



В. И. Хижняков,
Д. Ю. Орлов

СООРУЖЕНИЕ И РЕМОНТ
ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

УДК 622.692.4 (07)

ББК 39.7я73

Серия «Учебники ТГАСУ» основана в 2013 году

Хижняков, В.И. Сооружение и ремонт подводных
Х43 трубопроводов [Текст]: учебное пособие / В.И. Хижняков,
Д.Ю. Орлов. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-
та, 2019. – 276 с.

ISBN 978-5-93057-876-8

В учебном пособии изложены современные методики определения качества трубопроводостроительных материалов при производстве работ по сооружению и ремонту объектов трубопроводного транспорта нефти и газа. Рассмотрены основные методы и положения по организации и технологии пооперационного контроля качества изоляционных покрытий магистральных нефтегазопроводов. Приведены схемы и порядок работы с приборами контроля качества изоляционных материалов.

Пособие предназначено для бакалавров, обучающихся по направлениям подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело» и 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы».

УДК 622.692.4 (07)

ББК 39.7я73

Рецензенты:

Ю.А. Власов, докт. техн. наук, декан механико-технологического факультета Томского государственного архитектурно-строительного университета;

Ю.А. Кудашкин, начальник производственного отдела защиты от коррозии ООО «Газпром трансгаз Томск».

ISBN 978-5-93057-876-8

© Томский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2019

© Хижняков В.И., Орлов Д.Ю., 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Глоссарий	7
Часть I	11
1. Инженерная подготовка подводных работ при сооружении и ремонте подводных переходов магистральных нефтегазопроводов	11
1.1. Сооружение временного водомерного поста	12
1.2. Обозначение зоны подводного перехода на местности	15
1.3. Выбор места строительной площадки	19
1.4. Методы строительства подводных переходов	22
Контрольные вопросы	47
2. Промер глубин на подводных переходах магистральных нефтегазопроводов с использованием эхолотов и гидролокаторов	48
2.1. Промер глубин дна эхолотами	48
2.2. Гидролокация бокового обзора	57
Контрольные вопросы	62
3. Обследование технического состояния подводного перехода магистрального нефтегазопровода	63
3.1. Определение планово-высотного положения подводного перехода	63
3.2. Определение состояния изоляции и эффективности электрохимической защиты	66
3.3. Порядок выполнения работ при обследовании подводных переходов с применением внутритрубных средств технической диагностики	72
Контрольные вопросы	115
4. Ликвидация аварийных повреждений на подводных переходах магистральных нефтегазопроводов	117
4.1. Испытание и засыпка трубопроводов	125
4.2. Особенности прокладки морских трубопроводов	128
Контрольные вопросы	133

Часть II	134
Лабораторная работа № 1. Определение переходного сопротивления изолированных трубопроводов на основе электрохимических измерений	134
Лабораторная работа № 2. Определение температуры размягчения нефтяных битумов, применяемых для изоляции трубопроводов.....	142
Лабораторная работа № 3. Определение пенетрации нефтяного битума (глубины проникновения иглы).....	147
Лабораторная работа № 4. Определение дуктильности (растяжимости) нефтяного битума	167
Лабораторная работа № 5. Определение адгезии мастичной и полимерной изоляции к стальной поверхности трубопровода	187
Лабораторная работа № 6. Определение толщины изоляционного покрытия на трубопроводе с использованием магнитного толщиномера	197
Лабораторная работа № 7. Определение сплошности изоляционного покрытия трубопровода с использованием искрового дефектоскопа.....	206
Лабораторная работа № 8. Обнаружение дефектов в изоляционном покрытии подземных трубопроводов с использованием искателя повреждений изоляции ИПИ-95	219
Лабораторная работа № 9. Испытание на плотность (герметичность) сварных соединений керосином.....	231
Лабораторная работа № 10. Определение температуры хрупкости нефтебитумов для изоляции подземных стальных трубопроводов.....	237
Список рекомендуемой литературы	270
Приложение 1. Техника безопасности при выполнении работ.....	271
Приложение 2. Оформление лабораторных работ.....	273

ЧАСТЬ I

1. ИНЖЕНЕРНАЯ ПОДГОТОВКА ПОДВОДНЫХ РАБОТ ПРИ СООРУЖЕНИИ И РЕМОНТЕ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ

Перед началом строительства подводных переходов трубопроводов проводят геодезические и гидрометрические работы, связанные с промерами глубин в створе перехода и определением скоростей потока и планового положения разрабатываемой подводной траншеи. Наиболее важными являются работы по составлению фактического профиля и планового положения подводной траншеи. Промеры глубин для составления продольного профиля достаточно делать 3 раза:

- 1) перед началом разработки траншеи для выявления соответствия фактического профиля дна реки проектному;
- 2) перед укладкой трубопровода в подготовленную траншею;
- 3) после укладки трубопровода с целью определения его фактического положения.

При выполнении промеров необходимо установить высотное положение измеряемой точки, её положение по пикетажу и отметку уровня воды в момент промера. Правильное определение отметки уровня воды очень важно, т. к. измеренные глубины без отнесения их к известной отметке уровня не имеют никакой ценности. Уровень воды определяется по показаниям водомерных постов, имеющих привязку к абсолютным отметкам, которыми обязательно должна быть оборудована площадка строительства подводного перехода еще до начала основных работ. Водомерные посты оборудуют в местах, исключаящих их повреждение, и привязывают к государственной геодезической сети. Реперы устанавливают в зоне, ограниченной горизонтом высоких вод (ГВВ), не ниже отметок 10 % обеспеченности. При ширине водной преграды до 100 м устанавливают не менее двух постоянных геодезических пунктов, свыше 100 м – не менее

трех. Их устанавливают за пределами зоны строительных работ и подъездных путей, а также зоны интенсивного обрушения и подмыва береговой линии.

1.1. Сооружение временного водомерного поста

Временный водомерный пост оборудуют на время выполнения подводно-технических работ с целью измерения характеристик гидрологического режима (уровня и температуры воды, скорости течения, толщины льда) в том случае, если невозможно использовать данные постоянных водомерных постов в связи с отдаленностью их от района строительства.

Временный водомерный пост устраивается вблизи объекта строящегося подводного сооружения вне зоны работ. При наличии гидротехнических сооружений и мостов в районе строительства пост может быть оборудован на элементах гидросооружения (сваях, вертикальных стенках, ряжах, устоях мостов и др.), что сокращает затраты труда на его устройство.

Наблюдения за уровнями воды на водомерных постах необходимо организовывать таким образом, чтобы материалы наблюдений по одному посту были сравнимы за весь период его действия и допускали возможность сопоставления результатов наблюдений по ряду постов, расположенных на одном водном объекте. Эти требования могут быть выполнены при условии, что на всех постах будут действовать единые подходы и будет использована единая система наблюдений за состоянием водного объекта.

Для получения более точных результатов измерений каждый водомерный пост должен состоять:

- 1) из водомерных устройств-приспособлений для измерения уровней воды (реек, свай и т. д.);
- 2) постоянных высотных знаков (реперов).

1. Инженерная подготовка подводных работ

Отметка нуля графика при устройстве поста выбирается с таким расчетом, чтобы плоскость нуля графика находилась не менее чем на 0,5 м ниже самого низкого (наблюдавшегося) уровня воды в реке (озере), который можно ожидать в створе поста. Этим достигается то, что при самых низких уровнях воды отсчеты их над нулем графика будут положительными. Для отметки нуля графика поста необходимо определять значение высоты в метрах по Балтийской системе высот (рис. 1.1).

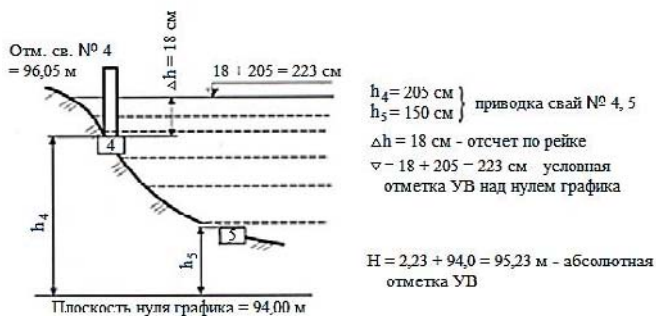
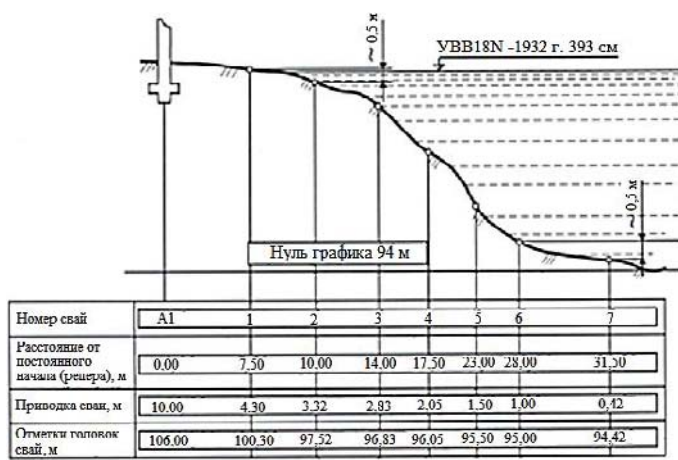


Рис. 1.1. Схема устройства временного водомерного поста и система отсчета

Уровни воды, наблюдаемые на водомерных постах, должны быть отнесены к условной плоскости нуля графика поста, высотная отметка которой остается постоянной для всего периода существования поста. Пост состоит из нескольких деревянных свай диаметром 20–22 см и длиной 3–5 м (рис. 1.2). Длина свай зависит от берегового рельефа и группы грунтов. В створе водомерного поста оборудуют постоянные и временные реперы, привязанные в высотном отношении к реперам государственной нивелирной сети. Реперы в районе подводного сооружения, привязанные к государственной нивелирной сети, устанавливаются для обоснования и соблюдения проектных высот при строительстве, обследовании технического состояния подводного перехода и при его капитальном ремонте.

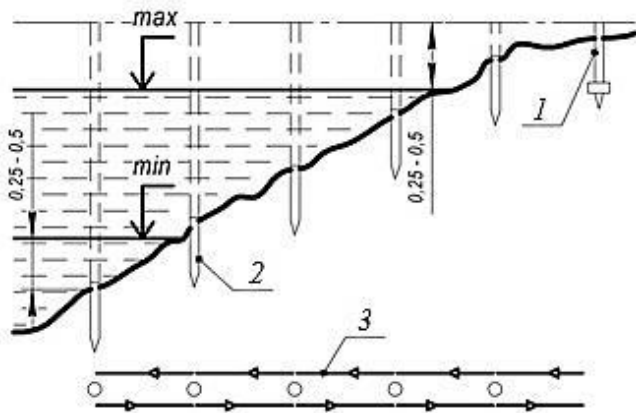


Рис. 1.2. Временный водомерный пост:
1 – репер; 2 – сваи; 3 – нивелировочный ход

Верх береговой сваи должен быть выше предполагаемого максимального уровня воды на 0,25–0,5 м, а верх нижней сваи – на столько же ниже минимального уровня. Превышение промежуточных свай друг над другом для удобства наблюдений

1. Инженерная подготовка подводных работ

должно быть 0,2–0,6 м. Расположение временного водомерного поста должно удовлетворять следующим условиям:

- наблюдения за водой при всех условиях как в летний, так и в зимний период;
- защита от волнения, заносимости, размыва от воздействия паводковых вод, расположение на не оползневом или вогнутом обрывистом участке берега.

1.2. Обозначение зоны подводного перехода на местности

Подводные переходы магистральных трубопроводов, по которым транспортировка продуктов производится под давлением до 10 МПа, являются наиболее опасными для судоходства ввиду взрывопожарных свойств транспортируемых нефти, нефтепродуктов и газов. Безопасность прохождения судов в зонах подводных переходов трубопроводов обеспечивается качественным строительством и поддержанием в полной исправности всех сооружений подводных переходов в соответствии с правилами технической эксплуатации магистральных нефтегазопроводов, регулярным проведением технических осмотров всех сооружений переходов и водных путей в охранных зонах, принятием судоводителями дополнительных мер предосторожности при прохождении зон подводных переходов, а также взаимодействием предприятий речного транспорта и объединений (линейных организаций) – владельцев трубопроводов. Охранная зона для подводных переходов магистральных трубопроводов устанавливается на расстоянии 100 м вниз и вверх по течению от осей крайних ниток. В соответствии с Правилами охраны магистральных трубопроводов в охранной зоне подводных переходов трубопроводов запрещается:

- проходить плавучими средствами (судами, плотами) со спущенными якорями, цепями-волокушами, лотами, использо-

вать другие металлические предметы, которые могут нанести механические повреждения подводной части трубопровода;

– сооружать причалы и отстойные пункты флота, выделять рыболовные участки, производить добычу нерудных строительных материалов, дноуглубительные работы и другие работы, связанные с устройством шурфов и извлечением грунта, без письменного согласования с управлением, эксплуатирующим трубопровод;

– разводить огонь и размещать какие-либо открытые и закрытые источники огня;

– перемещать и повреждать опознавательные и сигнальные знаки, контрольно-измерительные пункты и оборудование.

Для обозначения зоны подводного перехода, где запрещено отдавать якоря, опускать цепи, волокуши, лоты, служат запрещающие знаки «Якоря не бросать!» (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Запрещающий знак «Якоря не бросать!»

Целью установки *створных знаков* при строительстве подводного сооружения является точный перенос и закрепление на

1. Инженерная подготовка подводных работ

местности его проектных осей, а также выполнение детальных разбивок и соблюдение размеров сооружения.

Створные знаки и реперы устанавливают перед началом строительства подводного сооружения. Запрещающие знаки устанавливает владелец сооружения по согласованию с органами, регулирующими судоходство.

Места расположения створных знаков должны быть четко видны с акватории и противоположных берегов и не должны мешать работам.

Расстояния между створными знаками зависят от предельно допустимого сноса промерной лодки или катера со створа (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Контрольные показатели по установке створных знаков

Ширина реки, м	Расстояние между створными знаками, м, при предельно допустимом сносе лодки или катера, м			
	0,5	1,0	1,5	2,0
До 100	12,5	Не менее 6	Не менее 5	Не менее 5
101–200	12–25	7–15	5–10	5–10
201–500	25–60	15–35	10–25	10–20
501–1000	60–120	35–70	25–50	20–40

Согласно Правилам плавания судов по внутренним водным путям, запрещающий знак «Якоря не бросать!» устанавливают на обоих берегах судоходных рек на расстоянии 100 м выше и ниже по течению от створа подводного перехода на местах, хорошо видимых с подходящих судов. Если створные знаки устанавливают на одном берегу, то приведенные в табл. 1.1 расстояния удваивают.

Размер и форма створного знака (рис. 1.4) зависят от ширины реки или водохранилища. При ширине реки до 300 м створными знаками могут служить шесты с флагами, а при большей ширине – щиты из легких досок, закрепляемых на

столбах высотой до 5 м с подкосами. Створные знаки окрашивают в яркие, хорошо видимые цвета.

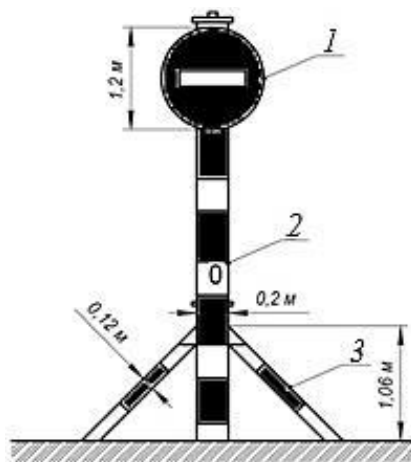


Рис. 1.4. Створный знак подводного перехода:

1 – щит; 2 – стойка; 3 – подкосы

Столб (стойку) створного знака заглубляют в грунт в зависимости от высоты знака: при длине надводной части стойки до 5 м заглубление должно составлять 1,5 м. Диаметры стойки и подкосов принимают равными соответственно 20 и 12 см.

В случае отсутствия постоянных сооружений, пригодных для устройства реперов, на время строительства гидротехнического сооружения устанавливают постоянные и временные (рабочие) реперы, привязанные к государственной нивелирной сети.

Реперы должны быть установлены за пределами зон строительных работ, подъездных путей и участков интенсивного обрушения и подмыва береговой линии. Желательно устанавливать реперы на фундаментах опор линий электропередачи и других капитальных сооружений. На участке подводного перехода устанавливают постоянные реперы (не менее двух на каждом

1. Инженерная подготовка подводных работ

берегу реки). Постоянный репер устанавливают в виде металлической трубы на бетонном основании (рис. 1.5).

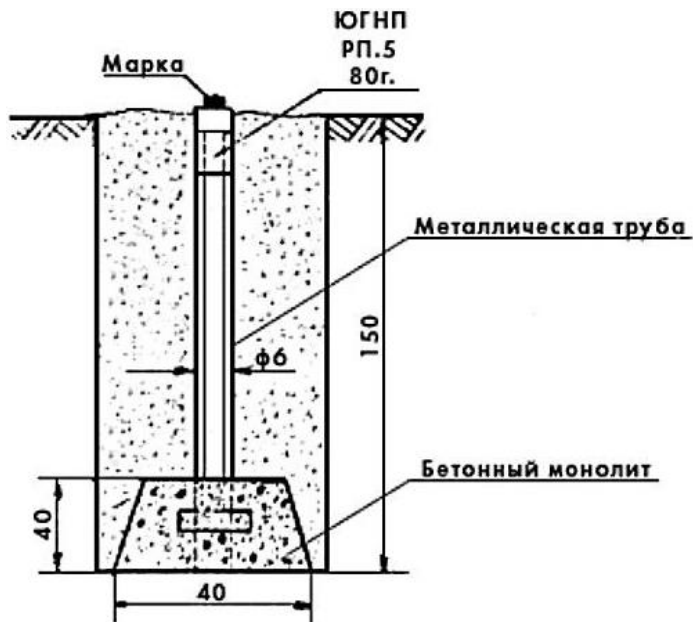


Рис. 1.5. Постоянный репер подводного перехода

Временные (рабочие) реперы могут быть изготовлены из бревен диаметром 18–20 см длиной 1 м или металлической трубки диаметром 4–5 см. Временным репером могут служить достаточно крепкий корень дерева, близстоящее устойчивое сооружение и др.

1.3. Выбор места строительной площадки

Выбор места строительной площадки для подводного нефтегазопровода определяется следующими соображениями: стро-

ительная площадка должна иметь спокойный рельеф и незатапливаемую территорию, достаточную для сварки секций-плетей подводного трубопровода (дюкера), протяженностью до 250 м, размещения необходимых подсобных и временных сооружений. На рис. 1.6 показана строительная площадка подводного перехода методом наклонно направленного бурения (ННБ).



Рис. 1.6. Схема размещения оборудования на строительной площадке при ННБ

На территории строительной площадки для нужд строительства прокладывают временные дороги с максимальным использованием для этого местных материалов. Для перегрузочных операций и перевозки людей через водные преграды сооружают временные причалы или паромные переправы.

Электроснабжение строительства осуществляют от имеющихся источников энергии. Если этих источников нет или под-

1. Инженерная подготовка подводных работ

ключение к ним нецелесообразно, применяют передвижные электростанции.

К временным сооружениям на строительной площадке относятся материальные склады, укрытия для техники, склады горючего и изоляционных материалов, механическая мастерская, бытовые помещения. В качестве временных сооружений целесообразно использовать палатки, фургоны, навесы, передвижные вагончики, брандвахты. Затраты на устройство временных зданий и сооружений должны быть минимальными. Этого достигают путем использования зданий, подлежащих сносу, существующих путей сообщения, инженерных сетей и энергосиловых линий.

Между сооружениями на строительной площадке должны быть оставлены проезды, удовлетворяющие требованиям пожарной безопасности и обеспечивающие свободный проезд транспорта к любому сооружению на площадке.

Площадки для складирования сгораемых материалов и склады для хранения легковоспламеняющихся материалов и жидкостей должны располагаться с противопожарными разрывами между ними в соответствии с действующими нормами (ГОСТ 12.1.004–91) и требованиями Правил пожарной безопасности при производстве строительного-монтажных работ.

Если строительство подводных сооружений ведется в черте населенного пункта, строительная площадка должна иметь защитные ограждения в соответствии с требованиями ГОСТ 23407–78.

Строительная площадка, участки работ, рабочие места, проезды и подходы к ним в темное время суток должны быть освещены в соответствии с Инструкцией по проектированию электрического освещения строительных площадок. Освещенность должна быть равномерной, без слепящего действия осветительных приборов на работающих. Проходы с уклоном более 20° должны быть оборудованы трапами или лестницами с ограждениями.

1.4. Методы строительства подводных переходов

1.4.1. Траншейный метод строительства подводных трубопроводов

Существует три основных метода укладки трубопроводов в подводные траншеи:

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

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 трубопровода, не создавая помех судоходству, что очень важно, т. к. 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.

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.

Метод погружения с поверхности воды последовательным наращиванием секций трубопровода применяют при переходах водных преград большой протяженности и используют специальное трубоукладочное судно.

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 ответственным делом при укладке с поверхности воды, т. к. при недостаточном 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). В качестве соединительного звена между дюкером (плетью трубопровода) и тяговым полиспастом монтируют специальный оголовок (рис. 1.7).



*Рис. 1.7. Тяговое средство для протягивания трубопроводов:
а – тяговая лебедка ЛП152; б – оголовок и обойма полиспастная*

Анкерные якоря (опоры) тяговой лебедки и основы их расчета. Опора (якорь) представляет собой заглубленные, горизонтально расположенные несущие элементы в виде бревен, обрезков стальных труб или бетонных плит прямоугольного сечения с выводом на поверхность каната или троса, изготовленного из профильной стали. Их выполняют двух видов: облегченные и усиленные.

Облегченные горизонтальные опоры (для нагрузок до 200 кН) укладывают непосредственно в котлован (рис. 1.8). При расчете облегченной опоры определяют ее устойчивость от вырывания при действии вертикальных сил, давление на грунт от горизонтальных сил, сечение элементов. Расчет выполняют в следующем порядке.

Проверяют устойчивость опоры при действии вертикальных сил:

$$G_{\Gamma} + T > k_y N_2,$$

где G_{Γ} – вес грунта, Н; T – сила трения опоры о стенку котлована, Н; k_y – коэффициент запаса устойчивости опоры от сдвига (принимают $k_y = 3$); N_2 – вертикальная составляющая усилия в тяге опоры, Н.

Вес грунта G_{Γ} , сила трения T и вертикальная составляющая усилия N_2 определяются соответственно по формулам (1.1), (1.2) и (1.3):

$$G_{\Gamma} = \frac{a+b}{2} H l \rho_{\Gamma} g, \quad (1.1)$$

где a, b – размеры котлована, м; H – глубина заложения анкерной опоры, м; l – длина анкерной опоры, м; ρ_{Γ} – плотность грунта, кг/м³ (в среднем $\rho_{\Gamma} = 1500$ кг/м³); g – ускорение свободного падения, м/с².

$$T = fN \cos \alpha, \quad (1.2)$$

где f – коэффициент трения анкерной опоры по грунту (принимают для дерева $f = 0,5$, для стали $f = 0,45$); N – усилие в тяге анкерной опоры с учетом коэффициентов перегрузки и динамичности, Н; α – угол наклона грузовой тяги анкерной опоры к горизонту, град.

$$N_2 = N \sin \alpha. \quad (1.3)$$

Определяют давление (Па) на грунт от действия горизонтальных сил

$$\sigma_{\Gamma} = N_1 / (d n \eta) \leq [\sigma_{\Gamma}],$$

где N_1 – горизонтальная составляющая усилия в тяге опоры, Н ($N_1 = N \cos \alpha$); d – диаметр опоры, м; n – число бревен или

труб, соприкасающихся со стенкой котлована; η – коэффициент уменьшения допускаемого давления, учитывающий неравномерность смятия (принимают $\eta = 0,25$); $[\sigma_r]$ – допускаемое давление (Па) на единицу площади грунта при расчетной глубине заложения анкерной опоры.

Для плотно слежавшегося гравия $[\sigma_r] = 490\text{--}785$ Па, далее соответственно для сухого песка 295–490, сухой глины 295–392, мокрого песка 98–295, мокрой глины 49–196, болотистого грунта, торфа 24,5–49 Па.

Анкерная опора может быть рассчитана на прочность для двух случаев (рис. 1.8): опора с одной тягой и с двумя тягами. Максимальный изгибающий момент (Н·м) для опоры с одной тягой $M = Pl^2 / 8$, с двумя тягами $M = Nc^2 / (2l)$, где $P = N / l$ – равномерно распределенная нагрузка на опору, Н/м; c – расстояние от конца опоры до точки крепления тяги, м.

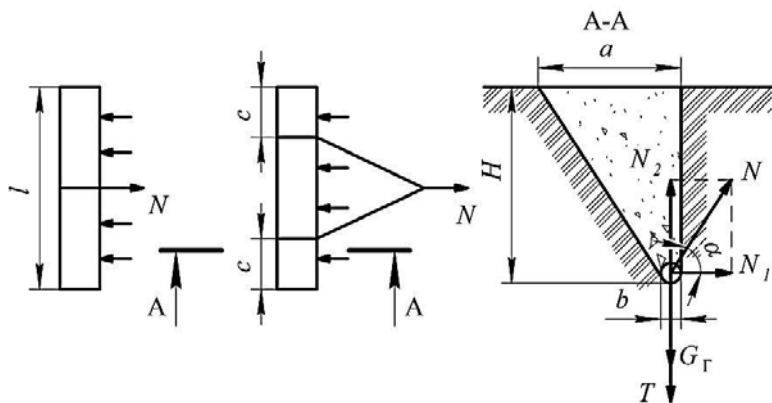


Рис. 1.8. Расчетные схемы облегченной горизонтальной анкерной опоры

Момент сопротивления (м^3) сечения опоры $W = M / (mR)$, где m – коэффициент условий работы, равный 0,85; R – расчетное сопротивление опоры, работающей на изгиб, кПа.

1. Инженерная подготовка подводных работ

Усиленные горизонтальные опоры (для нагрузок более 200 кН) укладывают в котлован с укреплением его вертикальной стенки щитами из бревен. Принцип расчета такой опоры аналогичен расчету облегченной опоры.

Свайные опоры. Опора представляет собой одну или несколько деревянных или металлических (из труб, швеллеров или двутавров) свай, вбитых в грунт и связанных между собой канатом (рис. 1.9) (табл. 1.2, 1.3).

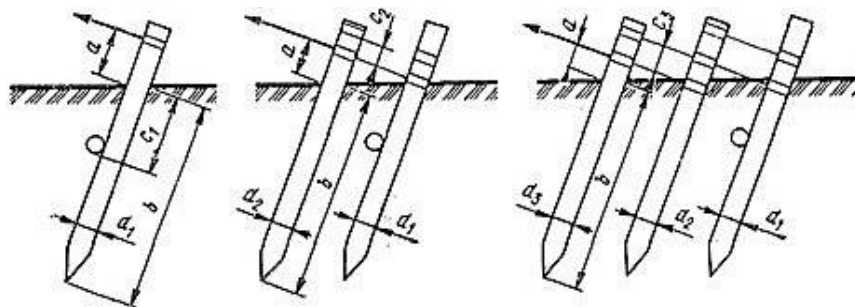


Рис. 1.9. Свайные опоры

Таблица 1.2

Размеры свайных якорей, мм

Нагрузка на якорь, кН	c_1	d_1	c_2	d_2	c_3	d_3
9,8	400	180	—	—	—	—
14,7	400	200	—	—	—	—
19,6	400	260	—	—	—	—
29,4	400	200	900	220	—	—
39,2	400	220	900	250	—	—
49,0	400	240	900	260	—	—
58,9	400	200	900	220	900	280
78,5	400	220	900	250	900	300
98,1	400	240	900	260	900	330

Примечание. Для всех нагрузок на якорь одинаковы размеры: $a = 300$ мм, $b = 1500$ мм.

**Характеристики стальных свайных якорей из труб
либо сваренных полками двух швеллеров или двутавров**

Профиль	Номер профиля	Длина сваи, м	Нагрузка на якорь, кН
Труба	219/8*	2,5	29,4
Швеллер	22	2,4	29,4
	27	2,65	49,0
Двутавр	18	2,5	29,4
	22	2,95	49,0

*Указаны диаметр и толщина стенки трубы, мм.

Винтовые опоры. На корпусе анкера (рис. 1.10) закреплена винтовая лопасть. В желоб ствола уложен бридель, соединяющий корпус анкера с муфтой. На ствол якоря надет ворот.

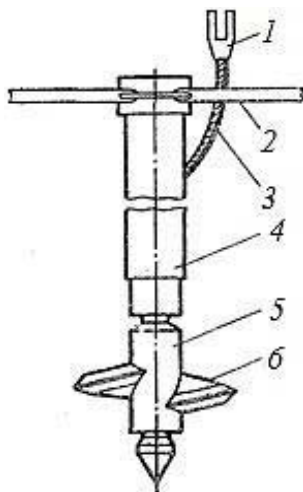


Рис. 1.10. Винтовая опора:
1 – муфта; 2 – ворот; 3 – бридель; 4 – ствол; 5 – корпус; 6 – винтовая лопасть

Ствол приводят в вертикальное положение и лопасть анкера погружают в предварительно выкопанный шурф глубиной 0,5 м. Вращением ворота по часовой стрелке анкер погружают в грунт на необходимую глубину. Максимальная расчетная держащая сила анкера 245 кН, масса 252 кг, наибольшая глубина погружения 3,5 м. Анкер можно применять в песчаных и глинистых грунтах.

Гравитационные опоры. Анкерные опоры гравитационного типа представляют собой железобетонные или ряжевые массивы различных размеров, число которых зависит от воспринимаемой нагрузки.

1. Инженерная подготовка подводных работ

При установке опор не требуется значительных земляных работ, их использование исключает безвозвратную потерю материала. Они выдерживают любые нагрузки и позволяют изменять направление приложенного усилия по вертикали и горизонтали до 90° . Такие опоры можно использовать как в наземном, так и в полузаглубленном вариантах.

Расчет анкерной опоры гравитационного типа состоит в определении ее веса, обеспечивающего устойчивость опоры от сдвига и опрокидывания (рис. 1.11).

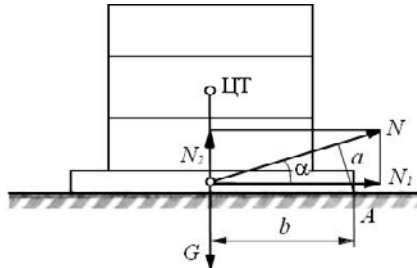


Рис. 1.11. Расчетная схема бетонной наземной анкерной опоры гравитационного типа

Суммарный вес железобетонных массивов, обеспечивающих устойчивость опоры от сдвига, $G = (N_1 / f + N_2)k_y$, где $k_y = 1,5$.

Для опор с металлическими рамами опытным путем получены коэффициенты трения для разных грунтов в случае приложения усилия к опоре под наиболее невыгодным углом $\alpha = 27^\circ 40'$: для песка сухого утрамбованного – 0,785–0,835; чернозема плотного сырого – 0,895–0,955; получернозема сырого – 0,990–0,995.

Если раму опоры, не имеющую шипов из швеллеров, устанавливают на твердом покрытии, то коэффициент трения скольжения выбирают из табл. 1.4. При установке бетонных массивов непосредственно на грунт $f = 0,5$.

Коэффициент трения скольжения

Материал соприкасающихся поверхностей	Состояние поверхности	f	
Сталь по:	стали	Сухая	0,15
		Смазанная	0,1
	чугуну	Сухая	0,18
		Смазанная	0,15
	дереву	Сухая	0,4
		Смазанная	0,11
бетону	Сухая	0,45	
	гравию	Сухая	0,45
Дерево по:	дереву	Сухая	0,5
		Смазанная	0,15
	бетону	Сухая	0,5
Полосья по плотному снегу:	стальные	–	0,02
		деревянные	–

Затем проверяют опоры на устойчивость от опрокидывания относительно ребра А (рис. 1.11):

$$Gb > k_y Na,$$

где b – плечо удерживающего момента от веса опоры, равное 0,5 длины рамы, м; k_y – коэффициент запаса устойчивости опоры от опрокидывания, $k_y = 1,4$; a – плечо опрокидывающего момента от усилия в тяге, м ($a = b \sin \alpha$).

Расчетный вес G опоры, обеспечивающий ее устойчивость от сдвига, создает удерживающий момент. Этот момент значи-

1. Инженерная подготовка подводных работ

тельно превышает опрокидывающий момент от усилия, действующего на опору при любых углах наклона грузовой тяги. Поэтому в практических расчетах можно ограничиться определением веса опоры для устойчивости от сдвига.

Полузаглубленные гравитационные опоры (рис. 1.12) состоят из железобетонных блоков размером, как правило, $900 \times 900 \times 400$ мм, часть из которых заглубляется в грунт. Тягу прикрепляют к заглубленным блокам.

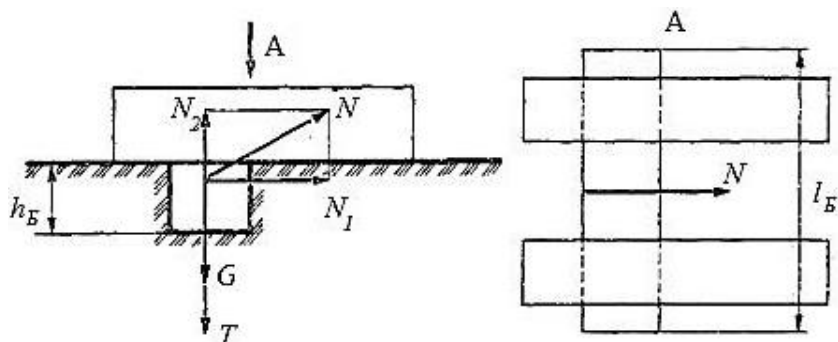


Рис. 1.12. Расчетная схема полузаглубленной анкерной опоры гравитационного типа

Полузаглубленные опоры рассчитывают следующим образом.

Проверяют опору на отрыв от грунта вертикальным усилием:

$$G + T \geq k_y N_2,$$

где G – вес опоры, которым задаются, считая, что она должна несколько превышать действующее на нее тяговое усилие, N ; T – сила трения заглубленного блока опоры о стенку котлована (при $f = 0,5$ сила трения $T = N_1 f$); $k_y = 1,4$.

Подсчитывают удельное давление грани заглубленного блока на стенку:

$$\sigma = N_1 / (l_B h_B \eta) \leq [\sigma_T]$$

где l_B, h_B – длина и высота заглубленного блока, м; η – коэффициент уменьшения допускаемого давления, учитывающий неравномерность смятия (принимают $\eta = 0,25$).

Опоры во льду (рис. 1.13). Прямое бревно диаметром 30–40 см, длиной около 4 м с закрепленным на нем канатом опущено через небольшую майну под лед и развернуто перпендикулярно к направлению тягового каната. При толщине льда 0,5–0,6 м такая опора способна выдерживать горизонтальную нагрузку до 400 кН.

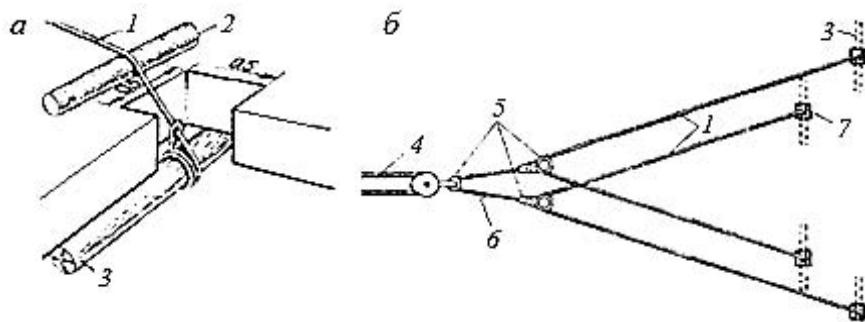


Рис. 1.13. Анкерные опоры во льду:

a – одинарная опора; *б* – анкерный куст с уравнительными блоками; 1 – анкерный канат; 2 – подкладка под канат; 3 – бревно; 4 – тяговый канат; 5 – уравнительные блоки; 6 – уравнительный канат; 7 – майны

При передаче больших тяговых усилий на опору рекомендуется в каждом отдельном случае проверять воспринимаемое ею усилие опытным путем. Следует также делать поверочный расчет на срез бревна канатом. Если прочность одной опоры недостаточна для того, чтобы воспринять необходимое тяговое усилие, устраивают несколько опор.

1.4.2. Бестраншейные способы строительства подводных трубопроводов

Бестраншейные способы строительства подводных трубопроводов в мировой практике начали применять в 1970-х гг. В настоящее время метод наклонно направленного бурения (ННБ) является одним из наиболее прогрессивных в строительстве подводных переходов. Диаметр трубопроводов, уложенных этим методом, увеличился до 1400 мм, а максимальная протяженность выполненного перехода достигла 1800 м.

Строительство подводных переходов трубопроводов методом ННБ в зависимости от характеристики водных преград, технических характеристик используемых буровых установок, технологии бурения, конструктивных параметров протаскиваемого трубопровода (длины криволинейного участка, диаметра и др.) осуществляется по различным технологическим схемам, принципиально отличающимся от траншейного метода строительства. Поэтому преимущества и недостатки бестраншейной технологии целесообразно рассмотреть в сравнении с траншейным методом. К основным преимуществам можно отнести:

1. Большую надежность построенного объекта. Трубопровод, уложенный в горизонтальную скважину, находится в массиве ненарушенного грунта на большой глубине – ниже прогнозируемых русловых деформаций (линии предельного размыва). При этом просадки, всплытия и другие изменения положения трубопровода исключаются.

2. Сокращение эксплуатационных затрат. Исключаются водолазные обследования, отпадает необходимость периодических работ по ликвидации размывов и ремонту берегоукреплений. Известно, что именно размывы снижают эксплуатационную надежность подводных переходов. Для приведения технического состояния подводных переходов в нормативное состояние ежегодно на засыпку размывов, подсадку, ремонт берегоукреплений требуются большие капитальные вложения.