004. – 240 с.
5. Ведомственные нормы. Строительство подводных переходов газопроводов способом направленного бурения [Текст] / АО «ВНИСТ». – М.: Информационно-рекламный центр газовой промышленности (ИРЦ Газпром), 1998. – 86 с.
6. Рыбаков, А.П. Основы бестраншейных технологий. Теория и практика [Текст] / А.П. Рыбаков – М.: ПрессБюро, 2005. – 304 с.
7. СНиП 2.05.06 – 85*. Магистральные трубопроводы. Госстрой России [Текст]. – М.: ГУП ЦПП, 1998. – 60 с.
8. СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства основные положения [Текст]. – Взамен СНИП 1.02.07-87; Введ. 01.11.96. – М. ГУП ЦПП, 1996. – 35 с.
9. Спектор, Ю.И. Строительство подводных переходов трубопроводов способом горизонтально направленного бурения [Текст]: учеб. пособие / Ю.И. Спектор, Ф.М. Мустафин. – Уфа: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2001. – 207 с.
10. Инструкция по применению стальных труб в газовой и нефтяной промышленности [Текст]. – Взамен «Инструкции по применению стальных труб в газовой и нефтяной промышленности» № 92; Введ. 01.01.97. – М.: ИРЦ ВНИИ-ГАЗ РАО «Газпром», 1997. – 56 с.
11. Бабин, Л.А. Типовые расчеты при сооружении трубопроводов [Текст] / Л.А. Бабин, П.Н. Григоренко, Е.Н. Ярыгин. – М.: Недра, 1995. – 255 с.: ил.

Учебное издание

Александр Викторович Сальников

Владимир Петрович Зорин

Руслан Викторович Агинец

**Методы строительства подводных переходов
газонефтепроводов на реках Печорского бассейна**

Учебное пособие

Редактор Л.А. Кокшарова

Технический редактор Л.П. Коровкина

План 2008 г. Позиция 25. Подписано в печать 30.12.2008 г.

Компьютерный набор. Гарнитура Times New Roman.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать трафаретная.

Усл. печ. 6,5. Уч.-изд. л. 6,1. Тираж 120 экз. Заказ № 226.

Ухтинский государственный технический университет.

169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская, д. 13.

Отдел оперативной полиграфии УГТУ.

169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Октябрьская, д. 13.