

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ухтинский государственный технический университет»
(УГТУ)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО ПОЛОЖЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОНЕФТЕПРОВОДОВ НА ПРОЕКТНЫХ ОТМЕТКАХ

Методические указания



Ухта, УГТУ, 2014

УДК [388.48:622.32](470+571)(075.8)
ББК 65.304.12 [2РОС] я73-1
В 55

Вишневская, Н. С.

В 55 Обеспечение устойчивого положения магистральных газонефтепроводов на проектных отметках. [Текст] : метод. указания / Н. С. Вишневская, М. В. Тюфякова, Е. В. Карнович. – Ухта : УГТУ, 2014. – 59 с.

Методические указания к самостоятельной работе студентов (прикладной бакалавриат) направления «Нефтегазовое дело» и практическим занятиям магистров направления «Надёжность газонефтепроводов и газонефтехранилищ».

Методические указания рассматривают основные методы закрепления трубопроводов на проектных отметках в сложных условиях.

Работа выполнена в рамках реализации проекта по подготовке высококвалифицированных кадров для предприятий и организаций регионов (**Программа «Кадры для регионов»**).

**УДК [388.48:622.32](470+571)(075.8)
ББК 65.304.12 [2РОС] я73-1**

Содержание издания согласовано с техническим отделом ООО «СМН» (Начальник отдела – В. Т. Фёдоров).

Методические указания рассмотрены, одобрены и рекомендованы для издания выпускающей кафедрой ПЭМГ УГТУ (протокол №13 от 17 сентября 2014 г.).

Рецензенты: В. И. Кучерявый, профессор кафедры ПЭМГ УГТУ, к.т.н.; В. Т. Фёдоров, начальник технического отдела ООО «СМН», к.т.н.

Редактор: Е. В. Исупова.

Научно-методический редактор: В. Е. Кулешов, проректор по научной работе и инновационной деятельности УГТУ, доцент, к.т.н.

Корректор: А. Ю. Васина. Технический редактор: Л. П. Коровкина.

В методических указаниях учтены замечания рецензентов и редактора.

План 2014 г., позиция 396.

Подписано в печать 15.12.2014. Компьютерный набор.

Объём 59 с. Тираж 100 экз. Заказ №291.

© Ухтинский государственный технический университет, 2014
169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская, д. 13.
Типография УГТУ.
169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Октябрьская, д. 13.

Оглавление

Содержание.....	3
Глоссарий.....	4
Положение о БРС.....	9
Положение о БРС.....	10
Положение о БРС.....	11
Положение о БРС.....	12
Введение.....	13
1 Анализ методов балластировки закрепления трубопроводах на проектных отметках.....	14
1.1 Общие сведения о методах закрепления трубопроводов.....	14
1.2 Использование железобетонных и чугунных пригрузов.....	14
1.2.1 Технология установки и описание процессов.....	20
1.3 Балластировка трубопроводов минеральным грунтом.....	22
1.3.1 Использование устройств полимерноконтейнерного типа.....	23
1.3.2 Использование геотекстильных синтетических материалов.....	25
1.3.3 Технология установки ПКБУ.....	27
1.3.4 Технология балластировки с использованием НСМ.....	31
1.4 Анкерные закрепляющие устройства.....	33
1.4.1 Балластировка анкерными системами.....	40
2 Расчётная часть.....	43
2.1 Балластировка трубопровода отдельными грузами.....	43
2.2 Балластировка трубопроводов минеральным грунтом с применением нетканых синтетических материалов (НСМ).....	45
2.4 Расчёт балластировки трубопровода с применением анкерных устройств.....	47
2.5 Закрепление трубопровода с помощью вмораживаемых анкеров в вечномерзлых грунтах.....	49
Вопросы для самоконтроля.....	52
Тесты для самоконтроля.....	52
Темы докладов.....	54
Библиографический список.....	55
Приложение 1.....	56
Приложение 2.....	57

Глоссарий

Авария на магистральном трубопроводе – авария на трассе трубопровода, связанная с выбросом и выливом под давлением опасных химических или пожаровзрывоопасных веществ, приводящая к возникновению техногенной чрезвычайной ситуации.

Автомобильные транспортные средства – автоцистерны, автотопливозаправщики, автомаслозаправщики и автобитумовозы, автогудронаторы и т. д.

Агрегат – укрупнённый унифицированный блок технологического оборудования, органически объединённый в едином корпусе или соединяющий механически на едином основании несколько видов оборудования, выполняющих законченный процесс подготовки и транспорта нефти и газа.

Анкерный болт – крепёжная деталь, забетонированная в монолитную конструкцию или заложённая в кирпичную кладку и служащая для соединения строительных изделий и конструкций, а также крепления оборудования.

Арка – брус с криволинейной осью.

Анкерное устройство (АУ) – устройство для закрепления трубопровода на проектных отметках, представляющее собой пару анкерных стержней, соединённых хомутом между собой.

Балка – это брус, работающий преимущественно на изгиб.

Балластировка – дополнительные пригрузки, утяжелители, обеспечивающие устойчивость трубопроводов против всплытия.

Блочно-комплектное устройство – объект (или его функционально законченная часть), поставляемый к месту строительства (монтажа) в виде комплекта блочных устройств, а также (преимущественно в транспортных контейнерах) в виде сборных конструкций и заготовок инженерных коммуникаций.

Бокс – транспортабельное здание (или его часть) из лёгких строительных конструкций, вписывающихся в габариты погрузки.

Брус – элемент, в котором два размера во много раз меньше третьего.

Временные нагрузки – нагрузки, которые в отдельные периоды строительства и эксплуатации могут отсутствовать.

Гидроизоляционные строительные материалы – строительные материалы, предназначенные для защиты строительных конструкций от постоянного воздействия агрессивной влажной среды.

Гидроизоляционный раствор – строительный раствор, предназначенный для гидроизоляционных слоёв и штукатурок. В гидроизоляционных растворах применяют портландцемент, расширяющиеся цементы, а также сульфатостойкий портландцемент.

Гидроизоляционный слой – слой, защищающий строительные конструкции от разрушающего воздействия воды и других жидкостей.

Гидроизоляция – защита строительных конструкций от действия природной влаги, чаще – от действия воды под давлением.

Грунт – собирательное название горных пород (включая почвы), залегающих преимущественно в зоне выветривания земной коры и являющихся объ-

ектом инженерно-строительной деятельности человека. Различают: 1) скальные грунты – породы, залегающие в виде монолитного или трещиноватого массива; 2) рыхлые грунты – крупнообломочные, песчаные породы.

Дюкер – напорный участок трубопровода, прокладываемый под руслом реки (канала), по склонам или дну глубокой долины (оврага), под дорогой, расположенной в выемке.

Естественные основания – основания, состоящие из грунтов природного сложения.

Железобетон – комплексный строительный материал, в котором совместно работают бетон и стальная арматура.

Железобетонные конструкции – элементы зданий и сооружений, выполненные из железобетона. Различают монолитные, сборные и сборно-монолитные железобетонные конструкции.

Капитальное строительство – в РФ строительство объектов, для возведения которых требуется проведение земляных и строительно-монтажных работ по устройству заглублённых фундаментов; по возведению несущих и ограждающих конструкций; по подводке инженерных коммуникаций.

Кожух – защитный футляр, предохраняющий трубопроводы при переходах через искусственные препятствия.

Компенсатор – устройство для устранения влияния колебаний температуры, давления и других факторов на работу машин и оборудования.

Компенсаторы на трубопроводах – конструкции, обладающие повышенной податливостью, для восприятия перемещений трубопровода.

Коэффициент надёжности по материалу (γ_m) – коэффициент, учитывающий возможные отклонения сопротивления материала в неблагоприятную сторону от нормативных значений, $\gamma_m > 1$.

Коэффициент надёжности по нагрузкам (γ_f) – коэффициент, учитывающий возможные отклонения нагрузок в неблагоприятную (большую или меньшую) сторону от их нормативных значений. Как правило, $\gamma_f > 1$.

Коэффициент условий работы (γ_c) – учитывает особенности работы материалов, элементов и соединений конструкций, а также зданий и сооружений в целом, если эти особенности имеют систематический характер, но не отражаются в расчётах прямым путём (учёт температуры, влажности, агрессивности среды, приближённости расчётных схем и др.).

Линейная часть – основная составляющая магистрального трубопровода, непрерывная нить, сваренная из отдельных труб или секций и уложенная вдоль трассы тем или иным способом.

Листовые конструкции – конструкции, представляющие собой сплошные тонкостенные пространственные конструкции в виде различной формы оболочек, обычно совмещающих несущие и ограждающие функции. Их используют для хранения, перегрузки, транспортирования, переработки жидкостей, газов и сыпучих материалов.

Магистральный трубопровод – трубопроводная система с давлением более 12 кг/см² (1,2 МПа), позволяющая транспортировать углеводороды с промысла на нефтегазоперерабатывающие заводы и другим потребителям.

Модуль упругости (модуль Юнга) – прочностная характеристика материала, представляющая собой коэффициент пропорциональности между напряжением и величиной упругой деформации, численно равная тангенсу угла наклона диаграммы к оси абсцисс: $E = \operatorname{tg} \alpha$.

Нефтепровод – вид транспорта: 1) для сбора нефти от месторождений и последующей закачки в хранилища; 2) для транспортировки нефти к терминалам в портах погрузки; 3) для непосредственных поставок нефти для переработки. Резервные нефтепроводы сооружаются по стратегическим соображениям, для обеспечения гибкости в погрузке танкеров и для снижения длины маршрута транспортировки. Нефтепроводы бывают стационарные, магистральные и сборно-разборные (полевые магистральные).

Нормативная нагрузка – нагрузка, рассчитываемая по проектным размерам конструкций или принимаемая в соответствии с нормативными документами.

Нормативное сопротивление материала – представляет собой основной параметр сопротивления материалов внешним воздействиям и устанавливается нормативными документами.

Нетканно-синтетический материал (НСМ) – устройство закрепления трубопровода на проектных отметках, представляющее собой синтетическое полотно.

Объёмные нагрузки – нагрузки, прикладываемые к каждой частице конструкции (тела), к ним относятся силы притяжения (гравитации) и силы инерции.

Объект магистральных нефтепроводов – производственный комплекс (часть магистрального нефтепровода), включающий трубопроводы, здания, основное и вспомогательное оборудование, установки и другие устройства, обеспечивающие его безопасную и надёжную эксплуатацию.

Однородные основания – это основания, состоящие из одного слоя грунта (пласта).

Основание – это часть массива грунтов, непосредственно воспринимающая нагрузки от фундамента.

Полимерно-контейнерное балластирующее устройство (ПКБУ) – устройство для закрепления трубопровода на проектных отметках, представляющее собой контейнер из полимерного материала, в который засыпают грунт при монтаже.

Плита – элемент, в котором один размер во много раз меньше двух других. Плита является частным случаем более общего понятия – оболочки, которая, в отличие от плиты, имеет криволинейное очертание.

Поверхностные нагрузки – нагрузки, возникающие в месте опирания (соединения) различных конструкций.

Подстилающие пласты грунта – пласты, располагающиеся ниже несущего.

Постоянные нагрузки – нагрузки, которые при строительстве и эксплуатации сооружения действуют постоянно.

Проект организации строительства (ПОС) – составная часть технико-экономического обоснования (проекта), разрабатываемого проектной организацией, имеющей соответствующие лицензии, и утверждаемого в установленном порядке.

Проект производства работ (ППР) – документ, содержащий технические решения и основные организационные мероприятия по обеспечению безопасности производства работ и санитарно-гигиеническому обслуживанию работающих.

Прочность – неразрушаемость конструкции в течение всего периода её эксплуатации.

Расчётная схема – это схема, полученная на основе конструктивной схемы с учётом принятых упрощений.

Расчётное сопротивление материала – определяется путём деления величины нормативного сопротивления на коэффициент надёжности по материалу.

Резервуары – это сосуды, предназначенные для приёма, хранения, технологической обработки и отпуска нефти, нефтепродуктов, сжиженных газов, воды, жидкого аммиака, технического спирта и других жидкостей.

Сооружение – единичный результат строительной деятельности, предназначенный для осуществления определённых потребительских функций. Различают: 1) гражданские сооружения: жилые, спортивные, рекреационные и т. п.; 2) транспортные сооружения: дороги, ЛЭП, трубопроводы; 3) гидротехнические и мелиоративные сооружения; 4) ёмкостные сооружения: резервуары, бункеры, силосы.

Сортамент – перечень прокатных профилей с указанием их формы, геометрических характеристик, массы единицы длины и других данных.

Строительная конструкция – часть здания или другого строительного сооружения, выполняющая определённые несущие, ограждающие и/или эстетические функции.

Строительное изделие – изделие, предназначенное для применения в качестве элемента строительных конструкций зданий и сооружений.

Строительные работы – производственная деятельность, направленная на возведение, ремонт и/или реконструкцию строительной продукции.

Строительный материал – материал (в том числе штучный), предназначенный для создания строительных конструкций зданий и других сооружений, а также изготовления строительных изделий.

Строительство – отрасль материального производства, в которой создаются основные фонды производственного и непроизводственного назначения: готовые к эксплуатации здания, сооружения, их комплексы.

Технологический трубопровод – трубопровод промышленного предприятия, по которому транспортируются: 1) сырьё, полуфабрикаты и готовые продукты; 2) пар, вода, топливо, реагенты и другие материалы, обеспечивающие выполнение технологического процесса и эксплуатацию оборудования; 3) отработанные реагенты и газы; 4) промежуточные продукты, полученные или использованные в технологическом процессе; 5) отходы производства.

Транспортировка газа – в РФ перемещение газа по местной газораспределительной сети.

Траншея – временное земляное сооружение, длина которой многократно превышает ширину.

Трубопровод – устройство или сооружение из плотно соединённых труб, предназначенное для транспортировки жидких, газообразных или сыпучих веществ. В зависимости от транспортируемой среды для трубопроводов используются термины: водопроводы, газопроводы, паропроводы, нефтепроводы, воздухопроводы, маслопроводы, молокопровод и т. д.

Трубопровод-лупинг – трубопровод, уложенный на отдельных участках газопровода, проложенный параллельно ему для увеличения производительности.

Трубопроводная арматура – устройство, устанавливаемое на трубопроводах, агрегатах, сосудах и предназначенное для управления (отключения, распределения, сброса, смешивания, фазоразделения) потоками рабочих сред (жидкой, газообразной, газожидкостной, порошкообразной, суспензии и т. п.) путём изменения площади проходного сечения. Трубопроводная арматура характеризуется двумя главными параметрами: условным проходом (номинальным размером) и условным (номинальным) давлением.

Трубопроводный транспорт – нефтепровод, продуктопровод, газопровод, по которому производится перекачка от одного пункта до другого.

Трубы – полые цилиндрические или профильные изделия, длина которых больше сечения. Основными характеристиками труб являются: условный проход, наружный диаметр, толщина стенки и масса одного погонного метра трубы. В жилых помещениях трубы применяются для устройства водопровода, газопровода, канализации и отопления.

Устойчивость – это сохранение формы конструкции.

Устройство – в широком смысле механический, электрический или электронный аппарат, прибор, механизм. Устройство характеризуется свойствами масштабируемости и модульности.

Фундамент – нижняя опорная часть сооружения, передающая нагрузки на грунт. Обычно часть фундамента скрыта под землёй.

Футеровка – весьма недолговременное защитное покрытие.

Положение о БРС

по дисциплине «Сооружение и ремонт магистральных трубопроводов»
для направления подготовки 131000.62 Нефтегазовое дело (НГД)

№	Наименование	Содержание				
1	Институт, кафедра.	ИГНиТТ, кафедра Проектирования и эксплуатации магистральных газонефтепроводов.				
2	Наименование учебной дисциплины, вид итогового контроля, общее распределение баллов	Сооружение и ремонт магистральных трубопроводов, зачёт. Рейтинговая оценка студента по дисциплине складывается из оценки работы в семестре и итогового теста (максимально 60 баллов).				
3	Ф.И.О. преподавателя	Вишневская Надежда Семёновна				
4	Специальность, курс, учебный семестр.	131000.62 Нефтегазовое дело (НГД), 3 курс – весенний семестр				
5	Распределение баллов за семестр по видам учебной работы (доводятся до сведения студентов на первом учебном занятии), сроки сдачи результатов учебной работы (при необходимости).	Бонусные баллы		РГР	СРС	Итоговый контроль (тест)
		Посещение занятий (при 100% посещении модуля)				
		5 баллов за каждый модуль.		15	15	30
		Итого 15 баллов.				
Плановое выполнение РГР – 10-я неделя. Плановое выполнение СРС – в течение семестра.						
6	Критерии допуска к итоговому контролю, возможности получения автоматического зачёта по дисциплине, формы и виды учебной работы для неуспевающих (восстановившихся на курсе обучения) студентов для «добора» баллов в конце учебного семестра.	<p>Набранные студентом баллы (от 31 до 60) фиксируются в качестве итоговых баллов по дисциплине.</p> <p>Завершение дисциплины без итогового контроля (автоматический зачёт), возможно в том случае, если студент выполнил своевременно РГР (15 баллов), СРС (10 баллов) и набрал за семестр более 45 баллов.</p> <p>В случае несвоевременного выполнения РГР с учётом понижающих коэффициентов можно набрать, за РГР: 14, 12, 10 и 8 баллов за каждую просроченную неделю.</p> <p>Подготовка СРС:</p> <p>1) доклад (возможно использование презентации) и его защита по одной из тем, выделенных на самостоятельное изучение или доклад на конференции по тематике, соответствующей данной дисциплине.</p> <p>2) тестирования по темам, выделенным на самостоятельное изучение.</p>				
7	Критерии пересчёта баллов в оценку.	30 и менее баллов – «не зачтено», 31-60 баллов – «зачтено».				

Положение о БРС

по дисциплине «Сооружение и ремонт магистральных трубопроводов»
для направления подготовки 131000.62 Нефтегазовое дело (НГД)

№	Наименование	Содержание			
1	Институт, кафедра.	ИГНиТТ, кафедра Проектирования и эксплуатации магистральных газонефтепроводов			
2	Наименование учебной дисциплины, вид итогового контроля, общее распределение баллов.	Сооружение и ремонт объектов транспорта углеводородов, зачёт. Рейтинговая оценка студента по дисциплине складывается из оценки работы в семестре и итогового теста (максимально 60 баллов) .			
3	Ф.И.О. преподавателя	Вишневская Надежда Семёновна, Яворская Елена Евгеньевна.			
4	Специальность, курс, учебный семестр.	131000.62 Нефтегазовое дело (НГД), 4 курс – осенний семестр.			
5	Распределение баллов за семестр по видам учебной работы (доводятся до сведения студентов на первом учебном занятии), сроки сдачи результатов учебной работы (при необходимости).	Бонусные баллы	Контрольная работа	СРС	Итоговый контроль (тест)
		Посещение занятий (при 100% посещении модуля)			
		5 баллов за каждый модуль.	15	15	30
		Итого 15 баллов.	Плановое выполнение Контрольной работы – 16-я неделя. Плановое выполнение СРС – в течение семестра.		
6	Критерии допуска к итоговому контролю, возможности получения автоматического зачёта по дисциплине, формы и виды учебной работы для неуспевающих (восстановившихся на курсе обучения) студентов для «добора» баллов в конце учебного семестра.	<p>Набранные студентом баллы (от 31 до 60) фиксируются в качестве итоговых баллов по дисциплине.</p> <p>Завершение дисциплины без итогового контроля (автоматический зачёт), возможно в том случае, если студент выполнил своевременно Контрольную работу (15 баллов), СРС (15 баллов) и набрал за семестр не менее 30 баллов.</p> <p>В случае несвоевременного выполнения Контрольной работы с учётом понижающих коэффициентов можно набрать, за Контрольную работу: 14, 12, 10 и 8 баллов за каждую просроченную неделю.</p> <p>Подготовка СРС:</p> <p>1) доклад (возможно использование презентации) и его защита по одной из тем, выделенных на самостоятельное изучение или доклад на конференции по тематике, соответствующей данной дисциплине;</p> <p>2) тестирования по темам, выделенным на самостоятельное изучение.</p>			
7	Критерии пересчёта баллов в оценку.	30 и менее баллов – «не зачтено», 31-60 баллов – «зачтено».			

Положение о БРС

по дисциплине «Сооружение и ремонт магистральных трубопроводов»
для направления подготовки 131000.62 Нефтегазовое дело (НГД)

№	Наименование	Содержание			
1	Институт, кафедра.	ИГНиТТ, кафедра Проектирования и эксплуатации магистральных газонефтепроводов.			
2	Наименование учебной дисциплины, вид итогового контроля, общее распределение баллов.	Сооружение и ремонт НС и КС, зачёт. Рейтинговая оценка студента по дисциплине складывается из оценки работы в семестре (максимально 60 баллов без учёта бонусных баллов) и защиты КР (максимально 40 баллов).			
3	Ф.И.О. преподавателя.	Вишневская Надежда Семёновна, Яворская Елена Евгеньевна.			
4	Специальность, курс, учебный семестр.	131000.62 Нефтегазовое дело (НГД), 4 курс – весенний семестр.			
5	Распределение баллов за семестр по видам учебной работы (доводятся до сведения студентов на первом учебном занятии), сроки сдачи результатов учебной работы (при необходимости).	Подготовка 1 части ПЗ	Подготовка 2 части ПЗ	Подготовка графического материала	Защита КР
		20 баллов	20 баллов	20 баллов	40 баллов
		Плановое выполнение 1-й части ПЗ – 6-я неделя , 2 части ПЗ – 13-я неделя , графического материала – 16-я неделя . Защита КР – 17-я неделя .			
6	Критерии допуска к защите КР, применения понижающего или повышающего коэффициента.	Работа в течение первого и второго модуля оценивается максимум 20 баллов (7 и 14 неделя), в случае сдачи на одну неделю позже применяется понижающий коэффициент 0,9, на две недели 0,8 и т. д. до 0,6, то есть 12 баллов минимум за модуль. Работа в течение третьего модуля оценивается также максимум 20 баллов (18 неделя), в случае сдачи на последней (19 неделе) применяется понижающий коэффициент 0,6, то есть 12 баллов минимум за модуль. Также возможно применение повышающих коэффициентов 1,1; 1,2 в случае сдачи на одну неделю раньше, на две недели раньше соответственно. Итого за 3 модуля максимум с учётом повышающего коэффициента $20 \cdot 3 \cdot 1,2 = 72$ балла и минимум $20 \cdot 3 \cdot 0,6 = 36$ баллов.			
7	Критерии оценки защиты КР.	1) Оформление КР (нормоконтроль) – 5 баллов; 2) Подача материала на защите КР; 2.1) Защита в виде электронной презентации (25 баллов), доклад (грамотное техническое изложение) (10 баллов), содержание презентации (10 баллов), оформление презентации (5 баллов); 2.2) Защита без электронной презентации (15 баллов), доклад (грамотное техническое изложение) (10 баллов), содержание доклада (5 баллов); 3) Общий уровень владения материалом (ответы на дополнительные вопросы) (3-5 вопросов 6-10 баллов). Итого на защите максимум 40 баллов.			
8	Критерии пересчёта баллов в оценку по итогам работы в семестре и защите КР.	60 и менее баллов – «неудовлетворительно»; 61-73 баллов – «удовлетворительно»; 74-87 баллов – «хорошо»; 88-100 баллов «отлично».			

Положение о БРС

по дисциплине «Сооружение и ремонт магистральных трубопроводов»
для направления подготовки 131000.62 Нефтегазовое дело (НГД)

№	Наименование	Содержание				
1	Институт, кафедра.	ИГНиТТ, кафедра Проектирования и эксплуатации магистральных газонефтепроводов.				
2	Наименование учебной дисциплины, вид итогового контроля, общее распределение баллов.	Сооружение и ремонт НС и КС, зачёт. Рейтинговая оценка студента по дисциплине складывается из оценки работы в семестре и итогового теста (максимально 60 баллов).				
3	Ф.И.О. преподавателя	Вишневская Надежда Семёновна, Яворская Елена Евгеньевна				
4	Специальность, курс, учебный семестр.	131000.62 Нефтегазовое дело (НГД), 4 курс – весенний семестр				
5	Распределение баллов за семестр по видам учебной работы (доводятся до сведения студентов на первом учебном занятии), сроки сдачи результатов учебной работы (при необходимости)	Бонусные баллы		Практическое занятие	СРС	Итоговый контроль (тест)
		Посещение занятий (при 100% посещении модуля)				
		5 баллов за каждый модуль.		15	15	30
		Итого 15 баллов.				
Плановое выполнение Курсовой работы – 17-я неделя. Плановое выполнение СРС – в течение семестра.						
6	Критерии допуска к итоговому контролю, возможности получения автоматического зачёта по дисциплине, формы и виды учебной работы для неуспевающих (восстановившихся на курсе обучения) студентов для «добора» баллов в конце учебного семестра.	<p>Набранные студентом баллы (от 31 до 60) фиксируются в качестве итоговых баллов по дисциплине.</p> <p>Завершение дисциплины без итогового контроля (автоматический зачёт), возможно в том случае, если студент выполнил своевременно Курсовую работу, СРС (15 баллов) и набрал за семестр не менее 30 баллов.</p> <p>Подготовка СРС:</p> <p>1) доклад (возможно использование презентации) и его защита по одной из тем, выделенных на самостоятельное изучение или доклад на конференции по тематике, соответствующей данной дисциплине;</p> <p>2) тестирования по темам, выделенным на самостоятельное изучение.</p>				
7	Критерии пересчёта баллов в оценку.	30 и менее баллов – «не зачтено», 31-60 баллов – «зачтено».				

Введение

Российская инфраструктура транспорта нефти и газа обладает собственной спецификой, которая характеризуется большой обводнённостью и заболоченностью территорий, большими диаметрами трубопроводных магистралей, сжатыми сроками их сооружения, недостаточной сетью транспортных коммуникаций в районах прохождения трасс трубопроводов. В настоящее время особенно актуальна проблема балластировки трубопроводов, прокладываемых в обводнённых, неустойчивых грунтах.

Одним из условий надёжной работы трубопроводных систем является обеспечение устойчивого положения трубы на проектных отметках, которое достигается методом балластировки и закрепления.

В северных районах страны магистральные трубопроводы на балластируемых участках значительной протяжённости находятся выше проектных отметок из-за того, что часто оголяются или всплывают со сбросом утяжелителей. Основная причина этого – негативное влияние продольных и поперечных перемещений трубопроводов на работу утяжелителей. В течение ряда лет трубопровод всплывает на протяжении всего обводнённого участка. Потеря устойчивости трубопровода, приводит к резкому повышению напряжений в трубопроводе, к нарушению прочности труб и повреждениям изоляционного покрытия, что требует значительных затрат на проведение ремонтно-восстановительных работ и погружение трубопровода в проектное положение.

В настоящее время у проектировщиков доминирует консервативный подход при выборе методов прокладки и средств закрепления газопроводов, ориентированный на замену труб, вырезаемых из участков, находящихся в непроектном положении. Последующее закрепление этих участков в траншее выполняется, как правило, материалоемкими и жёсткими балластирующими конструкциями, чаще всего железобетонными утяжелителями, ненадёжными при эксплуатации в обводнённых слабонесущих грунтах с периодическим оттаиванием – промерзанием.

Следовательно, разработка методов повышения устойчивости трубопроводов, включающая оценку работоспособности средств закрепления трубопроводов в сложных условиях и рекомендации по обеспечению их устойчивости, является актуальной как для строящихся, так и для действующих систем магистральных газопроводов и выполняется в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и техники ОАО «Газпром».

В настоящее время основными задачами этого направления являются дальнейшее повышение надёжности работы средств балластировки и закрепления трубопроводов, снижение их материалоемкости и транспортных расходов, а также дальнейшее повышение темпов работ.

1 Анализ методов балластировки закрепления трубопроводах на проектных отметках

1.1 Общие сведения о методах закрепления трубопроводов

На сегодняшний день очень актуальны проблемы балластировки трубопроводов, прокладываемых в водонасыщенных грунтах и подводных трубопроводах, такие как: предотвращение всплытия трубопровода; повышение срока службы; повышение экологической безопасности; обеспечение подогрева трубы; повышение антикоррозионной стойкости.

Для обеспечения устойчивости положения газопровода против всплытия на обводнённых участках и в местах пересечения водотоков, а также во избежание вспучивания трубы предусматривается его балластировка.

Для этой цели используются конструкции, создающие давление на трубопровод (пригрузку), а также конструкции, использующие пассивное давление (отпор) грунта в основании траншеи.

К первому типу конструкций относятся железобетонные утяжелители различных типов, грунтовая засыпка, устройства, выполненные из полотнищ нетканых синтетических материалов и полимерконтейнеры.

Ко второму типу относятся анкерные устройства различных типов, обеспечивающие закрепление газопровода как в талых, так и в вечномёрзлых грунтах.

Следует использовать средства и методы балластировки, обеспечивающие надёжность закрепления газопроводов на проектных отметках, а также снижение стоимости производства строительно-монтажных работ, сокращение материалоемкости объекта и трудовых затрат.

Имеется три группы методов закрепления трубопроводов на проектных отметках на обводняемых участках трассы:

- 1) использование утяжеляющих железобетонных и чугунных пригрузов;
- 2) использование анкерных устройств;
- 3) использование грунта засыпки траншеею или в грунт обратной засыпки, бокового притока поверхностных и грунтовых вод из-за перераспределения стоков, вызванного отрывкой траншеи, оттаивания грунта вокруг трубопровода при транспортировке.

Выбор того или иного метода закрепления зависит от категории местности, характера и типа грунтов, уровня грунтовых вод, рельефа местности, схем прокладки, наличия углов поворотов, кривых искусственного гнутья, методов и сезонов производства строительно-монтажных работ, условий эксплуатации, технико-экономической целесообразности их применения.

1.2 Использование железобетонных и чугунных пригрузов

Самым распространённым методом балластировки трубопроводов, прокладываемых в обводнённой и болотистой местности, является применение железобетонных утяжелителей (ЖБУ).

Конструктивное исполнение ЖБУ включает пять разновидностей: П-образные, кольцевые, поясные, сборно-блочные и заливаемые твердеющие растворы, в том числе системы типа «труба в трубе» с межтрубным цементно-песчаным заполнителем.

Наиболее распространены утяжеляющие ж/б пригрузы различных типов и размеров: тип УБО, УБК-М. Эти грузы следует применять для балластировки трубопроводов на переходах через болота различных типов и малые водотоки, на выпуклых и вогнутых кривых и прямолинейных участках, прилегающих к ним, на углах поворота в горизонтальной плоскости, на участках выхода трубопровода на поверхность, имеющего положительную температуру. Сюда же относятся и пойменные участки трубопроводов, прилегающие к водным преградам и подверженные паводковым затоплениям. Таким образом, опасность всплытия трубопроводов достаточно реальна.

Самый распространённый вид пригрузов – седловидные. Главным недостатком этого груза является то, что, центр тяжести конструкции расположен выше оси трубопровода, а это приводит к тому, что нередко положение равновесия нарушается и пригруз опрокидывается. Кроме того, возможна поломка пригруза в вершине седла, вследствие малого сопротивления бетона изгибу.

Указанные недостатки частично устранены в конструкциях шарнирного пригруза и пригруза типа СУГ, однако устойчивость их недостаточна.

Привлекательна своей устойчивостью конструкция пригруза УБО, т. к. центр тяжести конструкции размещается ниже оси трубопровода.

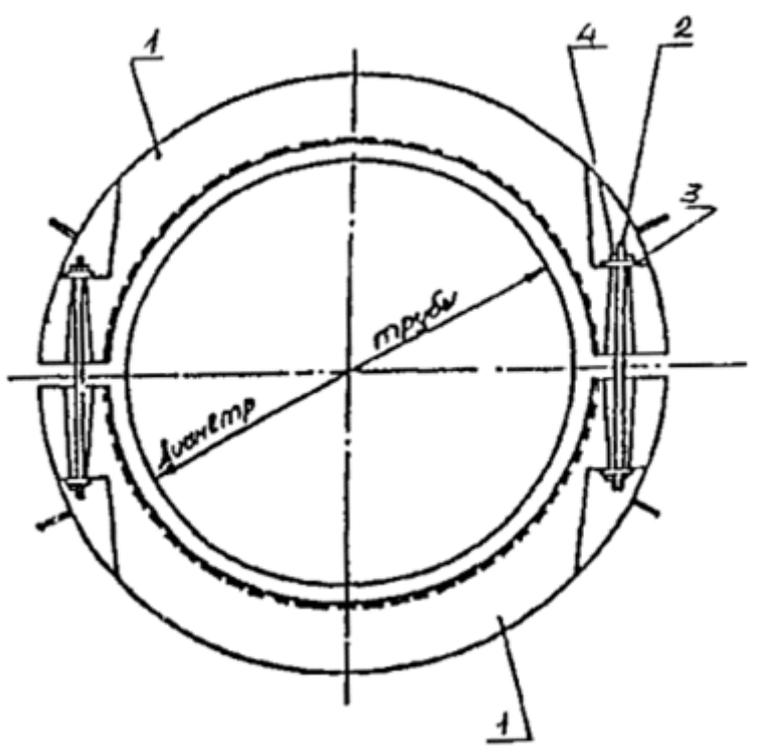
Однако использование железобетонных пригрузов связано с большими капиталовложениями, т. к. расход железобетона очень велик.

В условиях обводнённой и заболоченной местности балластировка трубопроводов осуществляется одиночными и групповыми железобетонными пригрузами. Опасность всплытия трубопроводов имеет место на обводняемых участках их трассы. К обводняемым относятся участки трассы трубопровода, на которых происходит постоянное или временное превышение уровня грунтовых вод над уровнем дна траншеи и связанное с этим воздействие на трубопровод выталкивающей силы воды. Обводнение участков в процессе строительства и эксплуатации может происходить за счёт притока талых и дождевых вод через боковые стенки и дно в открытую траншею или в грунт обратной засыпки, бокового притока поверхностных и грунтовых вод из-за перераспределения стоков, вызванных отрывкой траншеи, оттаивания грунта вокруг трубопровода при транспортировке.

Недостатки применения ЖБУ состоят в их высокой стоимости и недостаточной надёжности для пучинистых грунтов вечной мерзлоты. В системе магистральных газопроводов на участке Ямбург – Ныда выявлены сотни всплывших участков газопроводов, забалластированных железобетонными утяжелителями типа УБК, УБО. Общее растепление вечной мерзлоты в первые годы работы газопровода привело к массовым всплытиям его участков. Жёсткие связи в системе «трубопровод – закрепляющая конструкция – грунтовое основание» в период пучения промерзающего грунта не выдерживают усилий, возникающих при подъёме трубопровода и разрываются в силу того, что не способны компенсировать вертикальные перемещения трубопровода и перераспределить их

между отдельными закрепляющими устройствами. Кроме того, взаимодействие этих устройств с трубопроводом создаёт значительные локальные нагрузки, повреждающие изоляционное покрытие и вызывающие повышение напряжений изгиба в стенке труб.

Для балластировки трубопроводов, сооружаемых в сложных условиях, используются утяжелители, охватывающие по боковым образующим (типа УБО), опирающиеся на него, седловидные (типа УБК) и кольцевые (типа УТК) (рис. 1).



1 – утяжелитель 2-УТК; 2 – шпилька МС; 3 – шайба МС; 4 – гайка М20.

Рисунок 1 – Железобетонный утяжелитель типа 2-УТК

Железобетонные утяжелители типа УБО применяются для балластировки трубопроводов круглогодично – на переходах через болота различных типов, на обводненных участках, в поймах рек и на вечномёрзлых грунтах, за исключением участков трубопроводов, получающих в процессе эксплуатации продольные перемещения более 40 мм, а при использовании мягких силовых поясов – более 50 мм. Утяжелитель типа УБО (рис. 2) состоит из двух железобетонных блоков и двух металлических, защищённых изоляционным противокоррозионным покрытием, или мягких, изготовленных из прочного долговечного синтетического материала, соединительных поясов.

Для создания замкнутого контура при групповом размещении утяжелителей на трубопроводе следует использовать утяжелители модернизированные (типа УБО-М), в которых соединительные пояса устанавливаются в глухие пазы, размещённые на бетонных блоках, или утяжелители УБО-ПМ, представляющие собой разновидность утяжелителя УБО-М, в котором изъята часть бетона, превращающая бетонный блок в ёмкость для грунта.

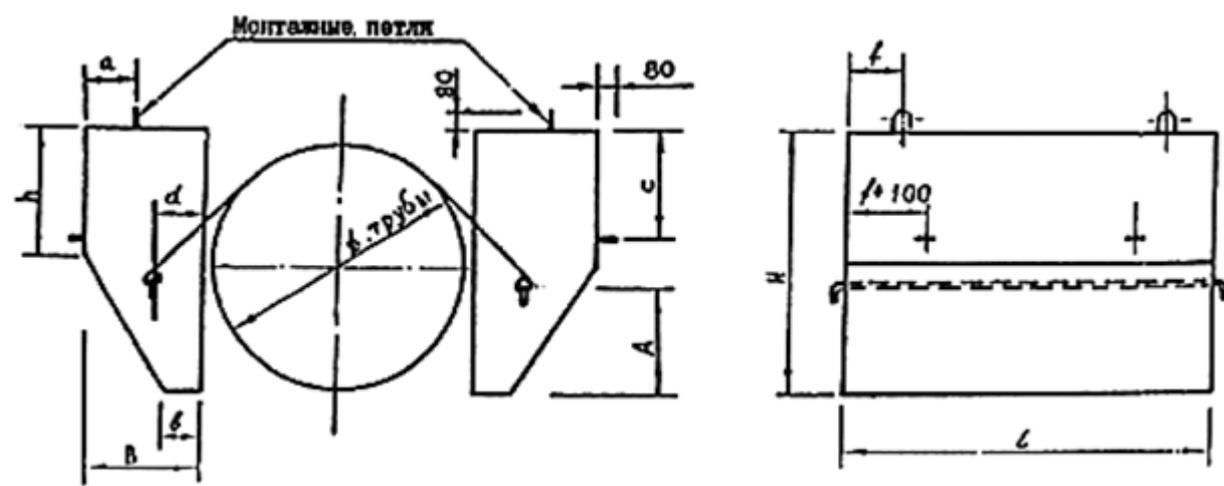


Рисунок 2 – Железобетонный утяжелитель охватывающего типа УБО

Железобетонные утяжелители типа УБО (охватывающего типа) следует применять для балластировки трубопроводов на всех категориях местности, а также углах поворота и участках выхода трубопровода на дневную поверхность.

К числу утяжелителей охватывающего типа следует отнести железобетонный утяжелитель типа УБГ представляющий собой корытообразную ёмкость, заполняемую грунтом засыпки и состоящий из трёх, шарнирно соединённых между собой прямоугольных плит, боковые из которых имеют сквозные отверстия или анкерующие элементы, через которые проходят или к которым крепятся два соединительных пояса.

Железобетонные утяжелители типа УБО и УБО-М (охватывающего типа) следует применять для балластировки трубопроводов на всех категориях местности, а также углах поворота и участках выхода трубопровода на дневную поверхность.

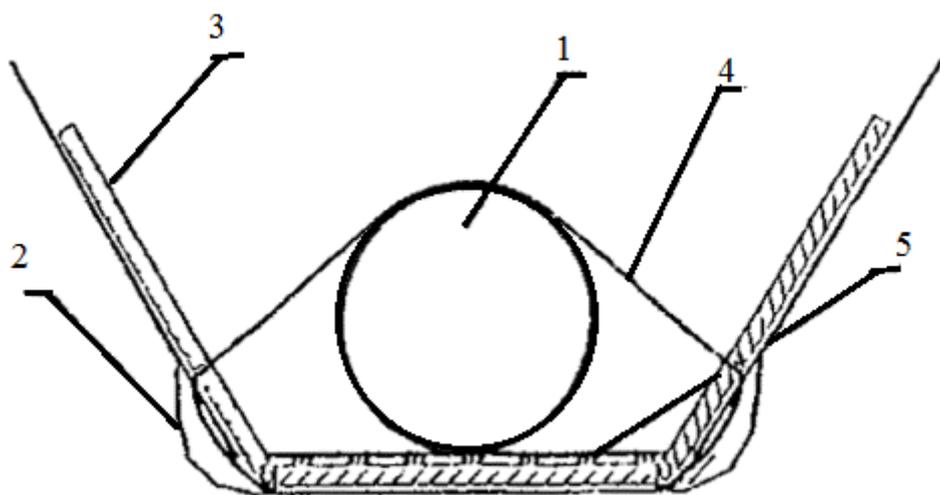
Опирающиеся на трубопровод железобетонные утяжелители клиновидного типа 1-УБКМ целесообразно использовать для балластировки с заводской изоляцией на обводнённых и заболоченных территориях, в вечномёрзлых грунтах, а также на болотах с мощностью торфяной залежи, не превышающей глубины траншеи.

Железобетонные утяжелители типа УБГ (рис. 3) и УБТ следует применять для балластировки трубопроводов в обводненной и заболоченной местности, в вечномёрзлых грунтах, а также на переходах через болота с мощностью торфяной залежи, не превышающей глубины траншеи (при условии заполнения их минеральным грунтом).

Отличительной особенностью балластировки трубопроводов утяжелителями типа УБГ является то, что их установка в траншею должна производиться до укладки трубопровода в траншею, а замыкание под трубопроводом соединительных поясов – после укладки трубопровода на проектные отметки.

Опирающиеся на трубопроводы железобетонные клиновидные утяжелители (типа УБКМ) возможно применять для балластировки трубопроводов в зимних и летних условиях на переходах через болота с мощностью торфяной залежи, не

превышающей глубины траншеи, на обводнённых и заболоченных участках, в поймах рек и на территориях, сложенных вечномёрзлыми грунтами.



1 – газопровод; 2 – приямки в траншее для установки утяжелителя; 3 – шарнирно-соединённые плиты; 4 – силовой соединительный пояс; 5 – дно траншеи.

Рисунок 3 – Железобетонный утяжелитель типа УБГ

Не допускается установка утяжелителей на участках трубопроводов, получающих в процессе эксплуатации продольные перемещения более 40 мм. Железобетонный утяжелитель типа 1-УБКм (рис. 4, табл. 2) представляет собой конструкцию седловидного типа с клиновидной внутренней поверхностью, образованной двумя цилиндрическими взаимно пересекающимися поверхностями с радиусом, превышающим радиус трубопровода.

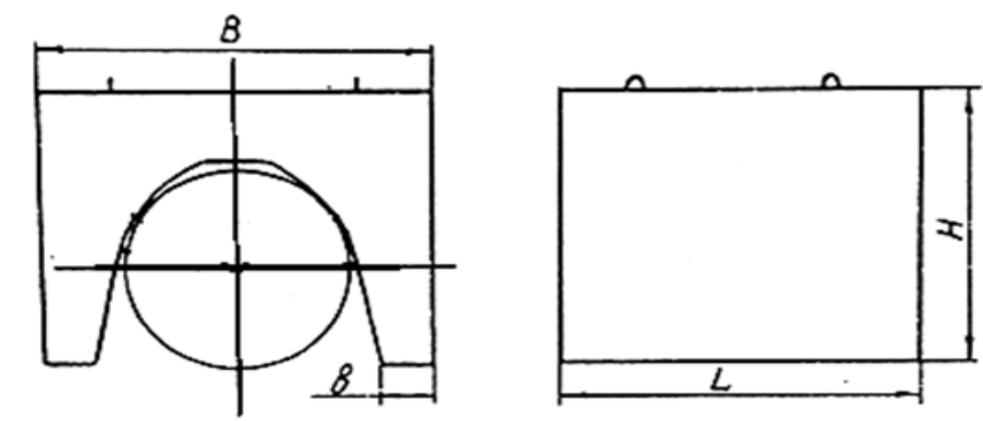


Рисунок 4 – Железобетонный утяжелитель типа 1-УБКМ

Надлежащая устойчивость утяжелителей типа 1-УБКм (в процессе эксплуатации) обеспечивается лишь при наличии минеральных грунтов в основании траншеи. При мощности торфяной залежи, превышающей глубину траншеи, такие грузы в результате подвижек трубы могут потерять устойчивость.

Утяжелители типа УБО (табл. 1) устанавливаются на трубопроводе либо по одному через равные расстояния между ними, либо групповым методом.

Таблица 1 – Технические характеристики утяжелителей типа УБО

Марка груза	Диаметр газопровода, мм	Габаритные размеры, мм										Объём груза, куб. м	Масса груза, т при $\gamma_{\sigma} = 2,3$ т/куб. м	Максимальная величина балластирующей способности груза, тс	Код ОКП
		Н	h	L	B	a	b	c	A	f	d				
УБО-1420	1420	1600	800	1200	600	265	150	680	600	200	200	1,89	4,347	2,447	5853210587
УБО-1220	1220	1400	700	1350	600	265	150	600	550	200	200	1,85	4,253	2,407	5853210588
УБО-1020	1020	1100	500	1500	550	240	150	435	450	200	200	1,47	3,378	1,903	5853210589
УБО-530	530	700	400	1000	300	137	100	310	250	250	120	0,36	0,834	0,471	5853210592

Таблица 2 – Технические характеристики утяжелителей типа 1-УБКМ

Диаметр газопровода, мм	Марка утяжелителя	Габаритные размеры утяжелителя, мм					Объём бетона, куб. м	Масса утяжелителя, кг
		L	H	B	R	b		
1420	1-УБКМ-1420-10	1000	1760	2400	1100	400	2,51	6020
1220	1-УБКМ-1220-9	900	1570	2000	1100	290	1,69	4060
1020	1-УБКМ-1020-9	900	1370	1840	1100	300	1,49	3580
820	1-УБКМ-820-9	900	1120	1600	1000	300	1,12	2690
720	1-УБКМ-720-9	900	1030	1500	800	310	1,03	2470
630	1-УБКМ-720-9	900	1030	1500	800	310	1,03	2470
530	1-УБКМ-529-9	900	760	1300	800	310	0,69	1660
478	1-УБКМ-529-9	900	760	1300	800	310	0,69	1660
426	1-УБКМ-426-9	900	690	1100	800	250	0,55	1320
377	1-УБКМ-426-9	900	690	1100	800	250	0,55	1320

При групповом методе установки утяжелители укладываются отдельными участками вплотную друг к другу; при этом общее их количество и расстояния между грунтами должно соответствовать требованиям проекта.

К числу утяжелителей опирающегося типа следует отнести железобетонный трёхсекционный утяжелитель (типа УБТ), в состав комплекта которого входят два трёхсекционных блока, каждый из которых состоит из продольной стенки и двух опирающихся на трубопровод, поперечно размещённых диафрагм. При этом поперечные диафрагмы шарнирно соединены с продольной стенкой.

Монтаж утяжелителя типа УБТ осуществляется после укладки трубопровода в траншею на проектные отметки. Область его применения определяется требованиями нормативных документов по его применению в трубопроводном строительстве.

Железобетонные утяжелители трубопровода кольцевые (типа УТК) рекомендуется применять на переходах через болота и обводнённые участки при сооружении их методом сплава или протаскивания, преимущественно, в летний период.

Одним из условий надёжной работы трубопроводных систем является обеспечение устойчивого положения подземного трубопровода на проектных

отметках. Этого позволяет достичь балластировка, одним из надёжных способов которой является обетонирование – нанесение бетонного балластного покрытия на предварительно изолированную трубу.

Трубы с балластным покрытием широко используются на участках морских переходов, переходов через реки и озёра и прокладки в заболоченной местности. Из перечисленных условий наиболее щадящие условия эксплуатации обетонированного трубопровода в заболоченной местности, где основное назначение балластного слоя, – обеспечение устойчивого высотного положения.

В условиях эксплуатации балластированного трубопровода на участках речных и морских переходов к балластирующей функции бетона добавляется защитная. Здесь бетонное покрытие призвано обеспечить целостность стального трубопровода при возможных воздействиях на него якорей речных судов, паромов, барж, тралов рыболовных судов, рабочих частей строительной техники, ледовых перемещений, волн и течений. Данный вид балластировки следует рассматривать и как мощное дополнительное защитное покрытие, повышающее надёжность морских подводных трубопроводов и труб, укладываемых в водонасыщенных грунтах.

Основным недостатком обетонированных труб является их высокая стоимость. За счёт своего веса они требуют значительных затрат на транспортировку до объекта строительства, на укладку в траншею и приводят к увеличению трудозатрат на строительной площадке.

1.2.1 Технология установки и описание процессов

Балластировку трубопровода следует выполнять в соответствии с требованиями СП 36.13330.2012 (актуализированная версия СНиП 2.05.06-85* «Магистральные трубопроводы»), ВСН 39-1.9-003-98 Конструкции и способы балластировки и закрепления подземных трубопроводов, СП 107-34-96 Балластировка, обеспечение устойчивости положения газопроводов на проектных отметках, СП 86.13330.2012 (актуализированная версия СНиП III-42-80* «Магистральные трубопроводы»).

В состав работ по балластировке трубопроводов железобетонными утяжелителями различных типов входят: доставка, разгрузка утяжелителей и раскладка их в местах, предусмотренных проектом производства работ, подача утяжелителей к месту монтажа, сборка и установка комплектов утяжелителей на уложенный в проектное положение трубопровод.

Установка УБО-М и УБО осуществляется как на уложенный в проектное положение трубопровод, так и находящийся на плаву в заполненной водой траншее. При этом погружение трубопровода на проектные отметки может производиться с помощью утяжелителей.

Установка утяжелителей типа УТК на трубопровод осуществляется на специальной монтажной площадке у створа перехода непосредственно перед протаскиванием его через болото, водные преграды или заболоченные участки.

До закрепления установочных утяжелителей на трубе проверяется величина зазора между футеровочными рейками (матами) пояса крепления и полукольцами. В местах, где зазоры составляют более 5 мм, под внутреннюю

поверхность полукольца устанавливаются дополнительные рейки соответствующих размеров.

Монтажные операции по установке УТК на трубопровод осуществляются с помощью кранов-трубоукладчиков, входящих в состав бригады, занятой подготовкой к протаскиванию и самим процессом протаскивания плети газопровода.

Самозакрепляющиеся утяжелители (типа СГ) на трубопроводе могут применяться на участках трассы с грунтами, обладающими слабой заземляющей способностью. Для подготовки плети газопровода для протаскивания через болота или водные преграды навеску утяжелителей типа СГ на трубопровод осуществляют на монтажной площадке, при этом стропы подъёмного механизма крепят за внешние петли; в результате натяжения строп происходит раскрытие кольцевого утяжелителя, который при установке на трубопровод сжимает его за счёт действия распорных пружин и собственной массы и, таким образом, закрепляется на поверхности трубы [2].

Установку 1-УБКМ следует производить на трубопровод, уложенный на проектные отметки. Допускается установка утяжелителей без водоотлива при уровне воды не более 0,5 от диаметра трубы.

Отличительной особенностью балластировки трубопроводов утяжелителями типа УБГ является то, что их установка в траншею производится до укладки трубопровода, а замыкание над трубопроводом соединительных поясов – после укладки трубопровода на проектные отметки. При этом замыкание соединительных поясов утяжелителя в траншее без водоотлива допускается при уровне воды не более 0,4 от диаметра трубы.

Установка блоков утяжелителя типа УБТ на трубопровод выполняется последовательно с опиранием каждой продольной стенки блока утяжелителя на откосы траншеи. После установки обоих блоков утяжелителя на трубопровод они соединяются между собой за строповочные петли поперечных диафрагм, после чего траншея и утяжелитель заполняются грунтом.

Утяжелители типа УБТ устанавливаются на трубопровод, уложенный на проектные отметки. Работы по установке утяжелителей без водоотлива производятся при уровне воды в траншее не более 0,5 от диаметра трубы.

Монтаж утяжелителей на уложенный в траншею трубопровод выполняется автомобильными кранами или кранами-трубоукладчиками.

Для монтажа утяжелителей типа УБО-М, УБО, УБГ и УБТ применяются специальные траверсы.

Технологический процесс по балластировке трубопровода УТК включает: транспортировку со склада или полигона железобетонных изделий, и раскладку полуколец краном-трубоукладчиком на спусковой дорожке. При этом нижний ряд полуколец укладывается по оси спусковой дорожки, а верхний – вдоль неё; укладку плети трубопровода кранами-трубоукладчиками на нижний ряд полуколец; укладку краном – трубоукладчиком верхних полуколец на трубопровод; закрепление полуколец между собой с помощью болтовых соединений.

До закрепления установленных утяжелителей на трубе проверяется величина зазора между футеровочными прокладками пояса крепления и по-

лукольцами. В местах, где зазоры составляют более 5 мм, под внутреннюю поверхность полукольца устанавливаются дополнительные прокладки соответствующих размеров.

Монтажные операции по установке УТК на трубопровод осуществляются с помощью кранов-трубоукладчиков, входящих в состав бригады, занятой подготовкой к протаскиванию и самим процессом протаскивания плети трубопровода.

Погружение трубопровода на проектные отметки в заполненную водой траншею, возможно, осуществлять с помощью утяжелителей типа УБО и УБО-М [3].

1.3 Балластировка трубопроводов минеральным грунтом

Балластировка трубопроводов минеральными, склонными к самоуплотнению и самоупрочнению, грунтами засыпки траншеи осуществляется на участках прогнозируемого обводнения, обводнённых и заболоченных территориях, а также на переходах через болота с мощностью торфяной залежи, не превышающей глубины траншеи.

Использование для балластировки трубопроводов больших диаметров минеральных грунтов засыпки траншеи возможно при условиях: использования гибких полотнищ из нетканых синтетических материалов (НСМ) в сочетании с минеральным грунтом засыпки; использования закреплённых грунтов; применения комбинированных методов балластировки минеральным грунтом с железобетонными утяжелителями различных конструкций или анкерных устройств; укладки трубопровода в переzagлублённую траншею (необходимое увеличение глубины траншеи определяется расчётом); применения заполненных грунтом полимерконтейнеров различных конструкций (рис. 5) [2].

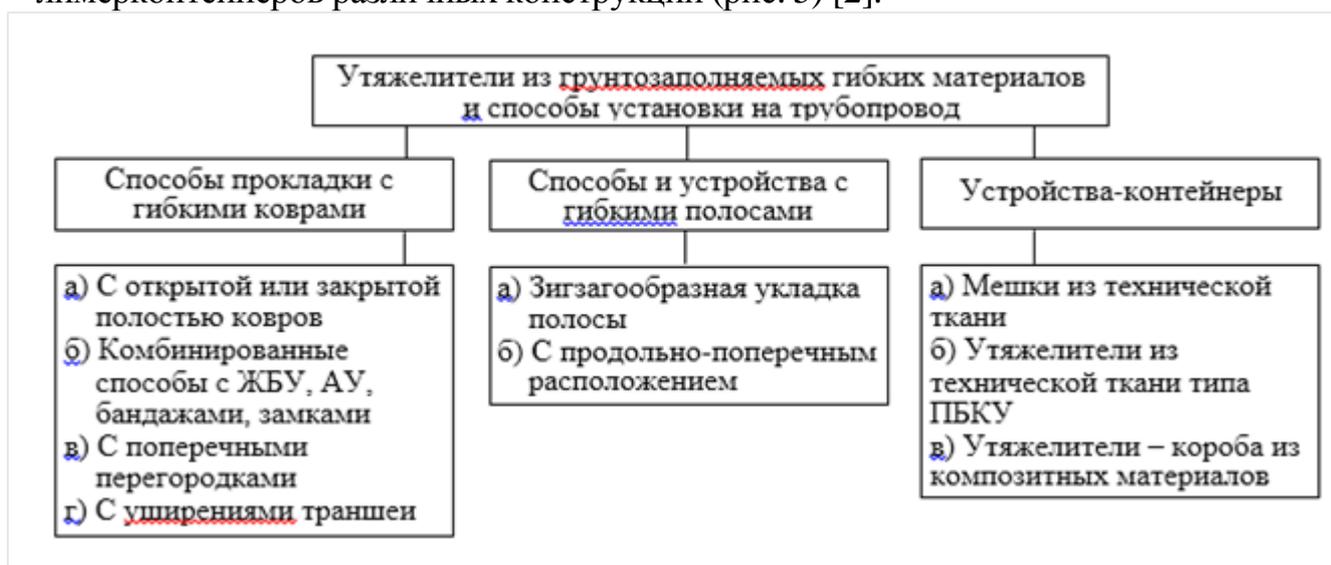


Рисунок 4 – Схема утяжелителей из грунтозаполняемых гибких материалов и способы их установки на трубопровод

Наиболее экономичным материалом для балластировки трубопроводов является сам грунт, извлекаемый при рытье траншеи. Используются следующие методы балластировки с использованием грунта засыпки:

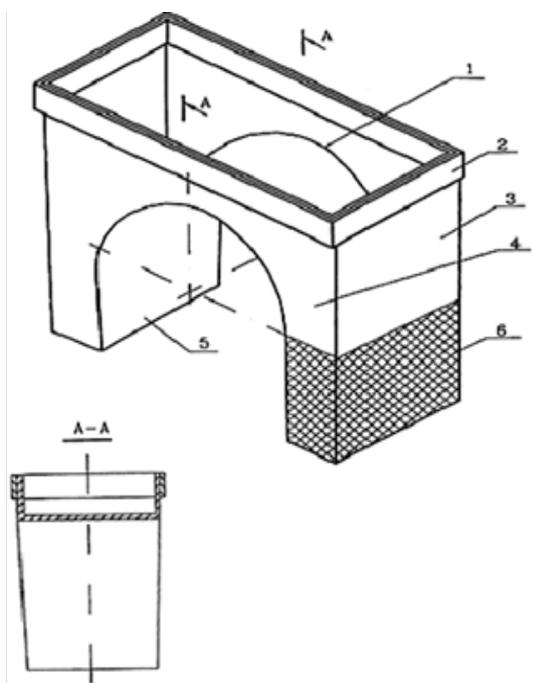
- применение полимерно-контейнерных балластировочных устройств (ПКБУ);
- использование нетканых синтетических материалов (НСМ);
- использование закреплённого грунта.

1.3.1 Использование устройств полимерноконтейнерного типа

Утяжелители балластировочные рекомендуется использовать при строительстве и ремонте трубопроводов в обводнённых грунтах и заболоченной местности, на переходах через болота различных типов, вогнутых и выпуклых кривых и криволинейных участках, прилегающих к ним, на углах поворота в горизонтальной плоскости, участках выхода трубопровода на поверхность.

Заполняемые грунтом полимерконтейнерные устройства (ПКУ) изготавливают по техническим условиям. Они представляют собой ёмкость в виде П-образного утяжелителя, стенки которого выполнены из НСМ, пропитанного твердеющей полимерной смолой, придающей полости ПКУ необходимую прочность и жёсткость. Верхний силовой пояс сохраняет форму ёмкости при её засыпке грунтом. ПКУ изготавливают в двух модификациях: с жёсткими и гибкими карманами. Модификацией ПКУ (рис. 6, табл. 3) является также складывающийся полимерконтейнер (СПУ) [2].

Одиночные заполняемые минеральным грунтом полимерконтейнеры требуют меньшего расхода геотекстильного синтетического материала по сравнению с использованием полотнищ из НСМ. Полимерконтейнерное заполняемое минеральным грунтом балластирующее устройство (ПКБУ), (рис. 7, табл. 4), представляет собой два контейнера, размещённых по обе стороны трубопровода, выполненных из прочного и долговечного геотекстильного синтетического материала, соединённых четырьмя мягкими силовыми лентами и двумя металлическими распорными рамками.



- 1 – криволинейный свод; 2 – силовой пояс;
 3 – боковая стенка; 4 – лобовой участок;
 5 – карман для ПКУ; 6 – карман для ПКУ (м).

Рисунок 6 – Полимерконтейнер ПКУ

Устанавливаются ПКБУ на трубопроводах по одному через равные расстояния или групповым способом, и могут быть использованы для балластировки трубопроводов, прокладываемых в обводнённой и заболоченной местности, а также на участках прогнозируемого обводнения.

Допускается применение ПКБУ на болотах I типа с мощностью торфяной залежки, не превышающей глубины траншеи, при использовании для их заполнения талого, привозного минерального грунта.

Одиночный заполняемый грунтом полимерконтейнер из технических тканей (ПКР-Ф) формируется непосредственно в траншее на уложенном в проектное положение трубопроводе с помощью специального устройства, представляет собой утяжелитель седловидного типа и может быть применён на участках, прокладываемых в обводнённой и заболоченной местности, а также на участках прогнозируемого обводнения.

Преимущества ПКБУ по сравнению с железобетонными балластирующими устройствами:

- объём грузоперевозок сокращается в 100-150 раз;
- стоимость материалов снижается в 2-3 раза;
- исключается возможность повреждения изоляционного покрытия при продольных перемещениях трубопровода в процессе эксплуатации и при монтаже ПКБУ в процессе строительства, так как рамки данной конструкции не опираются на трубопровод на всех стадиях загрузки грунтом;
- исключается возможность всплытия трубопроводов.

Недостатком ПКБУ является давление жёсткой распорной рамы на изоляцию трубопровода и, как следствие, возможная деформация и повреждение изоляции трубопровода [5].

1.3.2 Использование геотекстильных синтетических материалов

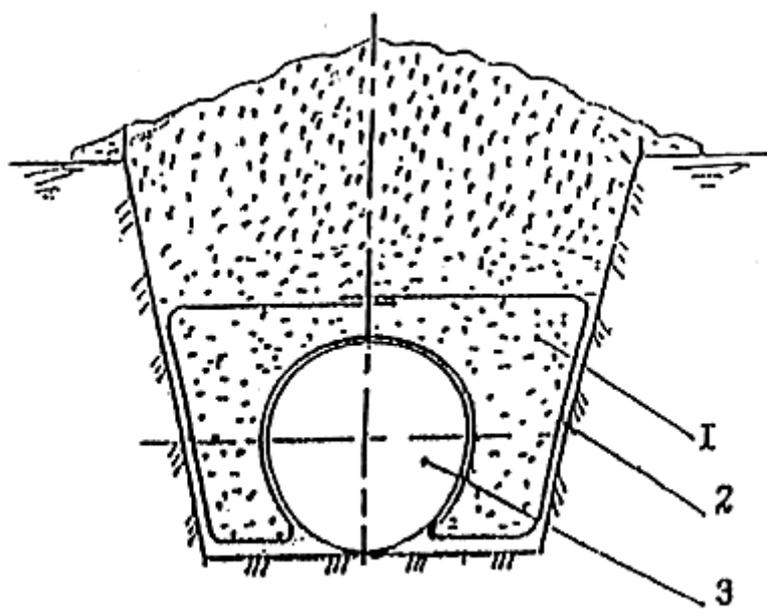
Для балластировки трубопроводов с использованием НСМ в зависимости от категории местности применяются различные конструктивные схемы.

В условиях обводнённой местности и на участках прогнозируемого обводнения в суглинистых грунтах может быть использовано устройство, в котором НСМ (рис. 8, 9) укладывается в траншею на установленный в проектное положение трубопровод и на откосы траншеи; траншея засыпается грунтом до дневных отметок, после чего полотнище из НСМ перекрывает сверху засыпанный участок траншеи.

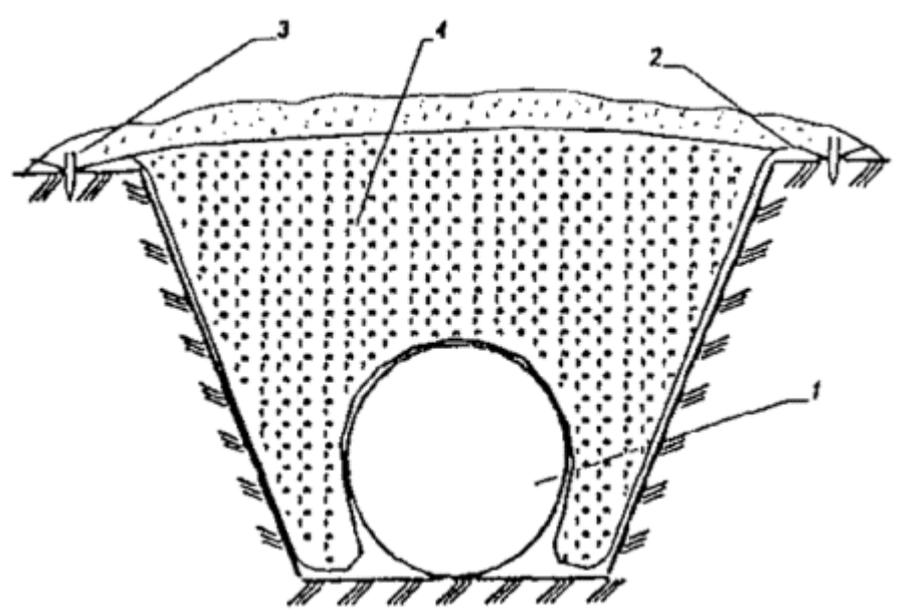
При этом края полотнища по всей длине устройства замыкаются (свариваются) над засыпанным трубопроводом, образуя замкнутый грунтовый контур.

Увеличение удерживающей способности грунта является применение нетканых синтетических материалов. НСМ. Один край НСМ крепится к бровке траншеи металлическим штырём диаметром 12-15 мм, а другим – накрывают балластировочный материал. Для закрепления трубопровода в качестве балласта используется местный или привозной материал. В зависимости от вида и состояния грунта трубопровод балластируют сплошь по всей длине или перемычками. Длина перемычки 25-30 метров, расстояние между ними 20-30 мет-

ров. Применение НСМ позволяет использовать для пригрузки дополнительный объём грунта, размещённый между трубой и стенкой траншеи. НСМ свободно пропускает воду в обе стороны от трубопровода и вдоль траншеи, но предотвращает вынос грунта, т. к. не пропускает частицы размером более 50 мм.



1 – грунт засыпки; 2 – полотнище из НСМ; 3 – газопровод.
 Рисунок 8 – Способ балластировки газопроводов минеральным грунтом засыпки с использованием полотнищ из НСМ



1 – газопровод; 2 – полотнище из НСМ; 3 – металлический штырь;
 4 – грунт засыпки.
 Рисунок 9 – Способ балластировки газопроводов минеральным грунтом засыпки с использованием полотнищ из НСМ (для песчаных грунтов)

На переходах через болота первого типа с устойчивой консистенцией торфа, выполняются бандажами из резиноканевых материалов или нескольких сваренных между собой полос из НСМ и укладываются на дно траншеи до опускания в траншею трубопровода и замыкаются над засыпанным грунтом трубопровода, охватывая весь грунтовой массив, образованный полотнищем из НСМ.

Во всех рассмотренных способах ширина полотнища из НСМ должна обеспечивать либо замыкание его над засыпанным трубопроводом, либо закрепление на бровке траншеи [2].

Наиболее распространённым способом балластировки является применение грунтозаполняемых гибких ковров из геотекстильных, в том числе нетканых синтетических материалов. Этот способ, а также грунтозаполняемые мешки из технической ткани типа КТ (контейнер текстильный) вошли в состав действующих нормативных документов.

Балластировку утяжелителями контейнерного типа (КТ) следует проводить на участках прогнозируемого обводнения и на обводнённых (заболоченных) территориях. На газопроводах диаметрами до 1 020 мм возможно использование КТ на болотах с мощностью торфяной залежи не более глубины траншеи.

Научное обоснование работоспособности разных методов и устройств закрепления (балластировки) трубопроводов на вечной мерзлоте может быть получено в результате экспериментальных, в т. ч. натуральных исследований ряда параметров состояния системы «трубопровод – закрепляющая конструкция – грунтовое основание»: температуры стенки трубы и грунтового массива, очертаний и максимальных глубин ореолов оттаивания, характеристик средств и методов закрепления газопроводов.

1.3.3 Технология установки ПКБУ

Началу работ по установке утяжелителей ПКБУ предшествует комплекс организационно-технических мероприятий и подготовительных работ:

- назначить лиц ответственных за качественное и безопасное производство работ;
- проинструктировать рабочих по технике безопасности и производственной санитарии;
- обеспечить рабочих необходимым оборудованием, инструментом, инвентарём, приспособлениями, средствами первой медицинской помощи, противопожарным оборудованием, а также спецодеждой;
- проверить грузозахватные приспособления;
- обеспечить рабочие места средствами первой медицинской помощи, питьевой водой, противопожарным оборудованием;
- установить в зоне производства работ вагончик для отдыха и обогрева рабочих, хранения инструментов и инвентаря;
- подготовить площадки для складирования ПКБУ; создать запас ПКБУ и комплектующих материалов;
- проверить качество изоляционно-укладочных работ.

Сборку ПКБУ производить по инструкции, поставляемой изготовителем балластирующего устройства.

Число работающих звеньев для балластировки и закрепления газопроводов следует назначать в зависимости от темпа производства изоляционно-укладочных работ с целью обеспечения поточности строительства линейной части. Заполнение полостей ПКБУ минеральным грунтом из отвала следует производить сыпучим минеральным грунтом с размерами фракций не более 50 мм, не допускается попадание снега и льда в полости утяжелителей.

ПКБУ собирают в группы по 2 шт. и по 4 шт. на предприятии-изготовителе (при доставке ПКБУ со склада-изготовителя на приобъектный склад стройорганизации автотранспортом) или на полевой базе стройорганизации (при доставке ПКБУ по железной дороге раздельно металлическую часть и мягкие конструкции).

Группы из двух штук (для газопроводов диаметром 720-1220 мм) и из четырёх штук (для диаметра 1420 – после дополнительной сборки из двух групп по две штуки) монтажным краном (допускается применение экскаватора, оснащённого траверсой), навешивают на трубопровод, добиваясь совмещения осей симметрии в плане группы ПКБУ и трубопровода. Центровку ПКБУ на газопроводе и отстроповку траверсы осуществляет рабочий с помощью шеста с крюком с бровки траншеи.

Полости ПКБУ заполняют минеральным (песчаным или глинистым) грунтом из отвала траншеи или привозным грунтом (из карьера), разгружаемым самосвалами в пеноволокушу, перемещаемую экскаватором.

Заполнение ПКБУ грунтом производят до начала осыпания грунта за пределы ёмкостей ПКБУ.

Утяжелители ПКБУ устанавливаются на трубопровод, уложенный на проектные отметки. Допускается установка утяжелителей без водоотлива при уровне воды в траншее не более 0,5 от диаметра балластируемого трубопровода.

При использовании для балластировки трубопроводов, одиночных заполняемых минеральным грунтом полимерконтейнеров, должен быть выполнен комплекс мероприятий, обеспечивающий сохранность их формы в зимнее время, а также исключая возможность их примерзания при укладке на берму траншеи.

Заполнение полимерконтейнеров необходимо производить талым или размельчённым мёрзлым минеральным грунтом; не допускается наличия в грунте посторонних включений, в т. ч. льда и снега.

ПКУ и СПУ доставляют на трассу в виде пакетов и устанавливают на трубу группами по 8-10 шт. Для обеспечения боковой устойчивости полимерконтейнеров последние засыпают грунтом сначала с внешней стороны, а затем ёмкости.

ПКУ с жёсткими карманами следует использовать преимущественно при укладке газопровода в сухую или осушенную траншею, а с гибкими карманами – в обводнённую траншею.

Одиночный заполняемый грунтом полимерконтейнер из технических тканей (ПКР-Ф), формируемый непосредственно в траншее на уложенном в

проектное положение газопровода с помощью специального устройства. Заполнение ПКР-Ф минеральным грунтом осуществляется одновременно с засыпкой траншеи.

Эксплуатационная надёжность трубопровода может быть обеспечена путём ограничения его продольно-поперечных перемещений в пределах податливости грунтового основания, в том числе грунта-балласта, засыпанного в полости эластичных ковровых материалов или коробчатые утяжелители – полимерно-контейнерные устройства (ПКУ) из сверхпрочных стекломатериалов, пропитанных полиэфирным связующим.

Использование в качестве армирующего грунтонасущего коврового материала из современных геотекстилей позволяет во многих случаях решать задачу балластировки трубопровода местным грунтом, вынутым из траншеи, или обойтись минимальным количеством привозного минерального грунта [3].

Организация и технология выполнения работ

В состав работ по закреплению и балластировке утяжелителей входят:

- извлечение контейнеров ПКБУ из тары;
- подвешивание контейнера ПКБУ к бункеру с минеральным грунтом;
- заполнение контейнера ПКБУ минеральным грунтом;
- складирование заполненных контейнеров на настиле;
- доставка заполненных контейнеров ПКБУ на трассу;
- монтаж заполненных контейнеров ПКБУ на газопровод.

Балластировку трубопровода следует выполнять в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

- СП 86.13330.2012 (актуализированная версия СНиП III-42-80*) Правила производства и приёмки работ. Магистральные трубопроводы;
- ВСН 39-1.9-003-98. Конструкции и способы балластировки и закрепления подземных трубопроводов.

Началу работ по установке утяжелителей ПКБУ предшествует комплекс организационно-технических мероприятий и подготовительных работ:

- назначить лиц, ответственных за качественное и безопасное производство работ;
- проинструктировать рабочих по технике безопасности и производственной санитарии; обеспечить рабочих необходимым оборудованием, инструментом, инвентарём, приспособлениями, средствами первой медицинской помощи, противопожарным оборудованием, а также спецодеждой;
- проверить грузозахватные приспособления;
- обеспечить рабочие места средствами первой медицинской помощи, питьевой водой, противопожарным оборудованием;
- установить в зоне производства работ вагончик для отдыха и обогрева рабочих, хранения инструментов и инвентаря;
- создать запас ПКБУ и комплектующих материалов;
- подготовить площадки для складирования ПКБУ;
- проверить качество изоляционно-укладочных работ.

Установка передвижного бункерного устройства.

Контейнеры текстильные ПКБУ заполняются при помощи передвижного бункерного устройства. Для заполнения контейнеров должен использоваться только минеральный грунт без примесей торфа и снега с плотностью не менее чем $1,6 \text{ г/см}^3$.

Передвижное бункерное устройство доставляют в карьер с минеральным грунтом, которым будут заполняться контейнеры, в кузове грузовой автомашины, или на экскаваторе, и устанавливают на месте проведения работ с помощью крана-трубоукладчика (или экскаватором) и одного рабочего-такелажника.

Перемещение бункерного передвижного устройства в карьере или на трассе производят экскаватором.

Порядок заполнения ПКБУ грунтом.

Рукава ёмкостей надевают на насадки бункера и закрепляют бандажными элементами. Грузовые элементы контейнера закрепляют на сбросных крюках бункера. Перед загрузкой грунтом дно ёмкостей ПКБУ должно быть выше земли на 30-50 см во избежание образования складок и неравномерной загрузки ёмкостей. Заполнение ёмкостей грунтом производят экскаватором при необходимости с промежуточным уплотнением ручными трамбовками.

Загрузка производится в две стадии:

- в начале заполняют грунтом полость утяжелителя (грунт засыпают только в сухие контейнеры);

- отсоединяют грузовые элементы, в результате ПКБУ зависает на рукавах, и оставшийся в ёмкости бункера грунт ссыпается в полости ПКБУ. Заполнение грунтом продолжают, при необходимости, сопровождая процесс трамбованием грунта ручными трамбовками, и заканчивают после заполнения грунтом рукавов.

При заполнении контейнеров сухим песком трамбовку не производят. После окончания загрузки размыкают бандажные элементы, снимают рукава с насадок бункера. Бункер переставляют на свободное место, освобождая утяжелитель.

Поверхность грунта в полостях утяжелителя распределяют вручную равномерно по площади сечения, рукава заправляют каждый внутрь между одной из стенок утяжелителя и грунтом. Транспортирование заполненных контейнеров допускается только при подвешивании их за все грузовые элементы с использованием мягких стропов, не заправленные рукава недопустимы.

Загруженные контейнеры складировуют на ровной площадке на настиле. С целью предохранения в зимнее время от смерзания грунта в ёмкостях и (или) их примерзания к земле, заполнение ПКБУ грунтом должно производиться непосредственно перед монтажом их на газопровод.

При необходимости заблаговременной заготовки заполненных грунтом утяжелителей в зимнее время с целью придания им требуемой формы непосредственно после их заполнения грунтом, утяжелители навешивают на трубный стенд, расположенный в непосредственной близости от места их заполнения грунтом. Диаметр труб стенда должен быть равен диаметру строящегося газопровода. После смерзания грунта в полости утяжелителя его снимают со стенда и складировуют.

Монтаж ПКБУ на газопровод.

Монтаж устройств производится краном-трубоукладчиком, оснащённым мягкими стропами контейнер устанавливают на трубопровод в вертикальном положении. За счёт перемещения крана-трубоукладчика вдоль трубопровода с одновременным опусканием крюка, контейнеры укладывают в горизонтальное положение, добиваясь симметричного расположения осей ёмкостей контейнера относительно оси трубопровода.

За счёт дальнейшего опускания крюка, натяжение мягких стропов ослабляют, по одной проушине каждого стропа отсоединяют от крюка крана-трубоукладчика и извлекают мягкие стропы из грузовых элементов. Эту операцию производят двое рабочих, находящихся по обеим сторонам траншеи одновременно.

В исключительных случаях, когда заполненные контейнеры при монтаже их на трубопровод недостаточно «облегают трубу», или ширины траншеи $2,2 D_{mp}$ не хватает для достижения контейнерами дна траншеи, возможно изменение ширины траншеи по согласованию с проектным институтом до $2,5 D_{mp}$, или укладку ПКБУ в «карманы», предварительно вырытые ковшем экскаватора по обеим сторонам дна траншеи. Заполнение ПКБУ в этих случаях производится только сухим песком.

Засыпку траншеи до проектных отметок грунтом при заполненной водой траншее вначале производят в местах расположения ПКБУ одноковшовым экскаватором. Бульдозер применяют только для засыпки траншеи на участках между контейнерами и формирования валика [6].

Заполняемые минеральными грунтами полимерконтейнеры следует применять для балластировки, прокладываемых в условиях обводнённой и заболоченной местности, на участках прогнозируемого обводнения, а также на переходах через болота с мощностью торфа не более глубины траншеи и в песчаных, в вечномёрзлых грунтах [3].

1.3.4 Технология балластировки с использованием НСМ

В условиях обводнённой местности и на участках прогнозируемого обводнения в суглинистых грунтах может быть использовано устройство, в котором НСМ укладывается в траншею на установленный в проектное положение трубопровод и на откосы траншеи; траншея засыпается грунтом до дневных отметок, после чего полотнище из НСМ перекрывает сверху засыпанный участок траншеи. При этом края полотнища по всей длине устройства замыкаются (свариваются) над засыпанным трубопроводом, образуя замкнутый грунтовый контур.

Балластировку минеральными грунтами в сочетании с полотнищами из НСМ следует осуществлять в обводнённой местности и участках перспективного обводнения, сложенных суглинистыми грунтами, при наличии песчаных грунтов, включая вечномёрзлых, на переходах через болота с мощностью торфяной залежи, не превышающей глубины траншеи.

На переходах через болота первого типа с устойчивой консистенцией торфа и при укладке трубопровода на минеральное основание траншеи

устройство из НСМ выполняется следующим образом: полотнище укладывается на уложенный в проектное положение газопровод и на откосы траншеи, а после засыпки траншеи (до дневных отметок) минеральным привозным грунтом замыкается и сваривается под засыпанным минеральным грунтом трубопроводом, образуя замкнутый контур, усиленный в поперечном направлении с помощью специальных бандажей.

Бандажи выполняются из резиноканевых материалов или нескольких сваренных между собой полос из НСМ и укладываются на дно траншеи до опускания в траншею трубопровода и замыкаются над засыпанным грунтом газопроводом, охватывая весь грунтовой массив, образованный полотнищем из НСМ.

Процесс балластировки трубопроводов грунтом с применением нетканых синтетических материалов включает: вывозку, разгрузку и раскладку полотнищ вдоль траншеи, размотку и укладку в траншеи, закрепление уложенных полотнищ по краям траншеи, отсыпку балластного грунта, перекрытие балластного грунта и замыкание полотнищ из НСМ; отсыпку и формирование земляного валика.

При балластировке трубопроводов грунтом с использованием НСМ ширина полотнищ из НСМ обеспечивает либо замыкание его над засыпанным трубопроводом, либо закрепление на берме траншеи. При необходимости через 10-15 м по длине трубопровода в устройстве должны быть установлены грунтозадерживающие перегородки, которые по контуру откосов и дна траншеи, а также поверхности трубопровода, жёстко соединены (сварены) с продольным полотнищем из НСМ.

В зависимости от вида и состояния грунта трубопровод балластируется сплошь по всей его длине или отдельными перемычками. Длина каждой перемычки составляет 25-30 м, а расстояние между грунтовыми балластирующими перемычками колеблется в пределах до 0,8-1,0 её длины.

На участках балластировки, где ожидаемая скорость течения талых вод незначительна (не более 0,2 м/с), закрепление трубопровода допускается без устройства вертикальных перегородок-перемычек. На других участках необходимость сооружения вертикальных перегородок из НСМ определяется проектом с учётом конкретных инженерно-геологических характеристик трассы.

Полотнища из НСМ для балластирующих устройств сваривают из заготовленных по необходимому размеру рулонированных нетканых синтетических материалов. Сварку полотнищ выполняют с помощью теплового нагрева краёв свариваемых полос и их стыковки (прижатием).

Для балластировки газопроводов минеральными грунтами в сочетании с полотнищами из нетканого синтетического материала (НСМ) в зависимости от характера грунтов и категории местности могут быть использованы различные конструктивные схемы:

- схема 1 в которой НСМ укладывают в траншею на уложенный в проектное положение газопровод. При этом концы полотнищ размещают на берме траншеи, закрепляя их металлическими штырями, после чего траншея засыпается грунтом;

- схема 2, в которой НСМ укладывается в траншею на уложенный в проектное положение газопровод и после частичной её засыпки замыкается над газопроводом, образуя над ним замкнутый контур;

- схема 3 представляет собой комбинированный способ балластировки трубопроводов с использованием железобетонных утяжелителей охватывающего типа или анкерных устройств.

Балластировка трубопроводов минеральными грунтами в сочетании с полотнищами из НСМ допускается на уклонах микрорельефа более 3° при условии выполнения противоэрозионных мероприятий, в том числе установки противоэрозионных ловушек для грунта. Балластировка трубопроводов минеральными грунтами засыпки или комбинированными методами, включая использование полотнищ из НСМ, производится после укладки трубопровода на проектные отметки, при условии отсутствия воды в траншее в процессе производства работ (после удаления воды из траншеи техническими средствами), а также в случаях, когда трубопровод удерживается в проектном положении с помощью инвентарных утяжелителей повышенной массы.

Балластировка трубопроводов грунтом с использованием НСМ производится полотнищами длиной 10 и более метров, заготовленными в стационарных условиях. Для создания сплошного ковра в продольном направлении допускается перекрытие одного полотнища другим внахлест (не менее 0,5 м) без сваривания. При использовании для балластировки трубопровода метода по схеме 3 работы производятся в следующей последовательности:

- полотнище из НСМ укладывается в основание траншеи, над трубопроводом на откосы;

- производится засыпка траншеи минеральным грунтом (местным или привозным), при этом концы балластируемого участка, длина которого, как правило, не превышает 25 м с каждого торца, не засыпаются на длине 1,0-1,5 м;

- полотнища из НСМ длиной 25-26 м замыкаются над балластируемым трубопроводом с перехлестом в сторону технологической дороги не менее 0,5 м, на торцевых участках полотнище укладывается непосредственно на незасыпанный трубопровод и закрепляется утяжелителями типа УБО, после чего производится окончательная засыпка траншеи с устройством грунтового валика. При балластировке трубопроводов грунтом с использованием НСМ ширина полотнищ из НСМ должна обеспечивать либо замыкание его над засыпанным газопроводом, либо закрепление на берме траншеи. В зависимости от вида и состояния грунта трубопровод балластируется сплошь по всей его длине или отдельными перемышками. На других участках необходимость сооружения вертикальных перегородок из НСМ определяется проектом с учётом конкретных инженерно-геологических характеристик трассы [4].

1.4 Анкерные закрепляющие устройства

Один из экономичных способов обеспечения устойчивого положения трубопроводов на проектных отметках – их закрепление анкерными устройствами.

Закрепление трубопроводов в траншее на проектных отметках в талых грунтах осуществляется с помощью винтовых или свайных раскрывающихся анкерных устройств, а в вечномёрзлых грунтах – дисковых, винтовых и стержневых.

Закрепление трубопроводов анкерными устройствами осуществляют на болотах с мощностью торфяной залежки, не превышающей величины, $H_{торф.}$, м, [3] и с подстилающими минеральными грунтами, обеспечивающими надёжную работу анкеров, а также в условиях обводнённой и заболоченной местности.

$$H_{торф.} = 1 + D_{тр.}, \quad (1)$$

где $D_{тр.}$ – диаметр прокладываемого трубопровода, м.

Конструкция свайного раскрывающегося анкера (типа АР-401) представляет собой штангу в виде трубы диаметром 168 мм, с толщиной стенки 8-10 мм, которая снабжена заострённым наконечником, расположенным на забойном конце, и четырёх лопастей трапецеидальной формы, которые шарнирно крепятся к штанге, лопасти расположены попарно в два яруса по длине штанги с углом поворота в плане между парами 90° .

Закрепление трубопроводов устройствами типа АР-401 и АР-401В можно осуществлять как в зимних, так и в летних условиях преимущественно на болотах, заболоченных и обводняемых территориях; при этом верхние лопасти анкера после их раскрытия должны находиться в минеральном грунте на глубине не менее 3 метров.

Конструкция ограничителя усилий должна обеспечивать работоспособность анкера в течение всего периода эксплуатации трубопроводов, на переходах через болота и в течение 3-7 лет на участках, сложенных минеральными грунтами.

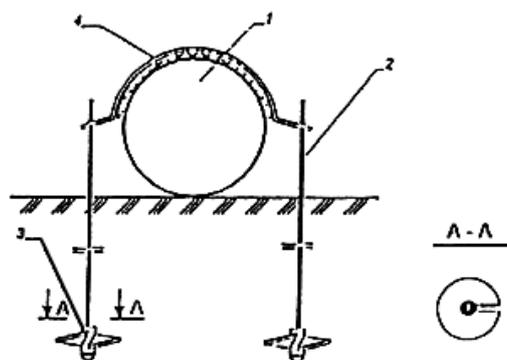
Свайное раскрывающееся анкерное устройство (АС-200) представляет собой конструкцию из двух анкеров, оснащённых двумя тягами с раскрывающимися двумя лопастями на каждой и конусами для погружения их в грунт, а также силового соединительного пояса.

При необходимости увеличения несущей способности анкерного устройства на каждой тяге могут быть установлены по две пары раскрывающихся лопастей.

Устройства АС-200 характеризуются компактностью, пониженной металлоёмкостью и высокой надёжностью раскрытия лопастей.

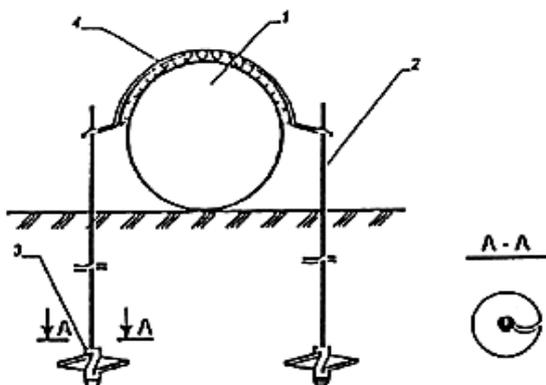
Устройства АС-200 могут устанавливаться преимущественно в глинистых и суглинистых грунтах. Область их применения должна регламентироваться актом и протоколом приёмочных испытаний, а также нормативными документами на их применение.

Достоинствами анкеров являются: быстрота доставки и установки; возможность заглубления анкера без нарушения структуры грунта; незначительный собственный вес по сравнению с развиваемой удерживающей силой; небольшая стоимость. Наиболее распространены винтовые анкера (рис. 10, 11) [2].



1 – газопровод; 2 – тяга анкера с наконечником; 3 – винтовая лопасть;
4 – силовой соединительный пояс.

Рисунок 10 – Винтовое анкерное устройство ВАУ-1



1 – газопровод; 2 – тяга анкера с наконечником; 3 – винтовая лопасть;
4 – силовой соединительный пояс.

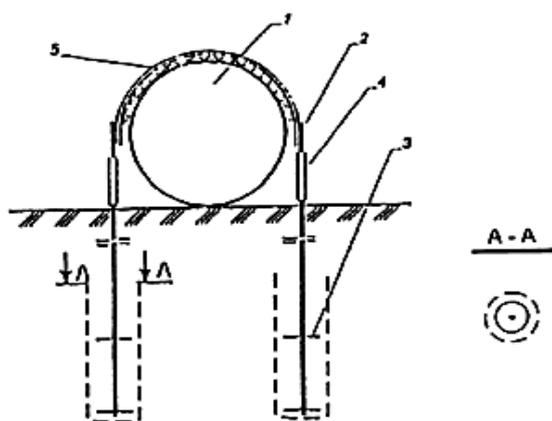
Рисунок 11 – Винтовое анкерное устройство ВАУ-М

Закрепление трубопроводов при помощи вмораживаемых анкерных устройств (рис. 12) рекомендуется на участках вечной мерзлоты (преимущественно в низкотемпературных твердомёрзлых минеральных песчаных и глинистых устойчивых в реологическом отношении грунтах), включая болота с мощностью торфяного покрова не более глубины траншеи, при условии, что несущие элементы вмораживаемых анкеров должны находиться в вечномёрзлом грунте в течение всего срока их эксплуатации.

Не допускается применение вмораживаемых анкерных устройств на участках трубопроводов, получающих в процессе эксплуатации продольные перемещения более 40 мм.

Для закрепления газопроводов на участках вечномёрзлых грунтов могут использоваться вмораживаемые анкерные устройства дискового и винтового типов, а также стержневые анкерные устройства.

Анкерное устройство дискового (типа ДАУ) (рис. 12) состоит из двух тяг с одним или двумя круглыми дисками на каждой тяге, расположенными на определённом расстоянии друг от друга, двух ограничителей усилий (компенсаторов) и силового соединительного пояса. Ограничители усилий в анкерном устройстве применяются в случаях закрепления газопроводов, прокладываемых в пучинистых грунтах.



- 1 – газопровод; 2 – тяга; 3 – диск; 4 – ограничитель усилий;
5 – силовой соединительный пояс

Рисунок 12 – Диское вмораживаемое анкерное устройство ДАУ-02К

Винтовое вмораживаемое анкерное устройство (ВАУ-В) состоит из двух или четырёх приваренных к втулкам винтовых лопастей, двух тяг с наконечниками и силового соединительного пояса.

Кроме того, составными элементами ВАУ-В являются два ограничителя усилий (при установке анкеров в пучинистых грунтах) и две втулки, одеваемые на тягу поверх нижних лопастей и фиксирующих положение верхних лопастей в случаях, когда каждая тяга оснащена двумя винтовыми лопастями, диаметры которых на 2-10 см превышают диаметр скважины.

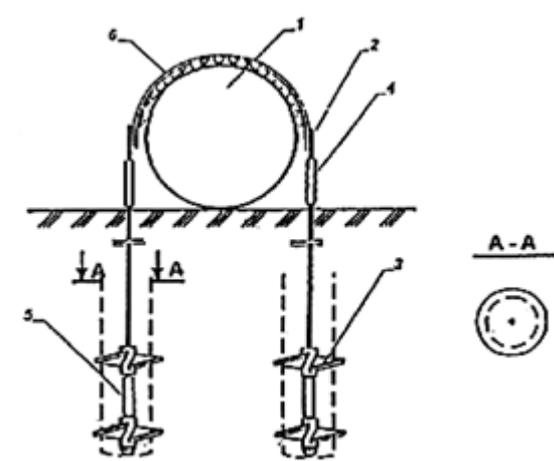
Винтовое вмораживаемое анкерное устройство, инъекционное (рис. 13, 14) обеспечивает значительное повышение его несущей способности по сравнению с ДАУ при равном диаметре и глубине разрабатываемой скважины, за счёт значительного увеличения площади винтовой лопасти по сравнению с диском. Кроме того, упрощается технология заполнения скважины грунтовым (песчаным) раствором и повышается надёжность работы анкерного устройства.

Закрепляющее вяжущее вещество восстанавливает разрушения винтовым наконечником анкерного устройства структуру грунта; после затвердевания вяжущего вещества плотность, водоустойчивость и удерживающая способность грунта значительно увеличиваются.

В качестве закрепляющего вяжущего вещества могут быть использованы нефтяные битумы и мастики, глинистые, цементные растворы, силикат натрия, различные смолы и другие жидкие водонерастворимые быстро твердеющие вещества.

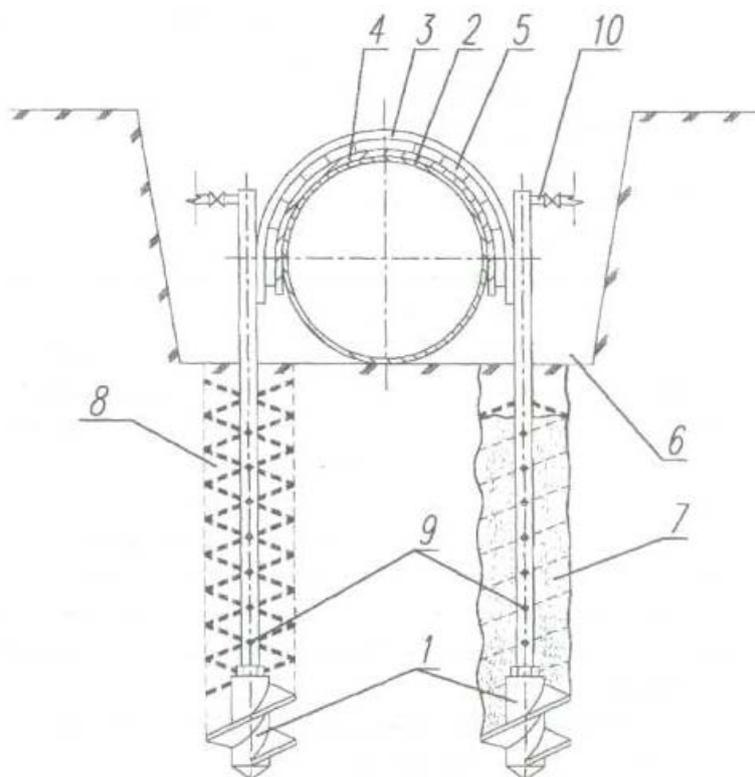
Длина части вмораживаемого анкера ДАУ и ВАУ-В, взаимодействующая с вечномёрзлым грунтом в процессе эксплуатации, трубопровода должна быть не менее 2 метров.

Вмораживаемое анкерное устройство стержневого типа состоит из двух тяг, выполненных из арматурных стержней периодического профиля, двух ограничителей усилий (при установке их в пучинистые грунты) и силового соединительного пояса.



1 – газопровод; 2 – тяга с наконечником; 3 – винтовая лопасть на втулке; 4 – втулка (разделительная); 5 – ограничитель усилий; 6 – силовой соединительный пояс.

Рисунок 13 – Винтовое вмораживаемое анкерное устройство ВАУ-В

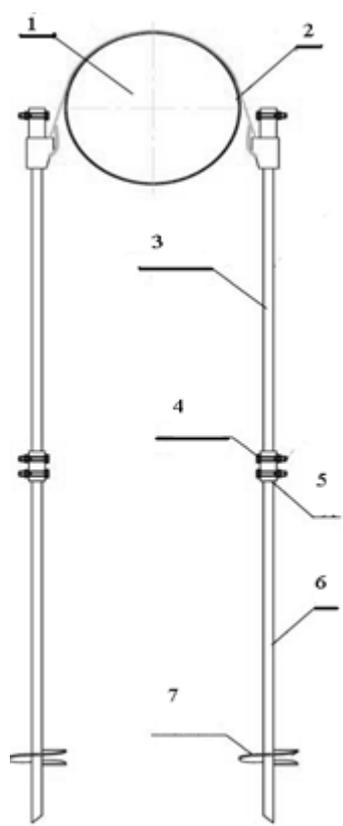


1 – винтовой наконечник анкера; 2 – трубопровод; 3 – силовой пояс; 4 – защитная прокладка из бризола; 5 – футеровочный мат; 6 – траншея трубопровода; 7 – грунт нарушенной структуры до инъецирования закрепляющего вещества; 8 – закрепленный грунт после инъецирования; 9 – отверстия для инъециции вяжущего вещества в грунт; 10 – штуцер.

Рисунок 14 – Схема закрепления трубопровода винтовыми анкерными устройствами с повышенной удерживающей способностью

Контроль за несущей способностью анкерных устройств необходимо осуществлять посредством проведения контрольных испытаний выдерживающей нагрузкой на величину, указанную в проекте [2].

Компания «СТ Инжиниринг» предлагает уникальное решение по закреплению трубопроводов в проектном положении анкерными системами Syntech.



- 1 – трубопровод; 2 – седельный хомут;
 3 – удлинительный стержень;
 4 – болтовое соединение; 5 – муфта;
 6 – анкер; 7 – винтовая лопасть.

Рисунок 14 – Анкерное устройство Syntech

Анкерные системы Syntech (рис. 13) применяются при прохождении трассы трубопровода по участкам со слабонесущими нестабильными грунтами: обводнённая местность; болота; водонасыщенные минеральные грунты; вечномёрзлые грунты; пески (пустынная местность).

Анкерные системы за счёт своей конструкции гарантированно сохраняют проектное положение трубопровода и не требуют воздействия заземляющей способности грунта обратной засыпки при эксплуатации трубопровода.

Анкерные системы Syntech применяются для исключения всплытия (в отдельных случаях и погружения) и горизонтального перемещения трубопроводов условным диаметром от 200 до 1400 мм.

Изготавливаются из высокопрочной легированной стали специального химического состава. Имеют квадратное сплошное сечение и могут наращиваться без потери прочности.

Полиэстеровый седельный хомут, используемый в системе, обеспечивает надёжное закрепление трубопровода, не вызывая значительных механических напряжений, и предотвращает контакт системы с трубой.

Полиэстеровый седельный хомут износостоек и долговечен; не вызывает механических повреждений слоя антикоррозийного покрытия трубопровода; за счёт гибкости и прочности хомута система не подвержена воздействию линейных расширений трубопровода.

Технические характеристики анкерной системы:

- предел текучести: более 620 МПа;
- прочность: более 850 МПа.

Срок службы анкерных систем равен сроку службы трубопровода. Гарантия на анкерные системы Syntech составляет 30 лет.

Повышенная несущая способность анкерных систем Syntech обеспечивается за счёт возможности прохождения анкерами слоя неустойчивых грун-

тов и конечного фиксирования их в плотных грунтах. Завинчивание анкеров останавливается при достижении расчётных значений крутящего момента.

При монтаже анкерных систем выявлена линейная зависимость отношения крутящего момента при завинчивании анкера к нагрузке на анкерную систему. Коэффициент установлен эмпирическим путём. Значения крутящего момента рассчитываются с учётом запаса несущей способности анкерной системы.

В ходе монтажа крутящий момент завинчивания каждого анкера контролируется посредством измерительных приборов. Таким образом, при монтаже анкерных систем надёжность их дальнейшей эксплуатации гарантируется по каждому завинчиваемому анкеру.

Длина анкера определяется глубиной залегания плотного грунта и может превышать ожидаемую, рассчитанную на основе отчётов об изысканиях. В практике использования анкерных систем длина анкеров достигала 30 метров (при использовании в России – 19 метров). Таким образом, погрешность интерполяции инженерных изысканий не влияет на надёжность закрепления трубопроводов анкерными системами Syntech [6].

Закрепление трубопроводов анкерными устройствами может осуществляться в условиях обводнённой и заболоченной местности, а также на переходах через болота с мощностью торфяной залежи, не превышающей глубины траншеи. При этом подстилающие болота грунты должны обеспечивать надёжную работу анкеров. В таблице 5 приведена сравнительная характеристика АУ Syntech с ВАУ старого поколения.

Таблица 5 – Отличительная особенность технологии крепления трубопроводов анкерными системами Syntech. Сравнение с ВАУ старого поколения

Параметр	Анкерные системы Syntech	Винтовые анкера ВАУ
Хомут седельный	Полиэстер не наносит механических повреждений изоляции трубы. Хомут за счёт особой конструкции держателей хомута даёт степень свободы при продольном линейном перемещении трубопровода. Предотвращает контакт системы с трубой. Седельный хомут собирается в заводских условиях и является нераздельной конструкцией. Седельный хомут равномерно распределяет нагрузку между правой и левой частями анкерной системы. Т. о. исключается случай перегрузки одной из частей.	Сталь требует дополнительной изоляции места примыкания к трубе, повреждает изоляцию. Крепление муфт для силовых поясов, осуществляемое при помощи сварки, требовало кольцевого нахлесточного шва, но на практике осуществлялось точечной сваркой в четырёх местах. Фиксированное отверстие для крепления муфт не обеспечивает гарантированного закрепления трубопровода в проектом положении. Как следствие приводило к перегрузению одной из частей и обрыву муфты с силовым поясом. Отсутствие плотного прилегания к трубопроводу.
Длина анкера (глубина погружения)	До 30 метров (возможно глубже, на практике не применялось, не было необходимости). Нарращивание происходит посредством соединительных элементов без потери прочности.	До 5 метров

Параметр	Анкерные системы Syntech	Винтовые анкера ВАУ
Срок службы, лет	30-50 лет.	
Отказы	Нет прецедентов.	До 80%. (При возможных горизонтальных и вертикальных перемещениях трубопровод оказывался не закреплённым.)
Монтаж систем	Производится при помощи стандартной (любой) техники с гидравлической системой в любое время года. До 30 комплектов (пар) за смену одним звеном рабочих (3 человека). Постоянный контроль процесса завинчивания анкеров. Завинчивание до минерального грунта.	Установка анкеров требовала закрепления их в минеральный грунт на глубину не менее шести диаметров винтовой лопасти, но на практике заглубление составляло не более трёх и без заглубления в минеральный грунт.
Условия применения	Нет ограничений, кроме скальных грунтов.	Глубина залежи торфа не более глубины траншеи.
Демонтаж	Анкер и удлинительный стержень соединяются посредством болтового соединения и муфты. При демонтаже можно легко извлечь анкерную систему обратным вывинчиванием и разобрать систему. (Возможно повторное применение.)	Анкер и удлинительный стержень соединяются с помощью муфты с резьбой. Таким образом вывинчивание невозможно.

1.4.1 Балластировка анкерными системами

Установка винтовыми АУ

Винтовые анкерные устройства типа ВАУ-1 или ВАУ-М устанавливаются на уложенном в проектное положение трубопроводе.

Винтовые анкера погружаются в грунт установками типа ВАГ в летнее время, после укладки трубопровода в траншею. В зимний период установку анкеров в основном осуществляют сразу же после разработки траншеи. При этом выполняется комплекс мероприятий, обеспечивающий сохранность изоляционного покрытия газопровода при укладке последнего в траншею. Установка винтовых анкеров в грунт (если допущено промерзание траншеи) выполняется после размораживания мёрзлых грунтов в основании траншеи или после его механического рыхления. Погружение вмораживаемых анкеров в вечномёрзлые грунты следует производить буроопускным и опускным способами.

Буроопускной способ применяют в твёрдомёрзлых грунтах при средней температуре по их глубине – 0,5°С и ниже, а опускной – в песчаных и глинистых грунтах, содержащих не более 15% крупнообломочных включений, при средней температуре по их глубине – 1,5°С и ниже.

Производство работ по бурению скважин осуществляется буровыми машинами, передвигающимися по спланированному (преимущественно за счёт подсыпки грунта) дну траншеи, а также с помощью специального навесного оборудования к гидравлическим одноковшовым экскаваторам, выполняющим работы по бурению скважин с бермы траншеи.

Для разработки скважин парооттаиванием используются передвижные паровые котлы с рабочим давлением 1,0 МПа, производительность которых обеспечивает работу целесообразного числа одновременно работающих паровых игл, исходя из расчётного расхода пара до 20-25 кг/час на одну работающую иглу.

Установка вмораживаемых АУ

Установку вмораживаемых анкером в грунт производят в календарные сроки, обеспечивающие смерзание анкером с грунтом для обеспечения их расчётной несущей способности. Винтовой вмораживаемый анкер устанавливается в заранее разработанную скважину следующим образом: сначала в скважину устанавливается тяга с наконечником, а затем скважина заполняется грунтовым (песчаным) раствором соответствующего состава и консистенции. Сразу же после заполнения скважины раствором, с помощью средств малой механизации или существующих установок для завинчивания анкером в грунт, одетая на тягу винтовая лопасть завинчивается до упора (наконечника). Затем на тягу устанавливается втулка и вторая винтовая лопасть, которая также завинчивается до упора. Заключительной операцией является установка силового соединительного пояса [3].

Анкерные устройства дискового типа ДАУ устанавливаются в заранее разработанные в вечномёрзлом грунте скважины, диаметр которых превышает диаметр диска не менее чем на 3 см, при диаметре диска анкера до 200 мм и на 5 см – при диаметре диска анкера свыше 200 мм. При этом пространство между стенками скважин и анкерами заполняется грунтовым (песчаным) раствором, состав и консистенция которого подбирается в соответствии с указаниями действующих строительных норм и правил.

Закрепление трубопроводов на проектных отметках винтовыми анкерными устройствами (ВАУ-1) допускается на участках, сложенных минеральными грунтами, имеющими тенденцию к восстановлению прочностных свойств после разрушения их естественного состояния при условии отсутствия воды в траншее в период производства работ.

Не допускается установка анкерных устройств на участках трубопроводов, и трубопроводов, имеющих в процессе эксплуатации продольные перемещения свыше 40 мм.

ВАУ-1 состоит из двух тяг с наконечниками, двух винтовых лопастей со втулками и силового соединительного пояса. Конструкция силового анкерного устройства не предусматривает проведение сварочных и изоляционных работ в трассовых условиях. Диаметр лопастей, применяемых в практике трубопроводного строительства винтовых анкером, достигает 400 мм, развиваемый установками для завинчивания анкером в грунт крутящий момент – 20 кН/м.

При необходимости использования винтовых анкерных устройств с диаметрами лопастей анкера до 500-550 мм, требуется использование модернизированной конструкции (ВАУ-М), отличающейся от широко применяемой изменением прямой режущей кромки заходной части лопасти анкера на серповидную, что сокращает величину крутящего момента в процессе завинчивания анкера в грунт до 30% и обеспечивает возможность использования существующего парка машин.

Работы по сборке и сварке винтовых анкеров с анкерными тягами выполняются в соответствии со схемой в следующей технологической последовательности:

- доставка и укладка винтовых анкеров и анкерных тяг на стеллаж;
- соединение анкера с анкерной тягой при помощи резьбы;
- обварка анкерной тяги в месте соединения с анкером;
- зачистка места сварки, грунтовка и изоляция;
- отоска и укладка анкерного устройства в штабель готовой продукции.

Анкерные устройства могут перевозиться транспортом всех видов в соответствии с правилами перевозок, действующими на транспорте конкретного вида.

Транспортирование винтовых анкерных устройств допускается осуществлять транспортом любого вида (железнодорожным, автомобильным, морским, воздушным).

Методы установки вмораживаемых АУ связаны со способом образования скважины. Известны четыре способа: механическое бурение, пароотаивание, электропротаивание, огнеструйное (виброогнеструйное) бурение, а также их комбинированное применение.

Краткая технологическая последовательность производства работ сводится к следующему (рис. 15): после укладки заизолированного трубопровода на дно траншеи устанавливаются винтовые анкерные устройства; через тягу анкера, выполненную в виде трубы с отверстиями на боковой поверхности, при помощи насосной установки в грунт нагнетается вязущее вещество, которое заполняет пустоты нарушенной структуры грунта, образовавшиеся в результате прохождения винтового наконечника анкера; после затвердения вещества значительно увеличивается удерживающая способность грунта.

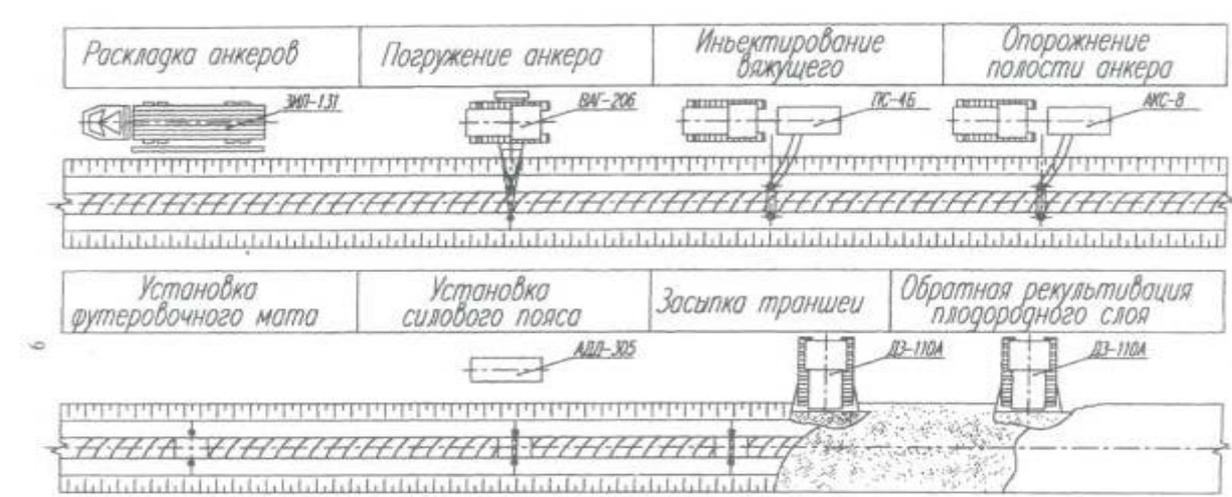


Рисунок 15 - Технология балластировки трубопровода винтовыми анкерными устройствами с повышенной удерживающей способностью

Установка анкерных систем Cyntech

Аналогично процессу закрепления винтовых АУ.

При монтаже анкерных систем Cyntech используют моторы американского производства, позволяющие достичь требуемого значения крутящего момента вне зависимости от грунтов. Данные моторы могут быть установлены на любую строительную технику, оснащённую гидравлическим приводом. Это позволяет оптимизировать выбор транспорта с точки зрения проходимости. Также возможно одновременное использование двух моторов на одной единице строительной техники.

Мобильная бригада комплектуется аттестованными специалистами, прошедшими обучение по технологии закрепления трубопроводов анкерными системами Cyntech.

Типовой состав мобильной бригады: оператор; инженер; два монтажника [6].

При проведении работ по закреплению трубопровода на проектных отметках должны соблюдаться требования соответствующих нормативных документов по проектированию, строительству, технике безопасности, а также данной инструкции.

Проведение работ должно сопровождаться природоохранными мероприятиями с целью недопущения загрязнения окружающей среды вязкими продуктами.

2 Расчётная часть

2.1 Балластировка трубопровода отдельными грузами

Для обеспечения устойчивости положения трубопровода в траншее на проектных отметках производится его балластировка или закрепление.

Произведём расчёт основных параметров железобетонных утяжелителей и анкерных устройств НСМ и ПКБУ [2].

Рассчитаем основные параметры устойчивости балластируемого и закрепляемого трубопровода.

Методика расчёта данного раздела взята из источника [3].

Трубопровод, укладываемый в болотистом и обводнённом грунте, должен быть закреплён против всплытия, если он имеет положительную плавучесть. Проверка против всплытия трубопроводов, прокладываемых на обводнённых участках, выполняется по расчётным нагрузкам и воздействиям из условия:

$$B \geq K_m \cdot (K_{н.в} q_v - q_{тр} - q_{доп}), \quad (2)$$

где B – необходимая величина пригрузки или расчётного усилия анкерного устройства, приходящаяся на трубопровод длиной 1 м, Н/м;

K_m – коэффициент безопасности по материалу, принимаем для железобетонных утяжелителей $K_m = 1,05$;

q_v – расчётная погонная выталкивающая сила воды, Н/м;

$K_{н.в}$ – коэффициент надёжности устойчивости положения трубопроводов против всплытия, принимаем по [1];

$q_{тр}$ – расчётный вес трубопровода (с учётом изоляции) на воздухе, Н/м;

$q_{доп}$ – расчётный вес продукта на воздухе, дополнительных устройств в воде, а также обледенения в воде при транспортировке продукта с отрицательной температурой, Н/м;

$$q_v = 0,8 \cdot \gamma_v D_{н.и}^2, \quad (3)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с², $g = 9,81$ м/с²;

γ_v – плотность воды с учётом растворённых в ней солей, кг/м³,
 $\gamma_v = 1,05$ кг/м³;

$D_{н.и}$ – наружный диаметр трубопровода с учётом изоляционного покрытия и футеровки, м:

$$D_{н.и} = D_n + 2 \cdot \delta_{из}, \quad (4)$$

где D_n – наружный диаметр трубопровода, м;

$\delta_{из}$ – толщина противокоррозионной изоляции, м;

p – давление, МПа;

$$q_{доп} = p \cdot D_{вн}^2. \quad (5)$$

Осевой момент сопротивления поперечного сечения трубы:

$$W = \frac{2 \cdot I}{D_n}, \quad (6)$$

где I – момент инерции сечения трубопровода, м⁴;

$q_{тр}$ – расчётный погонный собственный вес трубопровода, Н/м:

$$q_{тр} = q_{с.в.} + q_{из}, \quad (7)$$

где $q_{с.в.}$ – собственный вес трубы Н/м, [4];

$q_{из}$ – вес изоляционного покрытия, $q_{из} = q_{л} + q_{бр}$, Н/м [2]:

$$D_{вн} = D_n - 2\delta, \quad (8)$$

где δ – номинальная толщина стенки трубы, м.

Необходимая величина пригрузки, приходящаяся на трубопровод длиной 1 м, определяется по формуле одиночными железобетонными утяжелителями Б, Н/м.

При балластировке трубопровода отдельными утяжелителями шаг утяжелителей, при равномерном расстоянии между осями утяжелителей, $l_{г}$, м:

$$l_{г} = \frac{Q_{г.ср.} - \gamma_v \cdot V_{г.ср.}}{B}, \quad (9)$$

где $Q_{г.ср.}$ – средний вес одного груза в воздухе, кг, $Q^H = 3\ 000$ кг;

$V_{г.ср.}$ – средний фактический объем груза, м³ [2];

$$V_{г.ср.} = \left[ab - (a - 2d)h - \frac{\pi R^2}{2} \right] \cdot c, \quad (10)$$

где a, b, d, h, R, c – параметры грузов [2];
- кольцевые чугунные грузы

$$V_{г.ср.} = \pi(R_1^2 - R_2^2) \cdot m, \quad (11)$$

При сплошном обетонировании требуемый наружный диаметр забалластированной трубы определится из выражения:

$$D_{\delta} = \sqrt{\frac{\pi \gamma_{\delta} D_{из}^2 - 4q_{тр}}{\pi(\gamma_{\delta} - K_M \gamma_B)}}, \quad (12)$$

где γ_{δ} – объёмный вес бетона, кгс/м³;
 $D_{из}$ – диаметр заполированного трубопровода.

2.2 Балластировка трубопроводов минеральным грунтом с применением нетканых синтетических материалов (НСМ)

Методика расчёта данного раздела взята из источника [3].

Удерживающая способность (на единицу длины трубопровода) грунта обратной засыпки, закрепляемого с помощью НСМ, $q_{гр.НСМ}$:

$$q_{гр.НСМ} = \frac{n_{гр}}{\gamma_n} \left\langle \begin{array}{l} D_n \left[\gamma_{гр} h_B + \gamma_{sb} \left(h_o - h_B - \frac{\pi}{8} \right) \right] + \\ \left[\gamma_{гр} h_B (2h_o - h_B) + \gamma_{sb} (h_o - h_B)^2 \right] \text{tg} 0,7 \varphi_{гр} + \\ + k \left\{ \frac{0,7 h_o c_{гр}}{\cos 0,7 \varphi_{гр}} \right\} \end{array} \right\rangle, \quad (13)$$

где $n_{гр}$ – коэффициент надёжности по нагрузке (грунту);
 γ_n – коэффициент надёжности по назначению;
 $\gamma_{гр}$ – удельный вес грунта засыпки в естественном (необводнённом) состоянии, кН/м³;
 h_B – расстояние от верха засыпки до уровня воды, м;
 γ_{sb} – удельный вес грунта во взвешенном состоянии, кН/м³;

$$\gamma_{sb} = \frac{\gamma_s - \gamma_B k_{н.в.}}{1 + e}, \quad (14)$$

где γ_s – удельный вес частиц грунта засыпки, кН/м³;
 γ_B – удельный вес воды, кН/м³;
 $k_{н.в.}$ – коэффициент устойчивости положения трубопровода против всплытия;

e – коэффициент пористости грунта;
 h_0 – расстояние от верха засыпки до оси трубопровода, м;
 k – коэффициент, характеризующий призму выпора грунта;
 $\varphi_{гр}$ – угол внутреннего трения грунта, град.;
 $c_{гр}$ – сцепление грунта, МПа.

Балластировка минеральным грунтом с помощью НСМ будет достаточной в случае, если при непрерывном по длине закреплении с помощью НСМ найденная по формуле (1) удерживающая способность обратной засыпки будет удовлетворять условию:

$$q_{гр.НСМ} \geq k_n \cdot \nu \cdot q_{\nu} + q_{изг} - q_{мп}, \quad (15)$$

2.3 Расчёт балластирующей способности ПКБУ, ПКУ

Для расчёта балластирующей способности ПКУ, ПКБУ(М) используются следующие зависимости [9, п. 4.13]. Расчёт проводится для установки контейнеров в условиях полного обводнения траншеи. Удерживающая способность группы контейнеров определяется:

$$q_{гр} = n_{гр} \cdot \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + \varepsilon} \cdot \left(k \cdot V + \nu \cdot \frac{L^2}{4} \operatorname{tg} \varphi \right), \quad (16)$$

где $q_{гр}$ – удерживающая способность контейнеров, кН;
 $n_{гр}$ – коэффициент надёжности по нагрузке;
 γ_s – удельный вес частиц грунта, кН/м;
 γ_w – удельный вес воды, кН/м;
 ε – коэффициент пористости грунта;
 k – количество ПКБУ в группе;
 V – вместимость (объём) ПКБУ, м³;
 ν – длина группы, м;
 L – поперечный размер ПКБУ, м;
 φ – угол внутреннего трения грунта, град.
 Длина группы ν , м определяется по следующей формуле:

$$\nu = B \cdot k, \quad (17)$$

где B – длина ПКБУ, м.
 Удерживающая способность:

Для прямолинейно проложенного газопровода, когда местный грунт не обладает удерживающей способностью в обводнённом состоянии, а балласт является привозным грунтом, число групп ПКБУ на балластируемом участке определяется по формуле:

$$n = \frac{q_{пл} \cdot l_{уч}}{q_{гр}}, \quad (18)$$

где n – число групп ПКБУ, шт.;

$q_{пл}$ – плавучесть газопровода, кН/м, (по своей физической сути это интенсивность весовых нагрузок, то есть можно принять плавучесть равной $B = q_{бал}^{возд}$, кН/м;

$l_{уч}$ – длина балластируемого участка, м;

2,6 – переходной коэффициент;

Расстояние между группами (промежуток) определяется по формуле:

$$a = \frac{l_{уч} - n \cdot B}{n}, \quad (19)$$

где a – расстояние между группами ПКБУ, м.

Шаг установки (расстояние между центрами) $l_{ш}$, определяется по формуле:

$$l_{ш} = a + b. \quad (20)$$

Таким образом, принимаем шаг расстановки балластирующих устройств может быть определён по формуле представленной выше. Тогда количество комплектов на участке можно определить:

$$N = \frac{L}{l_{ш}}.$$

2.4 Расчёт балластировки трубопровода с применением анкерных устройств

Методика расчёта данного раздела взята из источника [3].

При балластировке металлическими винтовыми анкерными устройствами расчётное усилие (допускаемая нагрузка) $B_{анк}$ определяется по формуле:

$$B_{анк} = Z_{анк} \cdot k_{гр} \cdot m_{анк} \cdot N_{анк}, \quad (21)$$

где $Z_{анк}$ – число анкеров в одном анкерном устройстве, шт.;

$k_{гр}$ – коэффициент несущей способности грунта, в котором находятся лопасти анкеров;

$m_{анк}$ – коэффициент условий работы анкерного устройства, принимаемый равным 0,5 при $Z_{анк} \leq 2$ и 0,4 при $Z_{анк} > 2$;

$N_{анк}$ – максимальная (критическая) нагрузка на один винтовой анкер, завинченный в грунт на глубину не менее шести диаметров лопасти [3].

Расстояние между анкерами:

$$l_a = \frac{B_{анк}}{B}. \quad (22)$$

Дополнительно определяется расстояние между анкерами из условия прочности:

$$l_a = \sqrt{\frac{12R_2 W}{P_{пл}}}, \quad (23)$$

где R_2 – расчетное сопротивление трубной стали; Н/м;
 W – осевой момент сопротивления поперечного сечения трубы, м³;
 $P_{пл}$ – положительная плавучесть, Н/м.

$$P_{пл} = \gamma_B V_B - q_{тр}, \quad (24)$$

где V_B – объём воды, вытесненной 1 м трубы с учётом изоляции, м³,

$$V_B = \frac{\pi(D_H + 2\delta_{из})^2}{4}, \quad (25)$$

где $\delta_{из}$ – толщина изоляционного покрытия, м.

Коэффициент условий работы анкерного устройства, m_a , зависит от количества анкеров, z , и соотношения между диаметром трубопровода, D_H , и максимальным линейным размером габарита проекции одного анкера на горизонтальную плоскость, $D_{анк}$,

- при $z = 1$ или $z = 2$ и $(D_H/D_{анк}) > 3m_a = 1$;

- при $z \geq 2$ и $1 \leq (D_H/D_{анк}) \leq 3$

При балластировке трубопроводов анкерными устройствами расстояние между ними, l_a , м,

$$l_a = \frac{B_a}{B}. \quad (26)$$

Дополнительно определяем расстояние между анкерами из условия прочности, l_{amax} , м:

$$l_{amax} = \sqrt{\frac{12 \cdot R_2 \cdot W}{P_{пл}}}, \quad (27)$$

где R_2 – расчётное сопротивление трубной стали, МПа;

$$R_2 = R_1 \frac{m_o}{K_1 \cdot K_H}, \quad (28)$$

где R_1 – нормативное сопротивление растяжению (сжатию) металла труб и сварных соединений, МПа[5];

m_o – коэффициент условий работы трубопровода;

K_1 – коэффициент надёжности по металлу;

K_H – коэффициент надёжности по назначению трубопровода;

W – осевой момент сопротивления поперечного сечения трубы, м³:

$$W = \frac{\pi \cdot D_{BH}^2 \cdot \delta}{4}, \quad (29)$$

$P_{пл}$ – распределённая нагрузка на участке, свободном от грузов (положительная плавучесть), Н/м:

$$P_{пл} = \gamma_v \cdot V_v - q_{тр}, \quad (30)$$

где γ_v – удельный вес воды, Н/м, $\gamma_v = 9,81 \cdot 10^3$ Н/м;
 V_v – объём воды, вытесненной 1 м трубы, м³:

$$V_v = \frac{\pi \cdot (D_n + 2 \cdot \delta_{из})^2}{4}. \quad (31)$$

При $l_{амакс} > l_a$, принимаем значение l_a , т. е. удерживающая способность винтовых анкерных устройств с повышенной удерживающей способностью в данном случае увеличена с запасом.

Таблица 8 – Характеристика анкерных устройств

Диаметр анкера, мм	Максимальная (критическая нагрузка) на один винтовой анкер, $N_{анк}$, кгс
100	650
150	750
200	1 350
250	2 100
300	3 000
400	5 300
500	8 300
600	12 000
750	18 750

Таблица 9 – Значение коэффициента $k_{гр}$

Группа грунта	Грунты	Коэффициент несущей способности грунта, $k_{гр}$
I	Мягкопластичные глины и суглинки, пластичные супеси	1
II	Пески мелкие, плотные и средней плотности, влажные и водонасыщенные, полутвёрдые тугопластичные глины и суглинки	2
III	Пески гравелистые, крупные и средней зернистости, маловлажные, влажные и водонасыщенные, твёрдые супеси, глины и суглинки	3

2.5 Закрепление трубопровода с помощью вмораживаемых анкеров в вечномерзлых грунтах

Методика расчёта данного раздела взята из источника [3].
 Площадь дисков, A_1 , см²:

$$A_1 = A_2 = \frac{\pi d_g^2}{4} - \frac{\pi d_T^2}{4}, \quad (32)$$

где d_g – диаметр дисков, мм;

d_T – тяга стальная периодического профиля, мм.

По температуре и наименованию грунта определяем расчётные давления на диски R_i по [2] для глубины погружения диска. Температура t_1 на уровне нижнего диска равна минус.

Для температуры грунта в середине слоя по [2] для песчаных грунтов находим расчётное сопротивление R_{af} смерзанию грунта с поверхностью тяги.

Площадь поверхности смерзания тяги, A_{af} , см²:

$$A_{af} = \pi \cdot d_T \cdot 200. \quad (33)$$

Несущая способность анкера, исходя из устойчивости трубопровода против всплытия, F_d , кН:

$$F_d = \gamma_c \left(\sum_{j=1}^n R_i A_i + \sum_{j=1}^m R_{af}^{(j)} A_{af}^{(j)} \right), \quad (34)$$

где γ_c – коэффициент условия работы, [2];

i – номер диска;

n – число дисков;

R_i – расчётное давление на мёрзлый грунт, кгс/см²,

A_i – площадь диска (за исключением площади сечения стержня),

j – номер слоя, $j = 1$;

m – число слоёв, $m = 1$.

Несущая способность анкера, F_d , кгс:

$$F_d = R_{sh} \cdot A_{sh}, \quad (35)$$

где R_{sh} – расчётное сопротивление мёрзлого грунта сдвигу по грунту, кгс/см²;

A_{sh} – площадь поверхности сдвига по боковой поверхности цилиндра с основанием, равным площади диска, см²;

$$A_{sh} = \pi \cdot d \cdot 200, \quad (36)$$

где d – диаметр диска, см.

Несущая способность анкерного устройства, B_a , кгс:

$$B_a = \frac{z \cdot m_a \cdot F_a}{\gamma_k}, \quad (37)$$

где z – количество анкеров в анкерном устройстве, $z = 2$;

m_a – коэффициент условия работы лопасти анкерного устройства, $m_a = 1$;

γ_k – коэффициент надёжности анкера, $\gamma_k = 1,25$.

Исходя из устойчивости трубопровода против всплытия по формуле (43), B_{α} , кН,

Определяем расстояния между анкерными устройствами:

- исходя из устойчивости трубопровода против всплытия ℓ , м,

$$l = \frac{B_{\alpha}}{B}, \quad (38)$$

- исходя из общей устойчивости трубопровода ℓ' , м,

$$l' = \frac{B'_{\alpha}}{B_a}. \quad (39)$$

Принимается меньшее значение ℓ м.

Из расчёта принимаем несущую способность одного анкерного устройства в вечномёрзлых грунтах и расстояние между анкерами [3].

Вопросы для самоконтроля

- 1) От каких условий зависит выбор метода закрепления?
- 2) Назовите три группы методов закрепления трубопроводов на проектных отметках на обводняемых участках трассы?
- 3) Основная причина оголения или всплытия трубопровода со сбросом утяжелителей?
- 4) В каких условиях рекомендуется применять железобетонные утяжелители?
- 5) Что из себя представляют полимерконтейнерные устройства (ПКУ)?
- 6) Что из себя представляет полимерконтейнерное заполняемое минеральным грунтом балластирующее устройство (ПКБУ)?
- 7) Что из себя представляют НСМ?
- 8) Что из себя представляют анкерные устройства?
- 9) Какие виды анкерных устройств существуют в настоящее время?
- 10) Какие виды грунтозаполняемых устройств существуют?
- 11) Какие виды железобетонных утяжелителей существуют?
- 12) Какое существует условие проверки против всплытия трубопровода?
- 13) Какие конструктивные особенности анкеров нового поколения Sypntech отличают их от конструкции традиционных анкерных устройств?
- 14) Какие преимущества имеют анкерные устройства в отличие от железобетонных утяжелителей?
- 15) Какие преимущества имеют грунтозаполняемые утяжелители в отличие от железобетонных?
- 16) Какой материал используют для закрепления инъекционных анкерных устройств?
- 17) Схема технологии балластировки трубопровода инъекционными АУ.
- 18) Для чего необходимы футеровочные маты при балластировке трубопровода?

Тесты для самоконтроля

1. Какой процесс характеризует закрепление трубопровода на проектных отметках?

- а) Балансировка;
- б) Футеровка;
- в) Балластировка;
- г) Центровка.

2. Какие устройства для закрепления выполнены из утяжеляющих железобетонных материалов?

- а) ПКБУ, ПКУ;
- б) ВАУ, ВМА;
- в) УБО, УБКМ;
- г) НСМ, КТ.

3. От чего не зависит выбор метода закрепления?

- а) От категории местности;

- б) От уровня грунтовых вод;
- в) Схем прокладки;
- г) От марки стали трубопровода.

4. Какой из перечисленных нормативных документов не используется в настоящее время, а используется только его актуализированная версия?

- а) ВСН 39 – 1.9 – 003 – 98;
- б) СП 86.13330.2012;
- в) СНиП – III 42 – 80*.

5. Из какого материала выполнен седельный хомут анкеров Cyntech?

- а) Сталь;
- б) Поливинил;
- в) Полиэстер;
- г) Резина.

6. Какой максимальной длины достигали анкерные стержни в России?

- а) 30 м;
- б) 120 м;
- в) 19 м;
- г) 56 м.

7. Полотнища, выполненные из нетканно-синтетического материала называются:

- а) КТ;
- б) НСМ;
- в) УБКМ;
- г) ПКУ.

8. Какие вещества не могут быть использованы в качестве закрепляющего вещества для инъекционных анкеров?

- а) Нефтяные битумы и мастики;
- б) Тетраэтилсвинец;
- в) Цементные растворы;
- г) Смолы.

9. Какое максимальное количество ПКБУ может присутствовать в группе?

- а) 4;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 6.

10. Условие проверки против всплытия трубопровода имеет вид:

а) $B \geq K_m \cdot (K_{н.в} q_B - q_{тр} - q_{доп})$

б) $\gamma_{sb} = \frac{\gamma_s - \gamma_B k_{н.в}}{1 + e}$

в) $q_{гр.НСМ} \geq k_{н.в} \cdot q_B + q_{изг} - q_{тр}$

г) $B_{гр.НСМ} \geq k_{н.в} \cdot q_B + q_{изг} - q_{тр}$.

Темы докладов

1. Сравнение современных методов закрепления трубопроводов.
2. Традиционные средства закрепления трубопроводов железобетонными утяжелителями.
3. Закрепление трубопровода анкерными системами.
4. Закрепление трубопроводов грунтозаполняемыми устройствами.
5. Методика расчёта удерживающей способности и расстояния между различными методами закрепления трубопровода.
6. Обетонированные трубы, область применения.
7. Проблема всплытия трубопроводов, технология закрепления всплывших участков.
8. Применение утяжелителей для закрепления участков газопроводов.
9. Применение утяжелителей для закрепления участков нефтепроводов.
10. Применение утяжелителей для закрепления подводных участков трубопроводов.
11. Использование комбинированного метода закрепления трубопроводов.
12. Зарубежный опыт использования различных методов балластировки.
13. Анализ использования грунтозаполняемых утяжелителей.
14. Использование инъекционных анкерных систем.
15. Использование современных анкерных систем Cyntech.
16. Применение утяжелителей на магистральном газопроводе «Бованенково-Ухта».
17. Особенности технологии закрепления трубопровода различными методами балластировки.
18. Аварии и повреждения на трубопроводах при всплытии на обводнённых участках.
19. Обеспечение мер безопасности при строительстве и закреплении трубопровода на проектных отметках.
20. Охрана окружающей среды при строительстве и закреплении трубопровода на проектных отметках.

Библиографический список

- 1) СВОД ПРАВИЛ СП 36. 13330. 2012 «СНиП 2.05.06–85*. Магистральные трубопроводы. Актуализированная программа». – М. : Госстрой, ФАУ «ФЦС», 2012. – 52 с.
- 2) СНиП 2.01.07–85*. Нагрузки и воздействия. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 52 с.
- 3) СВОД ПРАВИЛ СП 86. 13330. 2011 «СНиП III–42–80* Магистральные трубопроводы». – М. : Госстрой, ФАУ «ФЦС», 2012. – 52 с.
- 4) Типовые расчёты при сооружении и ремонте газонефтепроводов : учеб. пособие. – Недра, 2006. – 824 с.: ил.
- 5) Капитальный ремонт линейной части магистральных газонефтепроводов : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки магистров 131000.68 Нефтегазовое дело / Н. Х. Халлыев [и др.] ; под ред. Н. Х. Халлыева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Макс Пресс, 2011. – 448 с.: ил.
- 6) ВСН 39-1.9-003-98 Конструкции и способы балластировки и закрепления подземных трубопроводов. – М. : ОАО «Газпром», 1998. – 49 с.
- 7) СП 107-34-96 Балластировка, обеспечение устойчивости положения газопроводов на проектных отметках. – М. : РАО «Газпром», 1996. – 27 с.
- 8) Мандриков, А. П. Примеры расчёта металлических конструкций : учеб. пособие для техникумов / А. П. Мандриков. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Техиздат, 2006. – 207 с.
- 9) Тугунов, П. И. Типовые расчёты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов : учеб. пособие для вузов / П. И. Тугунов, В. Ф. Новосёлов, А. А. Коршак, А. М. Шаммазов. – Уфа : ООО «Дизайн-ПолиграСервис», 2002. – 658 с.
- 10) РД 39Р-00147105-029-02 Инструкция по балластировке трубопроводов с применением винтовых анкерных устройств с повышенной удерживающей способностью: введ. в действие 18.07.2002. – Уфа, 2002. – 65 с.
- 11) Типовые расчёты при сооружении и ремонте газонефтепроводов : учеб. пособие / Л. И. Быков, Ф. М. Мустафин, С. К. Рафиков [и др.]. – СПб. : Недра, 2006. – 824 с.
- 12) ТУ 1394-035-04005951-2008 Трубы с балластным покрытием в металлополимерной оболочке, для газопроводов в обводнённой и заболоченной местности, на подводных переходах. – М. : Издательство стандартов, 2008. – 9 с.

Приложение 1

Категории магистральных трубопроводов

Таблица П.1 – Категории магистральных трубопроводов

Назначение трубопровода	Категория трубопровода при прокладке	
	подземной	наземной и надземной
Для транспортирования природного газа:		
а) диаметром менее 1 200 мм	IV	III
б) диаметром 1 200 мм и более	III	III
в) в северной строительно-климатической зоне	III	III
Для транспортирования нефти и нефтепродуктов:		
а) диаметром менее 700 мм	IV	III
б) диаметром 700 мм и более	III	III
в) в северной строительно-климатической зоне	III	III

Приложение 2

Подготовка к выступлению с докладом на занятии

Доклад – это выступление, сопровождаемое визуальными образами, направленное на то, чтобы донести до аудитории информацию. Эффективный доклад, как правило, заранее спланирован, хорошо организован и предназначен для определённой аудитории. Ниже приведены этапы подготовки доклада.

Доклад представляет собой краткое изложение сути проведённого исследования, полученных результатов, их теоретической и практической значимости. Его подготовка включает:

1. Обдумывание структуры и содержания.
2. Разработку плана.
3. Написание текста доклада.
4. Репетицию выступления.

В структурном отношении доклад обычно делится на три части: введение, основную часть, заключение.

Текст доклада, как правило, необходимо и целесообразно готовить заранее. Его использование не запрещается, однако читать доклад нежелательно. Вы можете утратить логику изложения, рискуете потерять контакт с аудиторией. Есть и другая крайность: текст выучивают наизусть и затем читают, как стихотворение, используя, в том числе, художественные приёмы. Такая форма подачи также плохо подходит для доклада.

Оптимальным представляется вариант, когда у докладчика на руках имеется план-конспект доклада. Это придаёт определённую уверенность и позволяет докладчику излагать материал последовательно, не пропускать существенных моментов в сообщении.

Презентация должна быть наглядной. Материал рекомендуется представлять в структурном, графическом и схематичном виде. В тексте следует избегать длинных предложений.

При подготовке слайдов рекомендуется придерживаться следующего:

- Слайды должны быть простыми, не перегруженными текстом и излишними данными.
- Желательно использовать шаблон со светлым фоном, который не отвлекает внимание от содержания слайда.
- Текст должен легко читаться, рекомендуемый размер шрифта не ниже 20pt, цвет – синий или чёрный. Текст должен быть написан простыми, короткими предложениями, отражать основные положения доклада, существенную информацию. Рекомендуется употреблять общепринятую терминологию, пояснять узкоспециализированные понятия.
- Не следует использовать в презентации звуковые эффекты и большое количество анимации.
- Рисунки, графики, таблицы должны иметь название.
- Содержание слайдов должно соответствовать выступлению.

Дополнительные материалы, подкрепляющие выступление и не вошедшие в презентацию, могут быть оформлены в виде **раздаточного материала** к докладу. Примером таких материалов могут служить основные тезисы презентации, детальные модели бизнес-процессов, блок-схемы, изложение расчётов, примеры разработанных документов и др. В случае наличия раздаточного материала в процессе выступления необходимо делать ссылку на соответствующий материал.

Ваша цель – добиться полного понимания у всей аудитории. Поэтому презентация должна плавно переходить от популярного введения к более сложным техническим деталям. Дизайн слайдов должен быть простым и строгим (оптимально – тёмный на белом); ничто не должно отвлекать от понимания сути работы.

Если вы чувствуете себя хоть немного неуверенно перед аудиторией, запишите и выучите свою речь наизусть. Запись выступления на 7 минут занимает примерно полторы страницы текста (формат А4, шрифт 12pt).

Титульная страница необходима, чтобы представить аудитории вас и тему вашего доклада. Оптимальное число строк на слайде – от 6 до 11. Перегруженность и мелкий шрифт тяжелы для восприятия. Недогруженность оставляет впечатление, что выступление поверхностно и плохо подготовлено.

Распространённая ошибка – читать слайд дословно. Лучше всего, если на слайде будет написана подробная информация (определения, теоремы, формулы), а словами будет рассказываться их содержательный смысл. Пункты перечней должны быть короткими фразами; максимум – две строки на фразу, оптимально – одна строка. Чтение длинной фразы отвлекает внимание от речи. Короткая фраза легче запоминается визуально.

Не проговаривайте формулы словами. Это делается только во время лекций или семинаров, когда слушатели одновременно записывают конспект.

Оптимальная скорость переключения – один слайд за 1 минуту. Для кратких выступлений допустимо два слайда в минуту, но не быстрее. Слушатели должны успеть воспринять информацию и со слайда, и на слух.

На слайдах с ключевыми определениями можно задержаться подольше. Если они не будут поняты, то не будет понято ничего.

Слайды с графиками результатов, наоборот, легко проскакать в ускоренном темпе. Вводите только те обозначения и понятия, без которых понимание основных идей доклада невозможно. Любое обозначение должно быть объяснено до его первого использования (как и в статьях). Если объяснение некоторого результата требует цепочки из 20 определений, то необходимо найти способ объяснить это короче.

Над каждой фразой надо критически подумать: поймут ли её слушатели; достаточно ли у них специальных знаний, чтобы её понять? Непонятные фразы следует исключать из презентации.

Последний слайд с выводами в коротких презентациях проговаривать не обязательно.

Речь и слайды не должны совпадать, тогда презентация станет «объёмной». Речь должна быть более популярна и образна. Слайды должны содержать больше технических подробностей: формулы, схемы, таблицы, графики.

В коротком выступлении в них можно тыкать по ходу изложения, но при этом не надо останавливаться на объяснении всех подробностей.

Первые же фразы должны привлечь слушателя. Например, можно сказать о том, насколько сложной или насколько важной является данная задача, или о том, насколько неожиданным будет решение – это позволит удержать внимание слушателей до конца.

Программа Microsoft Power Point предоставляет большое количество шаблонов презентаций на различные темы. Такие шаблоны включают оформленные слайды, в которые пользователи вносят данные. Любой стандартный шаблон презентации можно изменить по своему вкусу.

Для визуализации информации, представленной в докладе, также можно использовать MS Word. Установите ориентацию страниц landscape, сделайте поля меньше, установите размер основного шрифта около 25. Очень хорошо, когда на каждом слайде внизу написан номер текущего слайда и сколько слайдов всего. Word позволяет сделать это с помощью колонтитулов. Рекомендуется сначала создать образец чистой страницы с установленным размером шрифта, полями, колонтитулами и заголовком, и потом копировать его для каждого нового слайда. Готовую презентацию лучше показывать не в самом Word, а записать документ в PDF-файл и во время презентации использовать полноэкранный режим Acrobat Reader.

Пакет beamer (LaTeX) – это наиболее профессиональный выбор. Beamer на порядок превосходит средства Microsoft Office по качеству результата. Рекомендуется освоить его всем, кто собирается заниматься наукой и дальше – на конференциях и защитах такие презентации производят очень хорошее впечатление. Презентация стандартным образом переводится в формат PDF и показывается в полноэкранном режиме с помощью Acrobat Reader.