

На правах рукописи

МИРОНОВ ВИКТОР ВЛАДИМИРОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ТРУБОПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ГЕОСИНТЕТИКОВ**

*Специальность 05.26.03 – Пожарная и промышленная
безопасность (нефтегазо-
вая отрасль)*

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук**

Уфа – 2004

Работа выполнена в Тюменской государственной архитектурно-строительной академии.

Научный консультант доктор технических наук, профессор
Коршак Алексей Анатольевич.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, доцент
Новосёлов Владимир Викторович;
 доктор технических наук, профессор
Гумеров Риф Сайфуллович;
 доктор технических наук, доцент
Шарафиев Роберт Гарафиевич.

Ведущая организация **ЗАО «Институт Сибнефтегазпроект».**

Защита состоится "14" октября 2004 года в 14 - 30 на заседании диссертационного совета Д 212.289.05 при Уфимском государственном нефтяном техническом университете по адресу: 450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Автореферат разослан " __ " _____ 2004 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Ибрагимов И.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Современные промышленные объекты, в том числе системы трубопроводного транспорта углеводородов, достаточно совершенны. Однако полностью устранить аварии на объектах трубопроводного транспорта углеводородов зачастую бывает практически невозможно ввиду множества факторов, вызывающих появление нештатных ситуаций на их линейной части (износ оборудования, человеческий фактор, природные явления и др.). Поэтому вопросы совершенствования трубопроводных систем и, тем самым, повышения их пожарной, промышленной и экологической безопасности всегда остаются актуальными и постоянно привлекают к себе внимание ученых и практиков всего мира.

До недавних пор при выполнении строительных работ, направленных на обеспечение безопасности функционирования трубопроводов, применялись традиционные строительные материалы и техника. Однако это было связано со значительными капиталовложениями и транспортными расходами. Сегодня для указанных целей всё шире применяются геосинтетические материалы (геосинтетики) в совокупности с местным грунтом.

В настоящее время существует множество технических решений, в том числе с применением геосинтетических материалов, которые позволяют снизить опасность функционирования трубопроводов для окружающей среды, промышленных и гражданских объектов. Благодаря своим уникальным физическим свойствам геосинтетики могут быть использованы в различных конструкциях на объектах трубопроводного транспорта, позволяющих предотвратить повреждения трубопроводов от внешних воздействий, а в случае нарушения их герметичности сократить ущерб от аварийного разлива жидких углеводородов.

Вместе с тем известно, что технические решения, относящиеся к трубопроводному транспорту углеводородов, предполагают применение геосинтетиков при "сухом" способе производства земляных работ с использованием привозного грунта. Последнее увеличивает объём грузоперевозок в несколько раз, повышает трудоёмкость работ, а соответственно и стоимость защитных конструкций и, зачастую, делает невозможным их сооружение в обводнённой местности со слабой несущей способностью грунта.

Современные условия хозяйствования выдвигают актуальные требования эффективного применения новых материалов и технологий с максимальным использованием местных ресурсов.

Совместное применение геосинтетиков в виде оболочек (геотубов) и местных грунтов путём использования средств гидромеханизации земляных работ даёт возможность объединить в единый технологический процесс разработку грунта, его транспортировку и укладку в тело сооружаемых защитных конструкций, что немаловажно для трубопроводов, прокладываемых в сложных геогидрологических условиях.

Цель работы – повышение безопасности трубопроводного транспорта углеводородов путём совместного применения геосинтетиков в виде геотубов и средств гидромеханизации для предотвращения аварий и сокращения ущерба, вызванного авариями.

Основные задачи исследований

1. Разработка технических решений по повышению безопасности трубопроводного транспорта углеводородов на основе применения геосинтетиков в виде геотубов и средств гидромеханизации.

2. Экспериментальное определение характеристик геосинтетиков, необходимых для расчёта параметров цилиндрических оболочек (геотубов).

3. Построение математической модели и выявление закономерностей, описывающих пространственное изменение формы геотубов, как основных элементов новых технических решений, в зависимости от давления жидкой среды внутри и степени заполнения геотубов намывным грунтом, с учетом фильтрации воды в грунте и геосинтетике, необходимых для расчета процесса гидронамыва грунта в оболочку и размеров готовых конструкций из геотубов.

4. Получение аналитических зависимостей для расчёта основных параметров конструкций из геотубов, предназначенных для использования в практике сооружения и реконструкции трубопроводов.

5. Математическое описание основных технологических параметров заполнения геосинтетических оболочек и их размеров в конструкциях, предназначенных для применения в практике ликвидации аварий на линейной части трубопроводов, по которым перекачиваются жидкие углеводороды.

Поставленные задачи решались с использованием теории моделирования физических процессов, теории напряженного состояния мягких оболочек, эмпирических исследований и методов математического анализа. Эксперименты проведены на модельных установках, а их результаты обработаны с применением вычислительной техники и методов математической статистики.

Научная новизна

1. Предложен новый концептуальный подход к повышению безопасности функционирования трубопроводов, заключающийся-

ся в совместном применении геосинтетиков в виде геотубов и средств гидромеханизации при возведении защитных конструкций для предотвращения повреждений трубопроводов от внешних воздействий и сокращения ареала растекания транспортируемого продукта при нарушении их герметичности.

2. Разработана математическая модель, описывающая пространственное изменение формы геотубов в зависимости от давления жидкой среды внутри них и степени заполнения намывным грунтом с учётом фильтрации воды в грунте и материале геосинтетика, позволяющая построить любую пространственную форму геотубов, заполненных намывным грунтом, используемых во всех запатентованных автором конструкциях.

3. Впервые на основе теории подобия физических процессов и разработанной математической модели пространственной формы геотубов получены зависимости, связывающие основные геометрические и гидравлические характеристики поперечного сечения грунтонаполненных геотубов, такие как площадь и периметр поперечного сечения геотуба, его высота, длина контакта с основанием, максимальный поперечный размер, толщина геосинтетика и другие с учётом фильтрационных свойств намываемого грунта и материала оболочки, необходимые для расчёта размеров готовых конструкций из геотубов.

4. Установлены аналитические зависимости для оценки несущей способности и устойчивости конструкций из грунтонаполненных геотубов с учётом относительного удлинения и анизотропности геосинтетического материала, а также времени высачивания жидких углеводородов под геотубами.

5. Впервые на основе созданной математической модели получены аналитические зависимости для инженерных расчётов но-

вых способов применения грунтонаполненных геотубов в практике сооружения и реконструкции трубопроводов, используемых для транспорта углеводородов, позволяющие определять параметры конструкций из геотубов, с учётом обеспечения ими защитного эффекта.

б. Впервые предложены аналитические зависимости для инженерных расчётов новых способов применения геотубов в практике ликвидации аварий на линейной части нефтепродуктопроводов и сокращения ущерба от аварий в трубопроводном транспорте жидких углеводородов, позволяющие определять основные параметры конструкций из геотубов, с учётом их функциональной принадлежности.

Практическая ценность и реализация работы

Разработан комплекс новых технических решений, предполагающих использование геосинтетической цилиндрической оболочки как базового элемента при берегоукреплении створов подводных переходов трубопроводов, сооружении самих переходов, возведении защитных обвалований трубопроводов при прокладке и ремонте в сложных геогидрологических условиях, сооружении быстровозводимых ёмкостей для сбора и временного хранения аварийно разливающейся нефти, возведении защитных дамб-обвалований, предотвращающих попадание аварийно растекающихся углеводородов в открытые водоёмы, негорючих боновых заграждений и средств локализации пожаров на суше. Представленные технические решения запатентованы в РФ, часть из них отнесена Федеральным институтом промышленной собственности к наиболее перспективным изобретениям страны. Изобретения направлены на повышение пожарной, промышленной и экологической безопасности объектов трубопро-

водного транспорта углеводородов, позволяют существенно снизить стоимость строительства за счёт сокращения объёма грузоперевозок автотранспортом (для ряда технических решений) и дают возможность осуществлять его в летний период времени на заболоченных территориях.

Теоретические и практические результаты выполненных исследований используются при проектировании нефтегазопроводов в институте "Нефтегазпроект", а также на предприятиях "Сургутгазпром", "Сибнефтепровод" и "Сургутподводтрубопроводстрой". По результатам исследований совместно с ВНИИСТ разработаны и доведены до строительных подразделений технические решения по применению геотекстильных синтетических материалов при берегоукреплении подводных переходов магистральных трубопроводов.

Теоретические и практические результаты исследований используются также при чтении лекций для студентов Тюменской государственной архитектурно-строительной академии и Тюменского государственного нефтегазового университета на специальностях 290810 – "Автомобильные дороги и аэродромы", 330500 – "Безопасность технологических процессов", 090701 – "Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ".

Апробация полученных результатов

Основные и наиболее важные результаты, полученные в работе, докладывались: на третьей Республиканской научно-технической конференции специалистов по проблемам сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов по трубопроводам (Уфа, 1978 г.); на Республиканской межвузовской конференции "Проблемы освоения нефтегазовых ресурсов Западной

Сибири" (Тюмень, 1979 г.); на Республиканской межвузовской конференции "Проблемы освоения нефтегазовых ресурсов Западной Сибири" (Тюмень, 1979 г.); на Всесоюзной научно-технической конференции по комплексной программе Минвуза РСФСР "Нефть и газ Западной Сибири" (Тюмень, 1985 г.); на Всесоюзной научно-технической конференции "Проблемы трубопроводного транспорта нефти и газа" (Ивано-Франковск, 1985 г.); на IV Всесоюзной конференции "Проблемы трубопроводного транспорта нефти и газа" (Москва, 1988 г.); на Международной научно-практической конференции "Проблемы экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири" (Тюмень, 1999 г.); на Международном совещании "Проблемы магистрального и промыслового транспорта углеводородов" (Тюмень, 2000 г.); на IV-ой Всероссийской научно-практической конференции "Окружающая среда" (Тюмень, 2001 г.); на Международном совещании "Энергоресурсосберегающие технологии в нефтегазовой промышленности России" (Тюмень, 2001 г.); на научно-технической конференции "Нефть и газ: Проблемы недропользования, добычи и транспортировки", посвящённой 90-летию со дня рождения В.И. Муравленко (Тюмень, 2002 г.); на специализированном совещании по применению геосинтетических оболочечных защитных конструкций в Главном управлении по делам ГО и ЧС Тюменской области (Тюмень, 2004 г.).

Результаты работы по использованию геотубов отражены в Большой Тюменской Энциклопедии, посвящённой шестидесятилетию области, 2004 г.

Результаты исследований по применению геотекстильных материалов в транспортном строительстве отмечены в 1988 г. серебряной медалью ВДНХ СССР и в 2004 г. – серебряной меда-

лю международного салона промышленной собственности "Архимед 2004" (Москва) – за разработку мягких оболочечных конструкций.

Публикации

Основное содержание работы отражено в 61 публикации, в том числе 24 в ведущих журналах и изданиях в соответствии с требованиями ВАК РФ.

Структура и объем диссертации

Работа состоит из введения, 6 глав, основных выводов, списка литературы, приложений и содержит 235 страниц текста без приложений, включая 16 таблиц и 56 иллюстраций. Библиография включает 198 наименований работ отечественных и зарубежных авторов.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи исследований, показана научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе дан обзор работ по обеспечению промышленной безопасности трубопроводного транспорта углеводородов. Среди отечественных ученых, внесших значительный вклад в решение этой актуальной проблемы, следует отметить

Антипьева В.Н., Бабина Л.А., Байкова И.Р., Березина В.Л., Бородавкина П.П., Быкова Л.И., Гумерова А.Г., Гумерова Р.С., Забелу К.А., Земенкова Ю.Д., Зоненко В.И., Ибрагимова И.Г., Иванова В.А., Иванова И.А., Кершенбаума В.Я., Кима С.И., Кузеева И.Р., Коваленко Н.П., Коршака А.А., Крамского В.Ф., Лыщенко Л.З., Мавлютова Р.М., Малюшина Н.А., Махутова Н.А., Минаева В.И., Мокроусова С.Н., Морозова Е.М., Москвичёва

В.В., Назарова В.П., Новосёлова В.В., Ращепкина К.Е., Сидорова А.И., Смирнова В.А., Сощенко А.Е., Столярова Р.Н., Тугунова П.И., Хретинина И.С., Челомбитко С.И., Черняева В.Д., Черняева К.В., Шабарова А.Б., Шаммазова А.М., Шарафиева Р.Г., Юфина В.А., Ясина Э.М., Яковлева Е.И. и др. авторов многочисленных публикаций, посвященных этим вопросам.

В первой главе также проведён анализ существующих научных знаний и технических решений, основанных на использовании геосинтетиков. В области применения геосинтетиков в трубопроводном транспорте углеводородов значительных научных и практических результатов по применению геосинтетиков в строительстве добились учёные институтов ВНИИСТ, Гипротюменьнефтегаз (Камышев М.А., Караваев С.С., Ничевиллов Г.В., Ратнер А.Г., Соколов С.М., Яблонский Ю.П.) и др. Однако все известные технические решения по использованию геосинтетиков в трубопроводном транспорте углеводородов предполагают "сухой" способ производства работ. Это значительно удорожает их применение в сложных геогидрологических условиях из-за необходимости использования тяжёлой строительной техники, работа которой на грунтах со слабой несущей способностью крайне затруднена. Анализ существующих технических решений, базирующихся на использовании геосинтетиков в различных областях техники и строительства, и анализ аварий на объектах трубопроводного транспорта показал, что в зависимости от своих свойств геосинтетика с успехом могут применяться для повышения промышленной и пожарной безопасности трубопроводных систем при их сооружении и реконструкции в сложных геогидрологических условиях с применением средств гидромеханизации земляных работ, а также при ликвидации аварий для

сокращения ущерба, вызванного аварийными утечками углеводородов из повреждённого трубопровода (рис. 1).

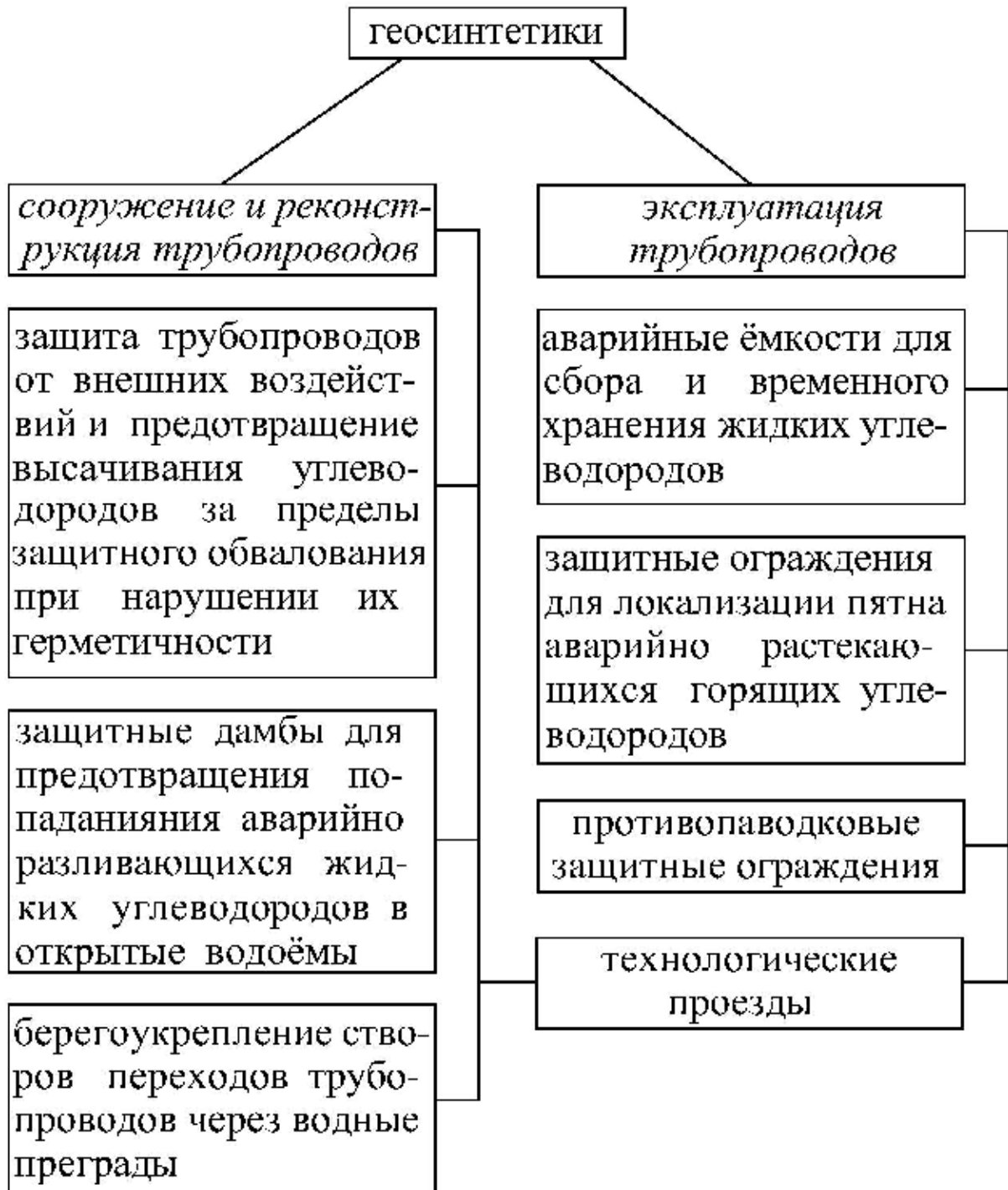


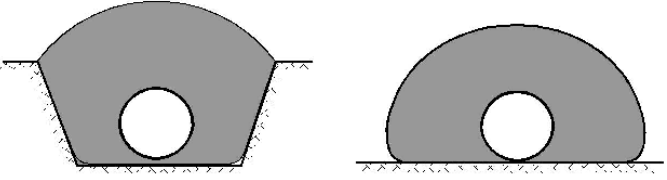
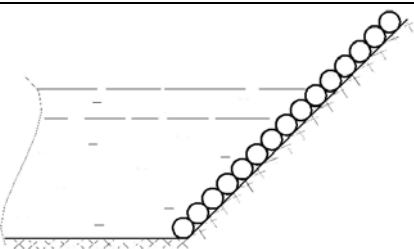
Рис. 1. Геосинтетики для повышения безопасности трубопроводного транспорта углеводородов

Кроме того, в данной главе рассмотрены некоторые существующие в настоящее время виды геосинтетиков, их свойства и области применения.

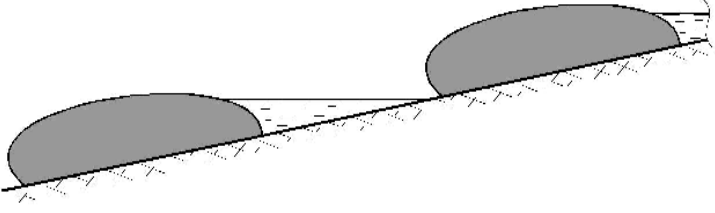
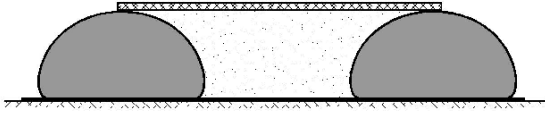
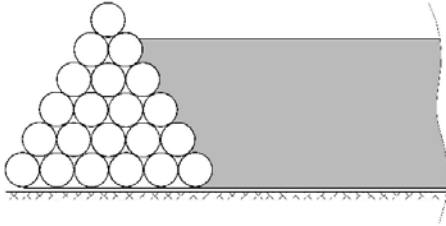
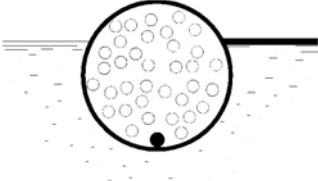
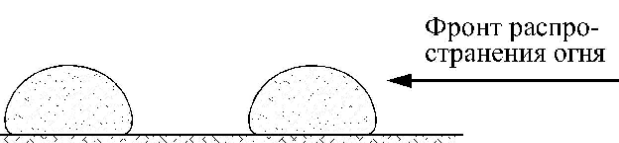
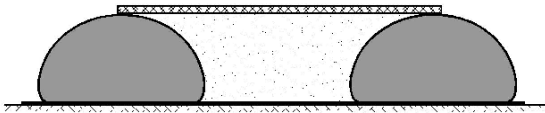
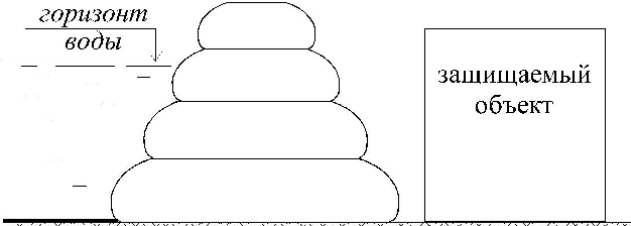
Во второй главе описаны все разработанные с непосредственным участием автора новые технические решения использования геосинтетиков в трубопроводном транспорте углеводородов и отмечены недостатки существующих. Технические решения предполагают использование геосинтетического материала в виде геотуба как основного элемента всех конструкций. Новые технические решения подразделяются на превентивные, направленные на предотвращение повреждений трубопроводов от внешних воздействий, и используемые при ликвидации аварий.

Таблица №1.

Защитные конструкции из геотубов

№	Принципиальная схема	Название
1	2	3
Превентивные		
1.		защитные обвалования
2.		берегоукрепительные маты

Продолжение табл. 1

1	2	3
3.		защитные дамбы
4.		технологические проезды
Используемые при ликвидации аварий		
5.		аварийные емкости
6.		несгораемые боновые заграждения
7.		несгораемые средства предотвращения распространения пожаров на суше
8.		технологические проезды
9.		противопаводковые защитные сооружения

Превентивные меры реализуются в период строительства и реконструкции трубопроводов путём сооружения защитных грунтозаполненных геотубов с использованием средств гидро-

механизации земляных работ. Грунтозаполненные геотубы выполняют функции обвалований над трубопроводами, защищающих их от внешних воздействий и способных аккумулировать некоторый объём утечек углеводородов в случае нарушения герметичности трубопроводов, берегоукрепления створов подводных переходов трубопроводов, дамб, предотвращающих попадание аварийно разливающихся углеводородов в открытые водоёмы. Технические решения, используемые при ликвидации аварий, предназначены для сокращения ущерба от аварий на объектах трубопроводного транспорта углеводородов. Геотубы в этом случае заполняются однородной жидкостью в зависимости от назначения конструкции, в которой используется геотуб. Оболочки несгораемых заграждений для локализации горящих углеводородов на поверхности акватории или суши заполняются водой. Геотубы аварийных емкостей для сбора и временного хранения аварийно разливающихся углеводородов заполняются водой или вытекающим из трубопровода продуктом.

При всём многообразии технических решений, в которых используются геосинтетики, недостаточно изучен вопрос расчёта процесса заполнения геотубов намывным грунтом, а также отсутствуют какие-либо расчётные зависимости, характеризующие форму геотубов в различных конструкциях. Выявлено, что отсутствуют сведения о некоторых свойствах геосинтетических материалов, не указываемых производителями, но необходимых для практической реализации технологии гидромеханизирован-

ного заполнения геотубов намывным грунтом, в частности относительное удлинение под растягивающей нагрузкой, коэффициент фильтрации и другие.

В третьей главе рассмотрены различные существующие в настоящее время теории расчёта оболочечных конструкций. Известны работы в этой области таких отечественных и зарубежных учёных, как Новожилов В.В., Тимошенко С.П., Черных К.Ф., Сергеев Б.И., Кларк Р., Нофф Н. и др. Однако все известные теории расчёта мягких оболочек посвящены расчёту либо пневматических, либо заполненных однородной жидкой средой, без учёта фильтрации жидкости в материале оболочки и наполнителе. На основе использования известной теории мягких оболочек разработана и описана математическая модель расчёта геометрических и гидравлических параметров сечения с учётом фильтрации воды в грунте и геосинтетическом материале, а также степени наполнения геотубов намывным грунтом. Суть математической модели заключается в том, что вся кривая периметра напряжённого геотуба разбивается на элементы равной высоты, представляющие собой части окружностей с различными радиусами и центрами расположения этих окружностей (рис.2).

Уравнения окружностей задаются в параметрическом виде, где параметром является угол φ между горизонтальной осью и радиусом в рассматриваемой точке на кривой.

Далее для каждого элемента кривой периметра поперечного сечения геотуба записывается система уравнений, которая реша-

ется последовательно для каждого j -го элемента поверхности геотуба, и определяются координаты всех j -х точек от 1 до j .

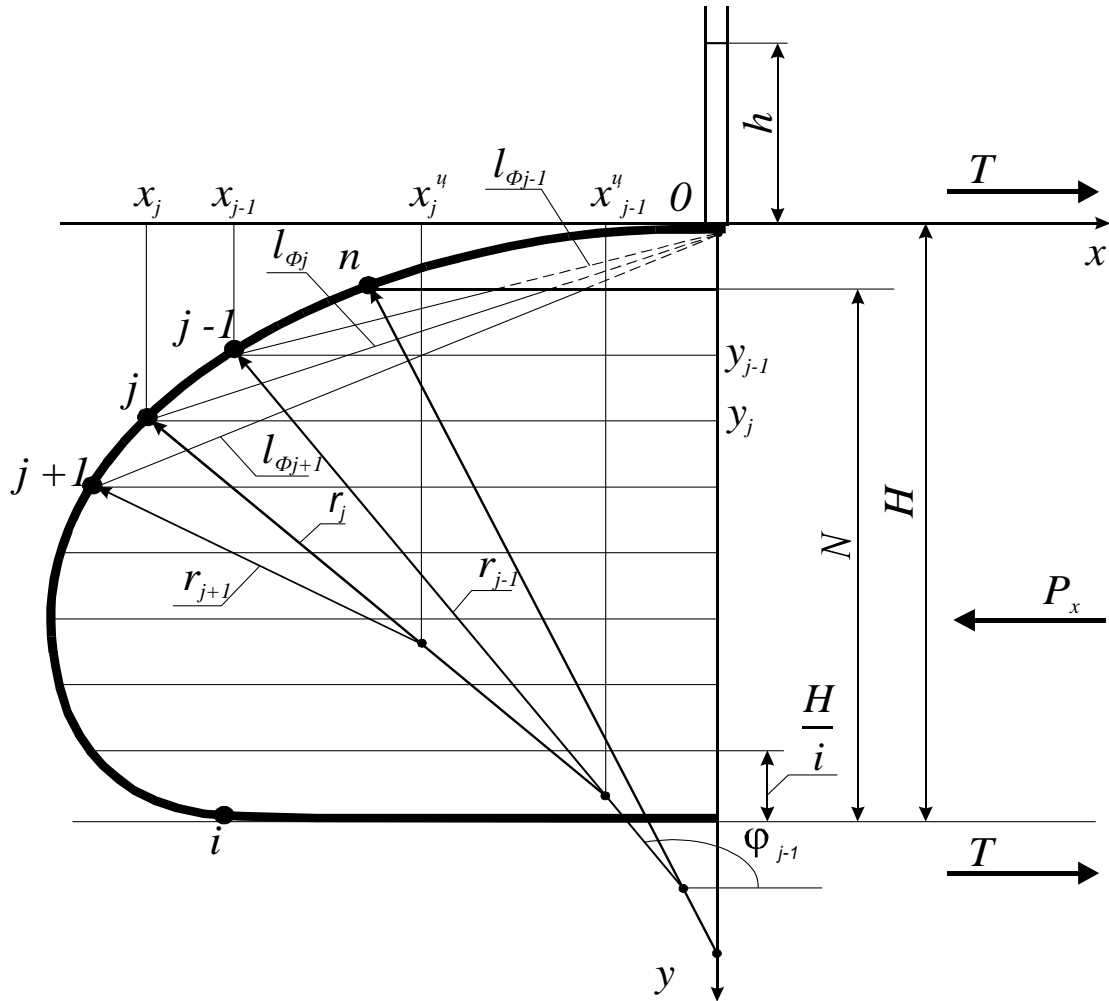


Рис 2. Форма сечения оболочки

$$x_j = r_{j-1} \cdot \cos \left(\varphi_{j-1} + \frac{\sqrt{\left(\left(\frac{H}{i} \right)^2 + \left(|x_j| - |x_{j-1}| \right)^2 \right)}}{r_{j-1}} \right) + x_{j-1}^u; \quad (1)$$

$$x_j = r_j \cdot \cos \left(\varphi_{j-1} + \frac{\sqrt{\left(\frac{H}{i} \right)^2 + \left(|x_j| - |x_{j-1}| \right)^2}}{r_{j-1}} \right) + x_j^y; \quad (2)$$

$$y_j = \frac{-H}{i} \cdot j; \quad (3)$$

$$\varphi \geq \frac{\pi}{2}; \quad 1 < j < i,$$

где x_j ; y_j - координаты j -й точки поверхности оболочки, м; r_j - элементарный радиус для j -й точки, м; x_j^y - абсцисса центра окружности, на которой лежит j -я точка поверхности оболочки геотуба, м; i - количество одинаковых по высоте разбиений сечения; φ - угол – параметр, соответствующий j -й точке, рад.; H - высота сечения оболочки, м; N – высота слоя намывтого грунта, м; h – пьезометрический напор воды, м; T – растягивающее поперечное усилие в оболочке, Н; P_x – горизонтальная составляющая силы давления жидкой среды в оболочке на её внутреннюю поверхность, Н; l_ϕ – длина пути фильтрации воды в оболочке, м.

Чтобы решить эту систему уравнений для j -го элемента поверхности геотуба, необходимо знать значения радиусов кривизны на рассматриваемом и близлежащем элементе поверхности геотуба, а также координаты точек и центра элемента окружности, предыдущего рассматриваемому элементу. Радиусы кривизны поверхности геотуба определяются по формуле, полученной автором из условия равенства скоростей фильтрации воды в грунте и материале вдоль линии фильтрационного тока:

$$r_j = \frac{\left(1 + \frac{k_m l_{\phi j}}{k_{zp} \delta}\right) \cdot \frac{H}{2i} \cdot \sum_{j=1}^i \frac{p_j}{1 + \frac{k_m l_{\phi j}}{k_{zp} \delta}}}{p_j}, \quad (4)$$

где $k_m; k_{zp}$ - коэффициенты фильтрации геосинтетического материала, контактирующего с грунтом, и намытого в оболочку грунта соответственно, м/с; δ - толщина геосинтетического материала оболочки, м; p_j - избыточное давление в геотубе, под действием которого происходит фильтрация воды в системе грунт – геосинтетический материал в j -й точке, Па; $l_{\phi j}$ - длина пути фильтрации воды в намытом грунте в j -й точке поверхности геотуба, м.

Давление p_j зависит от пьезометрического напора h в верхней точке поверхности геотуба; высоты оболочки H ; слоя намытого в неё грунта N , а также физических свойств пульпы и обводнённого грунта внутри геотуба; рассчитывается оно по известным формулам гидравлики.

Длина пути фильтрации воды в j -й точке поверхности геотуба в результате несложных геометрических расчётов (рис. 1) может быть определена по формуле

$$l_{\phi j} = \sqrt{|x_j|^2 + |y_j|^2} \cdot \frac{|y_j| - H + N}{|y_j|}. \quad (5)$$

Растягивающее поперечное усилие в материале геотуба на единице длины находится как половина горизонтальной составляющей силы гидростатического давления P_x жидкой среды в оболочке на её внутреннюю поверхность:

$$T_n = \frac{H}{2i} \cdot \sum_{j=1}^i \left(\frac{p_j}{1 + \frac{k_M l_{\Phi j}}{k_{cp} \delta}} \right). \quad (6)$$

Периметр поперечного сечения оболочки L , площадь живого сечения ω , площадь поперечного сечения, занятого намытым грунтом ω_{cp} , а также гидравлический радиус R определяются из выражений

$$L = 2x_i + 2 \sum_{j=1}^i \sqrt{\left(\frac{H}{i}\right)^2 + \left(|x_j| - |x_{j-1}|\right)^2}; \quad (7)$$

$$\omega = 2 \sum_{j=1}^n \left(|x_j| \cdot \frac{H}{i} \right); \quad (8)$$

$$\omega_{cp} = 2 \sum_{j=n}^i \left(|x_j| \cdot \frac{H}{i} \right); \quad (9)$$

$$R = \frac{\omega}{2x_n + 2 \sum_{j=1}^n \sqrt{\left(\frac{H}{i}\right)^2 + \left(|x_j| - |x_{j-1}|\right)^2}}, \quad (10)$$

где n - рассматриваемая точка на поверхности геотуба, соответствующая высоте N намытого в геотуб грунта; x_n - абсцисса точки поверхности геотуба, соответствующей высоте N намытого в геотуб грунта, м.

Расчёт по вышеописанным зависимостям на ЭВМ с использованием общепринятых математических программных продуктов показал, что количество слоёв разбиения оболочки при $j > 10$ при прочих равных условиях практически не влияет на форму оболочки. Расхождение при этом по площади поперечного сече-

ния геотуба и его периметру не превышает 5% для различных значений j .

Адекватность математической модели экспериментальным данным, полученным на модельной установке, проверена по критерию Фишера при 90% доверительной вероятности. Воспроизводимость эксперимента оценивалась по критерию Кохрена при той же доверительной вероятности.

В результате анализа физических свойств геосинтетиков выявлено, что большинство из них не обладают упругими свойствами в области действующих нагрузок и не восстанавливают свои размеры после снятия нагрузок. Автором экспериментально установлено, что для ряда геосинтетических материалов справедливо выражение

$$\frac{l_k - l_n}{l_n} = a_m \cdot \exp\left(-\frac{b_m}{T}\right), \quad (11)$$

где l_n - длина материала до приложения нагрузки T , м; l_k - длина материала после приложения нагрузки T , м; a_m , b_m - эмпирические коэффициенты, зависящие от вида геосинтетика и направления приложения силы T для анизотропных материалов; T_p - разрывное усилие в материале, Н/м.

Растягивающие усилия в геосинтетическом материале цилиндрических оболочек различны в продольном и поперечном направлениях. Растягивающее усилие T на единице длины в поперечном направлении определяется по формуле (6), а в продольном T_{np} - с использованием разработанной автором математической модели пространственной формы напряжённых геотубов из выражения

$$T_{np} = \frac{1}{L} \cdot \sum_{j=1}^i \left(\frac{p_j}{1 + \frac{k_M l_{\Phi j}}{k_{zp} \delta}} \cdot |x_j| \cdot \frac{H}{i} \right). \quad (12)$$

Силы T_n и T_{np} не должны превышать значения разрывного усилия в геосинтетическом материале, указываемого производителем. Для определения удлинения (как в продольном, так и в поперечном направлении) геосинтетического материала напряжённого геотуба, контактирующего с поверхностью грунтового основания, в формуле (11) необходимо учитывать силы трения, возникающие на поверхности контакта геотуба с грунтовым основанием и рассчитываемые по формулам:

$$T_{Cn} = K_n \cdot B \cdot p_{\partial}; \quad (13)$$

$$T_{Cnp} = K_{np} \cdot l_2 \cdot p_{\partial}, \quad (14)$$

где T_{Cn} - сила поперечного трения на единице длины поверхности контакта геотуба с грунтовым основанием, Н/м; K_n - коэффициент трения геосинтетического материала с поверхностью грунтового основания оболочки в поперечном направлении; B - площадь контакта геотуба с поверхностью грунтового основания на единице длины оболочки и равная $2|x_i|$, м²/м; p_{∂} - давление внутри оболочки в центре тяжести поверхности её контакта с грунтовым основанием, Па; T_{Cnp} - сила продольного трения на единице ширины поверхности контакта геотуба с основанием, Н/м; l_2 - длина геотуба, м; K_{np} - коэффициент трения геосинтетического материала с поверхностью грунтового основания оболочки в продольном направлении.

Формулы (6, 11-14) позволяют определить действительные размеры геотубов с учётом их удлинения, в том числе предельные, соответствующие разрывным усилиям в геосинтетическом материале, в результате воздействия нагрузок от намываемого грунта и пульпы.

Разработанная автором математическая модель даёт возможность построить любую пространственную форму геотубов с учётом физических свойств пульпы, обводнённого грунта и геосинтетического материала и оценить её несущую способность.

В четвёртой главе рассмотрены аналитические зависимости для расчётов оболочечных конструкций из геосинтетиков, заполненных намывным грунтом в практике сооружения и реконструкции систем трубопроводного транспорта углеводородов.

Расчёт защитных обвалований трубопроводов при их наземной прокладке на слабых основаниях, сплавом с образованием канала из геотубов или протаскиванием (рис. 3), а также при прокладке трубопровода со льда на дно водоёма (рис. 4) предполагает определение размеров геотубов и количества намывного грунта, обеспечивающих защитные свойства геотубов. С этой целью с использованием математической модели пространственной формы геотубов были получены аналитические зависимости, характеризующие форму поперечного сечения оболочки при $N=H$ и нулевом пьезометрическом напоре в верхней её части (окончание намыва).

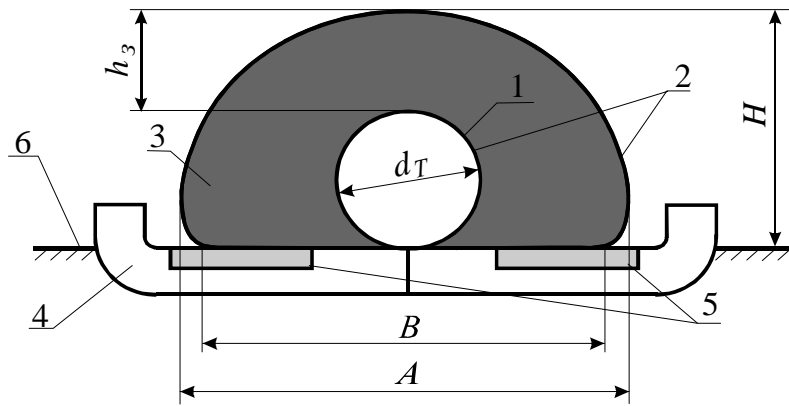


Рис. 3. Способ наземной прокладки трубопроводов протаскиванием: 1 – трубопровод; 2 – мягкие геосинтетические оболочки; 3 – намытый в оболочку грунт; 4 – салазки-водопропуски; 5 – сминаемые элементы, предотвращающие размораживание водопропусков в зимний период; 6 – поверхность, по которой проходит трасса; h_3 - высота защитного слоя грунта над трубопроводом; d_T - диаметр трубопровода

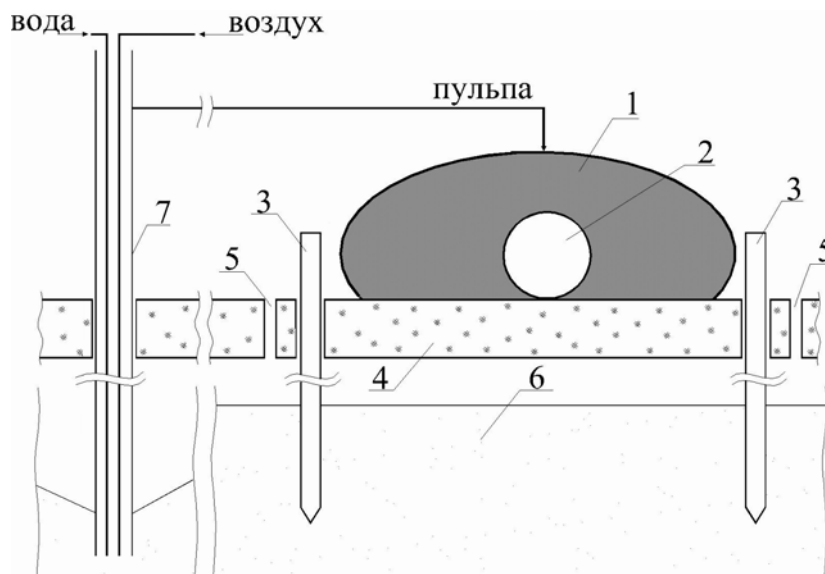


Рис. 4. Способ прокладки трубопровода со льда на дно водоёма: 1 – геотуб с намытым грунтом; 2 – трубопровод; 3 – направляющие; 4 – ледовое покрытие; 5 – прорези во льду; 6 – грунт; 7 – эрлифтная установка

$$\frac{H}{L} = 0,131 + 0,005 \left(\frac{k_M L}{k_{zp} \delta} \right); \quad (15)$$

$$\frac{\omega_{zp}}{L^2} = 0,049 + 0,001 \left(\frac{k_M L}{k_{zp} \delta} \right); \quad (16)$$

$$\frac{A}{L} = 0,439 - 0,003 \left(\frac{k_M L}{k_{zp} \delta} \right); \quad (17)$$

$$\frac{B}{L} = 0,386 - 0,001 \left(\frac{k_M L}{k_{zp} \delta} \right), \quad (18)$$

где ω_{zp} - объём грунта на единице длины геотуба без учёта проложенного внутри него трубопровода, м³/м; A - максимальный поперечный размер сечения геотуба, м; B - площадь контакта геотуба с поверхностью основания на единице длины горизонтальной поверхности, м²/м.

Расчёт размеров поперечного сечения геотубов, наполненных намывным грунтом при подземной или полуподземной прокладке трубопроводов (рис. 5) с учётом зависимости (15) сводится к совместному решению уравнения кривой геотуба в поперечном сечении, полученного на основе использования математической модели пространственной формы оболочки при $N=H$ и нулевом пьезометрическом напоре в верхней её точке и уравнения прямой, проходящей по боковой стенке траншеи:

$$\frac{x}{L} = -0,038 + \left(4,439 - 1,772 \left(\frac{k_m H}{k_{rp} \delta} \right) + 1,194 \left(\frac{k_m H}{k_{rp} \delta} \right)^2 \right) \left(\frac{y}{L} \right) +$$

$$+ \left(25,211 - 15,587 \left(\frac{k_m H}{k_{rp} \delta} \right) + 9,754 \left(\frac{k_m H}{k_{rp} \delta} \right)^2 \right) \left(\frac{y}{L} \right)^2;$$
(19)

$$y = - \left(H + \frac{c}{2} \cdot \operatorname{tg} \alpha \right) - x \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$
(20)

где c - ширина дна траншеи, м; α - угол заложения откосов траншеи.

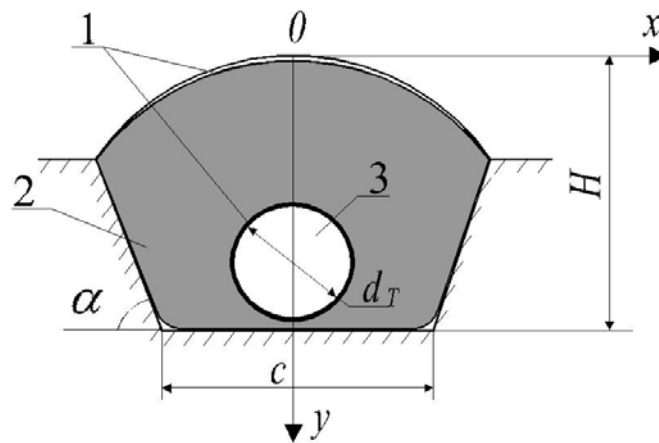


Рис. 5. Подземная прокладка трубопровода:

1 – геотуб; 2 – намытый грунт; 3 – трубопровод

Далее, зная координаты x и y точки пересечения функций (19-20), определяются все необходимые параметры сечения с использованием несложных геометрических зависимостей.

В этой же главе представлены аналитические зависимости для нахождения параметров заполнения намытым грунтом соединённых между собой геосинтетических матов, состоящих из геотубов, уложенных параллельно урезу воды, предназначенных

для берегоукрепительных работ в створах подводных переходов трубопроводов (рис. 6). Заполнение матов намывным грунтом осуществляется через водонепроницаемый геосинтетический коллектор, расположенный перпендикулярно урезу воды. Коллектор представляет собой геосинтетический трубопровод с равномерным путевым расходом жидкости. Подача пульпы осуществляется в коллектор сверху с таким расходом, который обеспечивает параллельность пьезометрической линии откосу берегового склона. При этом выполняется равенство избыточного давления во всех точках коллектора по длине и соответственно достигается равномерная раздача пульпы в геотубы мата.

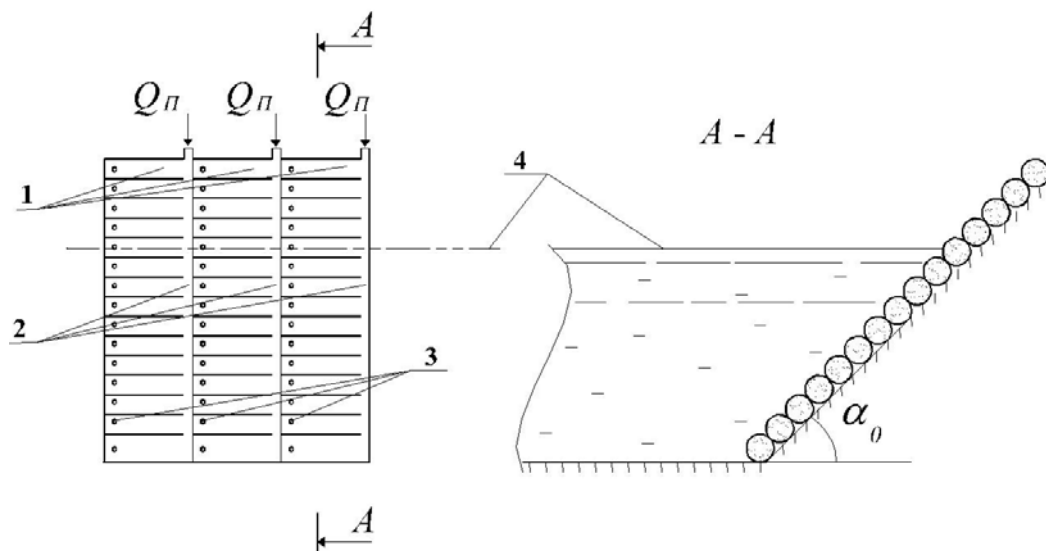


Рис. 6. Конструкция геосинтетического мата, заполняемого грунтом методом гидронамыва: 1 – мягкие геосинтетические оболочки, сшитые в мат; 2 – мягкий коллектор; 3 – отверстия для отвода осветлённой воды; 4 – поверхность воды

При условии равенства пьезометрического и геометрического уклонов и отсутствии транзитного расхода пульпы в коллекторе путевой расход $Q_{п}$, который обеспечивает равномерное заполнение мата намывным грунтом, можно определить сле-

дующим выражением, полученным автором с использованием уравнения для определения потерь давления в трубопроводе с равномерным путевым отбором жидкости:

$$Q_{II} = \frac{4\pi R^{8/3}}{n} \cdot \sqrt{3\sin(\alpha_0) \frac{\gamma_6}{\gamma_n}}, \quad (21)$$

где α_0 - угол наклона берегового откоса к горизонту, рад.; R - гидравлический радиус геосинтетического коллектора, м; n - коэффициент гидравлической шероховатости геосинтетического материала; γ_6 - удельный вес воды Н/м³; γ_n - удельный вес пульпы Н/м³.

Диаметр оболочек мата принимается бóльшим диаметра коллектора для обеспечения условий осаждения в них твёрдой составляющей пульпы.

В данной главе исследована конструкция неразмываемых защитных геосинтетических грунтозаполненных дамб, располагаемых на наклонной поверхности местности, предназначенных для предотвращения попадания аварийно разливающейся нефти из повреждённого трубопровода в открытые водоёмы (рис. 7).

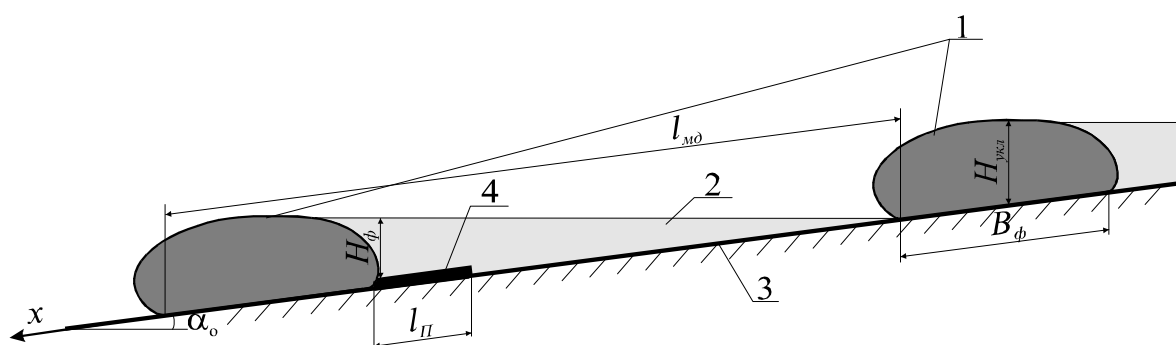


Рис. 7. Дамбы обвалования: 1 – мягкие геосинтетические оболочки, заполненные грунтом методом гидронамыва; 2 – разлившиеся углеводороды; 3 – откос; 4 – противодиффузионный экран

Потенциальный аварийный сток нефти из повреждённого трубопровода относится к базовым данным для нахождения размеров дамб, их количества и расстояния между ними.

В результате проведённых исследований установлено, что на нефтепроводах, по которым перекачиваются нестабильные углеводороды, потенциальный аварийный сток нефти в несколько раз превышает аналогичный показатель для стабильных углеводородов. В работе показано, что при определении размеров защитных геосинтетических грунтонаполненных дамб обвалования применима модель аварийного опорожнения трубопровода от нестабильных углеводородов, заключающаяся в опорожении от нефти только нисходящих по отношению к месту разрыва участков трубопровода. Расчёт непроницаемых защитных дамб обвалования, размещаемых на наклонной поверхности, сводится к определению их основных геометрических характеристик, обеспечивающих необходимый защитный эффект и устойчивость на откосе, а также времени высачивания жидких углеводородов под геотубами. При нахождении размеров дамб обвалования рекомендуется использовать некоторую величину $K_{дамбы}$, характеризующую объём аварийного стока нефти на единице длины, задерживаемый одной оболочкой, зависящего при прочих равных условиях от стабильности перекачиваемых углеводородов. Размеры дамб рассчитываются по формулам

$$H_{укл}^2 = \frac{K_{дамбы}}{\frac{1}{2tg\alpha_0} - \frac{0,04 - 0,33\alpha_0 + 0,79\alpha_0^2}{0,13 - 0,14\alpha_0}}; \quad (22)$$

$$B_{\Phi} = \frac{H_{укл}}{0,32 - 0,46\alpha_0}; \quad (23)$$

$$L = \frac{B_{\phi}}{(0,39 + 0,42\alpha_0 - 0,85\alpha_0^2)}; \quad (24)$$

$$l_{\text{мд}} = \frac{H_{\text{укл}}}{\sin \alpha_0} + \frac{H_{\text{укл}}}{0,64 \cos \alpha_0 - \sin \alpha_0}; \quad (25)$$

$$0 < \alpha_0 \leq 0,27 ,$$

где B_{ϕ} - площадь контакта геотуба с поверхностью основания на единице длины, м²/м; $H_{\text{укл}}$ - высота геотубов дамбы, уложенных на откосе, м; $l_{\text{мд}}$ - расстояние между дамбами, м; α_0 - угол заложения откосов, рад.

Аналитические зависимости, представленные в главе, позволяют определять основные технологические параметры заполнения геотубов конструкций намывным грунтом, а также рассчитывать их основные размеры с учётом функциональной принадлежности.

В пятой главе представлены аналитические зависимости для практических расчётов новых способов использования гидромеханизировано заполненных геотубов при ликвидации аварий на линейной части систем трубопроводного транспорта углеводородов, снижающих ущерб от аварий. Очевидно, что величина ущерба от аварии зависит от того, как быстро отреагируют соответствующие службы на внезапное повреждение трубопровода. На основании ранее проведённых автором исследований известно, что в случае аварийного истечения нестабильных углеводородов из повреждённого трубопровода процесс опорожнения происходит более интенсивно. По истечении некоторого проме-

жутка времени после разрыва трубопровода объём нестабильной нефти, который окажется на поверхности земли, значительно превышает аналогичный показатель для стабильных углеводородов. В главе предложен один из методов быстрого реагирования – это сооружение геосинтетических аварийных емкостей (рис. 8). Представлен расчёт необходимых размеров быстровозводимых геосинтетических аварийных емкостей для сбора и временного хранения нефти в зависимости от объёма её аварийного стока.

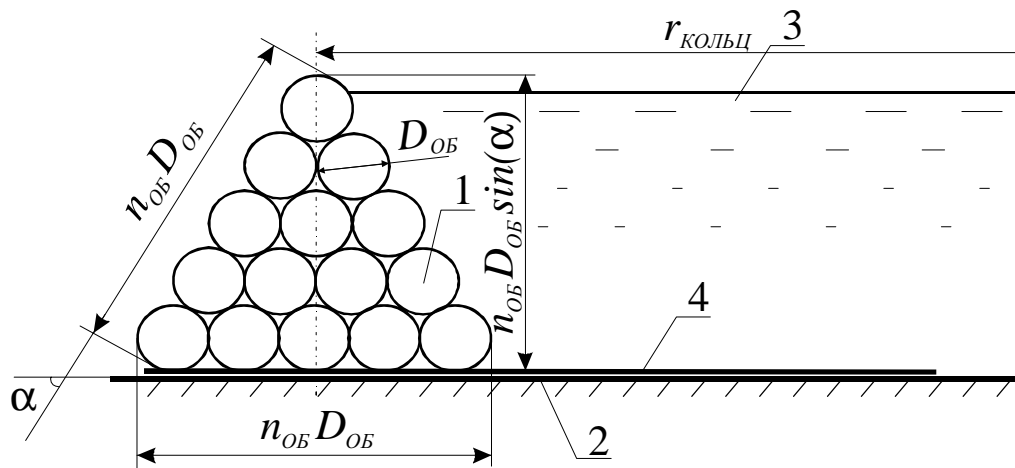


Рис. 8. Принципиальная схема сечения быстровозводимой геосинтетической ёмкости для сбора и временного хранения аварийно растекающихся жидких углеводородов: 1 – мягкие непроницаемые оболочки из геосинтетического материала, заполненные жидкостью; 2 – поверхность грунта; 3 – нефть; 4 – непроницаемый для нефти экран

Общий объём углеводородов, который может быть закачан в быстровозводимую геосинтетическую аварийную емкость, определяется выражением

$$W = \left[\frac{\pi}{3\sqrt{3}} \left(r_{\text{кольца}}^3 - \left(r_{\text{кольца}} - \frac{n_{\text{об}} D_{\text{об}}}{2} \right)^3 \right) \right] \cdot N_{\text{а.е.}} + \frac{1}{2} n_{\text{об}}^2 D_{\text{об}}^2 \sqrt{3} \pi r_{\text{кольца}}, \quad (26)$$

где $N_{\text{а.е.}}$ - коэффициент, учитывающий степень заполнения аварийной ёмкости; $r_{\text{кольца}}$ - радиус кольца, образованного оболочками аварийной ёмкости, м; $n_{\text{об}}$ - количество оболочек в нижнем ряду; $D_{\text{об}}$ - диаметр оболочки, м.

В случае если аварийная ёмкость имеет ограниченную в плане ширину установки (наличие лесного массива, инженерных объектов и др.), последняя принимает форму эллипса. Вместимость её определяется по формуле

$$W = \pi \cdot D_{\text{об}} \cdot \sum_{J_p=1}^{n_{\text{об}}-1} \left(\left(a_1 + (J_p - 1) \frac{D_{\text{об}}}{2} \right) \left(b_1 + (J_p - 1) \frac{D_{\text{об}}}{2} \right) \right), \quad (27)$$

где a_1 ; b_1 - размер полуосей эллипса первого внутреннего ряда оболочек аварийной ёмкости, м; J_p - нумерация рядов оболочек по вертикали.

При заполнении аварийной ёмкости жидкими углеводородами, чтобы достичь максимальной высоты ограждения при заданном количестве геотубов в сечении конструкции, необходимо соблюдать условие, обеспечивающее круглость оболочек:

$$h_{\text{вх}} \geq 10D_{\text{об}} + h_{\text{дл}}, \quad (28)$$

где $h_{\text{вх}}$ - напор нефти на входе в геотуб, м; $h_{\text{дл}}$ - потери напора в геотубах конструкции при заполнении, м.

В этой же главе представлены аналитические зависимости для расчёта времени высачивания жидких углеводородов под геотубами, полученные с использованием результатов исследований предыдущих глав, а также проверка конструкций на устойчивость.

$$t_{\epsilon} = \frac{(B_{\phi} + l_n)^2}{\int_{x_1}^{x_2} \frac{k_{\phi} (H_{\phi} - l_{\Pi} \cdot \sin \alpha_0 + x \cdot \sin \alpha_0)}{x} dx}; \quad (29)$$

$$x_1 = 0,01 (B_{\phi} + l_n); \quad (30)$$

$$x_2 = B_{\phi} + l_n; \quad (31)$$

$$F_{mp} = k_{mp} (G \cdot \cos \alpha_0 + P_{\epsilon} \cdot \cos \alpha_0 + P_{\Pi} - P_z \cdot \sin \alpha_0); \quad (32)$$

$$F_{cd} = G \cdot \sin \alpha_0 + P_{\epsilon} \cdot \sin \alpha_0 + P_z \cdot \cos \alpha_0; \quad (33)$$

$$F_{mp} > F_{cd},$$

где G - вес единицы длины геотуба, Н/м; P_{ϵ} - вертикальная составляющая силы давления жидких углеводородов на единице длины поверхности геотуба, Н/м; P_z - горизонтальная составляющая силы давления жидких углеводородов на единице длины поверхности геотуба, Н/м; P_{Π} - сила давления жидких углеводородов на единице длины непроницаемого экрана, Н/м; F_{mp} - сила трения геотуба о поверхность откоса на единице длины оболочки, Н/м; F_{cd} - сдвигающая сила на единице длины геотуба, Н/м; l_{Π} - ширина непроницаемого экрана, м; H_{ϕ} - высота столба жидкости перед дамбой, м; k_{mp} - коэффициент трения геотуба о поверхность основания; k_{ϕ} - коэффициент фильтрации жидких углеводородов, м/с; t_{ϵ} - время высачивания жидких углеводородов, с.

Для случаев, когда аварийно разливающаяся горящая нефть всё же попадает в открытый водоём и необходима экстренная ликвидация нефтесодержащего загрязнения, автором предложены и запатентованы термостойкие геосинтетические боновые заграждения. Для обеспечения защиты от огневого воздействия боновых заграждений, выполненных из геосинтетического мате-

риала, по всей их длине толщина слоя омывающей боны охлаждающей водой должна быть достаточна во всех точках конструкции. Это необходимое условие может быть выполнено путём использования геосинтетического трубопровода с равномерным путевым отбором жидкости по длине вследствие фильтрации её в малопроницаемом материале оболочки.

Возможна также другая конструкция термостойкого бонового заграждения, разработанная автором. Охлаждение поверхности бона в этой конструкции осуществляется за счет испарения кипящей воды при 100°C , что обеспечивает защиту материала, из которого изготовлены боны, от термического разрушения. Охлаждающая вода подводится к поверхности бона за счёт капиллярного поднятия влаги в пористом гидрофильном материале бона. Высота капиллярного поднятия воды в гидрофильном материале зависит от его свойств. Известно, что она может быть увеличена в десятки раз под воздействием ультразвука на фильтрующуюся в материале жидкость.

Конструкции с принудительным охлаждением поверхности геотуба водой могут также использоваться для локализации горящих углеводородов на суше.

Приведённые в главе аналитические зависимости дают возможность находить необходимые параметры конструкций, достаточные для реализации описанных технических решений в практике ликвидации аварий на линейной части трубопроводов.

В шестой главе описаны экспериментальные установки и методики определения не всегда указываемых производителями свойств геосинтетических материалов, таких как коэффициенты

гидравлической шероховатости, коэффициенты фильтрации. Установки позволяют моделировать реальные условия заполнения геотубов намывным грунтом. При определении коэффициента гидравлической шероховатости геосинтетиков моделируется режим движения жидкости. При определении коэффициента фильтрации материала оболочки моделируется влияние на его значение консистенции пульпы, напора, толщины слоя грунта перед геосинтетиком и времени фильтрации. Произведена оценка влияния вышеперечисленных факторов на коэффициент фильтрации. Установлено, что консистенция пульпы в рабочем диапазоне её изменения $0,1 \leq k \leq 0,25$ практически не влияет на коэффициент фильтрации геосинтетиков. Коэффициент фильтрации геосинтетика значительно уменьшается только в первые минуты, вследствие кольтматации материала, в дальнейшем его значение стабилизируется во времени. Представлена также методика и экспериментальная установка для определения относительного удлинения геосинтетиков под нагрузкой. Установлено, что для ряда геосинтетиков закон изменения относительного удлинения под растягивающей нагрузкой носит экспоненциальный характер. Произведена оценка погрешностей проводимых испытаний. Получены численные значения вышеуказанных параметров для ряда геосинтетических материалов.

Основные выводы и рекомендации

1. На основании изучения свойств геосинтетиков и анализа существующих технических решений, базирующихся на их использовании, разработан комплекс новых эффективных способов повышения безопасности трубопроводного транспорта углеводородов, в том числе для защиты трубопроводов от внешних воздействий, предотвращения попадания аварийно разливающихся

углеводородов в открытые водоёмы, сооружения быстровозводимых аварийных ёмкостей для сбора и временного хранения жидких углеводородов, локализации горящих углеводородов на поверхности акватории и другие.

2. Изучены характеристики геосинтетиков, необходимые для расчёта параметров геотубов. Установлено, что для наиболее применяемых нетканых геосинтетических материалов консистенция пульпы при заполнении оболочек намывным грунтом в рабочем диапазоне её изменения $0,1 < k < 0,25$ практически не влияет на коэффициент фильтрации геосинтетиков. Коэффициент фильтрации материала значительно уменьшается только в первые минуты фильтрации вследствие кольтматации пор, в дальнейшем его значение стабилизируется во времени. Показано, что некоторые геосинтетики обладают относительным удлинением до 100% под действием растягивающей нагрузки без разрушения, этого вполне достаточно для аккумуляирования геотубами защитных конструкций удельного объёма утечек углеводородов, соизмеримого с вместимостью единицы длины повреждённого участка трубопровода, что позволяет снизить ущерб от их распространения.

3. На основе теории напряжённого состояния мягких оболочек построена математическая модель пространственной формы геотуба, основного элемента всех новых технических решений, заполняемого намывным грунтом, учитывающая физические свойства грунта, пульпы, геосинтетического материала, степени заполнения геотуба грунтом и пьезометрического напора. Показано, что эти параметры существенно влияют на пространственную форму оболочек при пьезометрическом напоре менее десяти

высот геотуба в поперечном сечении и их необходимо учитывать при конструировании защитных сооружений.

4. Получены аналитические зависимости для расчёта геометрических и гидравлических параметров конструкций из геотубов, предназначенных для защиты трубопроводов от внешних воздействий, предотвращения попадания аварийно разливающихся жидких углеводородов в открытые водоёмы, берегоукрепления створов подводных переходов трубопроводов.

5. Выполнено аналитическое описание основных технологических параметров заполнения геотубов и их размеров в конструкциях, предназначенных для применения в практике ликвидации аварий на линейной части трубопроводов, по которым перекачиваются жидкие углеводороды. Обоснованы параметры, обеспечивающие несгораемость ограждений из геотубов, предназначенных для локализации горящих углеводородов. Установлены закономерности для определения вместимости аварийных ёмкостей сбора и временного хранения жидких углеводородов, а также начального напора на входе в геотуб, обеспечивающего максимальную вместимость ёмкости.

Основное содержание диссертации опубликовано в 61 научных работах, в том числе 24 в ведущих журналах и изданиях в соответствии с требованиями ВАК РФ:

1. Антипьев В.Н., Миронов В.В. Расчёт процесса истечения нефти через порывы трубопровода при упругом режиме //Нефтяное хозяйство.- М., 1978.- №9.- С.55-56.
2. А.С. №712745 СССР. Способ определения коэффициентов объемного сжатия и температурного расширения жидкости / В.Н. Антипьев, В.В. Миронов. Опубликовано в Б.И. № 4, 1980.
3. А.С. 1198149 СССР. Способ намыва узкопрофильных сооружений / В.В. Миронов, М.С. Чудинов, С.П. Вельчев, А.С. Трофимов. Опубликовано в Б.И. № 46, 1985.
4. А.С. 1222742 СССР. Способ намыва узкопрофильных сооружений / В.В. Миронов, С.Н. Стрижков, А.С. Трофимов. Опубликовано в Б.И. №13, 1986.
5. А.С. 1222965 СССР. Способ сооружения подводного участка трубопровода / В.В. Миронов, С.Н. Стрижков, М.С. Чудинов, А.С. Трофимов. Опубликовано в Б.И. № 13, 1986.
6. А.С. 1296779 СССР. Способ прокладки трубопровода на грунтах со слабой несущей способностью/В.В. Миронов, С.Н. Стрижков, В.С. Станев. Опубликовано в Б.И. № 10, 1987.
7. А.С. 1335626 СССР. Способ намыва узкопрофильных сооружений / В.В. Миронов, С.Н. Стрижков, В.С. Станев. Опубликовано в Б.И. №33, 1987.
8. А.С. 1541458 СССР. Блок сборных строительных конструкций / В.В. Миронов, Г.В. Ничевиллов, Ч.Д. Скворцов, С.М. Соколов, С.Н. Стрижков, С.С. Караваев. Опубликовано в Б.И. № 5, 1990.

9. А.С. 1613353 СССР. Устройство для сварки полимерных материалов / В.В. Миронов, А.П. Неволин, В.Н. Кривохижа, А.Ш. Саммигулин, В.В. Бочкарёв. Опубликовано в Б.И. № 46, 1990.
10. А.С. 1724806 СССР. Устройство для защиты водоёма от нефтяных загрязнений при утечке нефти из нефтепровода / В.В. Миронов, А.П. Неволин, В.Н. Чепурский, Т.В. Большакова. Опубликовано в Б.И. № 13, 1992.
11. А.С. 1742091 СССР. Устройство для сварки полимерных материалов / В.В. Миронов, А.П. Неволин, В.В. Салюков, Ю.Н. Дубяга. Опубликовано в Б.И. № 23, 1992.
12. Миронов В.В., Антипьев В.Н., Неволин А.П. и др. Экспериментальное изучение утечек газонасыщенной нефти при порывах трубопровода // Известия вузов. Нефть и газ. – 1978. – № 10. – С. 70-72.
13. Миронов В.В., Земенков Ю.Д., Миронов Д.В. Определение длины заполнения геосинтетических конструкций некруглого поперечного сечения намытым грунтом при наземной прокладке трубопроводов // Известия вузов. Нефть и газ.- 2001. – № 3. – С.47-50.
14. Миронов В.В. Гидромеханизированные способы применения геосинтетиков в трубопроводном транспорте углеводородов. – СПб.: Недра, 2002. – 175с.
15. Миронов В.В., Миронов Д.В. Строительство дамб, предотвращающих попадание нефтесодержащих загрязнений в откры-

- тые водоёмы с использованием грунтонаполненных геотубов // Известия вузов. Строительство.- 2003. – № 2. –С.113-115.
16. Миронов В.В. Математическая модель пространственной формы водопроницаемого геотуба с намывным грунтом // Известия вузов. Нефть и газ.- 2003. – № 4. –С.59-63.
17. Миронов В.В. Математическая модель движения пульпы в водопроницаемых геотубах // Известия вузов. Нефть и газ. - 2003. – № 6. – С.54-58.
18. Миронов В.В. Оценка несущей способности, устойчивости защитных дамб в виде геотубов и времени высачивания жидких углеводородов под ними // Известия вузов. Строительство.- 2004. – № 4. – С.66-69.
19. Пат. 1804524 РФ. Зарегистрирован в гос. реестре изобретений 09.10.1992. Способ предотвращения попадания нефтяных загрязнений в русло водотока / В.В. Миронов, С.Н. Стрижков, В.Н. Чепурский, В.П. Штоф, В.В. Салюков. Опубликовано в Б.И. № 11, 1993.
20. Пат. 2049201 РФ. Зарегистрирован в гос. реестре изобретений 27.10.1995. Способ очистки поверхности водоёма от загрязнений нефтепродуктами / В.В. Миронов, Б.А. Клюк. Опубликовано в Б.И. № 33, 1995.
21. Пат. 2073081 РФ. Зарегистрирован в гос. реестре изобретений 10.02.1997. Способ очистки поверхности водоёма от загрязнений нефтепродуктами / В.В. Миронов, Б.А. Клюк, В.В. Салюков. Опубликовано в Б.И. № 4, 1997.
22. Пат. 2175039 РФ. Зарегистрирован в гос. реестре изобретений 20.10.2001. Способ очистки водоема от загрязнений нефте-

продуктами / Д.В. Миронов, А.Ф. Шаповал, В.В. Миронов.
Опубликовано в Б.И. № 29,2001.

23. Пат. 2191945 РФ. Зарегистрирован в гос. реестре изобретений 27.10.2002. Способ прокладки трубопровода на грунтах со слабой несущей способностью / Д.В. Миронов, В.В. Миронов, Ю.Д. Земенков, А.Ф. Шаповал. Опубликовано в Б.И. № 30,2002.

24. Пат. 2209271 РФ. Зарегистрирован в гос. реестре изобретений 27.07.2003. Способ защиты местности от загрязнений вредными жидкими веществами при аварийных выбросах / В.В. Миронов, Д.В. Миронов. Опубликовано в Б.И. № 21,2003.