

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уфимский государственный нефтяной технический университет»



На правах рукописи

ХАЙРУЛЛИН ДАМИР РИНАРДОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ЛОКАЛИЗАЦИИ
АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ НА ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ
НЕФТЕПРОВОДОВ ЧЕРЕЗ РЕКИ**

Специальность 2.8.5. Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз
и хранилищ

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Султанмагомедов
Султанмагомед
Магомедтагирович

Уфа 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ НА РЕКАХ.....	12
1.1 Государственное регулирование защиты водных объектов при аварийных разливах нефти	12
1.2 Исследование проблемы загрязнения окружающей среды нефтью и нефтепродуктами.....	16
1.3 Анализ существующих методов и технических средств для ликвидации аварийных разливов нефти с поверхности воды	21
1.3.1 Методы, основанные на извлечении нефти с поверхности воды	23
1.3.2 Методы удаления с поверхности воды слоя нефти путём его разрушения или разложения	26
1.3.3 Методы удаления нефти с поверхности воды путём её рассеивания или затопления	27
1.4 Анализ существующих видов боновых заграждений	28
1.4.1 Общие сведения	28
1.4.2 Боновые заграждения для открытой воды	31
1.4.3 Применение боновых заграждений в арктических условиях на открытых акваториях.....	33
1.4.4 Применение боновых заграждений на реках при наличии ледового покрова	34
1.5 Нагрузки, действующие на боновые заграждения на реках.....	36
1.6 Эффективная надежность боновых заграждений	40
1.6.1 Режимы взаимодействия бонового заграждения и нефтяной пленки.....	40
1.6.2 Сбои в работе бонов.....	44

1.6.3 Способы повышения удерживающей способности боновых заграждений при быстром течении	46
Выводы по главе 1	48
ГЛАВА 2 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ БОНОВЫХ ЗАГРАЖДЕНИЙ И МЕТОДОВ ИХ УСТАНОВКИ НА РЕКАХ.....	50
2.1 Разработка бонового заграждения с внутренним каркасом пружинного типа	50
2.1.1 Конструкция и сборка бонового заграждения с внутренним каркасом пружинного типа	52
2.1.2 Расчет параметров пружины во внутренней камере плавучести.....	55
2.2 Совершенствование всплывающего бонового заграждения, способного работать в ледовых условиях	59
2.2.1 Принцип работы заграждения	61
2.2.2 Область применения всплывающего бонового заграждения.....	65
2.2.3 Определение угла установки всплывающего бонового заграждения	66
2.2.4 Расчет прочности льда при всплытии бонового заграждения	75
2.2.5 Разработка способа установки боновых заграждений на реках подо льдом с помощью подводных дронов.....	77
2.3 Совершенствование способа установки бонового заграждения через реку вдоль несущего каната.....	79
2.3.1 Установка бонового заграждения без использования несущего каната.....	80
2.3.2 Существующие способы установки бонового заграждения через реку с использованием несущего каната.....	82
2.3.3 Разработка усовершенствованного способа установки бонового заграждения с использованием несущего каната	86
Выводы по главе 2.....	89
ГЛАВА 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ БОНОВЫХ ЗАГРАЖДЕНИЙ НА РЕКАХ	91

3.1 Определение оптимальных углов установки боновых заграждений на реках и исследование влияния выбора берега для начала установки бонового заграждения.....	91
3.1.1 Определение длины бонового заграждения.....	92
3.1.2 Определение точки изгиба бонового заграждения и оптимального угла его установки.....	96
3.2 Планирование эксперимента.....	109
3.3 Анализ экспериментальных данных	117
Выводы по главе 3	125
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ	127
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	129
Приложение А (рекомендуемое) Патенты.....	145
Приложение Б (рекомендуемое) Справка о внедрении.....	147

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Добыча нефти и нефтепродуктов, их транспортировка и хранение оказывают негативное влияние на окружающую среду. Несмотря на принятые меры по предупреждению аварий, они происходят и приводят к ее загрязнению. Вопрос сохранения окружающей среды является актуальным, учитывая масштаб нефтегазового комплекса России. Наибольший экологический ущерб наносится при попадании нефти и нефтепродуктов в водные объекты. Технология ликвидации аварийных разливов имеет свои особенности при авариях на море или на реках и озерах.

Объектом исследования выбраны реки, так как на территории России большое число подводных переходов нефте- и нефтепродуктопроводов через реки, которые являются потенциальными источниками разлива нефти или нефтепродукта. При авариях на нефте- и нефтепродуктопроводах на переходах через реки в водоем сразу и в больших количествах попадает нефть или нефтепродукт, который затем быстро разносится по реке. В связи с чем крайне важными являются оперативные действия по ликвидации разливов. Процесс ликвидации разлива нефти разделяется на стадии локализации, сбора и утилизации загрязнения. Методы сбора и утилизации загрязнения хорошо изучены в существующей литературе, однако проблема локализации разлива нефти требует более подробных исследований, в особенности на реках и водотоках, на которых из-за наличия течения осложняется процесс ликвидации и локализации разлива.

Проектированию и развитию боновых заграждений должно уделяться должное внимание, так как они выполняют важную роль в защите гидросферы от негативного влияния трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов.

При установке боновых заграждений на подводных переходах нефтепроводов через реки могут встречаться следующие ситуации, осложняющие локализацию разлива:

- высокая скорость течения;

- наличие ледового покрова;
- русловые процессы, приводящие к неравномерному распределению скоростей в русле.

На ответственных переходах нефтепроводов через реки, в случае аварии на которых будут затронуты объекты, обладающие большой экологической ценностью, обоснованным является применение заранее установленных на дно реки всплывающих боновых заграждений.

Степень разработанности темы исследования

Вопросам ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов посвящено большое количество трудов. Можно выделить работы Багаутдинова Н.Я., Бадретдинова Р.Г., Бронштейна И.С., Булатова А.И., Воробьева Ю.Л., Габдуллина А.М., Гумерова А.Г., Егоровой Н.А., Забелы К.А., Знобищева Г.П., Идрисова Р.Х., Идрисовой К.Р., Комаровского Д.П., Консейсао А.А. да, Кунафина Р.Н., Лебедича С.П., Липского В.К., Лурье М.В., Малышкина Д.А., Мастобаева Б.Н., Мерициди И.А., Пластинина А.Е., Рогозина В.И., Саковича Н.Е., Султанмагомедова С.М., Хасанова И.Ю., Хлесткина Р.Н., Чебана Е.Ю., Шаммазова А.М., Шаммазова А.А., Шлапакова А.В., Шестакова Р.А.

В существующей литературе практически не учитываются прогибы боновых заграждений при их установке на подводных переходах нефтепроводов через реки, однако они также могут оказать влияние на удерживающую способность заграждения. Не рассматривается влияние выбора берега для начала установки боновых заграждений на реках. Кроме того, для всплывающих боновых заграждений не учитывается тот факт, что лед может быть разрушен при всплытии заграждения, что повлияет на процесс ликвидации разлива.

Соответствие паспорту заявленной специальности

Тематика и содержание диссертационной работы соответствуют паспорту научной специальности 2.8.5. Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ, а именно пункту 1 – «Технологические процессы и технические средства для проектирования, сооружения, эксплуатации, теоретические и практические основы взаимодействия объектов трубопроводного транспорта с

окружающей средой с целью создания высокоэффективных, энерго- и ресурсосберегающих, надежных, механически и экологически безопасных сухопутных и морских систем трубопроводного транспорта для добычи, сбора, подготовки, транспортировки и хранения углеводородов, распределения, газоснабжения и нефтепродуктообеспечения, а также других газовых, жидкостных и многофазных сред, гидро- и пневмоконтейнерного транспорта».

Целью работы является совершенствование методов и средств локализации аварийных разливов нефти на подводных переходах нефтепроводов через реки для повышения их удерживающей способности.

Основные задачи исследования

1. Анализ существующих методов и технических средств для локализации аварийных разливов нефти на подводных переходах нефтепроводов через реки и разработка решений для повышения их удерживающей способности.

2. Исследование пространственного положения всплывающих боновых заграждений при приведении их в рабочее состояние с целью выявления его влияния на удерживающую способность заграждения и на целостность ледового покрова.

3. Определение допустимых углов установки боновых заграждений на подводных переходах нефтепроводов через реки и оценка влияния выбора берега для начала их установки на их удерживающую способность.

Научная новизна работы

1. Сформулирована и аналитически решена новая задача, позволяющая определить максимально допустимый угол установки всплывающих боновых заграждений на подводных переходах нефтепроводов через реки. Установлена зависимость величины максимально допустимого угла установки всплывающего бонового заграждения от скорости течения, расположения точек крепления его к опорам относительно направления течения, глубины и ширины русла реки.

2. Разработана методика расчета позволяющая определить целостность ледового покрова на подводных переходах нефтепроводов через реки при всплытии бонового заграждения. Установлена зависимость между диаметром камеры

плавучести всплывающего бонового заграждения и неразрушаемой толщиной ледового покрова.

3. Для не всплывающих боновых заграждений сформулирована и впервые решена задача по определению минимально допустимого угла их установки на подводных переходах нефтепроводов через реки. Определена зависимость минимально допустимого угла их установки от выбранного берега для начала их развертывания, ширины и распределения скоростей течения по руслу реки.

Теоретическая значимость работы

Теоретическая значимость исследования обусловлена тем, что разработанная методика расчета по определению допустимых углов установки боновых заграждений на подводных переходах нефтепроводов через реки позволяет теоретически исследовать контур плети бонового заграждения в зависимости от различных факторов, включающих глубину, ширину и распределение скоростей течения в русле реки, а также расположения точек крепления заграждения относительно направления течения.

Практическая значимость работы

Разработанная методика по определению допустимых углов установки боновых заграждений на подводных переходах нефтепроводов через реки позволяет определить наиболее эффективные параметры установки боновых заграждений на реках с учетом неизбежно образующегося прогиба плети бонового заграждения под действием течения.

Разработанные рекомендации по установке всплывающих боновых заграждений на подводных переходах нефтепроводов через реки с определенным диаметром камеры плавучести позволяют оценить целостность ледового покрова на замерзающих реках при всплытии бонового заграждения и спрогнозировать методы ликвидации аварийного разлива нефти на покрытой льдом или свободной ото льда реке и подобрать соответствующий диаметр камеры плавучести.

Разработанная конструкция секции бонового заграждения с внутренним каркасом пружинного типа позволяет предотвратить перелив воды через его

верхнюю часть при уменьшении занимаемого объема секции заграждения за счет складывания ее вдоль своей оси (патент на полезную модель RU2808239).

Разработанный способ установки бонового заграждения вдоль несущего каната с предварительным натяжением позволяет установить боновое заграждение с меньшим прогибом, что повышает его удерживающую способность, а также позволяет передать нагрузку от течения на несущий канат (патент на изобретение RU2808239).

Результаты исследований были внедрены в производственный процесс ООО «Нефтетранстехника» при проектировании и изготовлении секций боновых заграждений.

Методология и методы исследования

Поставленные задачи решались с помощью эмпирических и теоретических методов. Эмпирический метод включал в себя эксперименты, сравнение анализируемых параметров установки боновых заграждений, измерение величины прогиба и определение положения точки изгиба плети бонового заграждения. Теоретический метод включал в себя научный анализ и обобщение современной теории и практики ликвидации и локализации аварийных разливов нефти, сравнительный анализ методов и параметров установки боновых заграждений на реках и обработку результатов.

Положения, выносимые на защиту

1. Задача по определению максимально допустимого угла установки всплывающих боновых заграждений на подводных переходах нефтепроводов через реки для недопущения перелива нефти за заграждение при приведении их в рабочее состояние. Максимально допустимый угол их установки составляет от 55° до 80° по отношению к направлению течения реки в зависимости от комбинации данных факторов.

2. Методика расчета по определению допустимой нагрузки на ледовый покров от всплывающего бонового заграждения для предотвращения перемешивания льда и нефти в процессе ликвидации аварийного разлива. Так, при диаметре камеры

плавучести всплывающего бонового заграждения 0,15 м минимально допустимая толщина льда составляет 0,027 м, иначе лед будет разрушен.

3. Задача по определению минимально допустимого угла установки не всплывающего бонового заграждения в зависимости от выбранного берега для начала его установки, ширины реки и распределения скоростей течения по её руслу для недопущения перелива нефти за боновое заграждение по положению точки его изгиба. Установлено, что минимально допустимый запланированный угол установки не всплывающих боновых заграждений в зависимости от комбинации данных факторов составляет 11° - 20° по отношению к направлению течения реки, так как при меньших его значениях значительно увеличивается фактический угол установки (из-за прогиба заграждения).

Степень достоверности и апробация результатов

Основные положения работы докладывались на следующих конференциях: 72-ая Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ, г. Уфа, 2021 г., XVII Международная учебно-научно-практическая конференция «Трубопроводный транспорт – 2022», г. Уфа, 2022 г., IV (XVI) Международная научно-техническая конференция молодежи ПАО «Транснефть», г. Уфа, 2023 г., IV (XVI) Международная научно-техническая конференция молодежи ПАО «Транснефть», г. Хабаровск, 2024 г., 76-ая Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ, г. Уфа, 2025 г., XX Международная учебно-научно-практическая конференция «Трубопроводный транспорт – 2025», г. Уфа, 2025 г. По теме диссертации поддержано два гранта «Фонда содействия инновациям»: договор №16636ГУ/2021 от 03.06.2021; договор №2621ГССС15-L/93085 от 27.03.2024. Достоверность результатов работы подтверждена данными экспериментальных исследований, полученных с использованием поверенных средств измерения с применением теории планирования эксперимента с многократным повторением опытов.

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 13 работ, в том числе 3 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, 3 статьи в научных журналах, индексируемых в международных базах Scopus, 1 патент на изобретение, 1 патент на полезную модель.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения; содержит 147 страниц машинописного текста, в том числе 10 таблиц, 39 рисунков, 2 приложения и библиографический список из 152 наименований.

ГЛАВА 1 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ НА РЕКАХ

1.1 Государственное регулирование защиты водных объектов при аварийных разливах нефти

Для защиты водных объектов важным является нормативное регулирование, осуществляемое государством, которое включает в себя как законодательные, так и технические правовые акты.

Так как источниками загрязнения водных объектов являются различные отрасли, то регулирование защиты данных объектов осуществляется не только государством, но и нефтяными компаниями, издающими соответствующие отраслевые документы. Национальные законы являются вышестоящими над остальными документами и обеспечивают сокращение негативного влияния промышленности на окружающую среду [1].

Основополагающие международные требования определены международными конвенциями:

- Международной конвенцией по предотвращению загрязнения с судов MARPOL 73/78;

- Международной конвенцией по обеспечению готовности на случай загрязнения нефтью, борьбе с ним и сотрудничеству (OPRC).

MARPOL 73/78 – международное соглашение, устанавливающее основные требования к защите окружающей среды от разливов с судов. Данный документ объединяет два соглашения 1973 и 1978 гг. и представляет собой их комбинацию. Достаточно часто в него вносятся поправки и дополнения. Выделим два пункта в данном документе, принятом в 1983 г.: приложение I – инструкция по предотвращению загрязнения нефтью; приложение II – инструкция по контролю за жидкими ядовитыми веществами. Кроме этого, в этом документе прописаны требования к сбросам нефти с судов и выделены «особые зоны», загрязнение

которых не допустимо ввиду их уязвимого положения, к этим зонам относятся такие моря, как Черное, Красное, Балтийское и Средиземное [2].

Международная конвенция по обеспечению готовности на случай загрязнения нефтью, борьбе с ним и сотрудничеству (OPRC) вступила в силу в 1995 году. В 2009 году Российская Федерация присоединилась к конвенции.

Основными обязательствами участников данной конвенции являются:

- разработка планов по ликвидации аварийных разливов нефти (ЛАРН) судами под их флагами, терминалами под их юрисдикцией и морскими платформами;
- своевременное информирование об обнаруженных загрязнениях моря нефтью и об инцидентах с разливами нефти;
- оперативное реагирование при получении информации об аварийном разливе нефти;
- создание национальной и региональных систем обеспечения готовности и реагирования, включающих разработку национального плана ЛАРН, назначение национального органа, создание оперативных пунктов связи, размещение минимального количества оборудования, проведение учений и разработку детальных планов ЛАРН [3].

В работах [4-8] рассматривается вопрос проведения учений по локализации и ликвидации аварийных разливов нефти.

В РФ имеется обширный перечень нормативных документов, обеспечивающих меры по борьбе с разливами нефти и нефтепродуктов [1].

Законодательной основой регулирования защиты окружающей среды от аварийных разливов нефти являются Федеральные законы:

- Федеральный закон от 10.01.2002 г. №7-ФЗ «Об охране окружающей среды»;
- Федеральный закон от 01.07.2007 №74-ФЗ «Водный кодекс Российской Федерации»;
- Федеральный закон от 21.07.1997 г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»;
- Федеральный закон от 21.12.1994 №68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера»;

- Федеральный закон от 30.11.1995 №174-ФЗ «Об экологической экспертизе»;
- Федеральный закон от 03.03.1995 №27-ФЗ «О недрах»;
- Федеральный закон от 13.05.1999 №96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха».

В представленных федеральных законах содержится перечень общих требований к обеспечению нормативного и управленческого регулирования для защиты окружающей среды и предотвращения, а также ликвидации экологических последствий. При этом в данных законах прописываются решения, которые имеют обобщенный вид, и они не регулируют аварийные разливы нефти [9-15].

Таким образом, есть интерес к рассмотрению постановлений и приказов, в которых приводятся требования по предупреждению, а также ликвидации последствий аварийных разливов нефти и нефтепродуктов:

- Постановление Правительства РФ от 16.12.2020 №2124 «Об утверждении требований к составу и оснащению аварийно-спасательных служб и (или) аварийно-спасательных формирований, участвующих в осуществлении мероприятий по ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов»;

- Постановление Правительства РФ от 31.12.2020 №2451 «Об утверждении Правил организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации, за исключением внутренних морских вод Российской Федерации и территориального моря Российской Федерации, а также о признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации»;

- Постановление Правительства РФ от 30.12.2020 №2366 «Об организации предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на континентальном шельфе Российской Федерации, во внутренних морских водах, в территориальном море и прилежащей зоне Российской Федерации»;

- Приказ Федеральной службы по надзору в сфере природопользования от 11.03.2021 №102 «Об утверждении методических рекомендаций по согласованию Федеральной службой по надзору в сфере природопользования планов предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов»;

- Приказ Министерства транспорта РФ от 30.05.2019 №157 «Об утверждении Положения о функциональной подсистеме организации работ по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в море с судов и объектов независимо от их ведомственной и национальной принадлежности»;

- Приказ Министерства транспорта РФ от 27.11.2020 №520 «Об утверждении Положения о функциональной подсистеме организации работ по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на внутренних водных путях с судов и объектов морского и речного транспорта единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций».

Представленные постановления и приказы содержат перечень основополагающих требований, касающихся разработки мер по предупреждению и планов по ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. В них также определяются основные требования по оснащенности аварийно-спасательных служб и организации их работы [16-21].

Для боновых заграждений был также разработан межгосударственный стандарт ГОСТ 34881-2022 «Заграждения боновые стационарные для локализации разлива нефти и нефтепродуктов» [22], в котором приводятся основные требования к стационарным боновым заграждениям, предназначенным для локализации разливов нефти и нефтепродуктов на поверхности водных объектов.

При проектировании объектов нефтегазового комплекса руководствуются Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности». В документе приведены требования, соблюдение которых обеспечивает экологическую безопасность проектируемого объекта [23].

Кроме Федеральных законов и Постановлений Правительства РФ следует выделить РД 153-39.4-058-00 «Типовой план по организации и технологии работ по ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов при авариях и повреждениях переходов магистральных нефтепродуктопроводов через крупные водные преграды», в котором прописаны сведения по определению размеров разлива при

аварии магистрального нефтепродуктопровода, а также конкретные действия по ликвидации разлива [24].

1.2 Исследование проблемы загрязнения окружающей среды нефтью и нефтепродуктами

Одним из наиболее опасных и распространённых видов загрязнения окружающей среды являются нефть и продукты ее переработки. Перечень объектов, из которых она может попадать в окружающую среду, достаточно обширный [25-27]. Среди них можно выделить объекты добычи, хранения, транспортировки и потребления нефти и нефтепродуктов.

Основными источниками загрязнения при добыче нефти являются отходы бурения, содержащие промывочную жидкость с высокой концентрацией токсических химических реагентов, попадающих в природную среду как правило через шламовые амбары, а также нефть, теряемая в процессе строительства скважины [28-32]. Шламовый амбар для одиночной скважины может содержать до 300 м³ бурового раствора, включающего также нефть и реагенты. На данный момент образовалось уже более 6000 амбаров на территории Западной Сибири, которые остаются не ликвидированными. На объектах трубопроводного транспорта в РФ часто происходят аварии, сопровождающиеся разливами нефти и нефтепродуктов, в связи с большим процентом выработки трубопроводов, а потери продукта составляют до 20 млн тонн ежегодно [33, 34]. Можно сделать вывод, что в окружающую среду поступают значительные объемы нефти и нефтепродуктов.

При попадании нефти в окружающую среду загрязнению подвергаются гидросфера, литосфера и атмосфера [35]. Нефть оказывает токсичное воздействие на биосферу [36, 37].

Загрязнение нефтью оказывает пагубное влияние на человека, животных и растения. Имеются многочисленные научные данные, свидетельствующие о связи патологий: легочной, онкологической, кожной и центральной нервной системы – с характером и уровнем загрязнения воздуха от разливов нефти и нефтепродуктов.

На территории интенсивной нефтедобычи хроническое загрязнение среды обитания оценивается для населения как неприемлемое, требующее снижения, основной путь поступления загрязняющих веществ – ингаляционный [30, 38-40].

Самыми опасными соединениями являются смолы и асфальтены, они практически не разлагаются и не учувствуют в химических реакциях в обычных условиях (температуре). Кроме того, такие соединения не разлагаются под действием бактерий и других форм [41]. К числу наиболее опасных компонентов нефти относятся: растворимые в воде нафтеновые кислоты, фенолы, сернистый газ, окись углерода, сера, алифатические углеводороды, сернистый ангидрид, бензол, формальдегид и ацетальдегид, которые приводят к угнетению и подавлению нормальной органической жизни [30, 33, 38, 39, 42-45].

При попадании нефти в почву нарушается обмен веществ среды и растений, что приводит к снижению биохимической активности микроорганизмов и ослаблению биохимических процессов [31, 46-50].

Тяжелые фракции как правило задерживаются в верхних слоях грунта и не проникают в глубь грунта. Более легкие фракции проникают на большую глубину, в некоторых случаях до одного метра, в дальнейшем происходит боковое расширение загрязнения. При определенном уровне насыщения нефть перестает мигрировать и становится неподвижной. Основная масса нефти теряется через первые три месяца, часть нефти уносится водой, тем самым загрязняя грунтовые воды, оставшаяся часть подвергается микробиологическому разложению или минерализуется [28, 31, 51, 52]. Наиболее опасные токсичные группы углеводородов мигрируют с грунтовыми водами на большие расстояния, загрязняя при этом и поверхностные воды, и глубокие горизонты подземных вод [31, 42].

Загрязнение атмосферы как правило происходит при испарении компонентов нефти с поверхности линзы нефтепродуктов или за счёт продуктов горения в случае загорания нефти [30, 42, 53].

Отдельно стоит выделить загрязнение болот, которые имеют сложный морфологический состав и чувствительны к разливам нефти и нефтепродуктов. При разливе на болотах нефть не успевает адсорбироваться торфом, особенно если он

находится в насыщенном водой состоянии, в результате чего растекается по болоту, занимая большую площадь. Распространённым явлением является переход воды из болот в большие реки [31, 54-58]. Большой проблемой болот также является то, что технологии сбора и удаления разлитой нефти с болот отличаются от используемых на воде или на суше, они энергозатратны, длительны и не щадят деятельный слой болота. Как правило для этого разрывают траншеи и соскребавают, смывают нефть в эти траншеи [59]. Есть мнение, что в водные объекты может попасть до 30 % нефти, которая теряется при сооружении скважины, из-за чего наблюдается увеличение концентрации нефти и нефтепродуктов в реках, которые протекают в основных районах нефтедобычи [28]. Решения по ликвидации нефтяных загрязнений на болотах приводятся в работе [45].

Но наиболее серьезные экологические последствия возникают при попадании нефти и нефтепродуктов в водные объекты. В связи с чем научное сообщество решает проблему загрязнения водных объектов более углубленно [1].

При разливе нефти на поверхности воды она растекается в виде очень тонкого слоя и охватывает большую площадь водоема, при этом она не дает возможности воде обмениваться с атмосферой [30]. Кроме того, начинается процесс ее окисления, на который тратится растворенный в воде кислород, что приводит к эвтрофированию водного объекта [60]. При разливе 1 т нефти на поверхности водного объекта образуется нефтяная пленка площадью 2,5 км² [1, 30], по другим источникам, 1 т нефти может со временем растекаться на площадь до 12 км² [42].

При наличии в воде нефти она становится отравленной. Все зависит от концентрации. Она становится токсичной при наличии нефти более 1 г/м³. Но уже при концентрации нефти 200-400 мг/м³ вода приобретает запах керосина, а рыба уже при незначительном содержании нефти становится отравленной [29, 30, 32, 33, 38]. В других источниках указывается, что содержание 7-10 г нефти в 1 м³ воды приводит к торможению развития икринок рыб [28, 40].

При попадании нефти и нефтепродуктов в водотоки (реки, ручьи) последствия загрязнения увеличиваются значительно, так как там она разносится течением [61-64]. Причем на некоторых реках зона загрязнения может составлять более

150 км [1]. Максимальная загрязненность характерна для рек с небольшим расходом воды, для крупных рек этот уровень значительно ниже [65]. К отдалённым последствиям аварийных разливов нефти также можно отнести загрязнение донных отложений. Некоторая часть нефти оседает на дне водоема, причем в большей степени на мелководье в связи с интенсивным перемешиванием. Более тяжелые компоненты нефти могут оставаться в виде донных осадков несколько лет. Миграция углеводородов в системе «вода – донные отложения» существенно сказывается на гидрохимическом режиме водоёма, на качестве воды и на токсичности водной среды [42, 66].

При деградации нефти вода может постепенно самоочищаться. Есть сведения, что до 50 % объема нефти может испариться, однако некоторая часть практически не испаряется (с цепочкой атомов C_{25} и более). Так как более легкие фракции испаряются, нефть становится более вязкой и тяжелой, растекание уменьшается. Под действием волн и течения нефтяная пленка разбивается на отдельные капли. Происходит появление эмульсий «вода в нефти» и «нефть в воде», которые продолжительное время могут существовать в таком виде. Большую роль играют морские микроорганизмы, которые могут разложить до 50-60 % объема нефти [30, 32, 33, 42].

Наиболее крупные аварийные разливы нефти и нефтепродуктов в России:

- 1993 год, Ростовская область. В ночь с 8 на 9 октября 1993 г. на 184 км нефтепровода Лисичанск–Тихорецк произошел разрыв 72-сантиметровой трубы, из которой в реку Крепкая вылилось 408 т сырой нефти [38];

- 1994 год, Республика Коми. В июле-августе на нефтепроводе «Возей – Головные сооружения» из-за коррозии образовались многочисленные отверстия, из которых на грунт вылилось до 94 тыс. тонн сырой нефти. Загрязнённая территория включала в себя восемь населённых пунктов с общей численностью населения 63,5 тыс. человек, общая площадь загрязнения достигла 270 га. Точных данных о площади загрязненной поверхности нет, но цифры колеблются от 69 до 115 га. Эта катастрофа оказалась крупнейшей за последние 20 лет не только на территории Коми, но и в масштабах всей России [67, 68];

- 1995 год, Башкирия. 26 декабря произошел порыв продуктопровода DN700 на подводном переходе через реку Белая в районе д. Старо-Александровка. Нефть выходила на поверхность и долго оставалась незамеченной из-за ледового покрова реки. Ликвидация разлива производилась методом сжигания ее. Точных данных по количеству вылитой нефти не имеется, по некоторым данным нефтяное пятно составило 3 км в длину и 100 м в ширину;

- 1995 год, Сахалин. В результате землетрясения были повреждены нефтепроводы, которые не были рассчитаны на сейсмические воздействия, объем разлитой нефти по некоторым оценкам составил 6000 тонн. Ликвидация разлива свелась к закапыванию нефти в землю [69];

- 1997 год, Саратовская область. 16 февраля в результате разрыва нефтепровода «Самара – Тихорецк» разлилось около 1,5 тыс. тонн нефти. Было загрязнено 10-12 га земель;

- 1999 год, Башкирия. 12 июня в Салаватском районе Башкирии, близ села Терменево рядом с границей Челябинской области, произошёл разрыв магистрального нефтепровода «Туймазы – Омск – Новосибирск». Всего из трубы вытекло около 1 тыс. тонн нефти, при этом около половины этого объёма попало в реку Ай;

- 2003 год, Пензенская область. 29 января в Пензенской области, в 4 км юго-западнее Кузнецка, произошёл прорыв трубы магистрального нефтепровода «Дружба», за которым последовал пожар. Вылилось около 10 тыс. тонн сырой нефти, площадь разлива составила 2 тыс. кв. м.;

- 2003 год, Белое море. В результате аварии на судне в море предположительно попало 45 тонн мазута, что привело к гибели гусей, уток и создало проблемы для ловли рыбы [69];

- 2003 год, Самарская область. В результате пожара на танкере «Виктория» произошел выброс нефти в объеме 1300 тонн, которая разлилась по реке Волга и привела к серьезным экологическим последствиям [69];

- 2005 год, Адыгея. 7 августа 2005 года в результате врезки в нефтепровод произошла утечка около 100 тонн нефти;

- 2009 год, Якутия. В результате повреждения трубопровода «Восточная Сибирь – Тихий Океан» компании «Транснефть» ковшом экскаватора произошла утечка нефти в объеме до 20,3 тыс. баррелей нефти [68];

- 2012 год, Ненецкий автономный округ. 20 апреля на месторождении имени Р. Требса и А. Титова («Башнефть-Полюс») при проведении работ по расконсервации скважины произошёл неконтролируемый выброс нефти. В результате на землю вылилось около 2 200 тонн нефти, площадь загрязнения составила 1 га;

- 2020 год, Приморский край. 14 марта в Находке (Приморский край) на топливном складе котельной КГУП «Примтеплоэнерго» в результате взрыва произошёл выброс из ёмкости порядка 1,6 тыс. тонн мазута на площади около 1 га. В результате пострадали расположенное рядом озеро Солёное и его береговая полоса;

- 2020 год, Норильск. В конце мая на проезжую часть дороги, ведущей к ТЭЦ-3, разлилось около 21 тыс. т нефтепродуктов. В результате аварии нефтепродукты попали на почву и в расположенные рядом с ТЭЦ водоёмы – две реки и озеро, обеспечивающие водой местных жителей.

1.3 Анализ существующих методов и технических средств для ликвидации аварийных разливов нефти с поверхности воды

Процесс ликвидации аварийных разливов нефти можно представить в виде локализации разлива нефти, ее сбора и извлечения, а также транспортировки и утилизация [69].

Для ликвидации разливов нефти применяют различные технологии и технические средства [28, 31, 38, 40, 42, 67, 69-73].

Обобщив материалы, имеющиеся в литературе, можно разделить методы локализации на следующие: механические, физико-химические, химические, биологические, а также сжигание нефти на месте разлива [28, 31, 33, 38, 40, 42, 67, 69].

К механическим средствам локализации нефтяных загрязнений следует отнести применение боновых заграждений, нефтесборных устройств, использование гидравлических, пневматических барьеров, плотин и гидрозатворов [28, 32, 38, 40, 67, 69, 74-78].

К физико-химическим методам можно отнести применение различных сорбирующих веществ, способных впитывать и удерживать в себе нефть [28, 31, 40, 42, 69, 73, 79-82].

К химическим методам следует отнести диспергенты, диэмульгаторы, осаждающие агенты, препараты для поджигания нефти, а также препараты – отвердители для перевода нефтяного пятна в нетекучее гелеобразное состояние, которые в некоторых источниках [1, 28] относят к физико-химическим методам.

К биологическим методам относится применение микроорганизмов, которые используют нефть как питательную среду [28, 38, 42, 69].

Сжигание нефти – метод, основанный на контролируемом сжигании разлитой нефти на поверхности воды [32, 40, 42, 67, 69, 73].

По способу ликвидации слоя нефти на поверхности воды можно выделить следующие методы [1]:

- методы, основанные на извлечении нефти с поверхности воды;
- методы, основанные на разрушении слоя нефти;
- методы, основанные на рассеивании и разложении слоя нефти.

Основными способами ликвидации разлива нефти на поверхности воды являются:

- прекращение сброса продукта;
- установка заграждений для локализации загрязнения и защиты уязвимых районов;
- отвод загрязнения в зону, удобную для проведения ликвидации [69];
- сбор, разрушение или рассеивание загрязняющих веществ в зависимости от ситуации.

Определение способов локализации и ликвидации аварийных разливов осуществляется в зависимости от окружающей ситуации, а также местных условий (разрешение на использование химических веществ или сжигание) [1, 69].

1.3.1 Методы, основанные на извлечении нефти с поверхности воды

Извлечение нефти из воды может осуществляться механическими, физико-механическими методами, а также химическим методом с применением препаратов для снижения текучести нефтяного пятна с последующим ее сбором.

Так как нефть растекается по поверхности воды быстро, в первую очередь необходимо как можно больше нефти собрать с поверхности воды, пока нефтяная пленка не станет слишком тонкой. Для этого применяются боновые заграждения или другие ограждающие конструкции с целью недопущения распространения разлива, а также для утолщения нефтяной пленки. Наиболее распространёнными и актуальными являются боновые заграждения, подробное описание которых приведено в п.1.4. Принцип работы пневматических барьеров заключается в создании заграждения на поверхности воды за счет постоянной подачи воздуха через трубу с перфорацией, размещенной на дне водоема [28, 31, 38, 40, 83]. Принцип работы плотин и гидрозатворов заключается в заблаговременном перекрытии небольших рек и водотоков, на участках переходов нефтепроводов через водные преграды, для чего отсыпают плотины с устройством гидрозатворов. В случае разлива нефть скапливается на поверхности воды, а сама вода перетекает через гидрозатвор с концом, опущенным в подповерхностный слой воды [38].

Сбор нефтяного загрязнения с поверхности воды может быть осуществлен с помощью различных нефтесборных устройств. Различают два вида нефтесборных устройств: гравитационные, работающие по принципу учета разницы в плотности воды и нефти, и сорбционные, в которых используются свойства нефти прилипать к поверхностям или поглощаться некоторыми материалами [1, 32, 69, 84].

Все нефтесборные устройства как правило оснащаются емкостью, в которую поступает нефть, и насосом, необходимым для ее перекачки [69].

Гравитационные устройства можно разделить на несколько видов:

- вакуумные (работающие по принципу всасывания продукта, могут справляться с большими объемами вязкой нефти) [38, 69];
- пороговые (работающие по принципу прохождения слоя нефти через порог, который располагается ниже уровня воды, однако вместе с нефтью поступает и много воды) [1, 38, 40, 42, 69];
- погружного типа (обеспечивающие погружение нефти с последующим ее сбором в специальные емкости) [69];
- с горизонтальным шнеком, имеющим постепенно убывающий шаг (используются при сборе нефтяных загрязнений высокой вязкости) [1, 69];
- центробежного типа (основаны на принципе разделения жидкостей с разными плотностями под действием центробежных сил, к числу которых относятся устройства по принципу вихревой воронки, всасывающей нефть, а также гравитационных сепараторов) [1, 28, 31, 38, 42, 69].

Среди сорбционных устройств можно выделить следующие виды:

- барабанные полупогружные [1, 31, 42, 44, 69, 84-86];
- дисковые (с частичным погружением в воду, удаление нефти производится скребками) [1, 42, 69];
- ленточные (обладающие транспортной лентой и механизмом для удаления нефти с нее) [1, 28, 31, 38, 69];
- канатные, с плавающей трос-шваброй и отжимной роликовой системой [69];
- щеточные (оснащенные щетками, на которые налипает нефть, и механизмом для их удаления) [38, 42, 69].

Следует отметить, что сорбционные нефтесборные устройства собирают менее обводненную нефть по сравнению с гравитационными, но при этом менее эффективны при сборе высоковязких продуктов [1, 69].

Недостатки нефтесборных устройств, следующие:

- при низких температурах нефть становится слишком вязкой и может засорить устройство, приведя его в нерабочее состояние;

- при толщине пленки менее 1 см снижается производительность сбора, а при слишком тонком слое пленки устройства работают неэффективно;
- при волнах высотой 0,5-1,0 м и малых глубинах также не эффективны;
- как правило могут собирать до 60 % разлитой нефти, которая также включает в себя эмульсию (вода в нефти) около 50 %, которую также необходимо очищать [69].

Нефтесборные устройства могут быть мобильными, могут монтироваться на судне или быть встроенными в него [28, 31, 69]. На реках и озерах как правило применимы только мобильные устройства.

Основную массу нефти необходимо собирать механическими методами [38]. Однако для облегчения сбора нефти в ряде случаев эффективно применение сорбирующих веществ, поглощающих нефть, или же перевод нефти в не текучее состояние с помощью химических веществ – отвердителей.

Как правило применяют следующие виды сорбционных материалов для сбора нефти:

- связанные сорбенты (выполненные в виде матов или лент текстильные, бумажные, вспененные и т.п. материалы);
- сыпучие сорбенты (различные порошкообразные материалы, рассыпаемые на участок разлива) [1].

Связанные сорбенты после наполнения их нефтью извлекают из воды. Сыпучие сорбенты наносятся на пятно посредством распыления, при контакте с нефтью они образуют плавучий конгломерат, который потом может быть собран боновыми заграждениями [1, 32, 44, 69, 84, 85, 87-91].

Стоит отметить, что искусственные сорбенты могут использоваться повторно, путем отжатия их, например с помощью отжимных валиков, а минеральные могут использоваться только один раз [1, 31, 42].

Основным недостатком сорбирующих веществ является то, что их необходимо собирать и утилизировать, хотя это не всегда возможно [69].

Отвердители могут распыляться на место разлива, взаимодействуя с нефтью приводят ее в желеобразную консистенцию для облегчения ее последующего сбора.

Применение отвердителей является менее оправданным, так как они зачастую наносят больший ущерб экологии, чем сама нефть [31, 38, 42, 67].

Следует отметить, что самым правильным с точки зрения экологии методом ликвидации разлива нефти является ее извлечение с поверхности воды [92]. Другие методы только заменяют один вид загрязнения на другой и могут применяться в исключительных случаях [1].

1.3.2 Методы удаления с поверхности воды слоя нефти путём его разрушения или разложения

К данной группе методов можно отнести микробиологическое разложение и сжигание нефти.

Метод сжигания нефти может быть применен не везде, так как продукты горения могут представлять экологическую опасность при близком расположении от населенных пунктов и других уязвимых объектов. Кроме того, в РФ для его применения требуется разрешение органов исполнительной власти [40, 67].

Для сжигания нефти также должны быть созданы определенные условия [67]. Нефть хорошо горит при наличии в ней летучих, легко воспламеняемых компонентов, а также при достаточной толщине нефтяной пленки [1]. Для увеличения толщины нефтяной пленки применяются огнестойкие боновые заграждения [69]. Так как нефть быстро теряет легкие фракции, для ее воспламенения могут использоваться различные материалы, поддерживающие горение, к их числу относятся карбиды, целлюлозные материалы, газолин [42, 67, 69].

Вместо сжигания нефти перспективным является применение лазерного излучения. Принцип действия основан на том, что лазерное излучение поглощается тонким слоем воды, примыкающим к нефти, в результате чего она нагревается, создается парообразующий эффект, и капли нефти отрываются от воды, где они смешиваются с воздухом, в результате чего образуется горючее вещество, и нефть сгорает в воздухе.

Данная разработка является перспективной, так как она может уничтожать даже радужную пленку, которую недостижимо удалить другими способами. Таким образом целесообразно сначала осуществлять сбор нефти механическим или химическим способом толстых пленок, после чего уже применять лазерное излучение. Кроме того, данная технология является финансово выгодной на фоне конкурентных [69].

Микробиологическое разложение может быть использовано для ликвидации разливов нефти и нефтяных загрязнений как на воде, так и на берегу. В последнем абзаце п.1.2 отмечено, что нефть может разлагаться в естественных условиях, однако этот процесс медленный и затрагивает в первую очередь легкие фракции нефти. Для повышения эффективности разложения нефти можно использовать микроорганизмы, которые питаются нефтью. Есть множество исследований в данной области, в которых описывается суть данного метода, они как правило сводятся к применению биосорбентов на основе штаммов микроорганизмов [69], а также введения азота, фосфора, нитратов и фосфатов на место разлива [28, 38, 42], увеличивающих разрушение нефти на 70% [28, 38]. Микробиологическое разложение замедляется при снижении температуры и при низких температурах практически не эффективно [32, 69].

1.3.3 Методы удаления нефти с поверхности воды путём её рассеивания или затопления

К этим методам относятся рассеивание нефти с помощью диспергентов и затопление с помощью осаждающих агентов.

Метод затопления нефти реализуется при помощи ввода осаждающих агентов на нефтяную пленку, в результате чего она опускается на дно. Данный метод применяется редко, так как возможно повторное всплытие продукта через какое-то время. Он может применяться только для морских акваторий, в частности на нефтяных платформах, и во многих странах запрещен, так как наносит серьезный экологический ущерб для морских организмов и может применяться в особых

случаях, для больших разливов, которые могут создать угрозу загрязнения береговым объектам [1, 40, 67].

Метод рассеивания нефти основан на использовании диспергентов, которые при воздействии на нефтяную пленку разбивают ее на мелкие частицы, растворенные в большом объеме воды [1, 32, 42, 67, 69, 93]. Данный метод может применяться в следующих случаях:

- есть угроза загрязнения береговой линии;
- присутствует сильное волнение поверхности воды;
- разлив охватывает большую площадь;
- толщина нефтяной пленки становится слишком малой для сбора ее механическим способом.

К преимуществам данного метода можно также отнести то, что диспергенты могут распыляться с воздуха.

Недостатки следующие:

- в случае неудачного применения другие методы уже не применить;
- малоэффективны для тяжелых нефтей и при низкой температуре воды;
- токсичность диспергента может быть выше, чем самой нефти;
- сложность выбора состава веществ для конкретных свойств нефти и условий окружающей среды и свойств нефти [31, 38, 42, 67, 69].

Данный метод может дополнять другие технологии, во многом он является более эффективным [67, 69].

1.4 Анализ существующих видов боновых заграждений

1.4.1 Общие сведения

При рассмотрении всех методов и средств локализации нефтяной пленки на водной поверхности стоит выделить применение боновых заграждений, которые являются наиболее универсальными и эффективными. Они обладают такими преимуществами, как удобство транспортировки, быстрое разворачивание и

надежность, благодаря чему чаще всего применяются аварийными бригадами [1, 73, 94].

Использование боновых заграждений не представляет большой трудности. Суть их работы сводится к созданию препятствия на поверхности воды, которое предотвращает дальнейшее растекание нефтяной пленки [1, 38].

Благодаря применению боновых заграждений на водотоках, нефтяное пятно течением переносится к боновому заграждению, где постепенно увеличивает свою толщину. Это позволяет эффективно работать нефтесборным устройствам, однако при высоких скоростях потока, нефть может уноситься за боновое заграждение [74, 75, 78, 93], из-за чего снижается эффективность работ по ликвидации разлива.

Боновые заграждения нужны для того, чтобы:

- локализовать разлив нефти на водном объекте;
- не допустить перемещения нефтяного пятна к уязвимым районам;
- увеличить толщину нефтяной пленки для ее последующего сбора или разрушения [67, 78, 95].

Основной характеристикой бона является способность задерживать или перемещать слой нефти, которая определяется перемещением бона относительно перемещения воды. Для чего большинство бонов имеет следующие особенности [22, 28, 32, 38, 40, 78, 93, 96]:

- надводный борт, уменьшающий потери нефти над боном и задерживающий слой нефти;
- подводная «юбка», удерживающая слой нефти и уменьшающая ее утечки под боном;
- элемент, необходимый для обеспечения плавучести бона благодаря использованию воздуха, пены в своей конструкции или плавучих материалов;
- силовой элемент, который принимает основную нагрузку от течения и волн, для чего как правило применяют стальной трос;
- балласт, необходимый для обеспечения вертикальной ориентации бона;
- соединительные узлы (замки и т.д.), обеспечивающие сборку заграждения из отдельных секций, к которым относятся проушины / петли / рым-болты и т.п.

Для изготовления бонов как правило используют синтетические материалы. Часто используется материал ВИ-НИПЛАН 6575 с ПВХ покрытием, которое устойчиво к воздействию солнечной радиации, нефти и микроорганизмов [38, 40]. Согласно [22], все применяемые материалы должны быть устойчивы к воздействию воды, ННП, ультрафиолетового излучения.

Для боновых заграждений стандартно используются быстроразъемные соединения ASTM, реже – петлевые и болтовые соединения [94].

Согласно [77], существует большое количество боновых заграждений. Они бывают стационарные, полустационарные и мобильные.

Различаются боны прежде всего по их высоте. В результате исходных данных о разливе определяют вид применяемого заграждения. Боны делят на боны-занавесы и боны-заграждения [78].

Отличительной чертой бонов-занавесов является то, что они имеют подводную часть в виде полотна и устройств, удерживающих их на плаву (воздушный карман или пена). А боны-заграждения работают благодаря собственным средствам плавучести, а также балластов и т.д. Они в разрезе имеют форму прямоугольника и удерживаются вертикально в воде [78, 96].

Боны делятся на 3 класса, согласно [31, 96], а именно: для рек и закрытых водоемов; для работы в зоне портов, выходов в море; для открытых водных пространств (морей).

Боны также можно разделить на группы, по [69] на нефтеудерживающие; сорбционно-удерживающие, а также огнестойкие.

Согласно [22], боны классифицируют по признаку плавучести (постоянная и переменная), а также по используемому материалу (эластичный, неэластичный и комбинированный).

Отдельно стоит выделить применение боновых заграждений при наличии ледового покрова в открытых акваториях и на реках.

1.4.2 Боновые заграждения для открытой воды

Нефтеудерживающие боновые заграждения

Основной задачей нефтеудерживающих боновых заграждений является локализация разлива на поверхности водоема. Данная группа является самой распространенной и наиболее эффективной. Существуют различные разновидности нефтеудерживающих боновых заграждений в зависимости от сценария их использования.

Имеется широкая классификация нефтеудерживающих боновых заграждений. Ниже приведены наиболее распространённые из них.

Боны постоянной плавучести (серия БПП) применяются для локализации разливов нефти и нефтепродуктов на реках, озерах, акваториях портов и для ограждения судов. Как правило оснащены поплавками из вспененного материала или пластин из полиэтилена. Они не такие компактные, как надувные, однако материал устойчив к воздействию нефти, а также к механическому воздействию. Они могут с легкостью перемещаться со скоростью до 6 км/ч и обладают достаточной прочностью [40, 69].

Всплывающие боновые заграждения (серия БЗ-НВ) имеют отличительную особенность в виде мгновенного приведения их в рабочее положение (за 3 минуты всплывают и перекрывают участок). Данные заграждения могут применяться как в акватории портов, так и во внутренних водах. Такие боны расположены на дне, не мешают проходу судов, круглый год они готовы к работе. Когда становится известно об аварии на нефтепроводе, они приводятся в рабочее состояние дистанционно заполнением камер бонов воздухом под давлением [22, 32, 69, 97-101]. В п. 2.2 представлена разработка усовершенствованной конструкции всплывающего бонового заграждения.

Приливные боны или берегозащитные (серии БНбз), нашли свое применение на побережьях с большими перепадами уровня воды от наличия приливов и отливов. Такие боны имеют три камеры, одна наполнена воздухом, а две – водой. При отливе заграждение лежит на земле, а во время прилива оно всплывает, камеры,

наполненные водой, играют роль юбки и задерживают нефть. Самым главным их качеством является способность работать на небольшой глубине, а из-за того, что они работают в сложных условиях, их конструкция имеет усиленное покрытие [69, 78].

Надувные боновые заграждения (например, УЖ-2М) применяются как во внутренних водоемах, так и на открытых участках моря. Они не требуют большого пространства для хранения и транспортировки, в собранном виде они быстро доставляются к удаленному месту разлива. Заграждение разворачивается при накачивании секций воздухом с помощью насосов, вручную или баллонами со сжатым воздухом. Они обладают необходимыми качествами для локализации разлива, однако материал должен быть устойчив ко всем видам нагрузок [40, 69].

Боны заградительные (серии БЗМ) могут применяться как для локализации аварийных разливов на реках, так и для защиты береговой полосы. Боновое заграждение в данном случае состоит из отдельных секций с силовыми элементами, расположенными сверху и снизу и заполненными поплавками. Заграждение может работать при скорости течения не более 1,5 м/с [40, 69].

Боны нефтеограждающие легкие (серия БНЛ) предназначены для ограждения от нефти и нефтепродуктов судов, бухт и подтягивания нефтяного пятна к нефтесборному оборудованию. Данные заграждения как правило изготавливают из полипропилена, а после использования сжигают [40, 69].

Боны морские (серия БЗ-НИ, БМ) предназначены для локализации нефтяного пятна на водной поверхности. Они обладают повышенной прочностью и износостойкостью, легко очищаются и могут использоваться как в закрытых водоемах, так и в бухтах, гаванях и в открытом море [40].

Существуют и другие виды боновых заграждений: аварийные, болотные, самонадувные, ограждающие.

Для применения на реках наиболее распространёнными и эффективными при открытой воде являются надувные боновые заграждения и боны постоянной плавучести.

Сорбционно-удерживающие боны

Такие боны могут не только локализовывать нефтяное пятно, но и впитывать нефть. Они эффективно работают при небольшой скорости течения и ветра. Секции бона выполняются из многослойных конструкций, которые имеют в своем составе сорбенты, сетку для создания необходимого каркаса и элемента, обеспечивающего плавучесть [69]. Некоторые заграждения оснащаются быстрозаменяемыми сменными картриджами с сорбентом [38, 40].

Сорбционные боны позволяют нефти проходить внутрь их конструкции, где они и задерживаются. Они собираются из ряда секций, которые имеют в своем составе сорбенты (как природные, так и синтетические).

Недостатком сорбирующих бонов можно считать трудность в их ликвидации, в связи с чем основной способ – это сжигание [69].

Огнестойкие боны

Боны огнестойкие применяют для разливов, которые планируется поджечь, а также если существует вероятность возгорания продукта [69]. Конструкция бонов способствует их работе при больших температурах. Заграждение представляет собой комплект, состоящий из отдельных секций длиной 2 м, сделанных из нержавеющей жаростойкой стали. Секция бона состоит из поплавков, троса для соединения секций и замков. Поплавки представляют собой цилиндры из жаропрочной стали с фартуком в нижней части.

1.4.3 Применение боновых заграждений в арктических условиях на открытых акваториях

Планирование мер по ликвидации разливов нефти в арктических условиях необходимо вести с учетом того, что при ликвидации могут возникнуть 2 вида условий, различающихся между собой, а именно: вода, покрытая льдом в различной степени, и вода, свободная ото льда. Можно применять традиционные методы сбора и локализации разлитой нефти с использованием нефтесборных устройств и

боновых заграждений в течение части года, поскольку большая часть арктических вод в течение года имеет минимальный ледяной покров или не покрыта льдом [102].

При наличии на поверхности воды льда более 20-30 % применение боновых заграждений становится неэффективным, так как их прочность недостаточна, чтобы противостоять перемещению льда [32, 67, 69, 102]. При повышении концентрации льда можно использовать ледокол [67, 102]. Сбор нефти может осуществляться как правило только сорбционными нефтесборщиками. А наиболее эффективным способом ликвидации разлива является сжигание нефти [67, 69], которое при малой концентрации льда осуществляется с помощью огнестойких бонов, а при концентрации более 30 % сжигание можно осуществлять на поверхности льда [69].

Для отделения нефти ото льда могут применяться специальные боновые заграждения, которые состоят из плавучей стальной камеры, соединенной с канатом. При перемещении по воде оно задерживает лед [32, 102].

На нефтяных морских платформах может применяться боновое заграждение переменной плавучести, согласно [103], которое представляет собой конструкцию, расположенную таким образом, чтобы полностью локализовать источник нефтяного загрязнения (морскую платформу) при приведении ее в рабочее положение при всплытии. Боновое заграждение переменной плавучести при заполнении его отсеков водой в режиме ожидания расположено под водой на определенной глубине, для приведения его в рабочее положение сжатым воздухом перемещают герметизирующий поршень, который вытесняет воду, и заграждение всплывает, локализуя нефтяное загрязнение. Помимо этого, конструкция предусматривает работу в ледовых условиях, боновое заграждение, всплывая, обеспечивает плотный контакт со льдом и локализует нефтяную пленку подо льдом.

1.4.4 Применение боновых заграждений на реках при наличии ледового покрова

Можно выделить следующие способы локализации разлива при наличии ледового покрова на реках.

1. Разрушение льда и его сбор с помощью труб – понтонов, благодаря чему вода становится открытой ото льда и загрязнение можно локализовать боновыми заграждениями [104]. Недостатком данного способа является то, что для разрушения льда может потребоваться специальное судно, кроме того, это может занять много времени.

2. Бурение во льду направляющих прорезей, в которые под углом не более 30 градусов к оси водного потока устанавливаются зимние боны, состоящие из отдельных взаимозаменяемых секций, устанавливаемых в линейной майне, и фиксирующей арматуры [32, 40, 105, 106]. Недостатком данного способа является то, что бурение прорезей является трудозатратной операцией, а также имеется большая вероятность того, что лед на реке может разрушиться и зажать боновое заграждение, в результате чего оно не сможет эффективно удерживать нефть или нефтепродукт.

3. Бурение лунок, с помощью которых протаскивается трос подо льдом, вслед за которым протягивается боновое заграждение [107]. Недостатком данного способа является то, что для его реализации может потребоваться большое число лунок, а также много манипуляций по протаскиванию троса с помощью них, таким образом, данный способ может занять много времени.

4. Всплывающее заграждение, которое в режиме ожидания заполнено водой и находится под водой [97]. Оно состоит из полиэтиленового трубопровода, внутри которого расположено несколько эластичных шаров или поршень. При аварии во внутреннюю полость подается воздух под давлением, в результате чего происходит движение эластичных шаров или поршня, которые вытесняют воду после чего заграждение всплывает, локализуя разлив. Недостатков существенных нет, есть рекомендации по улучшению данных заграждений с учетом прочности льда и повышения его удерживающей способности, которые приводятся в п.2.2.

1.5 Нагрузки, действующие на боновые заграждения на реках

Боновые заграждения, установленные на реках, подвержены гидродинамическим нагрузкам от течения, которые возрастают с увеличением скорости течения. Основная нагрузка возникает от давления воды на «юбку» бонового заграждения. Кроме того, на надводную часть бонового заграждения дополнительную нагрузку создает ветер, но она значительно ниже, чем от течения [94].

Есть разные методы по определению нагрузки от течения на боновое заграждение.

Согласно [94], нагрузку от течения (Рисунок 1.1), кгс, можно вычислить по формуле

$$F_{\text{теч}} = 89,65 \cdot K \cdot h_{\text{подв}} \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot v^2 = 89,65 \cdot K \cdot h_{\text{подв}} \cdot L \cdot v^2, \quad (1.1)$$

где 89,65 – коэффициент перевода в систему СИ;

K – коэффициент учета воздействия ветрового волнения $\text{кг} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$ (рекомендуется принимать равным 2 для спокойной воды, а при волнении – равным 3÷4 в соответствии с [94]);

v – скорость течения, м/с.

$h_{\text{подв}}$ – высота подводной части бонового заграждения, м;

l – длина бонового заграждения, м;

L – ширина реки, м;

α – угол постановки бонового заграждения.

Согласно [101], усилие от действия течения, кг, определяется по формуле

$$F_{\text{теч}} = (\rho_{\text{в}} \cdot h_{\text{подв}} \cdot l \cdot v^2 / g) \cdot \sin \alpha = (\rho_{\text{в}} \cdot h_{\text{подв}} \cdot L \cdot v^2 / g), \quad (1.2)$$

где $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, $\text{кг} / \text{м}^3$;

g – ускорение свободного падения, $\text{м}^2 / \text{с}^2$.

Определение нагрузки, действующей на боновое заграждение, по [94, 101], является ошибочным, так как в формуле (1.1) и (1.2) смена угла постановки БЗ никак не влияет на нагрузку от течения. Согласно Рисунку 1.2, на боновое заграждение,

которое установлено под углом к направлению течения, будет действовать сила от проекции скорости течения, действующая на длину бонового заграждения, и верным будет выведенная формула (1.5).

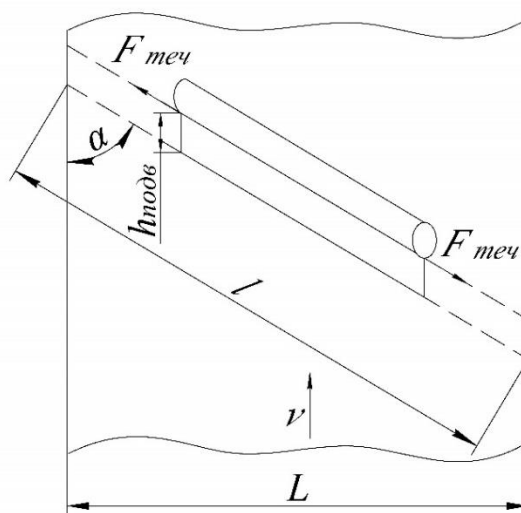
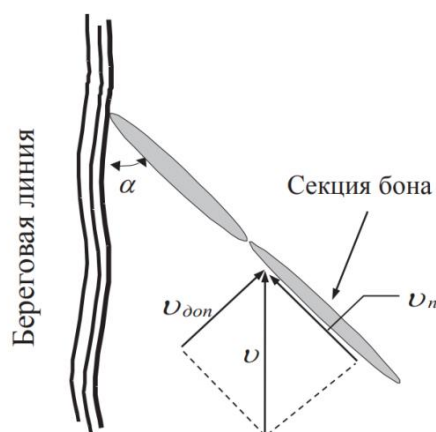


Рисунок 1.1 – Схема к определению динамической нагрузки на бон



v_n – скорость перемещения нефтяного пятна вдоль бона, м/с

Рисунок 1.2 – Определение угла установки заграждения,
зависящего от величины скорости течения

Еще одним недостатком формулы можно считать использование коэффициента K , который имеет большой разброс по значениям, что в итоге может значительно увеличить реальную силу $F_{теч}$.

Нагрузку на боновое заграждение от течения, кгс, можно определить, согласно [78], по формуле

$$F_{теч} = 100 \cdot A \cdot v^2, \quad (1.3)$$

где A – площадь погруженной части бонов, m^2 ;

100 – коэффициент перевода в систему СИ.

В данной формуле не учитывается угол постановки бонового заграждения.

В [108] также есть формула, которую можно использовать для определения нагрузки от течения на боновое заграждение

$$F = mv = \rho_g S v \cdot v = \rho_g S v^2, \quad (1.4)$$

где F – сила давления струи воды, действующая на стенку, Н;

m – масса воды, ударяющаяся о стенку за 1 с, кг/с;

S – площадь, на которую действует струя воды, m^2 ;

v – скорость движения воды, м/с.

С учетом Рисунка 1.2, формул (1.1) – (1.4) можно определить силу натяжения, или по-другому силу давления воды, действующую на боновое заграждение на реке

$$F_{теч} = \rho_g \cdot l \cdot h_{нодб} \cdot (v \cdot \sin \alpha)^2. \quad (1.5)$$

В работе [32, с.186] также приводится расчет нагрузки на течение, однако он также является ошибочным, так как противоречит формуле (1.5).

Помимо давления от течения, действующего на юбку бонового заграждения при значительной скорости ветра, есть необходимость в учете ветрового воздействия на надводный борт бонового заграждения.

Согласно [78], нагрузка на боновое заграждение от ветра, кгс, определяется по формуле

$$F_g = 100 \cdot A \cdot (v_g / 40)^2, \quad (1.6)$$

где v_g – скорость ветра, м/с;

A – площадь надводного борта бонового заграждения, m^2 .

В [109] приводится формула по определению ветрового давления, H , из которой можно вывести нагрузку на боновое заграждение

$$F_g = \omega_0 \cdot A = 0,43v_g^2 \cdot A, \quad (1.7)$$

где 0,43 – коэффициент, учитывающий плотность воздуха;

ω_0 – ветровое давление, Па.

При расчете ветрового давления получаем, что результат по формуле (1.6) всегда будет больше в 1,45 раза, чем по формуле (1.7). С учетом того, что в [78] указывается, что превышение воздействия течения воды над ветровым давлением равное 40 является допущением, формула (1.6) является менее точной.

При расчете ветрового давления на боновое заграждение с учетом формулы (1.7) предлагается добавить возможность учета направления действия ветра на заграждение

$$F_g = \pm 0,43 \cdot L \cdot h_{надв} \cdot v_g \cdot \sin \alpha, \quad (1.8)$$

где $h_{надв}$ – высота надводной части заграждения, м;

α – угол между направлением ветра и боновым заграждением.

В формуле (1.8) ставится знак минус, если направление ветра противоположно течению реки.

При расчете на максимально возможное воздействие ветра на боновое заграждение в формуле (1.8) считать его со знаком плюс, принять $\alpha = 90^\circ$.

При расчете нагрузки на боновое заграждение необходимо учитывать угол его постановки на реке. Есть несколько подходов к определению угла постановки бонового заграждения.

В соответствии с [1], угол α рассчитывают по формуле

$$\sin \alpha = \frac{v_{дон}}{v} = \frac{0,3}{v}, \quad (1.9)$$

где $v_{дон}$ – допустимая скорость потока, равная 0,3 м/с, направленная перпендикулярно бону, приведена на Рисунке 1.2.

В формуле (1.9) за допустимую скорость принимается 0,3 м/с, являющуюся граничной, при которой боновое заграждение устанавливается перпендикулярно к направлению течения реки.

Угол постановки бонового заграждения в зависимости от скорости течения приводится также в [22, 94, 110]. Данные по углу постановки собраны в Таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Зависимость угла постановки заграждения от скорости течения

Скорость течения, м/с	2,5	2	1,5	1	0,5	0,1-0,4
Угол постановки заграждения согласно [1], град	7	9	11,5	17,5	37	90-48
Угол постановки заграждения согласно [110], град	7	10	17	25	30	45
Угол постановки заграждения согласно [94], град	8	10,4	13,5	20,5	44	-
Угол постановки заграждения согласно [22], град	10	10	10	15	30-45	60

1.6 Эффективная надежность боновых заграждений

1.6.1 Режимы взаимодействия бонового заграждения и нефтяной пленки

Исследование взаимодействия слоя нефти с боновым заграждением представлено в работах Комаровского Д.П., Липского В.К., Лурье М.В. [111-115].

Взаимодействие нефти и бонового заграждения – это не простое явление, в натуральных условиях это гидродинамически сложный процесс. Данное явление можно представить как обтекание воды пластины, установленной поперек течения.

В некоторых случаях происходит то, что нефть попадает под боновое заграждение и проходит под ним, это является главной проблемой таких заграждений на реках и т.п. Это происходит на границе жидкостей воды и нефти в результате гидродинамических явлений [1]. Существуют и другие ситуации, при которых происходят сбои в работе бонов, приводящие к протеканию нефти за заграждение [78], которые представлены в п. 1.6.2.

Согласно [115], имеются два способа взаимодействия бонового заграждения и нефтяной пленки:

- поверхностно-гладкий режим (ПГР);
- поверхностно-волновой режим (ПВР).

Поверхностно-гладкий режим – это случай, когда нефтяная пленка скапливается перед боном (Рисунок 1.3) и выглядит как прямая линия. В свою очередь, нефть уносится, когда слой нефти толщиной (δ) перед боном станет больше, чем высота подводной части бона ($\delta > h_{\delta 3}$), при этом нефть проходит под заграждением [1].

Поверхностно-волновой режим происходит тогда, когда нефтяная пленка становится волнообразной (Рисунок 1.4, а). На нижней поверхности пятна возникают волны. Когда волны подходят к боновому заграждению, они пересекают его, и поэтому нефть также проходит под боном (Рисунок 1.4, б).

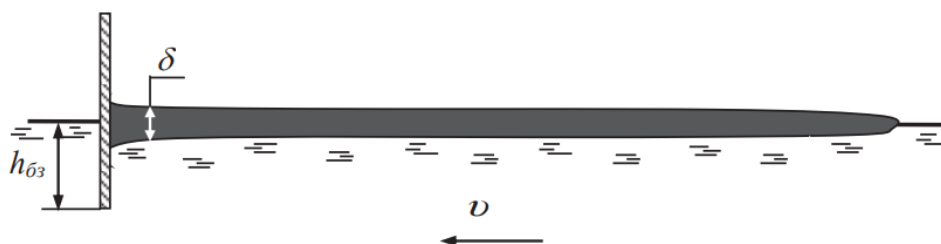


Рисунок 1.3 – Слой нефти перед боном в виде линии

При большой скорости течения, больше, чем 0,3 м/с, унос нефти за заграждение осуществляется вместе с отрывом шариков из части выпирающего нефтяного слоя, и уносятся (Рисунок 1.5) [1].

В зависимости от свойств нефти и скорости течения поверхностно-волновой режим возникает при разных условиях. Например, для высоковязкой нефти поверхностно-волновой режим, в отличие от нефти с низкой вязкостью, происходит при более высокой скорости течения [1].

В [1] приводится формула по определению скорости v , при которой наступает поверхностно-волновой режим

$$\bar{v} = 3,6 \cdot \sqrt[3]{v_n \cdot g} - 10^{-4} \cdot \frac{\sigma_{н-в}}{\Delta\rho \cdot v_n}, \quad (1.10)$$

где $\sigma_{н-в}$ – коэффициент поверхностного натяжения контакта «нефть-вода», кг/с²;

ρ_v – плотность воды, кг/м³;

ρ_n – плотность нефти, кг/м³;

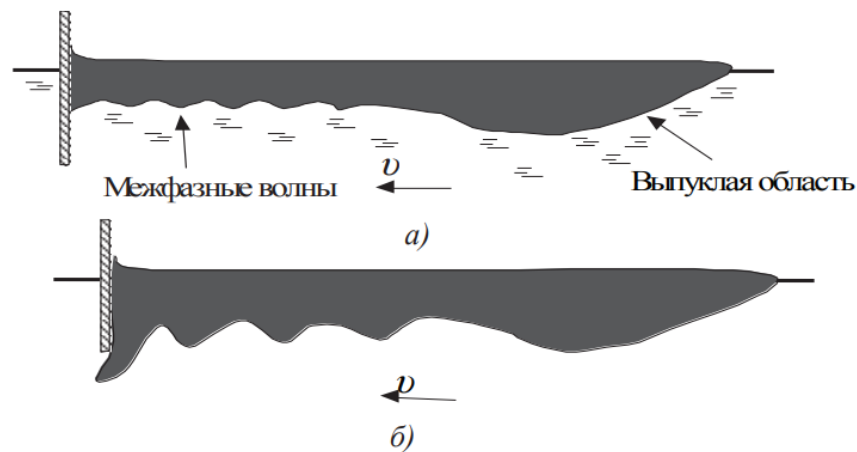
$\Delta\rho$ – разность плотностей воды и нефти, кг/м³;

v_n – кинематическая вязкость нефти, м/с²;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Если скорость реки v будет меньше скорости $\bar{v}$, то наблюдается поверхностно-гладкий режим; если наоборот – поверхностно-волновой режим. В работе [1] приводятся табличные данные по скорости течения, при которой происходит перемена режима в зависимости от плотности и вязкости нефти.

Способность бонового заграждения при определенной скорости течения в реке задерживать некоторое количество нефти без ее уноса определяет его удерживающую способность [1, 116].



а – без уноса нефти; б – с уносом нефти

Рисунок 1.4 – Слой нефти волнообразной формы

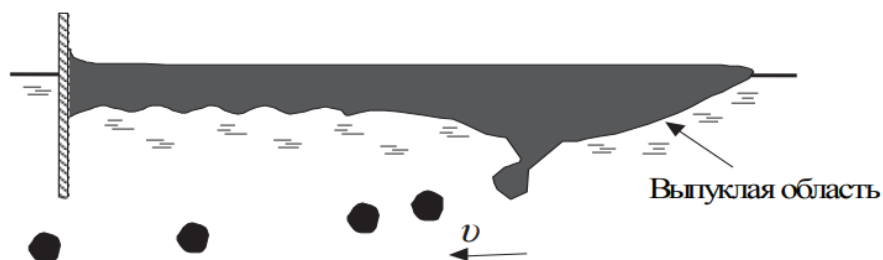


Рисунок 1.5 – Унос нефтяных шариков

Для бонового заграждения в вопросе удерживающей способности наиболее значимый параметр – высота его погруженной части (длины юбки), который при определенном объеме задерживаемой нефти и скорости течения должен быть больше расчетной критической высоты, иначе будет происходить унос нефти за заграждение [1]. Однако при больших скоростях течения ($0,75 \div 1$ м/с и более) унос нефти будет происходить вне зависимости от длины юбки бонового заграждения, для чего прежде всего необходимо устанавливать их под требуемым углом к направлению течения, применять установку в несколько рубежей и использовать высокопроизводительные нефтесборные устройства [1, 37]. Боновые заграждения при превышении скорости течения более $0,3 - 0,35$ м/с, направленной перпендикулярно бону, не могут надежно удерживать нефть без ее утечек [78].

Расчеты боновых заграждений на их удерживающую способность представлены в работах [114, 115, 117].

Для ламинарного режима решается три задачи: определение объема задерживаемой нефти; определение высоты юбки бонового заграждения; определение допустимой скорости потока. Для поверхностно-волнового режима приводятся только рекомендации, которые описаны в предыдущем абзаце и приводится формула (1.9) по определению угла постановки бонового заграждения.

В работах [77, 116] приведены лабораторные способы определения удерживающей способности боновых заграждений.

В работе [77] приводится устройство тестового стенда, представляющее собой лоток длиной 12 м, шириной 1,0 м и глубиной 0,6 м, работающее по схеме «насосы

– трубопроводная обвязка – лоток – насосы». Также приведено описание экспериментов, проводимых на нем, в результате которых делается вывод о зависимости удерживающей способности барьера от скорости потока жидкости, высоты погруженной части барьера, глубины лотка, в котором проводятся испытания, а также от количества устанавливаемых барьеров.

В работе [116] были выполнены исследования на лабораторной установке длиной 4 м с размерами поперечного сечения 0,3х0,26 м. В качестве барьера использовалась пластина, устанавливаемая поперек потока воды, глубина ее погружения варьировалась. По результатам проведенных экспериментов делается вывод, что при поверхностно-гладком режиме (скорость потока была до 0,2 м/с) слой нефти примет форму тонкого клина. В таком случае глубина погружения бона должна быть больше высоты слоя нефти перед ним. При поверхностно-волновом режиме образовывались поверхностные волны, а в случае, когда глубина погружения пластины была недостаточной, происходил отрыв частиц нефти и их унос за заграждение. Для удержания слоя нефти в таком случае требуется, глубина погружения бона была значительно больше высоты слоя нефти перед ним.

1.6.2 Сбои в работе бонов

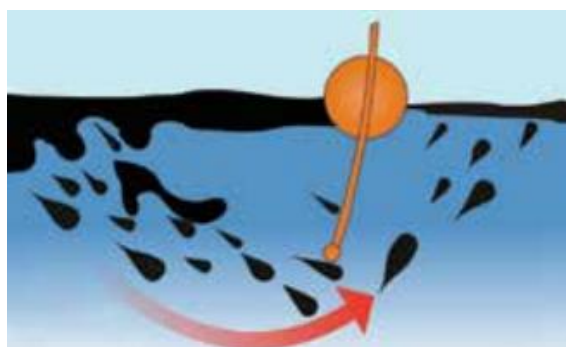
В работах [32, 94, 95] приводится список основных явлений, приводящих к утечкам нефти через боновые заграждения:

- погружение бона;
- унос нефти (прохождение под боновым заграждением);
- перехлест;
- разрыв цепи в нижней части бонового заграждения;
- разрыв юбки бонового заграждения.

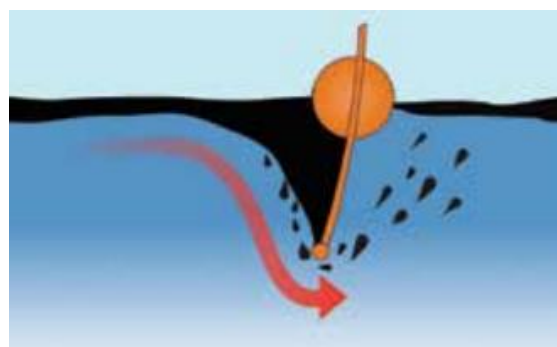
Более подробное и обоснованное описание приводится в работе [78]. Различные сбои в работе бонов приводятся на Рисунке 1.6.

В зависимости от скорости течения, конструкции бона и вязкости нефти определяется характер утечки. Нефть с низкой вязкостью начнет протекать под

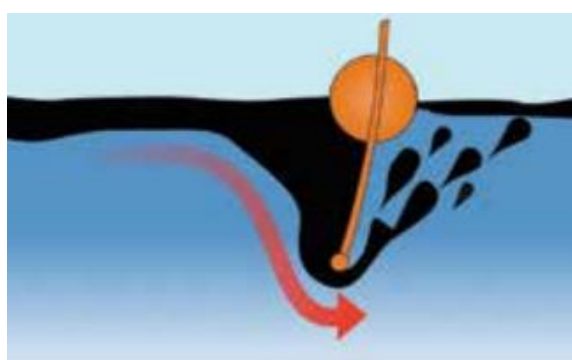
боном при меньшей скорости течения, чем более вязкая. Как правило при задержании маловязкой нефти турбулентный поток вырывает капли с нижней части слоя нефти и далее уносит их под боном, данный процесс называется засасыванием (Рисунок 1.6 а), а при скоплении большого слоя перед боном – протеканием (Рисунок 1.6 б).



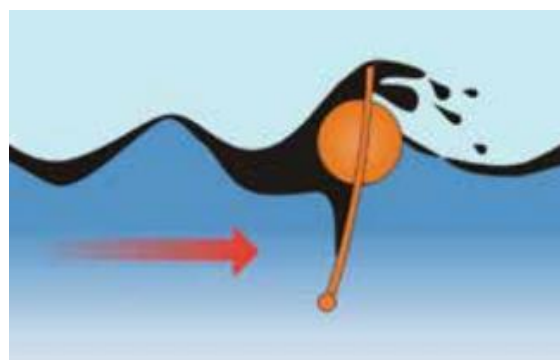
а: Засасывание



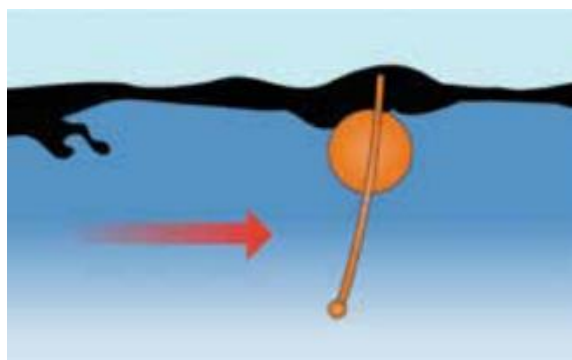
б: Протекание



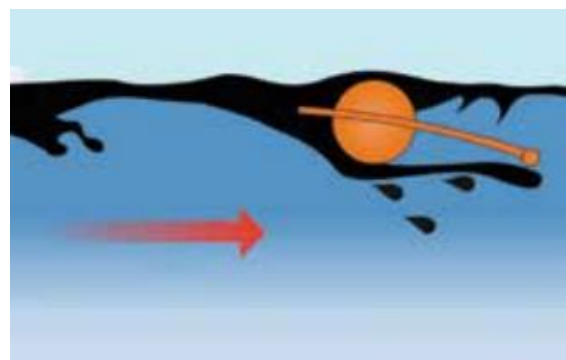
в: Скопление



г: Разбрызгивание



д: Погружение



е: Глиссирование

Рисунок 1.6 – Сбои в работе бонов (стрелками указано направление течения)

Более вязкая нефть в меньшей степени подвержена протеканию под боном. Это происходит, когда образуется слишком толстый слой нефти перед боном, и тогда она начинает засасываться под бон (Рисунок 1.6 в).

Существуют случаи, когда происходят утечки из-за разбрызгивания нефти над боном (Рисунок 1.6 г). Это можно объяснить тем, что скорость волн и ветра превышает скорость утечки. При большой скорости течения бон может погрузиться под воду, особенно при его плохой плавучести (Рисунок 1.6 д), или же произойдет глиссирование (Рисунок 1.6 е), когда бон не может больше удерживать нефть, из-за его опрокидывания.

Достаточно важными характеристиками являются длина секций бона и его размер. Эти параметры подбираются в зависимости от волнений моря (течения реки), при которых он будет использоваться. Первым делом нужно подобрать необходимую высоту надводной части бона, для того чтобы не допустить разбрызгивания нефти. После этого уже подбирается высота юбки сравнимого размера [78].

1.6.3 Способы повышения удерживающей способности боновых заграждений при быстром течении

При поверхностно-волновом режиме потеря нефти под боном произойдет в любом случае, однако при использовании следующих способов можно уменьшить ее потери, согласно [1]:

- боновые заграждения установлены под некоторым углом к течению;
- боновые заграждения устанавливаются в несколько рубежей;
- нефтяная пленка перед заграждением быстро собирается нефтесборными устройствами.

Способность заграждения удерживать нефтяную пленку увеличивается, когда оно установлено под углом к потоку, так как течение будет направлено не по нормали к заграждению (Рисунок 1.1).

Когда скорость потока превышает 1 м/с, нефтяное пятно в любом случае пройдет под боном. Для этого применяют несколько рубежей задержания, которые находятся на расстоянии 20...30 метров друг от друга. Задержанная нефть собирается нефтесборными устройствами. При этом нужно использовать мощные высокопроизводительные установки, которые не позволят нефти значительно накапливаться перед боном. А для того чтобы полностью уменьшить величину потерь нефти, можно проводить сбор нефти вместе с водой и потом отстаивать ее в резервуарах или амбарах.

В [1] также предлагается при поверхностно волновом режиме собирать нефть на расстоянии 3...5 от высоты подводной части заграждения, где будет ожидать наибольший слой нефти. Сбор предлагается осуществлять с помощью нефтесборных устройств или с использованием улавливающих бонов, которые будут располагаться в этой зоне и будут способны впитывать и удерживать нефть.

Чтобы определить решения, которые гарантируют повышение удерживающей способности боновых заграждений, помимо разработки теоретической модели требуется проведение лабораторных экспериментов для ее подтверждения. Эксперименты были проведены и описаны в работах [77, 116, 118]. В [77] для повышения удерживающей способности предлагается использование двухбарьерной системы.

В работе [116] приводится анализ способов, которые позволяют повысить удерживающую способность боновых заграждений на основе экспериментов. Для сокращения уноса нефти под боном необходимо увеличивать высоту его подводной части, но с ее увеличением значительно увеличиваются нагрузки на боны. Поэтому нужно добиться минимальной высоты бона при условии сохранности его удерживающей способности. В работе [116] экспериментально описываются два способа по увеличению удерживающей способности заграждений. В работе [118] приведено описание «виртуального испытательного стенда» для исследования обтекания нефти плавающего бонового заграждения.

В первом способе к нижней части заграждения прикрепляется горизонтальная пластина для того, чтобы заграждение имело $\perp$ образный вид. Однако данный способ не принес положительных результатов [116].

Во втором способе в нижней части бонового заграждения крепилось дополнительное упругое полотно, которое под действием течения принимало форму плавной кривой, отклоняясь от вертикали, что привело к смене режима взаимодействия нефтяной пленки и проходящей под ним воды. По результатам эксперимента установлено, что такое решение позволяет повысить удерживающую способность заграждения на 40-50 %. Согласно [116] такое гибкое полотно можно использовать для всех типов боновых заграждений.

Выводы по главе 1

1. На основании проведенного анализа нормативно-технической документации разработан актуализированный перечень нормативного регулирования в области защиты водной среды от негативного воздействия разливов нефти и нефтепродуктов.

2. По результатам проведенного исследования проблемы загрязнения нефтью и нефтепродуктами окружающей среды установлено, что наиболее экологически уязвимой является гидросфера, на основании чего определена необходимость более глубокого исследования мер по ее защите.

3. При анализе методов ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на водной поверхности выявлено, что целесообразнее всего ликвидировать разлив путем его локализации боновыми заграждениями с последующим извлечением с поверхности воды.

4. Проведено исследование применимости боновых заграждений при наличии ледового покрова на водоемах, в том числе подходящих для рек, с выделением их недостатков. Следует отметить, что для всплывающих боновых заграждений не учитывается то, что лед может быть разрушен при всплытии заграждения, что повлияет на процесс ликвидации разлива.

5. Результаты анализа существующих методов определения нагрузок, действующих на боновые заграждения на реках, показали, что они не учитывают неравномерное распределение скоростей течения в русле реки.

6. При исследовании сбоев в работе бонов на реках выявлено, что они связаны прежде всего с высокой скоростью течения и приводят к протеканию нефти под боном или к потере устойчивости самого бона. При этом существующие исследования не учитывают прогибы боновых заграждений, неизбежно возникающие при их установке на реках. Таким образом, необходимо разработать методику, учитывающую прогибы боновых заграждений в зависимости от различных параметров их установки на реках.

7. Проведено исследование существующих решений по повышению удерживающей способности боновых заграждений, среди которых стоит выделить установку боновых заграждений под определенным углом, зависящим от скорости течения, а также добавление гибкого полотна в нижней части бонов.

ГЛАВА 2 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ БОНОВЫХ ЗАГРАЖДЕНИЙ И МЕТОДОВ ИХ УСТАНОВКИ НА РЕКАХ

2.1 Разработка бонового заграждения с внутренним каркасом пружинного типа

Боновые заграждения являются основным средством локализации аварийных разливов нефти. В зависимости от конкретных условий находят свое применение различные виды таких заграждений. Так, для морских платформ разработаны боны переменной плавучести, примером такого устройства является [103], принцип работы которого аналогично применяется и на реках, согласно [97, 98]. Для открытых акваторий боны имеют повышенную прочность для противостояния волнам и возможности буксироваться судами. В портах и на реках перспективными направлениями считаются всплывающие боновые заграждения. Примером таких устройств являются [99, 100]. Однако всплывающие заграждения необходимо заранее устанавливать на дно водоема, выше по течению которого существует опасность разлива нефти/нефтепродукта. Поэтому актуальным является применение надувных бонов заграждений. Одними из первых заграждений такого рода являются [119, 120], появившиеся в СССР и в США соответственно. В дальнейшем, с целью повышения удерживающей способности и упрощения их работы, создавались новые версии надувных заграждений, такие как [121, 122], которые приняли более привычный вид.

Надувные боновые заграждения, согласно [123], – это боны, использующие надувные камеры как элементы плавучести. Надувные боновые заграждения обладают простой конструкцией, их легко перевозить и собирать. При разливе нефти/нефтепродукта за короткий срок их можно привести и установить на водоеме, тем самым локализуя разлив. Такие заграждения способны эффективно задерживать нефтяное пятно при небольшой скорости течения, однако при высокой скорости течения боновые заграждения помимо того, что могут пропускать нефть/нефтепродукты как под боном, так и над ним, согласно [78]. В самом уязвимом месте

при локальном смятии камеры плавучести боны могут начать пропускать воду и нефтяное пятно в верхней части. Такие данные были получены в ходе визуального наблюдения за боновым заграждением марки «УЖ-2М», являющимся одним из самых успешных средств локализации разливов нефти и нефтепродуктов, согласно [124], производимое по [125] и применяемое в ПАО «Транснефть», согласно [126, 127]. Это связано с тем, что при установке заграждения оно не образует ровную линию под действием течения, в результате чего образуется изгиб заграждения. В качестве решения можно использовать несущий канат, натянутый через водоем, по которому перемещают боновое заграждение, согласно [128]. Такой способ значительно снизит вероятность локальных изгибов бонового заграждения, и, следовательно, и перелива воды над боном.

Разработка конструкции бонового заграждения с пружиной во внутренней полости камеры плавучести была начата с целью повышения качества работы заграждения, такая конструкция имеет следующие преимущества:

- возможность надежно удерживать нефть на поверхности водоема даже при быстром течении (исключает такое явление, как перелив воды, через локальные участки смятия мембраны, которые приводят к уменьшению высоты надводной части);

- удобство транспортировки благодаря тому, что секции заграждения могут складываться вдоль своей оси;

- быстрый перевод секции в рабочее состояние благодаря тому, что камера плавучести самопроизвольно заполняется воздухом при распрямлении пружины при выравнивании давления в секции с атмосферой.

В основе конструкции лежит использование пружины во внутренней полости камеры плавучести, что дает возможность складываться конструкции вдоль центральной оси по типу гармошки.

Далее будет описана конструкция и технология установки бонового заграждения с внутренним каркасом пружинного типа. Разработанное боновое заграждение с внутренним каркасом пружинного типа представлено в [129-131].

2.1.1 Конструкция и сборка бонового заграждения с внутренним каркасом пружинного типа

На Рисунке 2.1 а представлена схема секции бонового заграждения в сложенном состоянии, на Рисунке 2.1 б – в рабочем состоянии, на Рисунке 2.1 в – трехмерная схема участка бонового заграждения в рабочем состоянии, установленного на водоеме, на Рисунке 2.1 г – схема элемента продольного натяжения для секции бонового заграждения в сложенном состоянии.

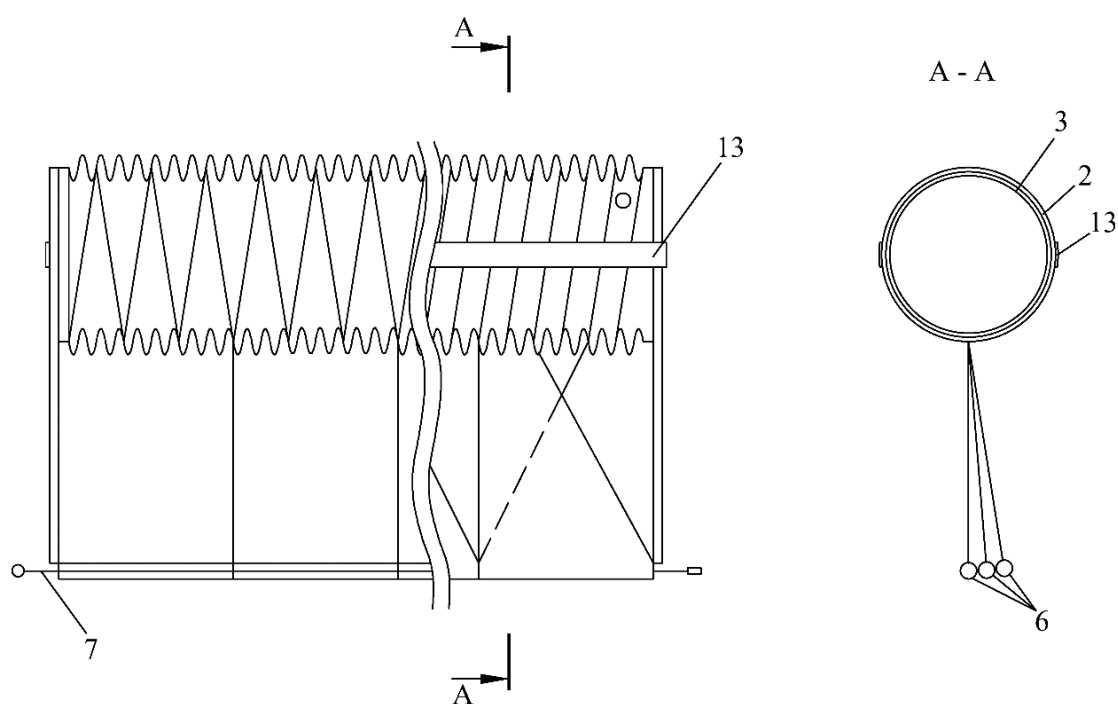
Секция бонового заграждения с внутренним каркасом пружинного типа содержит камеру плавучести 1, во внутреннюю полость которой помещена пружина 2, опирающаяся с торцов на пластиковые кольца 3. Пружина и кольца обернуты гибкой мембраной 4, образуя герметичный цилиндр. Камера плавучести удерживает полотнище 5, в нижней части которого предусмотрен балласт 6, выполняющий роль элемента продольного натяжения секции, состоящий из отрезков стального троса 7 равной длины, соединенных между собой шарнирным механизмом 8. В камере плавучести имеется клапан сброса/повышения давления 9. С торцов секции бонового заграждения предусмотрены полотнища 10, оснащенные скобами 11 с одной стороны и карабинами 12 – с другой для обеспечения соединения секций между собой. Для сохранения секции бонового заграждения в сложенном состоянии предусмотрен гибкий ремень 13.

Принцип работы бонового заграждения с внутренним каркасом пружинного типа заключается в следующем. Изначально секции бонового заграждения доставляются к месту установки, расположенному ниже по течению от разлива нефти или нефтепродукта. Процесс установки бонового заграждения начинается с перевода секций из сложенного состояния (Рисунок 2.1 а) в рабочее (Рисунок 2.1 б). Для этого необходимо открыть клапан сброса/повышения давления 9, после чего снять гибкий ремень 13, дождаться распрямления пружины 2, после чего провести дополнительную закачку воздуха через клапан 9 и закрыть его. Собираются секции бонового заграждения между собой за счет соединения элемента продольного натяжения (балласта) 6, а также с помощью скоб 11 и карабинов 12. Собрannую

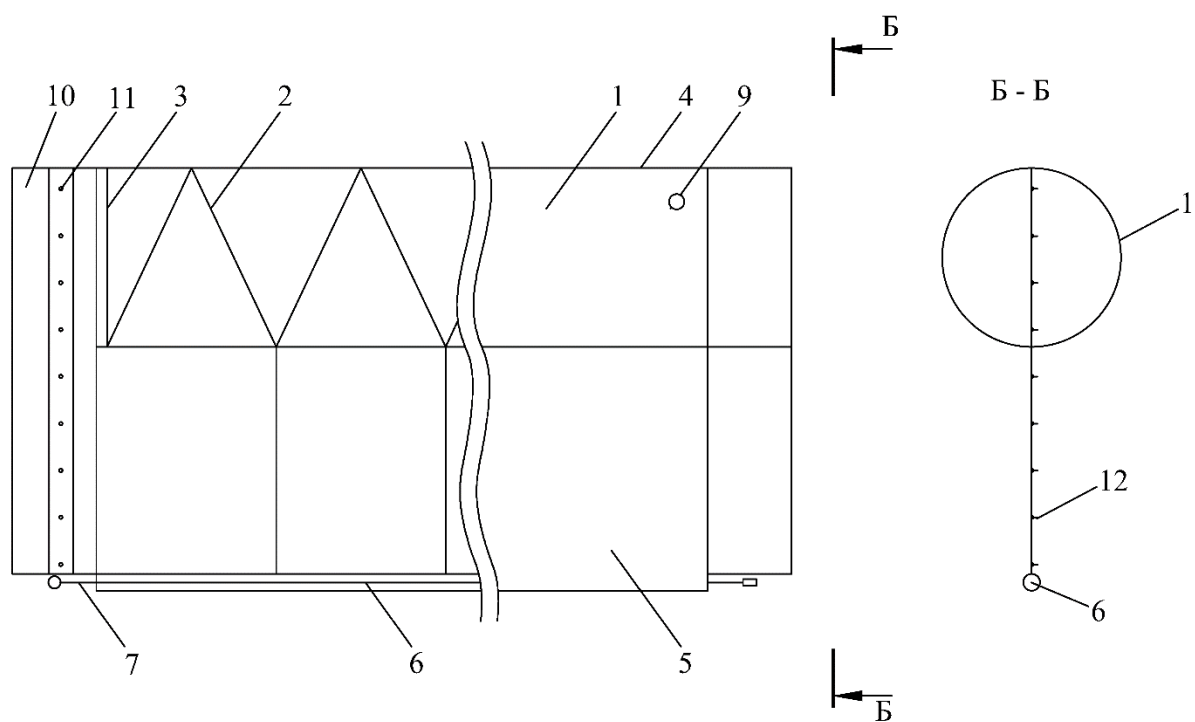
плеть буксируют с одного берега на другой под углом к направлению течения реки и закрепляют, после чего она локализует на поверхности воды разливающийся нефтепродукт.

Боновое заграждение с внутренним каркасом пружинного типа хранится и транспортируется в сложенном состоянии, которое характеризуется сжатием камеры плавучести в 3 раза. Это обусловлено складыванием полотнища секции в слои. Пружина опирается на пластиковые кольца для распределения давления на торцы камеры плавучести.

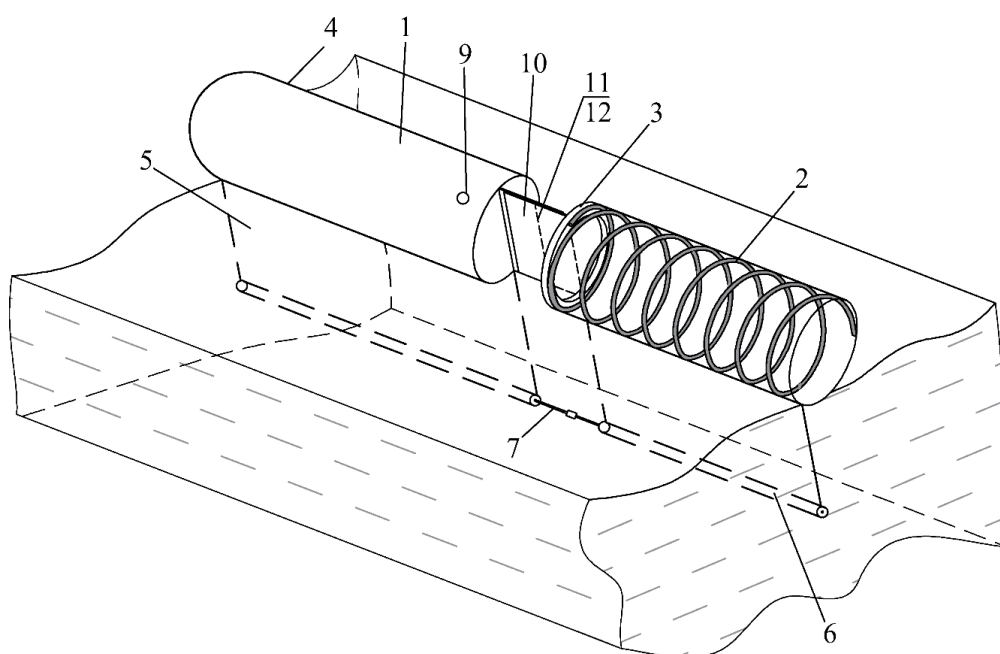
В случае разлива нефти/нефтепродукта, секции заграждения переводятся из сложенного состояния в рабочее положение. Для выравнивания давления с окружающей средой открывается клапан сброса/повышения давления. При снятии гибкого ремня пружина перейдет из сжатого состояния в свободное, вслед за ней будут распрямляться камера плавучести и полотнище. В секцию заграждения дополнительно нагнетается воздух для повышения жесткости конструкции, после чего клапан закрывается.



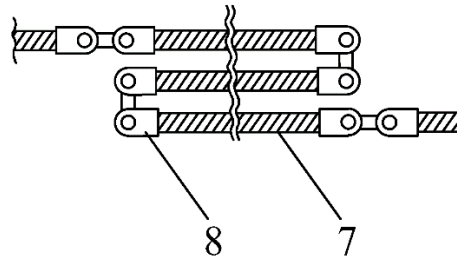
а) схема секции бонового заграждения в сложенном состоянии



б) схема секции в рабочем состоянии



в) трехмерная схема участка бонового ограждения в рабочем состоянии,
установленного на водоеме



г) схема элемента продольного натяжения, для секции бонового заграждения
в сложенном состоянии

1 – камера плавучести; 2 – пружина; 3 – пластиковые кольца; 4 – гибкая мембрана; 5, 10 – полотнище; 6 – элемент продольного натяжения; 7 – стальной трос; 8 – шарнирный механизм; 9 - клапан сброса/повышения давления;
11 – скобы; 12 – карабины; 13 – гибкий ремень

Рисунок 2.1 – схема бонового заграждения с внутренним каркасом
пружинного типа

Перевод секции в сложенное состояние осуществляется при открытии клапана сброса/повышения давления. Для сжатия пружины можно воспользоваться барабанной лебедкой, после чего зафиксировать сложенное состояние гибкой мембраной.

Установка бонового заграждения через реку может быть выполнена по двум схемам, подробное описание которых приведено в п.2.3:

- 1) без использования несущего каната;
- 2) с использованием несущего каната.

2.1.2 Расчет параметров пружины во внутренней камере плавучести

Подбор параметров пружины во внутренней полости камеры плавучести был выполнен согласно [132].

При определении параметров пружины необходимо задать осевую нагрузку, на которую рассчитана пружина. Так как роль пружины заключается в сохранении каркаса камеры плавучести, слишком большое значение приведет к увеличению массы пружины и трудностям при сжатии секции бона, таким образом максимальная сила принята за $F_2 = 1$ кН. Так как диаметр прутка пружины d должен быть целым числом, в зависимости от него устанавливается индекс i и диаметр пружины D , при этом необходимо подбирать их таким образом, чтобы диаметр пружины был в нужных диапазонах значений по высоте камеры плавучести – высоте надводной части бонового ограждения. Длина пружины в первую очередь зависит от числа прутков n , при малых значениях длина пружины и самой секции будет недостаточной, однако слишком большие значения приведут к существенному снижению жесткости пружины.

Исходные данные $F_2 = 1$ кН; $i = 20$ – предварительное значение; $n = 40$; рабочая температура (интервал температур) – от минус 253 до плюс 400 °С, условие нагружения - статическое, срок службы – 500 ч.

По заданным условиям находим по [132, табл. А.2] сплав марки ХН77ТЮР, класса точности III, тогда допускаемые касательные напряжения $\tau_2 = 440$ МПа.

1) Диаметр проволоки (прутка) пружины определяется по формуле

$$d = \sqrt{\frac{8F_2 \cdot i}{\pi \cdot \tau_2}}, \quad (2.1)$$

где i – индекс пружины;

F_2 – сила пружины при рабочей деформации.

Индекс пружины определяется по формуле

$$i = \frac{D}{d}, \quad (2.2)$$

где D – средний диаметр пружины.

$$d = \sqrt{\frac{8 \cdot 10^3 \cdot 20}{3,14 \cdot 440}} = 10,8 \text{ мм, подбираем целое значение, тогда } d = 11 \text{ мм.}$$

Проведем пересчет индекса

$$i = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot \tau_2}{8 \cdot F_2}. \quad (2.3)$$

$$i = \frac{3,14 \cdot 11^2 \cdot 440}{8 \cdot 10^3} = 20,9.$$

2) Значение среднего D и наружного D_1 диаметра пружины

$$D = i \cdot d, \quad (2.4)$$

$$D_1 = D + d. \quad (2.5)$$

$$D = 20,9 \cdot 11 = 229,8 \text{ мм};$$

$$D_1 = 229,8 + 11 = 240,8 \text{ мм}.$$

3) Жесткость пружины определяется по формуле

$$c_T = \frac{G_T \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n}, \quad (2.6)$$

где G_T – модуль сдвига материала при температуре 500 °С, равный 68500 МПа по [132, табл. А.5];

n – число витков пружины.

$$c_T = \frac{68,5 \cdot 10^3 \cdot 11^4}{8 \cdot 229,8^3 \cdot 40} = 0,26 \text{ Н/мм}.$$

4) Максимальная деформация (при соприкосновении витков пружин сжатия) определяется по формуле

$$s_3 = \frac{F_3}{c_T}, \quad (2.7)$$

где $F_3 = (1,05 \dots 1,25) F_2$ – сила пружины при максимальной деформации, примем

$$F_3 = 1,1 \cdot F_2 = 1100 \text{ Н}.$$

$$s_3 = \frac{1100}{0,26} = 4262,8 \text{ мм}.$$

5) Длина пружины при максимальной деформации

$$l_3 = (n_1 + 1 - n_3) \cdot d, \quad (2.8)$$

где $n_1 = n + n_2$ – полное число витков;

n_2 – число опорных витков, равное 2;

n_3 – число зашлифованных витков, принимается равным 1,5.

$$l_3 = (40 + 2 + 1 - 1,5) \cdot 11 = 456,5 \text{ мм.}$$

6) Длина пружины в свободном состоянии

$$l_0 = s_3 + l_3. \quad (2.9)$$

$$l_0 = 4262,8 + 456,5 = 4719,3 \text{ мм.}$$

7) Масса пружины определяется по формуле

$$m = \rho \cdot \frac{\pi^2}{4} \cdot d^2 \cdot D \cdot n_1, \quad (2.10)$$

где ρ – плотность металла пружины, $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$.

$$m = 7850 \cdot \frac{3,14^2}{4} \cdot 0,011^2 \cdot 0,2298 \cdot 42 = 22,6 \text{ кг.}$$

8) Масса пружины на 1 погонный метр:

$$m_0 = \frac{m}{l_0}. \quad (2.11)$$

$$m_0 = \frac{22,6}{4719,3} = 4,79 \text{ кг/м.}$$

Аналогично были выполнены расчеты с другими значениями осевой силы F_2 .

Результаты расчетов представлены в Таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты расчета параметров пружины во внутренней камере плавучести

Параметр пружины	Номер пружины					
	1	2	3	4	5	6
n , шт	32	40	32	40	32	40
F_2 , кН	1,0	1,0	0,8	0,8	0,6	0,6
d , мм	12	11	11	10	10	9
i	24,9	20,9	26,1	21,6	28,8	23,3
D_1 , мм	310,4	240,9	298,3	225,9	297,8	218,8
l_0 , м	5670,9	4719,2	5697,0	4550,7	6216,9	4715,0

Продолжение таблицы 2.1

Параметр пружины	Номер пружины					
	1	2	3	4	5	6
m , кг	28,3	22,6	22,9	17,6	18,9	13,8
m_0 , кг/м	4,99	4,79	4,02	3,86	3,05	2,93

По результатам расчетов подобран ряд пружин, подходящих для их применения в качестве каркаса внутренней камеры плавучести. На основании расчета определялись длина и масса пружин, подходящих для применения, длина пружин составила от 4,7 до 5,7 м с массой погонного метра от 2,93 до 4,99 кг. При увеличении длины пружины необходимо учитывать, что также увеличится и масса одной секции заграждения, что приведет к трудностям ее перемещения.

2.2 Совершенствование всплывающего бонового заграждения, способного работать в ледовых условиях

Исследование существующих решений по локализации разливов на реках при наличии ледового покрова приведено в п. 1.4.4.

Для оперативной локализации нефтяного пятна и предотвращения растекания его по большой поверхности необходимо в кратчайшие сроки установить боновое заграждение. В работах [72, 133] представлены расчеты времени реагирования аварийно-восстановительной службы на разлив нефтепродукта. Всплывающее боновое заграждение быстрее всего приводится в рабочее положение, так как его не нужно транспортировать к месту разлива и устанавливать через водоем. В работе [101] приводится время реагирования для всплывающего бонового заграждения. При наличии ледяной корки на поверхности воды время реагирования на разлив будет еще больше, а установка заграждений при наличии льда является более трудоемкой и занимает больше времени. Оптимальным вариантом будет заблаговременная установка всплывающего бонового заграждения на дно реки,

которое при разливе всплывет и локализует разлив. В случае, если оно не было заблаговременно установлено, предлагается решение, описанное в п. 2.2.4. Наиболее опасными являются аварии на переходах нефти и нефтепродуктопроводов через водные преграды, кроме того, разлив продукта может произойти в результате повреждения трубопровода от эрозии грунтов. Для снижения вероятности аварий разработаны такие решения, как перехват поверхностного стока в период дождей с помощью водозадерживающего земляного вала и траншеи, наполненной неорганическим наполнителем, а также устройства для защиты трубопровода от оползня, представляющие собой сваи, к которым крепится трубопровод в самой траншее, данные технические решения приведены в [134].

Всплывающие боновые заграждения приводятся в работах [97-99, 103], причем в [99] предназначенные только для открытой воды. Данное заграждение производится согласно ТУ-6416-003-35615057-98 и уже прошло проверку временем. В работе [101] приводится пример применения всплывающих боновых заграждений [99] при разливе в г. Норильске, которые позволили оперативно локализовать разлив.

Отличительной особенностью всплывающего бонового заграждения [97, 98] является то, что один его конец сообщается с водой, а во внутренней полости расположены эластичные шары, которые при закачке воздуха выталкивают воду, и заграждение всплывает. Данное заграждение может работать в ледовых условиях, а плотное прилегание обеспечивается наличием верхних гребнеобразных элементов на заграждении. Также в работе [97] приводится расчет оттяжек, которые необходимо закрепить на дне реки для того, чтобы уменьшить прогибы заграждения.

На основе решений [97-99] было разработано усовершенствованное всплывающее боновое заграждение, способное работать при наличии льда на реках. Технология всплытия заграждения была принята согласно [99], и она уже используется на практике. Для работы в ледовых условиях учитываются решения, описанные в [97, 98, 103].

В отличие от [97-99] в предлагаемом боновом заграждении присутствует «юбка» 10 (Рисунок 2.2). Необходимость ее добавления вызвана повышением удерживающей способности заграждения, так как при наличии только камеры плавучести ее высоты будет недостаточно для полного задержания нефти. При поверхностно-волновом режиме произойдет утечка нефти под боном, данные явления подробно описаны в п.1.6.1, 1.6.2. Также для повышения удерживающей способности заграждения добавлено идеально подходящее для применения в всплывающем заграждении гибкое полотно 11, преимущества применения которого описаны в п.1.6.3.

Для всплывающего бонового заграждения был выполнен расчет по определению его формы при всплытии, для предотвращения образования «карманов» (участков значительных прогибов заграждения, в которых задерживается вода), так как в зоне «кармана» образуются воронки, которые захватывают задержанную нефть и нефтепродукты с поверхности воды и проводят их за ограждение [110].

Разрабатываемое боновое заграждение учитывает прочность льда. Был выполнен расчет, согласно которому был определен допустимый диаметр камеры плавучести заграждения при различной толщине льда.

Кроме того, добавлена емкость для сбора нефтешлама 13, которая необходима для оперативного удаления нефтяной эмульсии до прибытия службы ликвидации аварийных разливов нефти.

2.2.1 Принцип работы заграждения

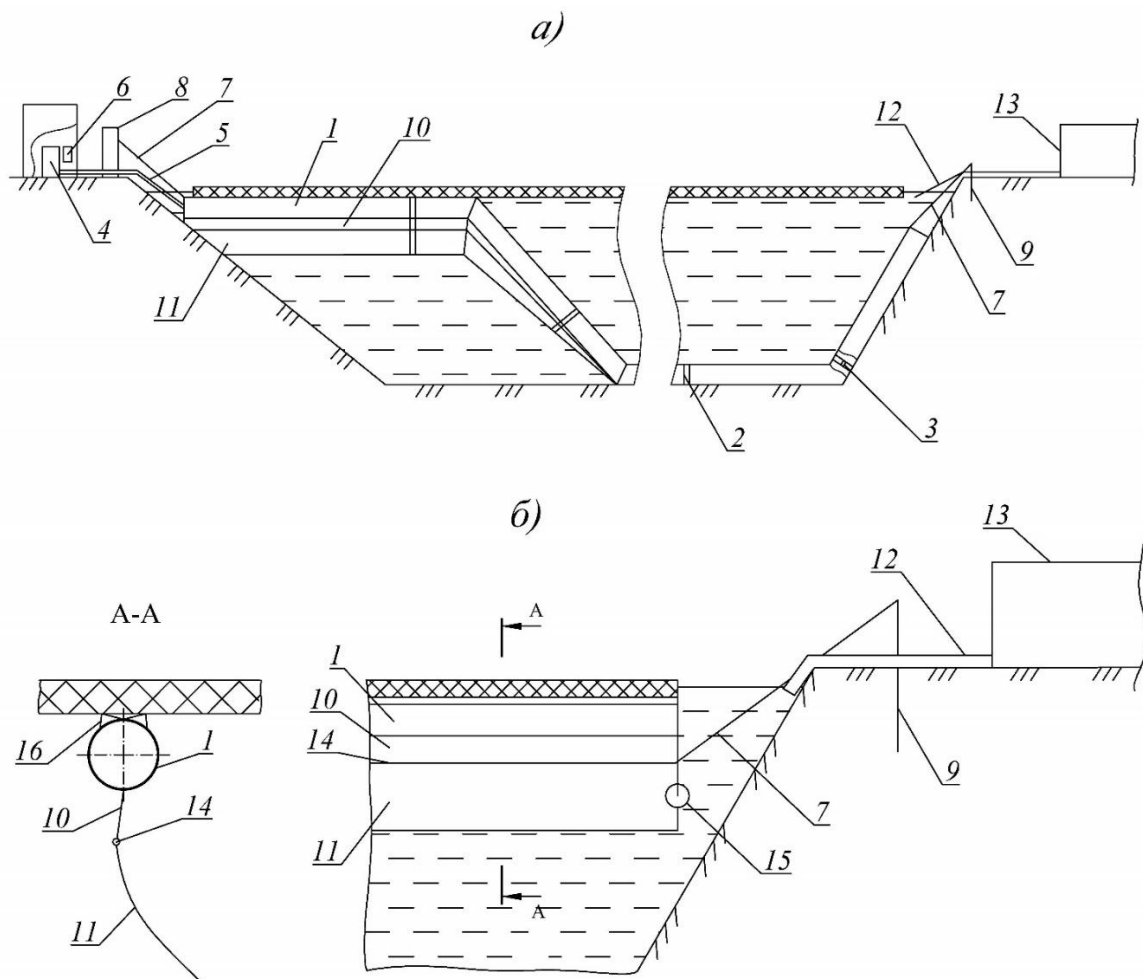
На потенциально опасном участке, на котором есть вероятность утечки нефти, например подводный переход нефтепровода, необходимо заблаговременно установить всплывающее боновое заграждение (Рисунок 2.2). Его необходимо разместить ниже по течению реки на расстоянии, достаточном для приведения его в рабочее состояние, с учетом скорости течения и времени реагирования, согласно [101].

Всплывающее боновое заграждение так же, как и другие заграждения, будет воспринимать нагрузку от течения, для чего необходимо в зависимости от скорости течения реки устанавливать его под углом в соответствии с Таблицей 1.1.

Концы заграждения устанавливаются неподвижно с помощью оттяжек 7 (Рисунок 2.2), лебедки 8 и опоры 9 на противоположных берегах. Компрессор 4 соединяется трубопроводом 5 с камерой плавучести первой секции 1, при этом затвор 6 перекрыт. Заграждение в нерабочем состоянии устанавливается на дне водоема, при этом принимает форму рельефа дна под собственным весом и не мешает судоходству [99].

Соединение секций заграждения 2 отличается от [99], так как в отличие от него в конструкцию добавляется «юбка» 10 и гибкое полотно 11, и соединять секции между собой быстроразъемной конструкцией ASTM будет проблематично. В разрабатываемом заграждении предлагается соединять секции по технологии, приведенной в [110] с помощью герметизаторов в виде полотнищ на концах секций, а также карабинов и скоб. Данное решение является актуальным для всплывающего бонового заграждения, так как скорость его сборки не так важна, как для обычных заграждений, устанавливаемых после разлива нефти.

При угрозе разлива нефти и нефтепродуктов от компрессора 4 с помощью трубопровода 5 в первую секцию подается давление не более 0,5 атм. После чего давление сжатого газа становится больше, чем давление воды на первую секцию, и возникает сила выталкивания, благодаря которой на поверхность водоема поднимается задний конец первой секции. Передний конец второй секции поднимается вслед за подъемом первой секции, при этом сжатый газ начинает поступать через отверстие 3 во вторую секцию, благодаря чему она приобретает объем, который создает выталкивающую силу, и всплывает на поверхность. Аналогично происходит подъем до последней секции, в результате чего поднимается все заграждение. После этого прекращается подача сжатого газа во всех секциях и устанавливается требуемое расчетное давление [99, 100].



- 1 – камера плавучести; 2 – соединение секций; 3 – отверстие для прохождения воздуха между секциями бонов; 4 – компрессор; 5 – трубопровод для закачки воздуха; 6 – затвор для сброса давления; 7 – оттяжки; 8 – лебедка; 9 – опора; 10 – юбка загораждения; 11 – гибкое полотно; 12 – трубопровод для откачки нефтешлама; 13 – емкость для сбора нефтешлама; 14 – элемент продольного натяжения бона – трос; 15 – пригруз; 16 – гребнеобразные элементы

Рисунок 2.2 – Схема всплывающего бонового заграждения, способного работать при наличии ледяного покрова

а) во время всплытия (общий вид)

б) в рабочем положении (последняя секция)

При всплытии бонового заграждения вместе с ним поднимается и гибкое полотно 11, преимущества применения которого были рассмотрены в [116], а именно такое полотно отклоняется течением от вертикали и принимает форму плавной кривой, изменяющей характер обтекания водой острой кромки нижней части заграждения и, следовательно, взаимодействие нефтяного слоя и текущей под ним воды. При обтекании острой кромки бона под нефтяным слоем возникает водоворотная область, в которой линии тока основного течения отклоняются от нижней поверхности нефтяного скопления, уменьшая свое разрушительное воздействие на плавающий слой нефти [100, 116].

После всплытия заграждение плотно прилегает ко льду, при этом перегораживает реку и предотвращает разлив нефти вниз по течению. Способность бонов изгибаться компенсирует возможные перепады толщины льда, а наличие верхних гребнеобразных элементов 16 компенсирует мелкие неровности нижней поверхности льда [100, 103]. Таким образом, растекание нефти подо льдом устраняется боновым заграждением.

Согласно [22], во всплывающем боновом заграждении предусматриваются светоотражающие полосы шириной 100 мм, расположенные на расстоянии не более 5 м друг от друга с каждой стороны.

В отличие от [97, 100, 103] в заграждении не предусматривается обогревающий кабель с возможностью подачи горячей воды по нему, так как вероятность примерзания заграждения ко льду не является существенной проблемой, потому что боновое заграждение будет иметь практически такую же температуру, что и лед. В случае необходимости можно после ликвидации разлива нефти создать натяжение в несущем канате, благодаря которому заграждение открепится ото льда.

Для того чтобы избежать уноса нефти за заграждение из-за превышения его удерживающей способности, предлагается использовать емкость для сбора нефтешлама 13 [100], которая будет собирать нефть до прибытия службы ликвидации аварийных разливов нефти. Для этого может применяться емкость из ПВХ-полотна, которая в сложенном состоянии занимает мало места, а при

наполнении продуктом будет разворачиваться. Сбор нефтяной эмульсии предлагается производить по трубопроводу 12 с помощью насоса, который не показан на Рисунке 2.2.

Затопление заграждения начинается с последней секции и производится последовательно, в обратном порядке. Для этого открывается затвор 6 (Рисунок 2.2), в результате чего из секций выходит сжатый газ. При этом благодаря наличию пригруза 15 последняя секция испытывает давление на свою поверхность больше остальных секций, и уменьшаясь в объеме, опускается вниз первой, после чего предпоследняя секция затягивается на дно вслед за ней. И таким образом все заграждение опускается на дно [99]. Давление воды выталкивает сжатый газ через затвор 6 последовательно от последней секции к первой по мере того, как они последовательно опускаются вниз. Это значительно ускоряет процесс опускания заграждения на дно водоема, благодаря освобождению камеры плавучести заграждения.

2.2.2 Область применения всплывающего бонового заграждения

Установка всплывающего бонового заграждение в отличии от других видов заграждений производится заранее, независимо от того, произойдет или нет разлив нефти. В связи с чем возникает вопрос о целесообразности его установки на переходах нефтепроводов через реки.

Предлагается установку всплывающих боновых заграждений сделать обязательной на ответственных переходах нефтепроводов через реки, в случае аварии которых будут затронуты объекты, обладающие большой экологической ценностью, например водозаборные сооружения. Кроме того, в ряде случаев их установка может предусматриваться на переходах нефтепроводов через реки на усмотрение эксплуатирующей организации, например для старых нефтепроводов с высоким риском аварийной утечки нефти, при определении целесообразности установки может быть использована информация, приведенная в работах [135, 136, 137].

2.2.3 Определение угла установки всплывающего бонового заграждения

Боновое заграждение устанавливается на дно реки, а после приведения его в рабочее положение оно всплывает. При этом длина в плане при всплытии будет больше, чем в состоянии ожидания, в связи с чем будет образован прогиб заграждения от действия течения. Кроме того, несущий элемент заграждения также удлинится под действием силы течения.

Для определения величины прогиба заграждения после его всплытия необходимо определить длину заграждения при его расположении на дне реки. Эту величину можно определить как длину кривой дна реки, которая зависит прежде всего от отношения глубины и ширины реки. Анализируя данные по ширине и глубине рек, приведенные в [138], можно обозначить искомое отношение в интервале $0,04 \div 0,014$, причем для более широких рек это отношение как правило будет меньше, чем для малых.

Целью расчета будет являться определение фактического угла установки заграждения при его всплытии в сравнении с запланированным углом размещения заграждения. Чтобы определить фактический угол установки заграждения необходимо знать длину кривой дна реки. Для этого составлены профили реки при различных отношениях глубины и ширины рек (Рисунок 2.3), а для наглядности указаны длины кривых дна реки при ширине реки 25 м.

Как видно из Рисунка 2.3, чем больше глубина реки по отношению к ширине, тем больше длина кривой дна реки.

Однако длина кривой дна реки будет изменяться при различных углах установки заграждения. На Рисунке 2.3 приводится длина кривой дна реки при угле установки заграждения под углом 90 градусов. Для определения длины кривой дна реки при различных углах установки заграждения были растянуты профили рек по третьей оси, приведенные на Рисунке 2.3, после чего проводились разрезы данных объемных фигур под различными углами (от 90 до 20 градусов) и определялись длины кривых дна реки.

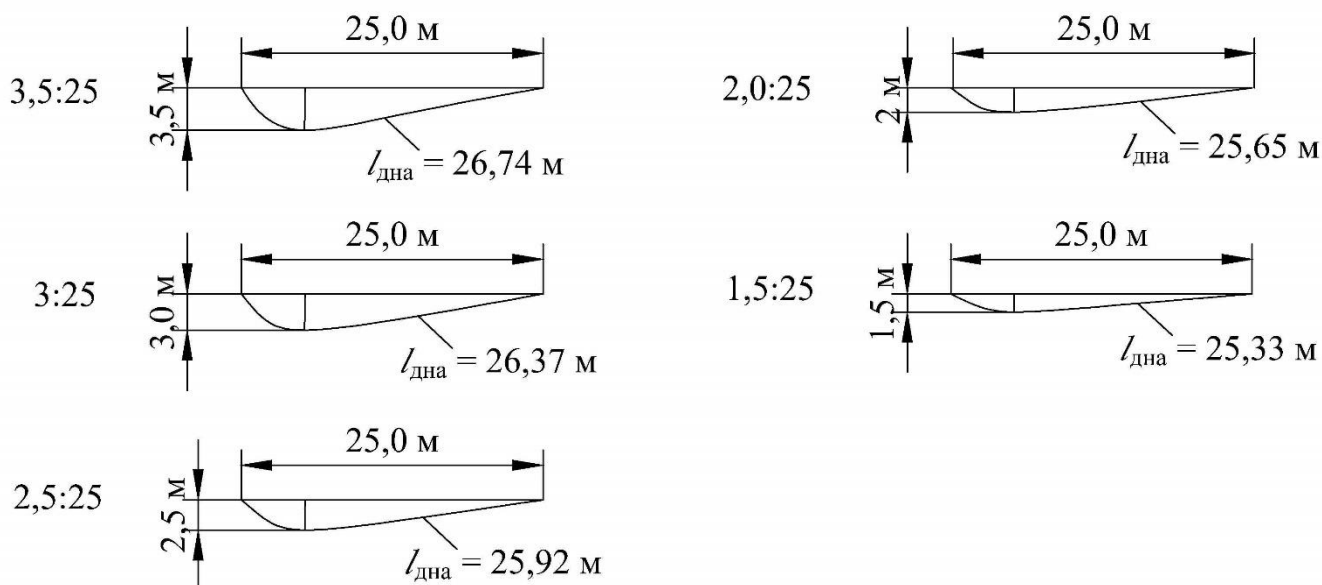


Рисунок 2.3 – Профили рек с различным отношением глубины к ширине

По полученным данным построена диаграмма, на которой приведено отношение кривой дна реки к длине по прямой от угла установки всплывающего бонового заграждения при различных отношениях глубины к ширине реки (Рисунок 2.4). Из данной диаграммы видно, что чем меньший планируется угол установки заграждения, тем меньшей будет и разница между длиной кривой дна реки, соответствующей длине заграждения, размещенной на дне реки, и длиной по прямой между точками крепления заграждения. Из диаграммы также видна разница между различными профилями рек (от 1,5 до 3,5 отношение глубины к ширине реки), длина кривой дна реки будет тем больше, чем больше это отношение.

Зная длину кривой дна реки, можно определить длину бонового заграждения в состоянии ожидания – на дне реки. Так как при всплытии заграждение еще удлинится под действием течения, эту величину также необходимо учесть.

Удлинение стального троса a от действия течения выводится из закона Гука:

$$a = \frac{Q \cdot l}{A_{тр} \cdot E}, \quad (2.12)$$

где Q – нагрузка от течения на боновое заграждение;

l – длина бонового заграждения;

$A_{тр}$ – площадь сечения троса;

E – модуль Юнга, равный $2,06 \times 10^{11}$ Па.

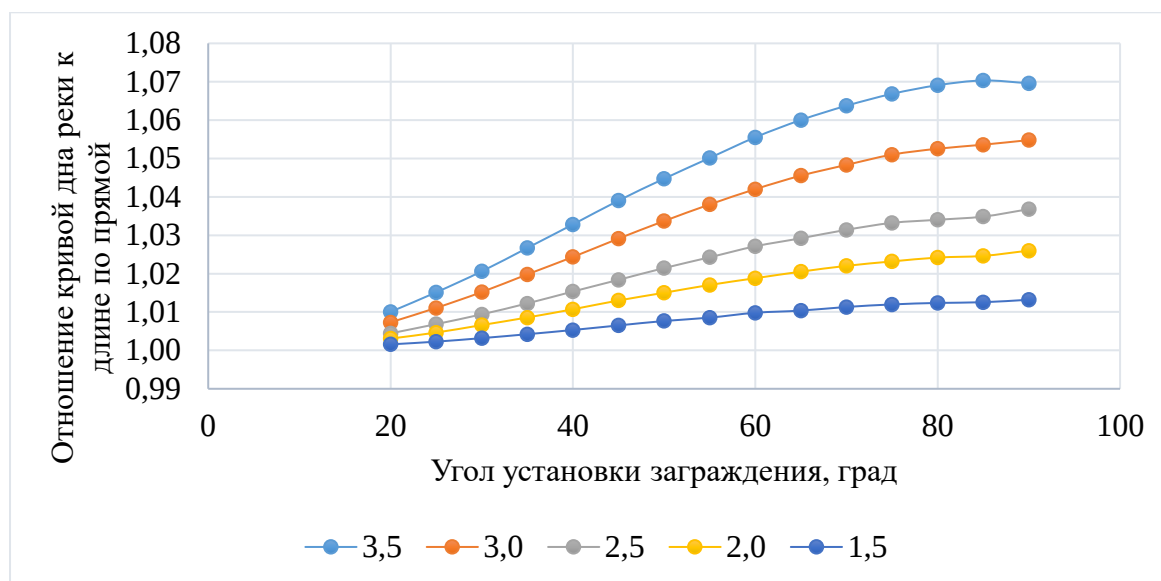


Рисунок 2.4 – Зависимость относительной длины кривой дна реки от угла установки заграждения и относительной глубины реки

Площадь сечения троса выбирается по [139], согласно нагрузке Q от течения. Так, для Q менее 21,1 кН диаметр троса может быть принят 6,2 мм с $A_{тр} = 14,47 \times 10^{-6} \text{ м}^2$.

Нагрузка от течения Q может быть определена по упрощенной формуле (1.5), не учитывающей неравномерное распределение скоростей в русле реки, или по формуле (3.3), в которой данная особенность учитывается.

Для примера рассмотрим всплывающее боновое заграждение, установленное на реке шириной 25 м с максимальной глубиной 3 м, распределением скоростей в русле $v_{\max} / v_{\min} = 2$ и максимальной скоростью равной $v_{\max} = 1,5$ м/с. Для расчета Q высоту $h_{подв}$ бонового заграждения примем равной 0,4 м, с учетом высоты камеры плавучести и юбки, так как заграждение при всплытии будет находиться подо льдом.

Протяженности и скорости участков русла реки приведены в Таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Протяженности участков с различной скоростью течения:

Скорость течения v_i , м/с	1,5	1,25	1,07	0,94	0,83	0,75
Протяженность участка L_i , м	6,750	5,750	3,125	3,125	3,125	3,125

Рассмотрим два сценария установки заграждения под углом 90 и 45 градусов.

- для угла установки 90 градусов: длина кривой дна реки при данных условиях составляет в первом случае $l_{\text{дна}} = 26,37$ м, при этом длина по прямой $l = 25$ м;

- для угла установки 45 градусов: длина кривой дна реки при данных условиях составляет в первом случае $l_{\text{дна}} = 36,38$ м, при этом длина по прямой $l = 35,35$ м.

Нагрузка от течения Q , по формуле (3.3), и удлинение стального троса a составит

- для угла установки 90 градусов:

$$Q = 1000 \cdot 0,4 \cdot \left[\frac{6,75}{\sin 90} \cdot (1,5 \cdot \sin 90)^2 + \dots + \frac{3,125}{\sin 90} \cdot (0,75 \cdot \sin 90)^2 \right] = 13,77 \text{ кН};$$

$$a = \frac{13,77 \cdot 10^3 \cdot 25}{14,47 \cdot 10^{-6} \cdot 2,06 \cdot 10^{11}} = 0,116 \text{ м};$$

- для угла установки 45 градусов:

$$Q = 1000 \cdot 0,4 \cdot \left[\frac{6,75}{\sin 45} \cdot (1,5 \cdot \sin 45)^2 + \dots + \frac{3,125}{\sin 45} \cdot (0,75 \cdot \sin 45)^2 \right] = 9,74 \text{ кН};$$

$$a = \frac{9,74 \cdot 10^3 \cdot 35,35}{14,47 \cdot 10^{-6} \cdot 2,06 \cdot 10^{11}} = 0,116 \text{ м}.$$

Отсюда также видно, что в зависимости от угла установки удлинение стального троса a не будет меняться, так как с уменьшением Q пропорционально увеличивается длина бонового заграждения l .

Полная длина бонового заграждения после всплытия будет определяться по формуле

$$l_{\text{всп}} = l_{\text{дна}} + a. \quad (2.13)$$

Полная длина:

- для угла установки 90 градусов:

$$l_{\text{всп}} = 26,37 + 0,116 = 26,486 \text{ м};$$

- для угла установки 45 градусов:

$$l_{всп} = 36,38 + 0,116 = 36,496 \text{ м.}$$

На реках распространены русловые процессы, приводящие к неравномерному распределению скоростей по руслу. Данное явление необходимо учитывать при установке бонового заграждения, и эта особенность рассмотрена в п. 3.2. В связи с чем предпочтительнее размещать заграждение так, чтобы его передний конец по ходу течения размещался на крутом берегу. На Рисунке 2.5 приведена схема установки всплывающего бонового заграждения для названных исходных данных с учетом указанной особенности.

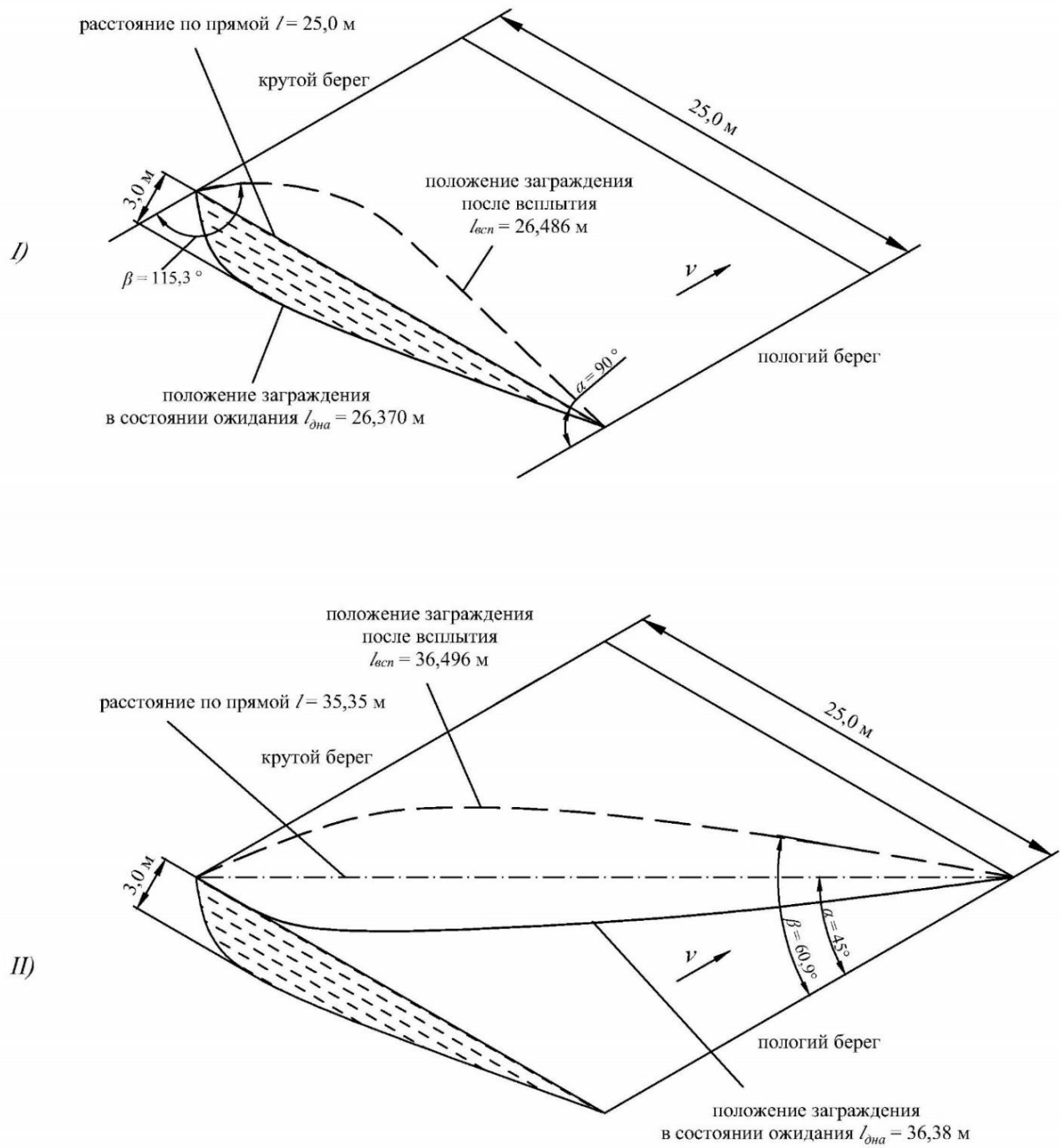
Зная полную длину бонового заграждения $l_{всп}$, длину по прямой l , планируемый угол установки α и распределение скоростей течения, можно определить точку изгиба заграждения и далее определить фактический угол установки бонового заграждения β .

Процесс нахождения β подробно приводится в п. 3.1.2.

По результатам расчета определено, что при размещении заграждения под углом $\alpha = 90^\circ$ фактический угол его к направлению течения после всплытия составит $\beta = 115,3^\circ$. Так как угол больше 90° , будет образован «карман», который видно на Рисунке 2.5 I), который может привести к сбоям в работе бонов и уносу нефти за заграждение.

При размещении заграждения под углом $\alpha = 45^\circ$ (Рисунок 2.5 II) фактический угол его к направлению течения после всплытия составит $\beta = 60,9^\circ$. В данном случае нефть при разливе будет перемещаться к берегу. Так как не будет образован «карман», вероятность ее уноса снижается.

Для имеющихся исходных данных определены допустимые углы установки заграждения из условия, что угол β не будет превышать 90° (Рисунок 2.6). При размещении переднего конца по ходу течения всплывающего бонового заграждения на крутом берегу (далее вариант а) допустимый угол установки составляет 73° . А при размещении переднего конца по ходу течения на пологом берегу (далее вариант б) допустимый угол установки составит 62° . Отсюда уже видна разница в выборе берега для закрепления заграждения.



I) при установке под углом 90° ; II) при установке под углом 45°

Рисунок 2.5 – Схема по определению длины и положения всплывающего бонового заграждения в состоянии ожидания и после всплытия для исходных данных

При исследовании влияния v_{max} и ширины реки L на допустимый угол установки заграждения установлено, что они не будут оказывать влияние на допустимый угол установки. Это связано с тем, что при увеличении ширины реки L пропорционально будет увеличиваться Q и l . Но и A_{mp} также будет увеличиваться пропорционально, так как, по [139], каждому диаметру троса соответствует своя максимальная разрывная нагрузка, которая связана с Q прямой пропорциональностью. При увеличении v_{max} будет пропорционально увеличиваться Q и A_{mp} . В связи с чем удлинение стального троса a будет всегда привязано к l и максимально может достигать 0,007 от l , например при длине $l = 100$ м, a максимально может достигать 0,7 м.

Было определено влияние распределения скоростей течения в русле v_{max} / v_{min} на допустимые углы установки заграждения. В расчете учитывалось максимальное удлинение стального троса a , равное $0,007l$.

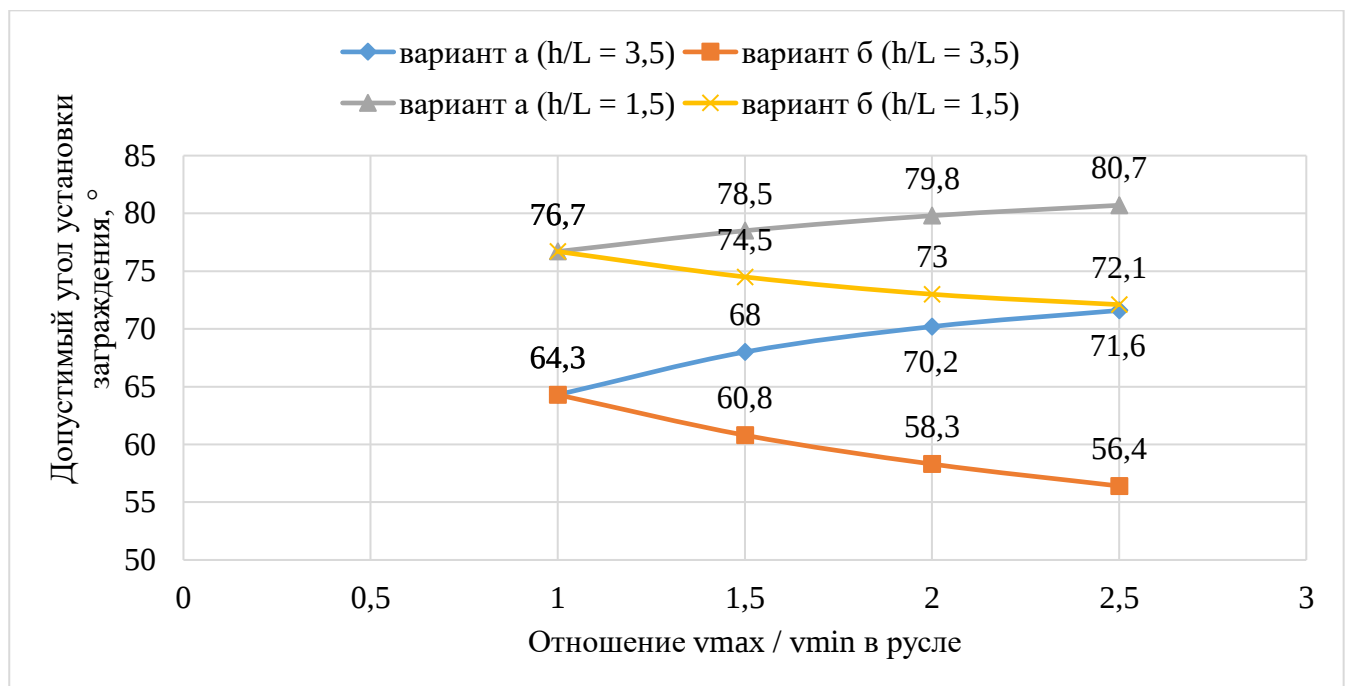


Рисунок 2.6 – Зависимость между допустимыми углами установки заграждения и распределением скоростей в русле v_{max} / v_{min} при различных отношениях глубины к ширине реки

Как видно из Рисунка 2.6 угол установки всплывающего бонового заграждения зависит от выбранного берега для размещения переднего конца по ходу течения (варианты *а* и *б*) и от профиля русла реки, а именно от отношения глубины к ширине реки h/L . В зависимости от профиля русла реки допустимый угол установки заграждения может отличаться на 10 и даже более градусов.

Для определения оптимального угла установки всплывающего бонового заграждения были проанализированы запланированные углы установки α и соответствующие им фактические углы β . Для наглядности были составлены зависимости между запланированными α и разницей между фактическим и запланированным углом, $\alpha - \beta$. А именно, рассматривался профиль глубокого русла реки с отношением $h/L = 3,5$ при неравномерном распределении скоростей течения в русле (варианты установки *а*) и *б*) Рисунка 2.7) и при равномерном распределении скоростей в русле ($v_{\max} = v_{\min}$ Рисунок 2.7). А также рассматривался профиль русла неглубокой реки с отношением $h/L = 1,5$ (Рисунок 2.8).

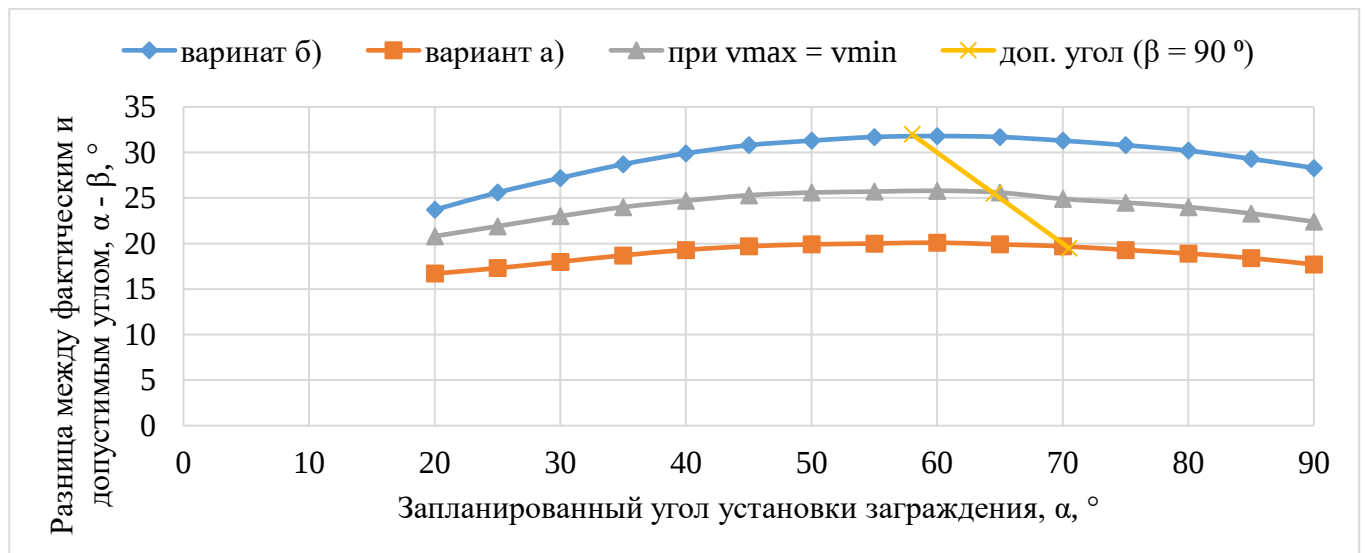


Рисунок 2.7 – Зависимость между запланированным α и разницей между фактическим и запланированным углом, $\alpha - \beta$ для глубокой реки с отношением $h/L = 3,5$

Данная зависимость (Рисунок 2.7) наглядно показывает, что для глубоких рек чем меньше запланированный угол установки, тем меньше будет и разница с фактическим углом установки. Для таких рек предпочтительнее устанавливать всплывающее боновое заграждение под углом $20^\circ - 40^\circ$ к направлению течения, при возможности его размещения на реке под таким углом. Максимально допустимый угол установки может достигать от 56° до 72° в зависимости от v_{max} / v_{min} .

Из данной зависимости (Рисунок 2.8) следует, что для неглубоких рек при снижении запланированного угла установки всплывающего бонового заграждения, в отличие от глубоких рек, разница с фактическим углом β не будет меняться. Это говорит о том, что для данных рек принимать малый угол установки не обязательно. Принимать угол установки для таких рек нужно в зависимости от береговых и русловых условий для размещения всплывающего заграждения и от скорости течения, руководствуясь рекомендациями, приведенными в Таблице 1.1. Для таких рек максимально допустимый угол установки может достигать от 72° до 81° в зависимости от v_{max} / v_{min} .

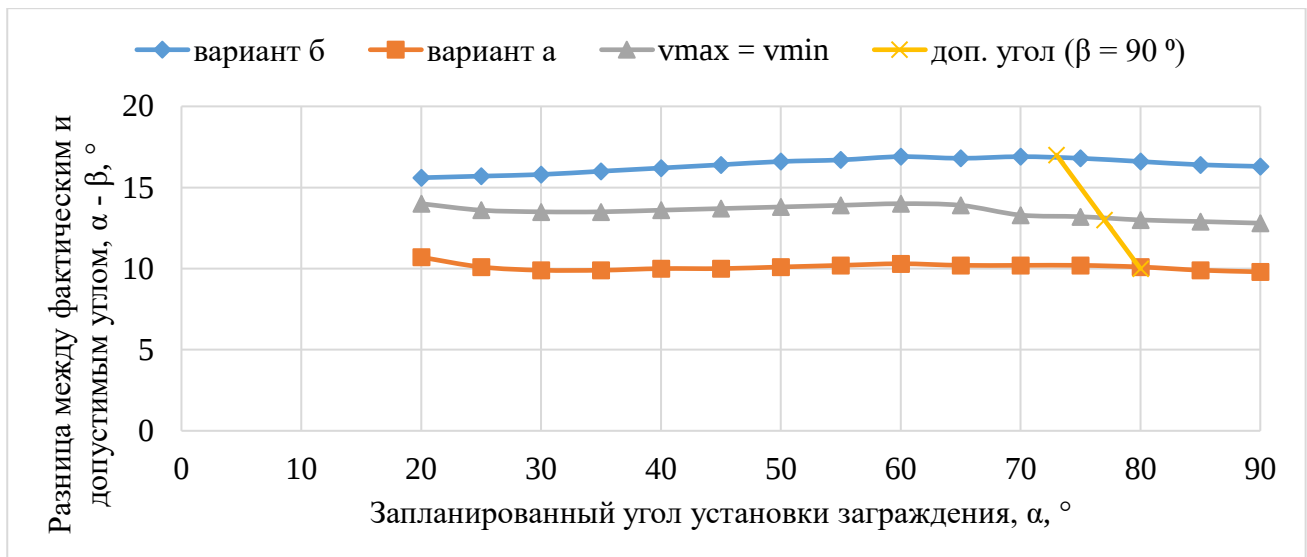


Рисунок 2.8 – Зависимость между запланированным α и разницей между фактическим и запланированным углом, $\alpha - \beta$ для неглубокой реки с отношением $h/L = 1,5$

Для уменьшения прогиба заграждения также можно воспользоваться установкой промежуточных оттяжек в соответствии с рекомендациями, приведенными в [97].

2.2.4 Расчет прочности льда при всплытии бонового заграждения

Согласно [110], из представленного ряда заграждений УЖ-2М, имеющих камеру плавучести, юбку, несущий канат, по аналогии с разрабатываемым всплывающим боновым заграждением можно вывести зависимость между диаметром камеры плавучести и массой одного погонного метра заграждения, которую можно применять для разрабатываемого устройства

$$m_0 = 12,5 \cdot d, \quad (2.14)$$

где m_0 – масса одного погонного метра заграждения;

d – диаметр камеры плавучести, м.

Чтобы исключить такое явление, как перемешивание льда и нефти, необходимо обеспечить его целостность после всплытия бонового заграждения, для этого был разработан расчет, в котором выводится зависимость между допустимой толщиной льда и диаметром камеры плавучести, при которой обеспечивается сохранение целостности ледяного покрова.

Исходные данные: диаметр камеры плавучести $d = 15$ см; вес одного погонного метра заграждения $m_0 = 1,875$ кг; толщина льда $h = 10$ см.

Нагрузка от всплывающего бонового заграждения на один погонный метр:

$$Q_{всп} = Q_{арх} - Q_{тяж}, \quad (2.15)$$

где $Q_{арх}$ – подъемная сила, определяемая по формуле (2.16), Н;

$Q_{тяж}$ – сила тяжести заграждения, определяемая по формуле (2.17), Н.

$$Q_{арх} = \rho_{\text{с}} \cdot g \cdot S = \rho_{\text{с}} \cdot g \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (2.16)$$

$$Q_{тяж} = m_0 \cdot g. \quad (2.17)$$

$$Q_{арх} = 1000 \cdot 9,81 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,15^2}{4} = 173,3 \text{ Н};$$

$$Q_{тяж} = 1,875 \cdot 9,81 = 18,4 \text{ Н};$$

$$Q_{всп} = 173,3 - 18,4 = 154,9 \text{ Н},$$

где S – площадь камеры плавучести, м^2 ;

ρ_v – плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$;

g – ускорение свободного падения, $\text{Н}/\text{м}^2$.

Расчет по определению допустимой толщины льда можно выполнить согласно приложению 4 [140] по формуле

$$h_{расч} = 34,6 \left(\frac{P}{\sigma_{из}} \right)^{4/5}, \quad (2.18)$$

где P – масса, с которой 1 п.м. заграждения действует на лед, т;

$\sigma_{из}$ – предел прочности льда на изгиб, $\text{т}/\text{м}^2$.

При переводе данной формулы в систему СИ и выводе массы через нагрузку от всплывающего бонового заграждения получим

$$h_{расч} = 34,6 \left(\frac{10 \cdot Q_{всп}}{g \cdot \sigma_{из}} \right)^{4/5}. \quad (2.19)$$

В соответствии с [140], предел прочности льда на изгиб составляет $12 \text{ кгс}/\text{см}^2$ или $1,2 \times 10^6 \text{ Па}$.

$$h_{расч} = 34,6 \left(\frac{10 \cdot 154,9}{9,81 \cdot 1,2 \cdot 10^6} \right)^{4/5} = 0,027 \text{ м}.$$

На Рисунке 2.9 приводятся допустимые толщины льда при различных диаметрах камеры плавучести, определенных по формуле (2.19).

Так как формула (2.19) предназначена для определения толщины льда необходимой для удержания трубопровода к опусканию со льда, находящегося около прорези, то при расчете толщины льда для всплывающего бонового заграждения будет определен запас по прочности.

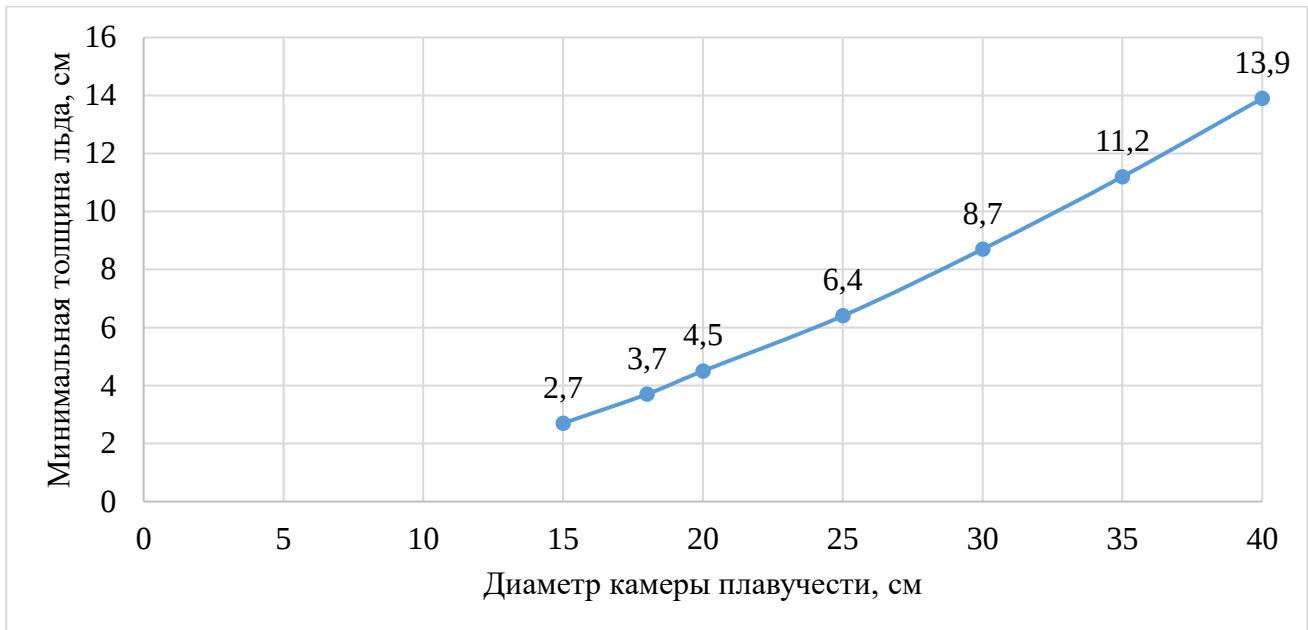


Рисунок 2.9 – Значения допустимых толщин льда при различных диаметрах камеры плавучести

В случае, если боновое заграждение всплывет при открытой воде, высота камеры плавучести должна быть достаточной, чтобы удерживать перед собой слой нефти. Поэтому рекомендуется принять минимально допустимый диаметр камеры плавучести 15 см, а для льдов, толщина которых составляет менее 2,7 см, применять дополнительные пригрузы, прикрепленные вдоль всего бонового заграждения. При слишком тонком слое льда (менее 0,5 - 1,0 см) предлагается не использовать пригрузы для сохранения целостности льда, а наоборот разломать лед и очистить пространство перед боновым заграждением [141].

2.2.5 Разработка способа установки боновых заграждений на реках подо льдом с помощью подводных дронов

При наличии ледового покрова наиболее эффективными являются всплывающие боновые заграждения, такие, как приведены в [97, 99]. Однако данные устройства должны быть заблаговременно установлены на дно водоема. В случае

разлива в них подается воздух, они всплывают и локализуют его. Если данные устройства не были заранее предусмотрены, то задача по установке бонового заграждения становится трудно выполнимой. Способы установки приведенные в п. 1.4.4, имеют существенные недостатки.

В связи с чем был разработан способ [142], позволяющий упростить установку бонового заграждения при наличии ледового покрова. В его основе лежит принцип, при котором нет прямого взаимодействия со льдом, для чего предлагается использовать подводные дроны. Их прямое назначение – это подводная съемка. Однако они могут быть использованы для того, чтобы протащить небольшой трос (шнур) подо льдом, а за ним уже и основной трос и саму плеть бонового заграждения. Тем самым подводные дроны позволят решить основную проблему, связанную с наличием льда на поверхности воды при установке бонового заграждения.

Установку бонового заграждения через водоем предлагается начать с вырезания береговых майн, расположенных под углом к направлению течения (Рисунок 2.10). После чего в первой из них размещают подводный дрон, к которому подключен питающий кабель и небольшой трос (шнур). Перемещение дрона под водой осуществляется оператором с пульта управления. Так как в реке присутствует течение, то траектория перемещения выбирается в форме параболы, чтобы компенсировать скорость течения. Также это позволит дрону заблаговременно пересечь реку и на конечном этапе перемещаться уже вдоль берега, чтобы точно попасть во вторую майну.

Скорость течения в речном потоке не равномерная. Для рек, покрытых льдом, максимальная скорость течения возникает на небольшом расстоянии от поверхности, а минимальная – у дна [143]. В связи с чем дрон должен держаться дна, а для того чтобы это контролировать, потребуется использовать камеру и фонарь на дроне.

Таким образом, предложенный способ является наиболее эффективным при наличии ледового покрова, в случае если не было заранее установлено всплывающее боновое заграждение [142].

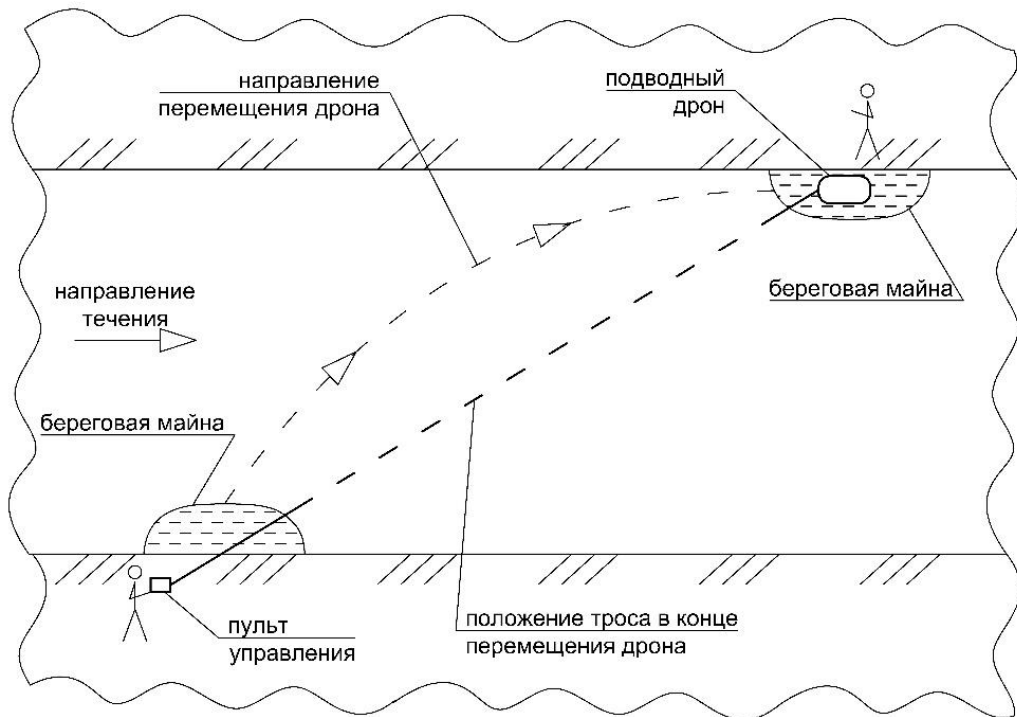


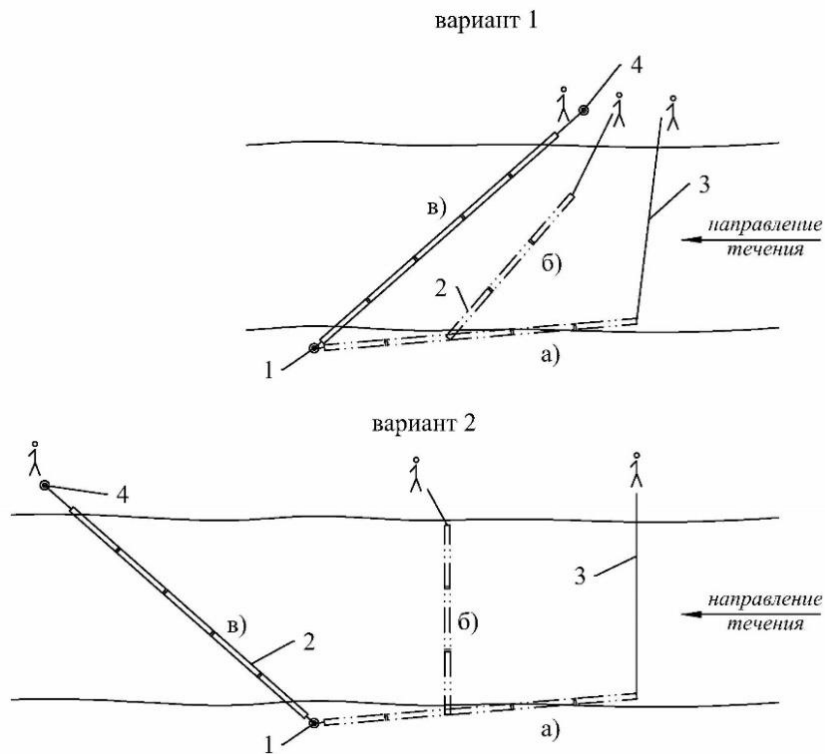
Рисунок 2.10 – Схема перемещения подводного дрона подо льдом

2.3 Совершенствование способа установки бонового заграждения через реку вдоль несущего каната

Исследовав существующие решения по способам установки боновых заграждений на реках, можно сделать вывод, что их довольно мало, в частности в базе патентов РФ. В [22] представлен выбор схемы установки в зависимости от ширины зеркала воды и глубины водотока. Способ постановки их на реках, как правило, сводится к тому, что собранное в плетъ боновое заграждение закрепляют на одном берегу, протаскивают через реку и также закрепляют на другом берегу. Однако данный метод имеет ограниченное применение, а также ряд недостатков, которые приводят к необходимости использования несущего каната при установке боновых заграждений. В научной литературе уделено недостаточно внимания применению несущего каната при установке боновых заграждений.

2.3.1 Установка бонового заграждения без использования несущего каната

Установка бонового заграждения без использования несущего каната может быть осуществлена по варианту 1 (Рисунок 2.11), согласно [110]. В данном случае секции заграждения 2 крепят к опоре 1 и устанавливают вдоль берега, положение а), после чего, вытягивая трос 3, перемещают заграждение сначала в положение б), затем в в) и крепят его к опоре 4. Перемещение заграждения может быть осуществлено с использованием тягового устройства.



1, 4 – опоры; 2 – секции заграждения; 3 – трос

Рисунок 2.11 – Схема установки бонового заграждения без использования несущего каната

Автором на основе проведенных экспериментов предлагается немного видоизменённая схема – вариант 2 (Рисунок 2.11) по установке заграждения через

реку. В отличие от 1-го варианта при вытягивании бонового заграждения будет больше времени на то, чтобы обеспечить прямолинейную постановку заграждения. Кроме этого, в процессе установки бонового заграждения не потребуется преодолевать силу течения, в связи с чем применение тягового устройства является не обязательным. По [22] требуется устанавливать боновые заграждения в несколько рубежей задержания.

По [22], для рек шириной до 50 м может быть использована схема установки заграждения из металлических труб, принцип установки которой схож с Рисунком 2.11 (вариант а). Для рек, шириной зеркала воды более 50 м, по [22], предлагаются более сложные схемы установки заграждений. До ширины 100 м может быть применена схема, при которой с двух противоположных берегов реки подаются с помощью лебедок две плети заграждения из металлических труб и соединяются внахлест. При ширине более 100 м может быть применена установка бонового заграждения переменной плавучести с промежуточным закреплением секций с помощью донных якорей. Расчеты по промежуточному закреплению секций приведены в [97]. Кроме того, в [22] представлены варианты установки заграждений в несколько рубежей задержания.

Для варианта установки бонового заграждения без несущего каната есть ограничения в виде нагрузки от течения, которая может привести к его разрыву. Зависимость между скоростью течения и шириной реки, при которой можно устанавливать боновое заграждение без несущего каната, приведена на Рисунке 3.8.

Помимо опасности разрыва заграждения в случае, когда ширина реки и скорость течения позволяют устанавливать боновое заграждение без несущего каната, есть большая вероятность образования «кармана». Это может быть обусловлено ошибками при разворачивании заграждения (зацепы за коряги, неравномерность натяжения троса), а также удлинением элемента продольного натяжения бонового заграждения после его закрепления под действием силы течения. Образование «кармана» является недопустимым, так как в этой зоне образуются воронки, которые захватывают задержанную нефть и нефтепродукты с поверхности воды и проводят их за ограждение (подныривание нефти) [97, 110, 144].

Кроме того, в месте изгиба будет скапливаться нефть вместо того, чтобы полностью перемещаться к берегу. А также в этом месте возможен перелив нефти через верх бонового ограждения при погружении его под действием сильного потока воды.

Установка бонового ограждения без несущего каната проста в исполнении, однако имеет свои недостатки, связанные с прочностью элемента продольного натяжения ограждения, а также с высокой вероятностью образования «карманов» при его установке.

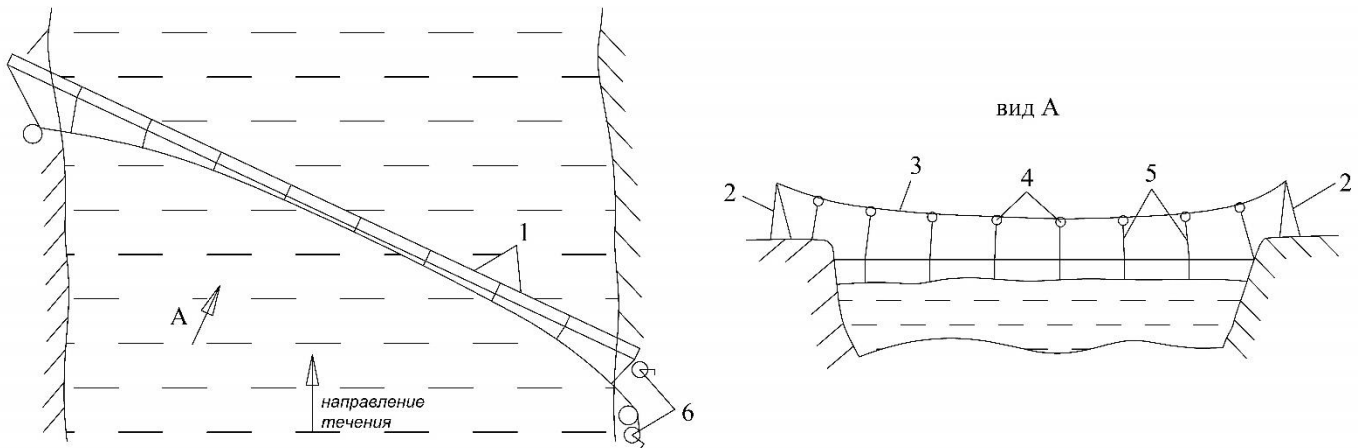
2.3.2 Существующие способы установки бонового ограждения через реку с использованием несущего каната

Установка бонового ограждения через реку с использованием несущего каната описывается в двух источниках [110, 128].

Рассмотрим способ, предложенный в [128]. Он заключается в том, что сначала устанавливают через реку несущий канат 3 с надетыми на него свободно скользящими кольцами 4, после чего собранную плетень бонового ограждения буксируют через реку, попутно закрепляя ее к соответствующим кольцам с помощью поводков 5 (Рисунок 2.12).

Недостатком такого способа является то, что в [128] подразумевается провисание несущего каната, а также то, что крепление к нему бонового ограждения предусматривается только в местах стыковки секций ограждения 1, т.е. через каждые 10-20 м в зависимости от применяемого ограждения. Из-за провисания несущего каната перемещение колец и, следовательно, самой плетени ограждения после преодоления места изгиба несущего каната будет сильно затруднено, а с учетом того, что расстояние между поводками составляет минимум 10 м, возможен разрыв поводков или бонового ограждения при их сильном натяжении. Еще одним недочетом можно считать использование колец для скольжения по несущему канату, в соответствии со справочными данными коэффициент трения стали по стали составляет $f = 0,15$, а при использовании смазки составит $f = 0,1 - 0,12$. На

Рисунке 2.13 представлена схема, на которой показаны силы, действующие на кольцо в процессе перемещения.

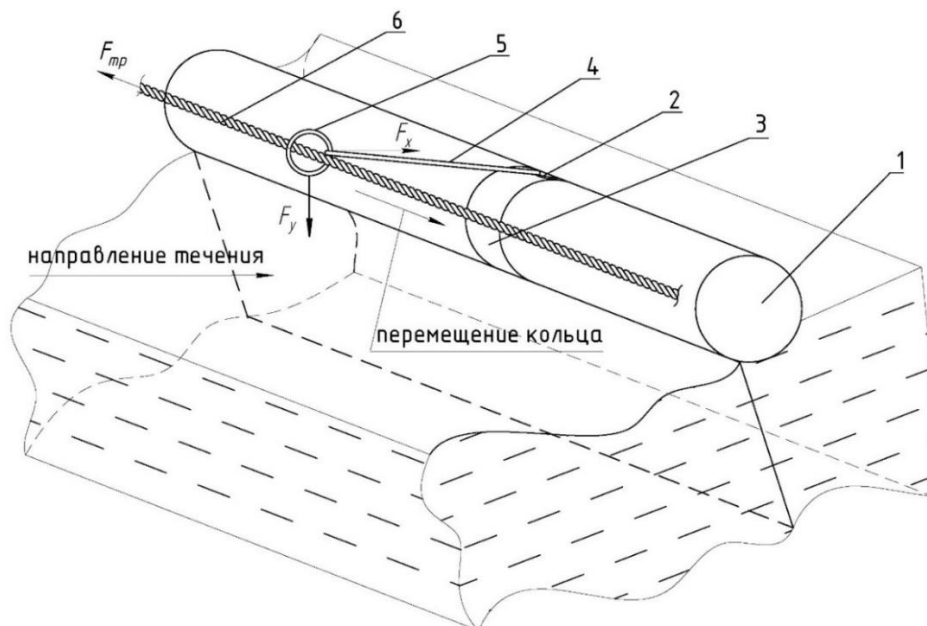


- 1 – секции бонового заграждения; 2 – опоры; 3 – несущий канат; 4 – кольца;
5 – поводки; 6 – тяговое устройство

Рисунок 2.12 – Схема установки бонового заграждения через реку согласно [128]

Таким образом, при буксировке заграждения максимальная сила трения будет в самом конце, когда все поводки в сумме будут оказывать сопротивление перемещению. Перемещение заграждения через водоем будет осложняться после каждого добавления поводка в звено, так как будет возрастать суммарная сила трения, пока она не станет максимальной. Силу трения будет практически невозможно преодолевать при перемещении заграждения без использования лебедки, также роль сыграет провисание троса, потому что при подходе к противоположному берегу поводки должны будут перемещаться вверх по тросу и в обратную сторону от течения. Стоит также отметить, что трос не является гладким и состоит из жил, сплетенных между собой, таким образом, при большой силе трения каждые неровности его поверхности будут приводить к большим удерживающим нагрузкам, что при большой силе трения приведет к рывкам в

процессе перемещения, застреваниям и будет являться помехой успешной постановке бонового заграждения через водоем.



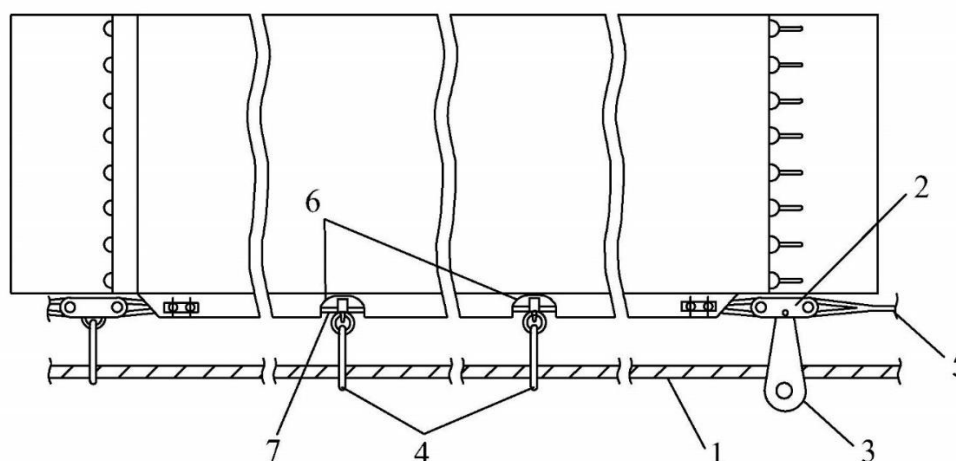
- 1 – боновое заграждение; 2 – место крепления поводка к заграждению;
3 – место стыковки секций заграждения; 4 – поводок; 5 – кольцо; 6 – трос

Рисунок 2.13 – Силы, действующие на трос в процессе перемещения заграждения

Рассмотрим возможность применения вместо колец роликовых блоков. В соответствии со справочными данными, коэффициент трения качения стали по стали составляет $k_{mp} = 0,5$ мм, коэффициент трения будет определяться как $f = k_{mp} / r$, где r – радиус цилиндра роликового блока, примем для блока среднего размера равным 25 мм, тогда $f = 0,02$. Таким образом, так как коэффициент трения для роликового блока значительно ниже, чем для кольца, движение по несущему канату будет более плавным, не будет резких рывков, кроме того, для перемещения заграждения потребуется прикладывать меньше нагрузки. Целесообразнее использовать вместо колец роликовые блоки.

Рассмотрим способ, предложенный в [110]. В отличие от первого, закрепление к несущему канату осуществляется не только в местах стыковки секций, но и через

каждые 4-5 м, причем вместо колец используются роликовый блок и карабины (Рисунок 2.14). Вторым отличием является то, что крепление к несущему канату осуществляется напрямую без поводков.



1 – несущий канат; 2 – соединительная скоба; 3 – роликовый блок;
4 – карабины; 5 – трос к тяговому механизму; 6 – прорези для крепления к несущему канату; 7 – элемент продольного натяжения бонового заграждения

Рисунок 2.14 – Схема крепления первой секции бонового заграждения к несущему канату, согласно [110]

Недостатком такого способа является то, что роликовый блок 3 используется только в одном месте, в самом начале бонового заграждения при креплении к соединительной скобе 2. Во всех остальных случаях крепление заграждения к несущему канату 1 осуществляется с помощью карабинов 4, которые по аналогии с кольцами обладают гораздо большим коэффициентом трения.

Вторым недостатком является то, что крепление заграждения к несущему канату осуществляется напрямую, без использования поводков. Так как элемент продольного натяжения 7 расположен в нижней части заграждения, он находится под водой на глубине 0,4-0,5 м, сам несущий канат будет утоплен на такую глубину, которая затрудняет контроль перемещения заграждения вдоль него, также это приведет к провисанию троса, так как на берегах трос выходит на поверхность и

крепится выше уровня воды. Провисание троса, по аналогии с [128], приведет к затруднению перемещения заграждения. С другой стороны, при чрезмерном натяжении несущего каната он будет тянуть за собою «юбку» бонового заграждения на поверхность, заграждение не сможет задерживать нефть или нефтепродукт. Третий недостаток заключается в том, что при креплении секций ограждения к несущему канату осуществляется через прорези 6, в результате чего элемент продольного натяжения 7 начинает оттягиваться в сторону несущего каната 1, вследствие чего ткань по краям начинает надрываться и трос 7 выходит наружу. Данное явление было обнаружено при проведении эксперимента на реке (Рисунок 3.15 б).

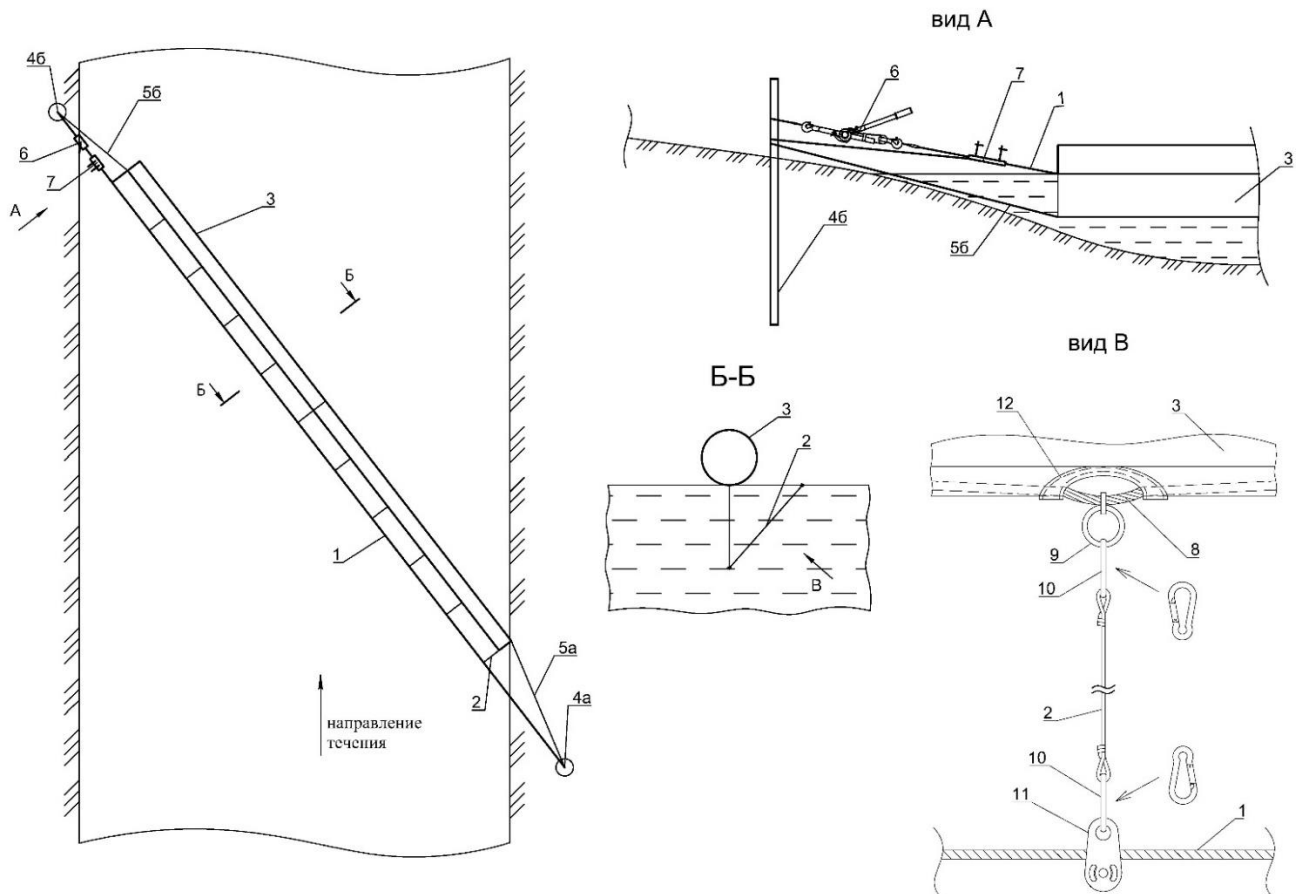
Существующие способы установки боновых заграждений с использованием несущего каната имеют ряд довольно существенных недостатков. В связи с чем предлагается способ установки, который решает недостатки предложенных вариантов.

2.3.3 Разработка усовершенствованного способа установки бонового заграждения с использованием несущего каната

Предложенный способ установки бонового заграждения представлен на Рисунке 2.15 и реализуется следующим образом.

После того как произошел разлив, необходимо будет оперативно развернуть боновое заграждение через водоем на специально подготовленном для этого участке, где обеспечен удобный подъезд техники. В первую очередь устанавливаются опоры 4а, 4б. После чего через реку необходимо натянуть несущий канат 1 с установленными на нем роликовыми блоками 11 в необходимом количестве. Чтобы значительно уменьшить провисание несущего каната, необходимо произвести его предварительное натяжение, для чего предлагается использовать подобранную по грузоподъемности лебедку 6. Однако стоит учесть, что при перемещении бонового заграждения 3 через водоем нагрузка на лебедку 6 значительно возрастет, и она может выйти из строя, а если попытаться убрать

лебедку перед перемещением заграждения, то при отцеплении крюка лебедки от троса он неизбежно потеряет свое натяжение, в связи с чем предлагается использовать тиски 7, которые после предварительного натяжения несущего каната 1 позволят сохранить его в натянутом состоянии и убрать слабое звено в цепи в виде лебедки, после чего несущий канат можно будет закрепить за опору 4б.



1 – несущий канат; 2 – поводки; 3 – боновое заграждение; 4 а, б – опора; 5 а, б – оттяжки к опорам; 6 – лебедка; 7 – тиски; 8 – трос бонового заграждения; 9 – кольцо; 10 – карабин; 11 – роликовый блок; 12 – подшивка из прочной ткани

Рисунок 2.15 – Схема усовершенствованного способа установки бонового заграждения с использованием несущего каната

Параллельно с установкой несущего каната через водоем в единую плетель собирается боновое заграждение 3. После этого к боновому заграждению крепятся поводки 2, оснащенные с двух сторон карабинами 10. Длина поводков подбирается в зависимости от высоты подводной части бонового заграждения. Они крепятся к тросу бонового заграждения 8 в местах стыковки секций, а также через каждые 4-5 м к кольцам 9. Для того чтобы исключить надрывы ткани, прорези для крепления к несущему канату предлагается дополнительно усиливать подшивкой из прочной ткани 12, при этом ширину прорезей также необходимо уменьшить, чтобы трос 8 не выбивался под нагрузкой наружу [145].

Боновое заграждение буксируется следующим образом. Один конец бонового заграждения 3 закрепляют к опоре 4а с помощью оттяжки 5а. Оттяжку 5б закрепляют за передний конец бонового заграждения 3 и перевозят на другой берег, откуда с помощью нее будет осуществляться буксирование бонового заграждения. Передний конец бонового заграждения 3 подтаскивается к несущему канату 1 и закрепляется к первому роликовому блоку 11. Для угла постановки заграждения больше 20 градусов оттяжки необходимо закреплять в каждое кольцо – через 4-5 м, а при угле постановки менее 20 градусов можно обойтись закреплением, пропуская одно кольцо – через каждые 8-10 м. Буксировка бонового заграждения 3 будет осуществляться при натяжении оттяжки 5б рабочими или тяговым устройством на принимающем берегу и своевременным креплением бонового заграждения 3 к несущему канату 1. Постепенно боновое заграждение полностью перекроет водоем, после чего его необходимо закрепить за анкер 4б на подающем берегу с помощью оттяжки 5б.

При слаженной работе персонала установка заграждения таким способом не вызовет никаких трудностей и не будут образовываться недопустимые «карманы» заграждения.

Выводы по главе 2

1. Разработано боновое заграждение с внутренним каркасом пружинного типа, обеспечивающее а) большую удерживающую способность за счет несминаемой камеры плавучести в сравнении с надувными заграждениями и б) меньший занимаемый объем в сравнении с бонами постоянной плавучести. Роль пружины заключается в сохранении радиальной формы надводной части бона во всех сечениях при воздействии течения на бон и в возможности для бона складываться вдоль своей оси для уменьшения объема, занимаемого им.

2. На основании выполненного расчета пружины во внутренней камере плавучести установлена зависимость между параметрами пружины и размерами секций бонового заграждения, по которой подобран ряд пружин, подходящих для их применения в качестве каркаса внутренней камеры плавучести, с длинами в диапазоне 4,7 – 5,7 м.

3. Разработано усовершенствованное всплывающее боновое заграждение, способное работать при наличии ледяного покрова на поверхности реки. Данное заграждение имеет повышенную удерживающую способность в сравнении с существующими решениями за счет добавления в нижней части бона гибкого полотна и юбки.

4. По результатам расчета по определению положения всплывающего бонового заграждения установлена зависимость между максимально допустимым углом его установки от отношения глубины к ширине реки, расположения точек крепления заграждения к опорам относительно направления течения и ее скорости.

5. Установлена зависимость между не разрушаемой толщиной льда и диаметром камеры плавучести всплывающего бонового заграждения при приведении его в рабочее положение.

6. По результатам анализа существующих способов установки боновых заграждений на реках при наличии ледового покрова предложен способ, заключающийся в протягивании троса подо льдом с помощью подводного дрона.

7. Разработан усовершенствованный способ установки бонового заграждения вдоль несущего каната, где в отличие от аналогов исключается его провисание, осложняющее перемещение секций бонового заграждения вдоль него. При установке заграждения вдоль несущего каната удастся добиться прямолинейного положения заграждения, что повышает его удерживающую способность, а также предотвращается разрыв заграждения, так как нагрузка от течения передается на несущий канат.

ГЛАВА 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ БОНОВЫХ ЗАГРАЖДЕНИЙ НА РЕКАХ

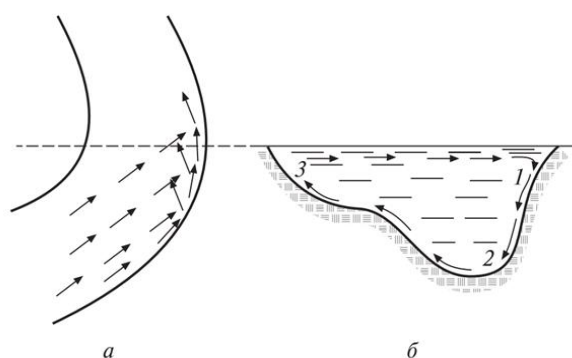
3.1 Определение оптимальных углов установки боновых заграждений на реках и исследование влияния выбора берега для начала установки бонового заграждения

Рассмотрим особенности формы русла реки и определим ее влияние на установку боновых заграждений.

Особенностью рек является то, что они подвержены русловым процессам (Рисунок 3.1). Это связано с тем, что на повороте реки происходит односторонний приток воды к вогнутому берегу, в результате чего скорости распределяются неравномерно по руслу. Наибольшая скорость наблюдается на поверхности у вогнутого берега. Это приводит к эрозии почвы, в результате чего далекий от центра поворота берег разрушается (подмывается), а на близком берегу наоборот происходит осаждение почвы. Даже небольшой начальный изгиб приведет к тому, что со временем он увеличится, именно поэтому реки подвержены периодическим изгибам, которые называют меандрами. Таким образом, прямолинейное русло реки является неустойчивым [143, 146-148].

Исследование формы боновых заграждений с целью определения их удерживающей способности при их установке на повороте русел рек рассмотрим на примере [149].

Исходные данные: ширина реки $L = 25$ м; боновое заграждение марки УЖ-2М, применяемое в ПАО «Транснефть», согласно [126, 127], с высотой подводной части $h_{подв} = 0,35$ м и диаметром троса в нижней части заграждения 6,2 мм; угол установки бонового заграждения $\alpha = 30^\circ$; максимальная скорость течения в русле $v_{max} = 1,5$ м/с; распределение скоростей по руслу $v_{max} / v_{min} = 2$. Изотахи (распределение скоростей по руслу реки) приведены на Рисунке 3.2. Протяженности участков с различной скоростью течения приведены в Таблице 3.1.



а – план; б – профиль

1 – наибольшая скорость; 2 – средняя скорость; 3 – наименьшая скорость.

Рисунок 3.1 – Направление струй у вогнутого берега

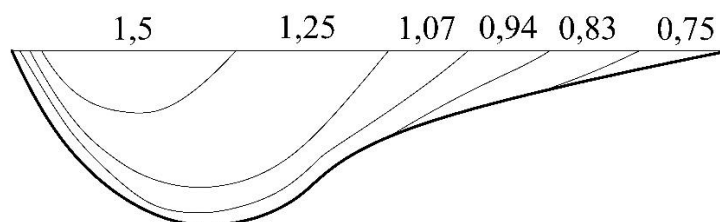


Рисунок 3.2 – Распределение скоростей по руслу реки

Таблица 3.1 – Протяженности участков с различной скоростью течения:

Скорость течения v_i , м/с	1,5	1,25	1,07	0,94	0,83	0,75
Протяженность участка L_i , м	6,750	5,750	3,125	3,125	3,125	3,125

3.1.1 Определение длины бонового заграждения

При установке бонового заграждения через реку неизбежно произойдет прогиб заграждения, связанный с тем, что в момент начала его крепления к опоре оно будет не в виде прямой линии, а будет иметь незначительный изгиб, кроме того, за время крепления к опоре оно также переместится течением, а уже после крепления к опоре удлинится под действием нагрузки от течения.

Величину удлинения бонового заграждения можно будет определить по формуле

$$\Delta l = a + b + c, \quad (3.1)$$

где a – удлинение элемента продольного натяжения бонового заграждения (троса);

b – величина перемещения переднего конца плети бонового заграждения за время его крепления к опоре;

c – разница между длиной плети заграждения в момент начала его крепления за опорой и длиной по геометрической прямой между опорами.

Удлинение троса a можно определить по формуле (2.11), для чего потребуется узнать длину бонового заграждения и нагрузку от течения, действующую на него.

Длина бонового заграждения определяется по формуле

$$l = L / \sin \alpha. \quad (3.2)$$

$$l = 25 / \sin 30 = 50 \text{ м.}$$

Нагрузка от течения, действующая на боновое заграждение, определяется по формуле

$$Q = \frac{\sum (q_{xi} \cdot L_i)}{\sin \alpha}, \quad (3.3)$$

где q_{xi} – распределенная нагрузка от течения по оси x (вдоль бонового заграждения), определяемая по формуле

$$q_{xi} = \rho_e \cdot h_{подв} \cdot (v_i \cdot \sin \alpha)^2. \quad (3.4)$$

В Таблице 3.2 приведены результаты расчета q_x .

Таблица 3.2 – Результаты определения нагрузки q_{xi} в зависимости от скорости течения

Скорость течения v_i , м/с	1,5	1,25	1,07	0,94	0,83	0,75
Нагрузка от течения q_{xi} , Н/м	196,88	136,72	100,45	76,90	60,76	49,22

$$Q = \frac{\sum (196,88 \cdot 1,5 + \dots + 49,22 \cdot 0,75)}{\sin 30} = 6028,68 \text{ Н.}$$

Согласно [139], для каната диаметром 6,2 мм расчетная площадь сечения всех проволок составляет $A_{mp} = 14,47 \times 10^{-6} \text{ м}^2$, а разрывное усилие составляет 21,1 кН, следовательно, он выдержит нагрузку от течения.

$$a = \frac{6028,68 \cdot 50}{14,47 \cdot 10^{-6} \cdot 2,06 \cdot 10^{11}} = 0,1 \text{ м.}$$

Величину перемещения переднего конца плети бонового заграждения за время его крепления к опоре b можно определить по формуле

$$b = v_{кр} \times t, \quad (3.5)$$

где $v_{кр}$ – скорость движения переднего конца бонового заграждения при его креплении за опору;

t – время, за которое заграждение будет закреплено за опору, с.

Время t зависит в большей степени от действий персонала. При проведении опытов среднее время, за которое было зафиксировано положение заграждения за опору, было оценено в 4 с. Для профессиональных служб по ликвидации аварийных разливов нефти это время будет меньше – порядка 2 с, по результатам наблюдения учений группы ЛАРН ПАО «Транснефть». Такая разница в результатах вызвана большей опытностью и большим количеством персонала, участвующего в установке бонового заграждения. В дальнейших расчетах будет принято время – 2 с как более соответствующее реальным условиям.

$v_{кр}$ отличается в зависимости от выбора берега для начала установки заграждения. В случае если установка начиналась с крутого берега, то в момент крепления заграждения за опору на пологом берегу скорость $v_{кр} = \min(v_i)$, а при начале установки заграждения с пологого берега в момент крепления заграждения за опору на крутом берегу $v_{кр} = \max(v_i)$:

- при начале установки заграждения с крутого берега:

$$b = 0,75 \times 2 = 1,5 \text{ м;}$$

- при начале установки заграждения с пологого берега:

$$b = 1,5 \times 2 = 3 \text{ м.}$$

При определении полной длины заграждения также стоит учитывать тот факт, что в момент начала крепления заграждения за опору оно не будет иметь форму

прямой линии, так как заграждение будет все время двигаться по течению, и часть плети заграждения все время или будет отставать или будет впереди относительно другой части заграждения, что приведет к дополнительному удлинению плети заграждения относительно прямой линии. Данное удлинение c зависит от величины погруженной части заграждения, ее длины и средней скорости течения реки в русле.

Средняя скорость течения реки в русле

$$v_{cp} = \frac{\sum L_i \cdot v_i}{L}, \quad (3.6)$$

$$v_{cp} = (6,75 \cdot 1,5 + \dots + 3,125 \cdot 0,75) / 25 = 1,14 \text{ м/с.}$$

Разницу между длиной плети заграждения в момент начала его крепления за опору и длиной по геометрической прямой между опорами можно определить по формуле, которая может быть в дальнейшем уточнена

$$c = 0,06 \cdot h_{подв} \cdot l \cdot v_{cp}, \quad (3.7)$$

$$c = 0,06 \cdot 0,35 \cdot 50 \cdot 1,14 = 1,2 \text{ м;}$$

- при начале установки заграждения с крутого берега:

$$\Delta l_a = 0,1 + 1,5 + 1,2 = 2,8 \text{ м;}$$

- при начале установки заграждения с пологого берега:

$$\Delta l_b = 0,1 + 3,0 + 1,2 = 4,3 \text{ м.}$$

Полную длину бонового заграждения можно определить по формуле

- при начале установки заграждения с крутого берега

$$l_{полн, a} = l + \Delta l_a; \quad (3.8)$$

- при начале установки заграждения с пологого берега

$$l_{полн, b} = l + \Delta l_b; \quad (3.9)$$

$$l_{полн, a} = 50 + 2,8 = 52,8 \text{ м;}$$

$$l_{полн, b} = 50 + 4,3 = 54,3 \text{ м.}$$

3.1.2 Определение точки изгиба бонового заграждения и оптимального угла его установки

Для определения точки изгиба бонового заграждения в первую очередь необходимо выявить линию, на которой она располагается. Ее можно найти как центр приложения распределенных нагрузок q_x и q_y от течения на боновое заграждение. Схема по определению данной линии приведена на Рисунке 3.3, а искомой величиной является расстояние l_R .

Для определения q_y необходимо выявить высоту зоны ее действия, а именно предварительный прогиб бонового заграждения f . Его можно вычислить по теореме Пифагора зная, полную длину бонового заграждения и длину по геометрической прямой между точками его крепления, с учетом поправочного коэффициента.

Величину прогиба f можно определить по формуле

$$f = 0,87 \sqrt{\left(\frac{l_{\text{полн}}}{2}\right)^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2}, \quad (3.10)$$

- при начале установки заграждения с крутого берега:

$$f_a = 0,87 \sqrt{\left(\frac{52,8}{2}\right)^2 - \left(\frac{50}{2}\right)^2} = 7,38 \text{ м};$$

- при начале установки заграждения с пологого берега:

$$f_b = 0,87 \sqrt{\left(\frac{54,3}{2}\right)^2 - \left(\frac{50}{2}\right)^2} = 9,21 \text{ м}.$$

Зная прогиб f , можно определить длину участка I (Рисунок 3.3), на котором действует нагрузка q_y

$$L_I = 0,5L + f \cdot \cos \alpha. \quad (3.11)$$

Для варианта а) $L_{Ia} = 18,89$ м, для варианта б) $L_{Ib} = 20,48$ м.

Нагрузка от течения q_y будет действовать на величину прогиба заграждения f , а так как он значительно меньше, чем длина заграждения l , то ее можно определить как единую на всем участке f в зависимости от средней скорости течения на участке I (Рисунок 3.3) по формуле

$$q_y = \rho_e \cdot h_{\text{подв}} \cdot (v_{cpl} \cdot \cos \alpha)^2, \quad (3.12)$$

где v_{cpl} – средняя скорость течения на участке I , для варианта а) равная 1,026 м/с, для варианта б) равная 1,222 м/с.

Для варианта а) $q_{ya} = 276,09$ Н/м, для варианта б) $q_{yb} = 392,22$ Н/м.

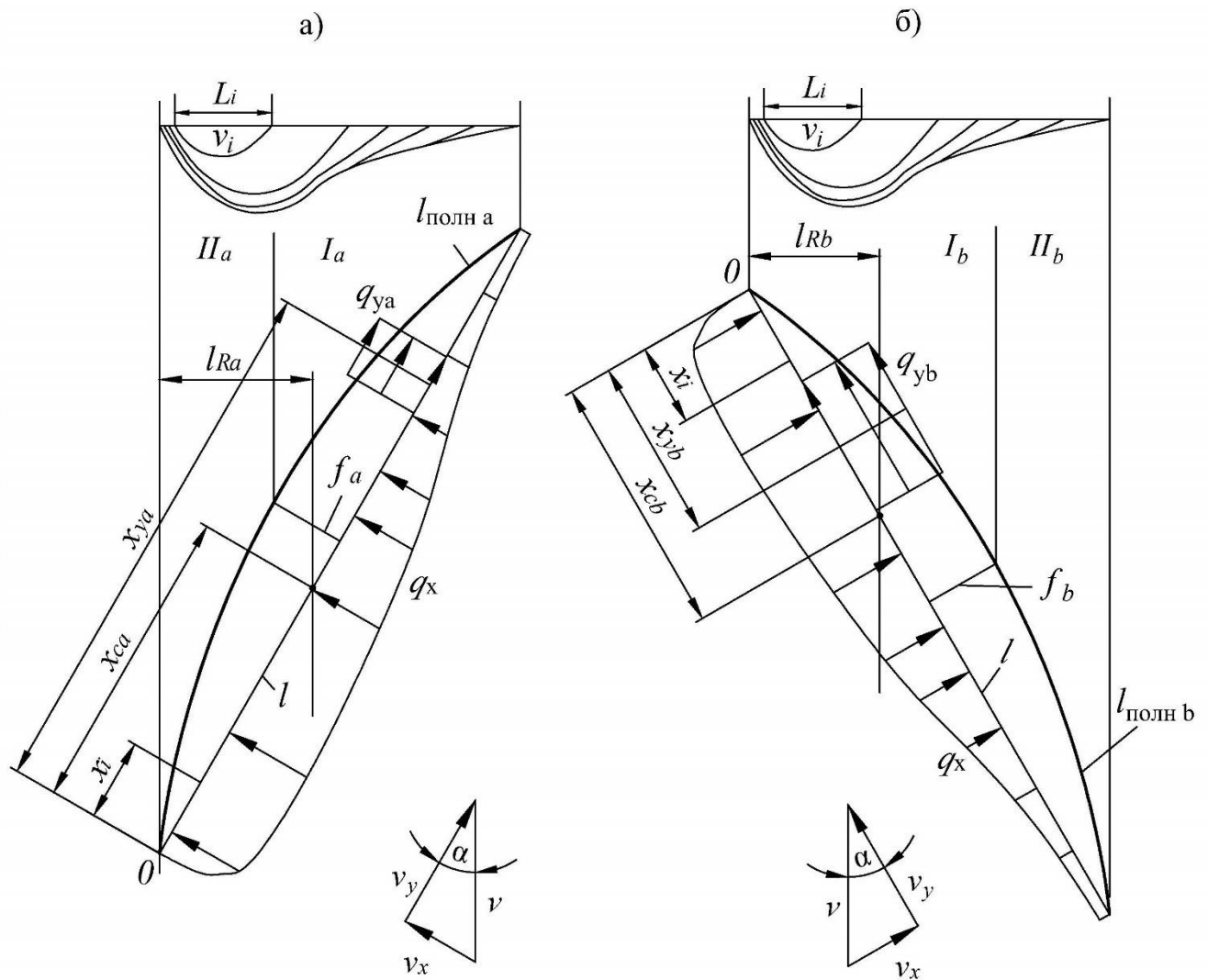


Рисунок 3.3 – Распределение нагрузок на боновое заграждение от действия течения
а) при установке с крутого берега; б) при установке с пологого берега

Расстояние до оси, на которой располагается сосредоточенная нагрузка от течения, можно определить по формуле

$$l_R = x_c \cdot \sin \alpha, \quad (3.13)$$

где x_c – расстояние до центра распределенной нагрузки от течения q_x и q_y (Рисунок 3.3).

Расстояние x_c можно определить по формуле

$$x_c = \frac{\sum A_i \cdot x_i}{\sum A_i} = \frac{\sum (q_x)_i \cdot L_i \cdot x_i + q_y \cdot f \cdot x_y}{\sum (q_x)_i \cdot L_i + q_y \cdot f}, \quad (3.14)$$

где A_i – площади единичных фигур (прямоугольников) от распределенных скоростей q_x и q_y ;

x_i – расстояние от крутого берега (точка 0 на Рисунке 3.3) до центра единичных фигур (прямоугольников) от распределенных скоростей q_x ;

x_y – расстояние от крутого берега (точка 0 на Рисунке 3.3) до центра приложения распределенной нагрузки q_y ;

- при начале установки заграждения с крутого берега:

$$x_{ca} = \frac{196,88 \cdot (6,75 / \sin 30^\circ)^2 / 2 + \dots + 276,09 \cdot 7,38 \cdot (25 - 18,89 / 2) / \sin 30^\circ}{196,88 \cdot 6,75 / \sin 30^\circ + \dots + 276,09 \cdot 7,38} =$$

= 21,79 м;

- при начале установки заграждения с пологого берега:

$$x_{cb} = \frac{196,88 \cdot (6,75 / \sin 30^\circ)^2 / 2 + \dots + 392,22 \cdot 9,21 \cdot 20,48 / (2 \sin 30^\circ)}{196,88 \cdot 6,75 / \sin 30^\circ + \dots + 392,22 \cdot 9,21} =$$

= 19,33 м.

Для варианта а) $l_{Ra} = 10,89$ м, для варианта б) $l_{Rb} = 9,66$ м.

Зная полную длину бонового заграждения и линию, на которой располагается точка изгиба бонового заграждения, можно найти эту точку.

Схема по определению точки изгиба приведена на Рисунке 3.4 и заключается в нахождении y_a или y_b в зависимости от варианта установки. Для их нахождения потребуется решить систему уравнений:

- при начале установки заграждения с крутого берега

$$\begin{cases} \cos \alpha = \frac{(l - x_{ca})^2 + y_a^2 - z_a^2}{2y_a(l - x_{ca})} \\ \cos(180 - \alpha) = \frac{x_{ca}^2 + y_a^2 - (l_{полн\ a} - z_a)^2}{2x_{ca}y_a} \end{cases} \quad (3.15)$$

При решении данной системы уравнений с двумя неизвестными (y_a и z_a) были выделены промежуточные параметры

$$\begin{cases} p_a = (l - x_{ca})^2 + l_{полн\ a}^2 - x_{ca}^2 \\ t_a = 4l_{полн\ a}^2 - (2\cos \alpha \cdot l)^2 \\ n_a = 4p_a \cdot \cos \alpha \cdot l - 2(l - x_{ca}) \cdot \cos \alpha \cdot 4l_{полн\ a}^2 \\ m_a = 4(l - x_{ca})^2 \cdot l_{полн\ a}^2 - p_a^2 \end{cases} \quad (3.16)$$

По которым далее определяется y_a

$$y_a = \frac{-n_a + \sqrt{n_a^2 - 4t_a m_a}}{2t_a}; \quad (3.17)$$

- при начале установки заграждения с пологого берега

$$\begin{cases} \cos \alpha = \frac{x_{cb}^2 + y_b^2 - z_b^2}{2y_b x_{cb}} \\ \cos(180 - \alpha) = \frac{(l - x_{cb})^2 + y_b^2 - (l_{полн\ b} - z_b)^2}{2y_b(l - x_{cb})} \end{cases} \quad (3.18)$$

При решении данной системы уравнений с двумя неизвестными (y_b и z_b) были выделены промежуточные параметры

$$\begin{cases} p_b = x_{ca}^2 + l_{полн\ b}^2 - z_b^2 \\ t_b = 4l_{полн\ b}^2 - (2\cos \alpha \cdot l)^2 \\ n_b = 4p_b \cdot \cos \alpha \cdot l - 2x_{cb} \cdot \cos \alpha \cdot 4l_{полн\ b}^2 \\ m_b = 4x_{cb}^2 \cdot l_{полн\ b}^2 - p_b^2 \end{cases} \quad (3.19)$$

По которым далее определяется y_b

$$y_b = \frac{-n_b + \sqrt{n_b^2 - 4t_b m_b}}{2t_b}. \quad (3.20)$$

Для варианта а) $y_a = 15,62$ м, для варианта б) $y_b = 15,23$ м.

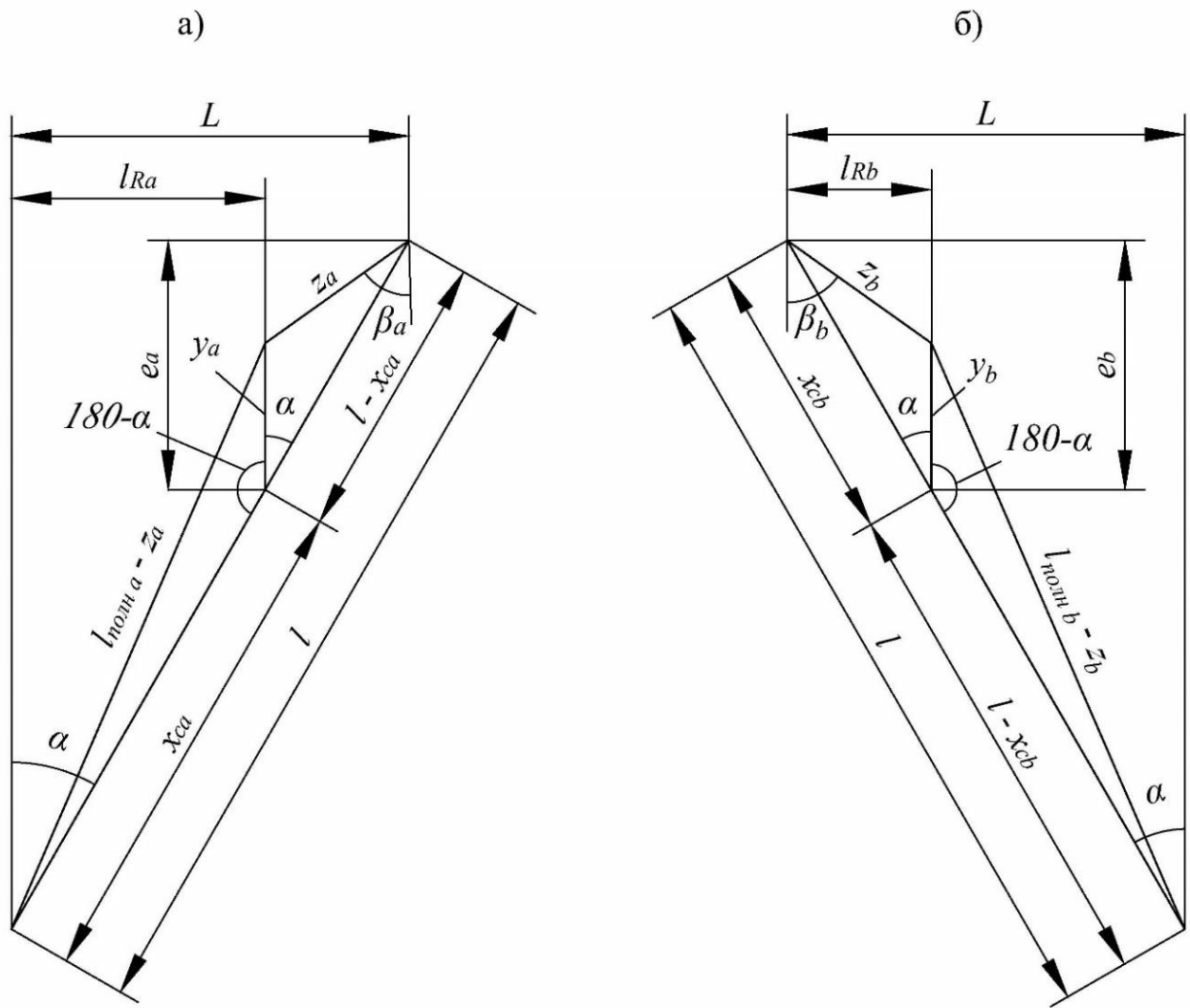


Рисунок 3.4 – Схема по определению точки изгиба бонового заграждения
 а) при установке с крутого берега; б) при установке с пологого берега

Зная положение точки изгиба бонового заграждения можно определить, будет ли в данном случае образован недопустимый «карман». А определить возможность его образования можно по условию:

- при начале установки заграждения с крутого берега

$$y_a \geq e_a, \quad (3.21)$$

- при начале установки заграждения с пологого берега

$$y_b \geq e_b, \quad (3.22)$$

где e_a , e_b – расстояние, приведенное на Рисунке 3.4.

Для варианта а) $e_a = 24,43$ м, для варианта б) $e_b = 16,74$ м.

Таким образом, при угле установки заграждения 30 градусов к направлению течения при принятых исходных данных не будут образованы недопустимые «карманы» при обоих вариантах установки.

При принятых исходных данных максимально допустимые углы установки заграждения, при которых не будут образованы «карманы», будут составлять: для варианта а) 72° ; для варианта б) 38° .

Определены зависимости между допустимыми углами установки заграждения: при разных максимальных скоростях течения v_{max} в русле ($v_{max} / v_{min} = \text{const} = 2$; $L = \text{const} = 25$ м) (Рисунок 3.5); при разных отношениях скоростей течения в русле v_{max} / v_{min} ($v_{max} = \text{const} = 2$ м/с; $L = \text{const} = 25$ м) (Рисунок 3.6); при разной ширине реки L в русле ($v_{max} / v_{min} = \text{const} = 2$; $v_{max} = \text{const} = 1$ м/с) (Рисунок 3.7).

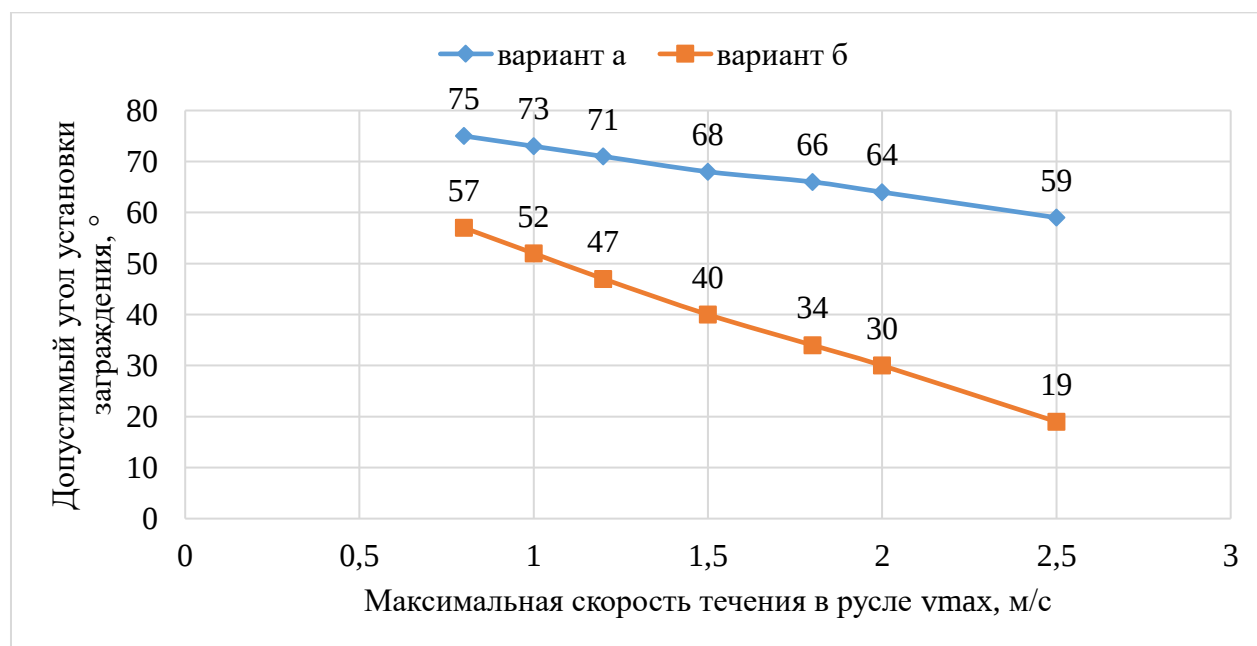


Рисунок 3.5 – Зависимость между допустимыми углами установки заграждения и максимальной скоростью течения в русле при отношении $v_{max} / v_{min} = \text{const} = 2$

Данная зависимость наглядно показывает, как при повышении скорости течения необходимо уменьшать угол установки бонового заграждения относительно направления течения, а также преимущество в установке с крутого берега (вариант а), так как там допустимый угол установки значительно выше.

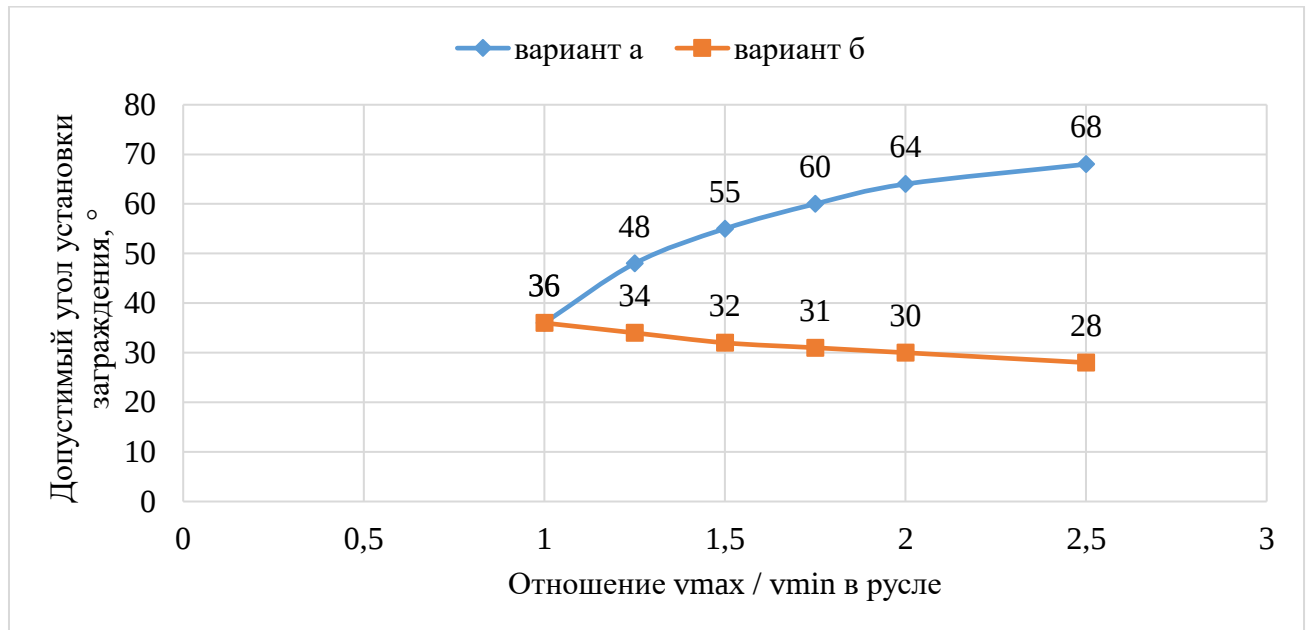


Рисунок 3.6 – Зависимость между допустимыми углами установки заграждения и распределением скоростей в русле v_{max} / v_{min} при $v_{max} = \text{const} = 2 \text{ м/с}$

Из данной зависимости следует, что при повышении разницы между максимальной и минимальной скоростями течения в русле реки растет и разница между вариантами установки боновых заграждений в части допустимого угла их установки.

Как видно из Рисунка 3.7, при увеличении ширины реки увеличивается и допустимый угол установки боновых заграждений. Это следует из того, что с увеличением длины бонового заграждения не увеличивается параметр b в формуле (3.1), что приводит к меньшему относительному прогибу бонового заграждения при повышении его длины.

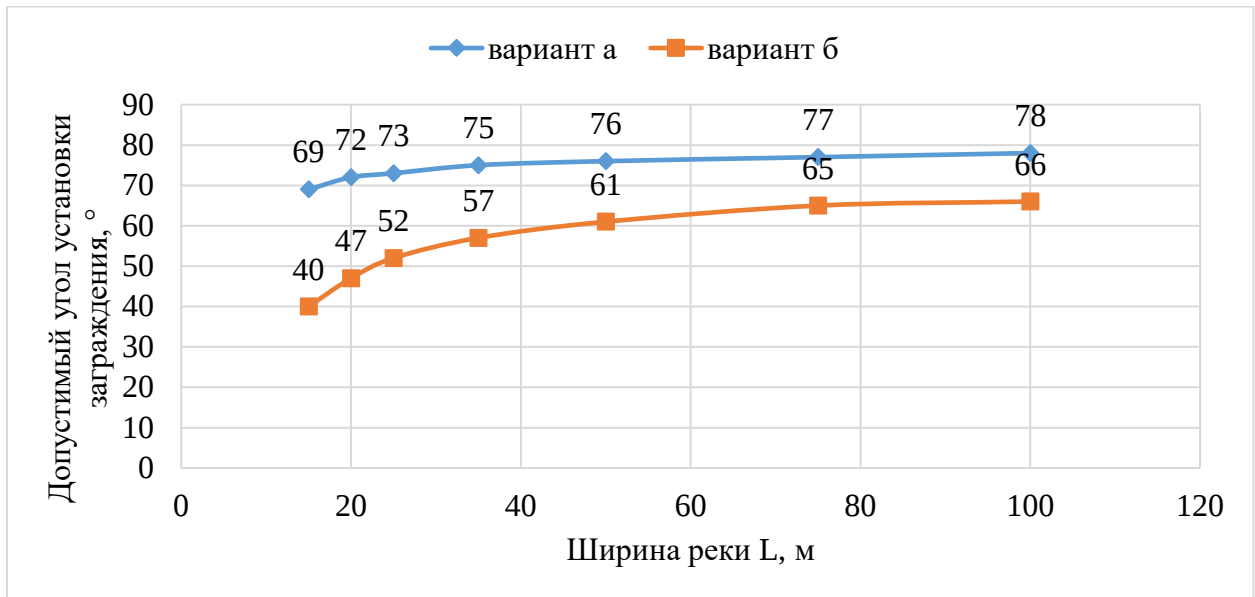


Рисунок 3.7 – Зависимость между допустимыми углами установки заграждения и шириной реки в русле при $v_{max} / v_{min} = \text{const} = 2$; $v_{max} = \text{const} = 1$ м/с

Стоит также учитывать, что, согласно [110] установку боновых заграждений при ширине реки более 100 м и скорости течения более 1 м/с без применения несущего каната рекомендуется не производить для избегания разрыва бонового заграждения. При расчете нагрузки от течения на боновое заграждение по формуле (3.3) при ширине реки 100 м, средней скорости течения 1 м/с ($v_{max} = 1$ м/с, $v_{max} / v_{min} = 1$) и угле установки заграждения под углом 70 градусов (максимально больший допустимый угол установки заграждения, при котором не будет образован «карман») получается $Q \approx 33$ кН, что можно считать предельной нагрузкой на боновое заграждение из условий его прочности. Согласно [139], для такой нагрузки диаметр троса в нижней части заграждения должен быть не менее 8 мм. В связи с чем при расчете боновых заграждений учитывается и подбирается диаметр троса, разрывное усилие которого, по [139], должно быть достаточным. На основании максимальной нагрузки 33 кН составлена зависимость между скоростью течения и шириной реки, при которой можно устанавливать боновое заграждение без несущего каната (Рисунок 3.8). При этом углы установки подбирались максимально большими, так чтобы при них не образовывались «карманы».

Зная точку изгиба бонового заграждения, можно определить, каким будет фактический угол размещения бонового заграждения относительно направления течения β . Для этого сначала необходимо найти z_a и z_b по теореме косинусов, далее по теореме синусов найти неизвестный угол в треугольнике, а прибавив к нему α , можно найти угол β :

- при начале установки заграждения с крутого берега

$$\beta_a = \arcsin(y_a \cdot \sin \alpha / z_a) + \alpha, \quad (3.23)$$

- при начале установки заграждения с пологого берега

$$\beta_b = \arcsin(y_b \cdot \sin \alpha / z_b) + \alpha, \quad (3.24)$$

Для варианта а) $\beta_a = 58,0^\circ$, для варианта б) $\beta_b = 81,1^\circ$.

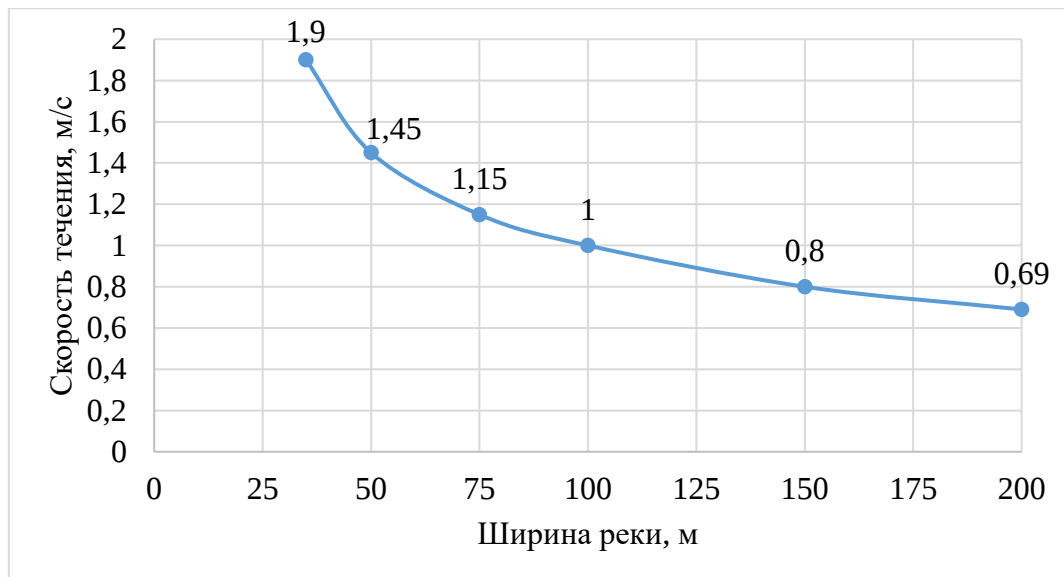


Рисунок 3.8 – Зависимость между допустимой шириной реки и скоростью течения при которых не произойдет разрыва бонового заграждения при установке его без несущего каната

Отсюда видно, что при запланированной установке бонового заграждения под углом 30 градусов фактический угол значительно превышает изначальный.

Для данных исходных данных составлена зависимость между фактическим углом установки заграждения и запланированным, которая представлена на Рисунке 3.9.

На основании данной зависимости можно сделать вывод, что чем меньший угол установки заграждения планируется, тем больше будет разница между фактическим и запланированным углом, а это значит, что при малом угле установки заграждения оно будет в большей части идти вдоль берега и перекроет русло только в конце по ходу течения. Кроме того, видно, что при запланированном угле установки α менее 15 градусов график меняет свое направление, что говорит о том, что ниже данного угла нет смысла устанавливать боновое заграждение, так как фактический угол β останется таким же или начнет увеличиваться.

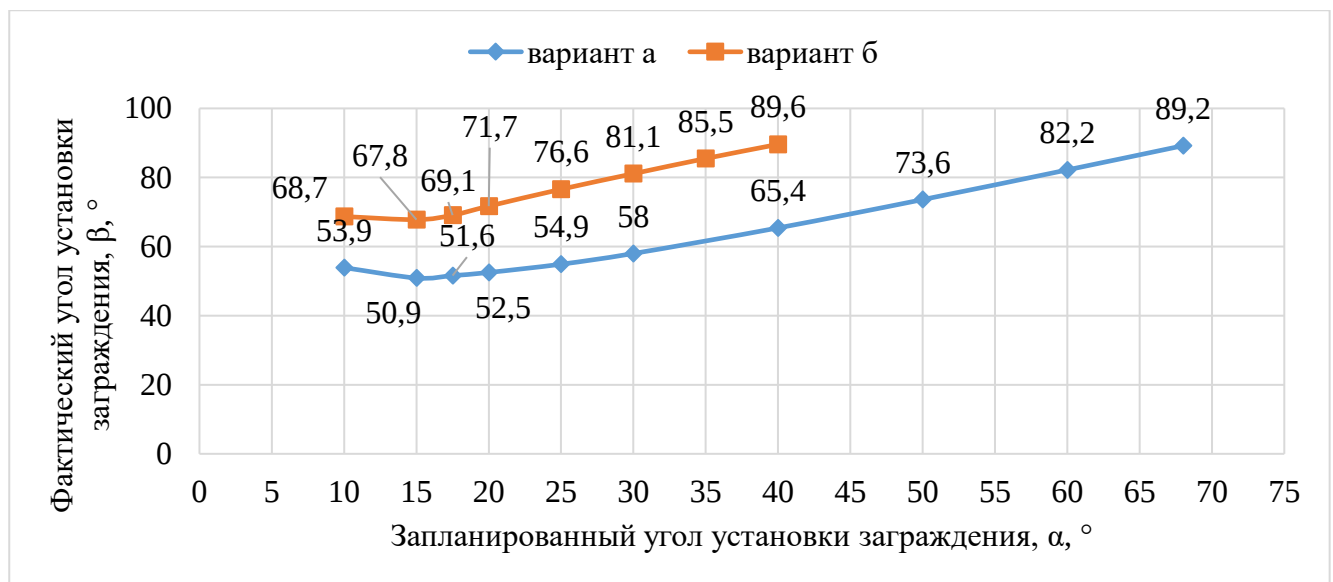


Рисунок 3.9 – Зависимость между запланированным и фактическим углом установки бонового заграждения

Таким образом, требуемые углы установки бонового заграждения при принятых исходных данных будут следующие:

- при начале установки заграждения с крутого берега (вариант а): от 15 до 68 градусов;
- при начале установки заграждения с пологого берега (вариант б): от 15 до 40 градусов.

В зависимости от условий подхода к берегу формы русла реки и других факторов установка бонового заграждения может производиться в данных диапазонах углов.

Для определения минимально допустимых углов установки боновых заграждений на реках были построены аналогичные с Рисунком 3.9 графики зависимости и для других исходных данных. Для каждого из них определялись углы, при которых график меняет свое направление. Эти углы и являются минимально допустимыми углами установки заграждений на реках. Были составлены зависимости между минимально допустимыми углами установки боновых заграждений на реках и распределением скоростей течения в русле реки v_{max} / v_{min} , ширины реки L и максимальной скорости течения v_{max} . Данные зависимости приведены на Рисунках 3.10 и 3.11.

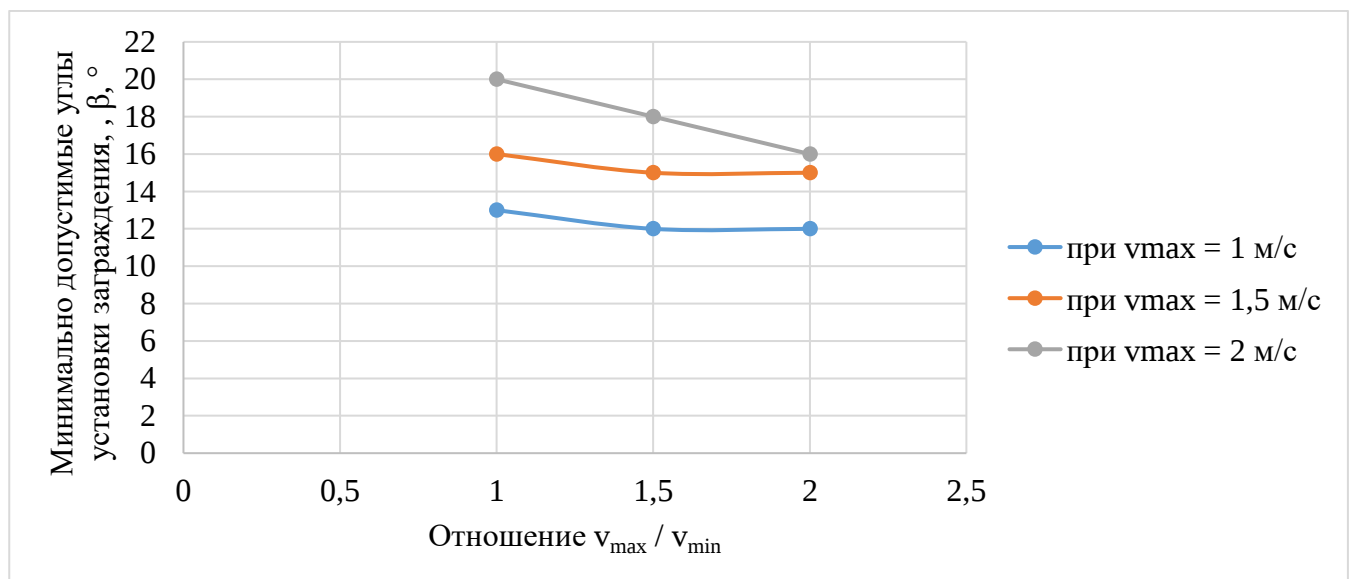


Рисунок 3.10 – Зависимость между минимально допустимыми углами установки боновых заграждений от распределения скоростей в русле v_{max} / v_{min}

Из приведенных зависимостей следует, что минимально допустимый угол установки боновых заграждений практически не зависит от ширины реки L , распределения скоростей течения v_{max} / v_{min} и выбора берега для начала установки заграждений, а зависит только от максимальной скорости течения в русле v_{max} .

Определено, что минимально допустимый угол установки боновых заграждений на реках лежит в диапазоне от 11 до 20 градусов по отношению к направлению течения реки.

Если опираться на рекомендации по углам установки боновых заграждений относительно скорости течения, приведенным в [1, 94, 110], то при высоких скоростях течения они предлагают слишком малые углы установки боновых заграждений (Таблица 1.1), так как не учитывают прогиб заграждения.

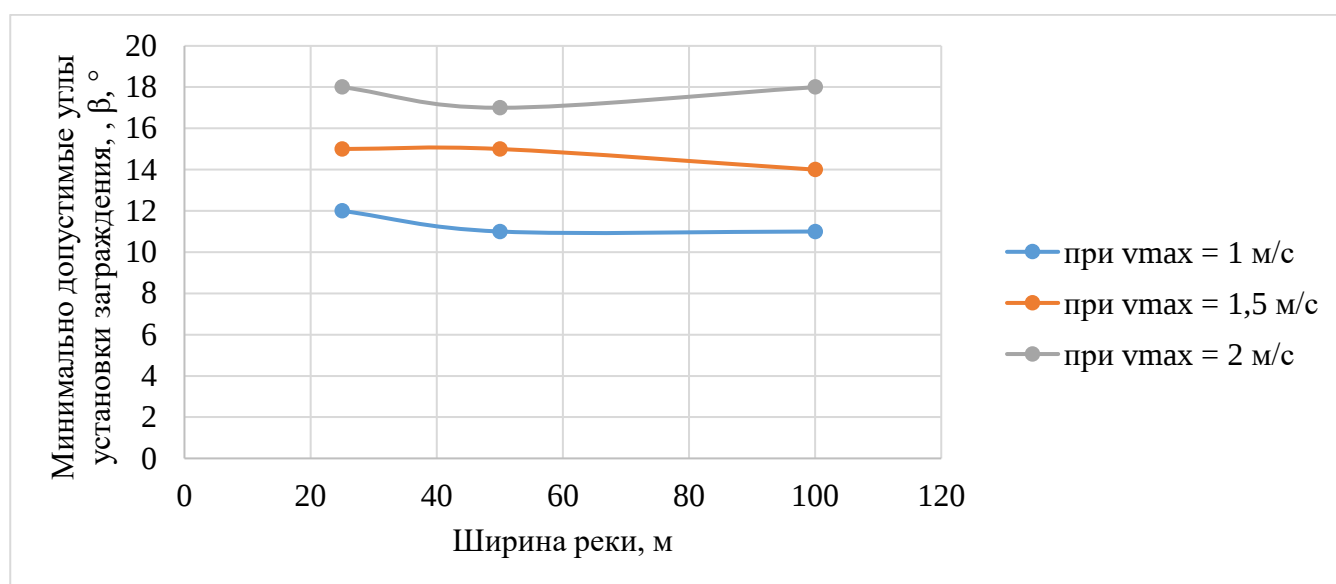


Рисунок 3.11 – Зависимость между минимально допустимыми углами установки боновых заграждений от ширины русла реки

Таким образом, на основании вышеперечисленного предлагается выбирать угол установки боновых заграждений по более сложной методике, которая учитывает ширину реки, распределение скоростей течения в русле и выбор берега для начала их установки. Граничными условиями будут являться образование «кармана» и прекращение снижения фактического угла установки бонового заграждения вслед за запланированным.

Рассмотрим, как будет задерживаться нефтяное пятно в обоих случаях. Для большей наглядности увеличен прогиб заграждения и уменьшен угол постановки [150].

Нефтяное пятно будет задерживаться боновым заграждением и будет перемещаться вдоль него по направлению течения, в соответствии с Рисунком 3.12.

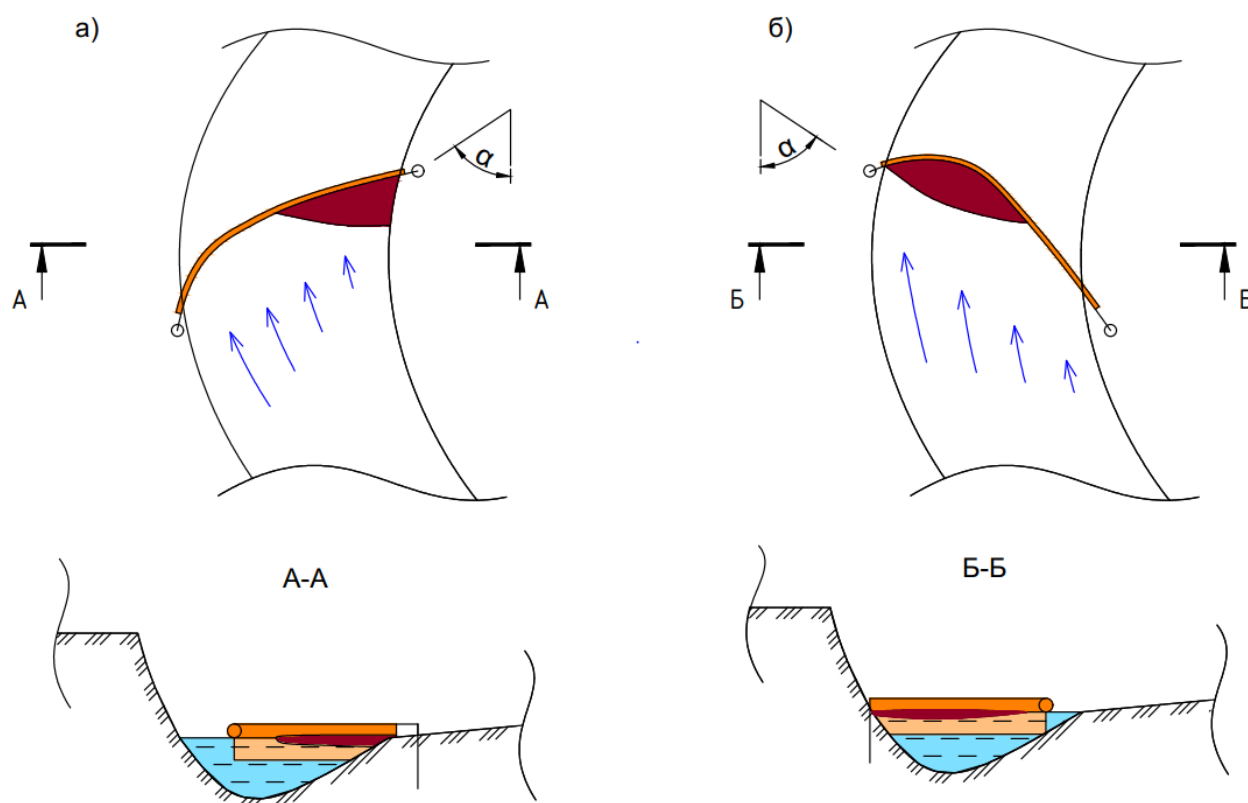


Рисунок 3.12 – Схема задержания нефтяного пятна в зависимости от варианта установки

а) при установке с крутого берега; б) при установке с пологого берега

В варианте а) в случае разлива нефть или нефтепродукт переместится к пологому берегу, откуда ее будет проще собирать, а также размещать емкости для сбора нефти. В варианте б), напротив, нефтяное пятно будет скапливаться на изгибе бонового заграждения возле крутого берега, где нефть будет не так удобно собирать из-за наличия обрыва перед водой. Кроме этого, в варианте б) нефтяное пятно будет скапливаться на участке с наибольшей скоростью течения, где, в соответствии с

[78, 110, 116, 144], возможен унос частиц нефти под заграждением. Также при проведении экспериментов по установке бонового заграждения были выявлены случаи, когда заграждение не выдерживало напора воды и в месте изгиба заграждения вода переливалась над боновым заграждением, что является недопустимым результатом, данный сбой в работе бонов представлен в п. 1.6.2.

3.2 Планирование эксперимента

Суть планирования заключается в том, чтобы показать статистическую значимость эффекта воздействия определенного фактора на изучаемую зависимую переменную. Основная цель – извлечение максимального количества объективной информации о влиянии изучаемых факторов на конечный результат с помощью наименьшего числа испытаний [151].

Объектом экспериментального исследования является боновое заграждение, размещенное на реке. Его установка может производиться по двум схемам: вдоль несущего каната и без него. Под действием течения после установки бонового заграждения на реке будет образован прогиб. Экспериментальным путем предполагается определить влияние угла установки бонового заграждения и добавление несущего каната на прогиб заграждения. Для точного определения факторов и параметров оптимизации эксперимент был разделен на три задачи.

1 задача: установка бонового заграждения с использованием несущего каната и без него на одном участке реки позволит определить параметры b и c в формуле (3.1). Это можно выявить, исключив удлинение троса a , а также дополнительные потери, вызванные распрямлением троса в местах крепления к опоре, которые в обоих случаях будут равными. Кроме того, можно определить натяжение троса Q бонового заграждения и сравнить экспериментальные значения с расчетной формулой (3.3). Было принято:

- основной фактор эксперимента: x_1 – вариант установки бонового заграждения (вдоль несущего каната / без несущего каната);

- параметр оптимизации: y_1 – длина троса бонового заграждения $l_{\text{полн } 1,2}$, м;
 y_2 – натяжение троса бонового заграждения $Q_{1,2}$, кН;

2 задача: при установке бонового заграждения без несущего каната можно определить расстояние от берега до точки изгиба l_R , расчётные значения которого определяются по формуле (3.13), а также определить полную длину бонового заграждения $l_{\text{полн}}$ и сравнить ее с расчетной формулой (3.8). Было принято:

- основной фактор эксперимента: x_2 – угол установки бонового заграждения α , град;

- параметры оптимизации: y_1 – длина троса бонового заграждения $l_{\text{полн}}$, м,
 y_3 – расстояние до точки изгиба l_R , м;

3 задача: при выборе берега для начала установки бонового заграждения могут быть получены разные результаты по длине плети бонового заграждения, положения точки изгиба и выборе наиболее оптимального из них:

- основной фактор эксперимента: x_3 – вариант берега для начала установки бонового заграждения (с крутого берега / с пологого берега);

- параметры оптимизации: y_1 – длина троса бонового заграждения $l_{\text{полн } 3,4}$, м,
 y_3 – расстояние до точки изгиба $l_{R3,4}$, м.

Параметры оптимизации частично повторяются во всех трех задачах, это связано с тем, что влияние рассматриваемых факторов x_1 – x_3 можно проанализировать по отдельности, тем самым уменьшив количество проводимых опытов. Таким образом, с учетом наличия трех повторных опытов удастся снизить количество проводимых экспериментов с 36 до 18.

Схема проведения эксперимента представлена на Рисунке 3.13.

Для каждого фактора приняты следующие уровни варьирования:

- x_1 . Может принимать только два значения: 1 – при установке бонового заграждения вдоль несущего каната; 2 – при установке бонового заграждения без несущего каната;

- x_2 . Угол установки бонового заграждения может приниматься до 90° . Для эксперимента были выбраны наиболее оптимальные значения, которые охватывают основную область исследования, с учетом минимизации числа проводимых

экспериментов. Основной уровень – 50° , интервал варьирования верхний – 75° , нижний – 25° ;

- x_3 . Может принимать только два значения: 3 – при начале установки бонового заграждения с пологого берега; 4 – при начале установки бонового заграждения с крутого берега.

Интервал варьирования для второго фактора составляет примерно 31%, поскольку область определения фактора x_2 лежит в диапазоне от 10° до 90° . Так как интервал варьирования составляет более 30%, он является широким.

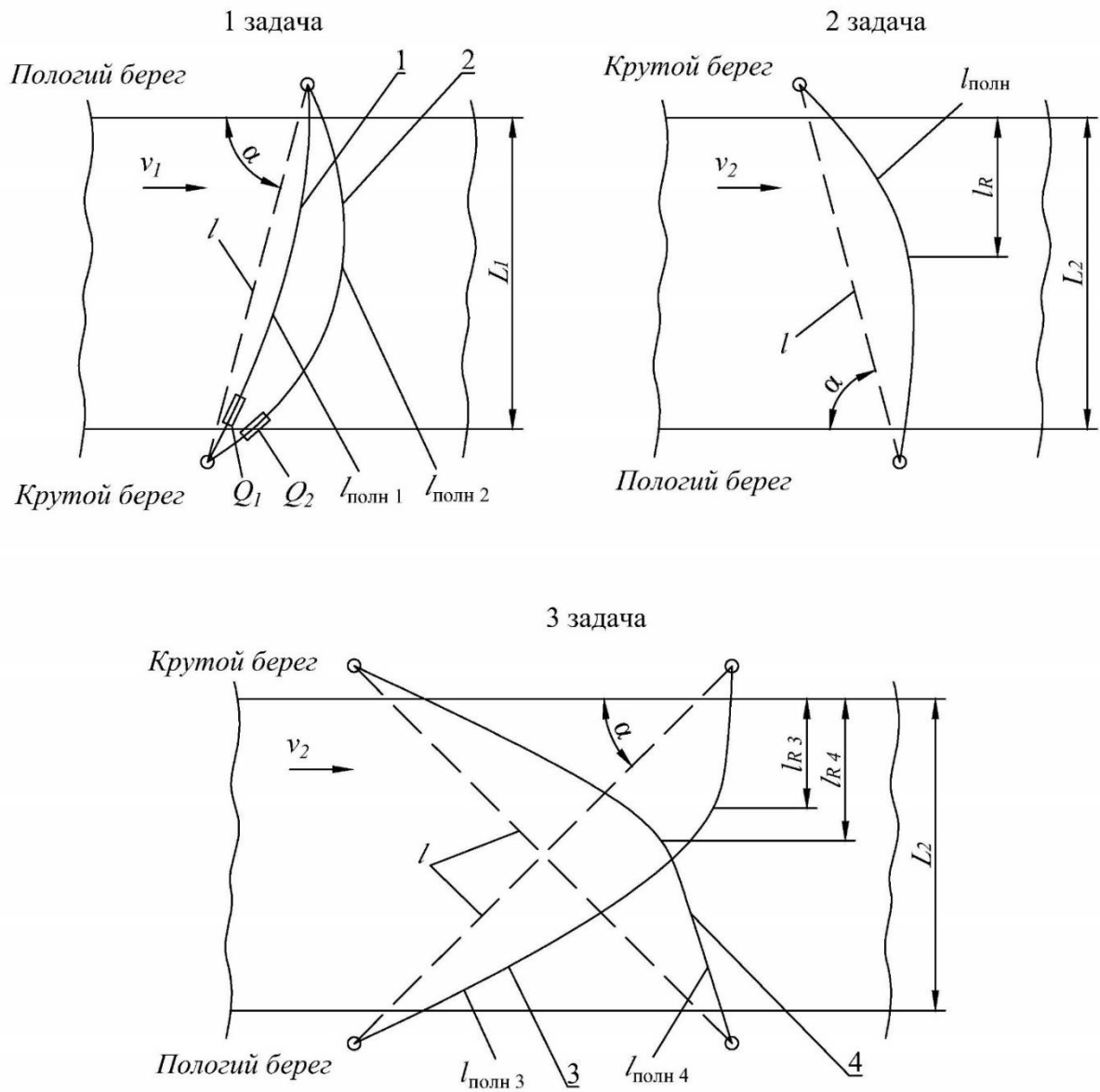
Для решения 1 задачи было проведено исследование на участке русла реки шириной 22,9 м. Решение 2 и 3 задачи проводилось уже на следующий год. В связи с тем, что подход к реке на данном участке стал недоступным (был перегорожен), было принято вынужденное решение сменить участок для проведения экспериментов с руслом шириной 16,6 м.

Экспериментальная модель представляет собой реку шириной в русле $L_1 = 22,9$ м, $L_2 = 16,6$ м. Скорость течения распределена по руслу следующим образом: v_1 составляет от 0,4 м/с до 0,7 м/с; v_2 составляет от 0,5 м/с до 0,8 м/с. Для замера скорости течения определялось время, за которое полый шарик перемещался по поверхности воды на 10 м на разных участках русла реки. Установка бонового заграждения под углом 75° , 50° производилась с помощью одной секции. Для угла 25° применялись две секции заграждения.

Измерение длин L , l , $l_{\text{полн}}$, $l_{\text{полн } 1}$, $l_{\text{полн } 2}$, l_R производилось с помощью измерительной рулетки *master hand* длиной 50 м, погрешность измерения – 0,5 см. Однако фактическая погрешность может быть больше из-за измерения длин по дуге, наличия провисаний рулетки. Угол α определялся по теореме Пифагора через тангенс, где для измерения катетов применялась та же рулетка. Усилие в тросе Q определялось с помощью измерителя натяжения ИН-642АМ, относительная погрешность – 1,5 %.

Определение минимального количества повторяющихся опытов производилось в соответствии с [152]. Для чего изначально проводилось по три повторных опыта. Далее по полученным результатам определялось, является ли

достаточным количеством повторных опытов для обеспечения заданной допустимой погрешности измерений.



1 – положение несущего каната бонового заграждения; 2 – положение бонового заграждения при его установке без несущего каната; 3 – положение заграждения при начале его установки с пологого берега; 4 – положение заграждения при начале его установки с крутого берега

Рисунок 3.13 – Экспериментальная схема бонового заграждения

Минимально необходимое количество повторных опытов определяется по формуле

$$n_{min} = f + 1, \quad (3.25)$$

где f – число степеней свободы, определяемое в зависимости от t_{np} по таблице критерия Стьюдента.

t_{np} критерий определяется по формуле

$$t_{np} = \frac{k_m \cdot \bar{t}}{\sigma}, \quad (3.26)$$

где k_m – заданная допустимая погрешность измерений, $k_m = 0,1$;

$\bar{t}$ – среднее значение случайной величины;

σ – среднеквадратичное отклонение измерений (дисперсия), которая определяется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (t - \bar{t})^2}{n}}, \quad (3.27)$$

где n – число проведенных экспериментов;

t – значение случайной величины.

Выполним расчет необходимого числа повторных опытов для первой серии опытов:

$$\bar{y}_1 = \frac{24,31 + 24,52 + 24,80}{3} = 24,54;$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(24,31 - 24,54)^2 + (24,52 - 24,54)^2 + (24,80 - 24,54)^2}{3}} = 0,20;$$

$$t_{np} = \frac{0,1 \cdot 24,54}{0,20} = 12,23;$$

Результаты проведенных измерений приведены в Таблице 3.3.

По критерию минимального числа повторных опытов для доверительной вероятности $P_d = 0,95$ ближайшее меньшее число t_{np} соответствует $f = 1$. Тогда минимальное число повторных опытов $n_{min} = f + 1 = 1 + 1 = 2$. Так как в данном примере $n = 3 > n_{min} = 2$ то количество опытов следует считать достаточным, а все результаты статистической обработки измерений – достоверными.

Таблица 3.3 – Результаты проведенных измерений

Номер опыта	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_3	решаемая задача
1 ₁	1	75	4	24,31	1,86	-	1
1 ₂	1	75	4	24,52	1,98	-	1
1 ₃	1	75	4	24,80	1,82	-	1
2 ₁	2	75	4	26,81	1,74	-	1
2 ₂	2	75	4	27,4	1,88	-	1
2 ₃	2	75	4	26,38	1,79	-	1
3 ₁	2	75	4	20,15	-	6,92	2
3 ₂	2	75	4	20,59	-	7,01	2
3 ₃	2	75	4	20,67	-	7,17	2
4 ₁	2	50	4	24,62	-	7,51	2
4 ₂	2	50	4	24,37	-	7,40	2
4 ₃	2	50	4	25,07	-	7,64	2
5 ₁	2	25	4	42,16	-	8,16	2, 3
5 ₂	2	25	4	42,71	-	8,21	2, 3
5 ₃	2	25	4	43,01	-	8,48	2, 3
6 ₁	2	25	3	43,51	-	7,47	3
6 ₂	2	25	3	44,16	-	7,60	3
6 ₃	2	25	3	44,39	-	7,71	3
Примечание: нижний индекс означает номер повторного опыта.							

Результаты расчета минимального количества повторных опытов представлены в Таблице 3.4.

Таким образом, изначально определенное количество опытов – 3 шт является достаточным. Проведение дополнительных экспериментов не требуется.

Фотографии проведенных экспериментов на участке реки шириной 22,9 м (задача 1) представлены на Рисунке 3.14, а шириной 16,6 м (задачи 2, 3) – на Рисунке 3.15.

Таблица 3.4 – Определение минимального количества повторных опытов

Номер опыта	y_1			y_2			y_3		
	$\bar{y}$	t_{np}	n_{min}	$\bar{y}$	t_{np}	n_{min}	$\bar{y}$	t_{np}	n_{min}
1	24,54	12,23	2	1,89	2,78	3	-	-	-
2	26,86	6,42	3	1,80	3,11	3	-	-	-
3	20,47	8,95	3	-	-	-	7,03	6,80	3
4	24,69	8,52	3	-	-	-	7,52	7,66	3
5	42,63	12,11	2	-	-	-	8,28	5,89	3
6	44,02	11,81	2	-	-	-	7,59	7,74	3



а)



б)

Рисунок 3.14 – Фотографии установки бонового заграждения на реке под углом 75°

а) вдоль несущего каната б) без него



а)



б)

Рисунок 3.15 – Фотографии установки бонового заграждения на реке под углом 25°

а) с пологого берега б) с крутого берега



а)



б)

Рисунок 3.16 – Фотографии натяжения несущего каната по разработанному способу:

а) предварительное натяжение несущего каната; б) после установки бонового заграждения

В Таблице 3.3 при определении u_2 в опыте №1 значения Q усилия в тросе были определены посредством разницы значений натяжения троса после установки

бонового заграждения и до его установки, чтобы исключить влияние предварительного натяжения несущего каната на результат.

Так, значение 1,86 кН получено как 2,92 кН - 1,06 кН. На Рисунке 3.16 представлены фотографии измерения натяжений несущего каната.

3.3 Анализ экспериментальных данных

Сравнение результатов проведенных экспериментов и расчетных данных приведено в Таблицах 3.5 - 3.7.

Таблица 3.5 – Результаты сравнения экспериментальных данных с расчетными по показателю y_1

№ опыта	Экспериментальные значения, м	Расчетные значения, м	Погрешность, %
1	24,54	23,74	3,38
2	26,86	25,61	4,89
3	20,47	19,44	5,30
4	24,69	23,99	2,90
5	42,63	41,84	1,88
6	44,02	43,04	2,28
Среднее значение погрешности, %			3,44

Таблица 3.6 – Результаты сравнения экспериментальных данных с расчетными по показателю y_2

№ опыта	Расчетные значения, кН	Экспериментальные значения, кН	Погрешность, %
1	2,21	1,89	14,63
2	2,21	1,80	18,40
Среднее значение погрешности, %			16,52

Эксперименты показывают, что расхождение по длинам u_1 и u_3 в среднем не превышает 4 %, по усилию u_2 не превышает 17 %. Данные погрешности вызваны тем, что испытания проводились на реке, где в отличие от стендовой установки русло реки имеет сложную конфигурацию в плане распределения скоростей и ширины, и глубины, так как река изгибается.

Таблица 3.7 – Результаты сравнения экспериментальных данных с расчетными по показателю u_3

№ опыта	Расчетные значения, м	Экспериментальные значения, м	Погрешность, %
3	7,03	6,89	2,08
4	7,52	7,27	3,39
5	7,28	7,94	4,32
6	7,59	7,21	5,32
Среднее значение погрешности, %			3,78

При решении **первой** задачи выявлено, что при установке бонового заграждения вдоль несущего каната (опыт №1) его длина $l_{полн1}$ по результатам эксперимента в среднем превышает расчетную на $a_{дон} = 0,57$ м. Таким образом, можно принять, что помимо удлинения несущего каната a существуют дополнительные потери $a_{дон}$, вызванные распрямлением троса в местах крепления его к опорам. При установке бонового заграждения без несущего каната (опыт №2) длина троса $l_{полн2}$ превысила расчетную на 1,25 м, эта разница включает в себя ранее определенную $a_{дон}$, а также дополнительную длину $c_{дон} = 0,68$ м, которую можно отнести к превышению расчетного параметра c , определяемого по формуле (3.7). Это вызвано тем, что установка бонового заграждения проводилась не профессиональной группой, а всего одним работником, что приводило к недостаточному натяжению оттяжки и распрямлению бонового заграждения в момент начала его крепления к опоре. Анализ величины натяжения несущего каната

Q показал, что экспериментальные значения нагрузки от течения ниже расчетных, на величину до 17 %, что можно объяснить такими факторами, как погрешности при измерении скорости в русле реки.

При решении **второй** задачи установлено, что при смене углов установки боновых заграждений длина троса бонового заграждения $l_{полн}$ и расстояние l_R являются близкими к расчетным, разница между значениями также объясняется $\alpha_{дон}$ и $C_{дон}$.

При решении **третьей** задачи установлено, что при смене берега для начала установки боновых заграждений длина троса бонового заграждения $l_{полн}$ и расстояние l_R являются близкими к расчетным. При этом разница между вариантами установки также соотносится, при установке заграждения с крутого берега полная длина $l_{полн}$ будет меньше на 1,41 м. Кроме этого, следует отметить, что при начале установки с пологого берега закрепить заграждение за опору было труднее, так как перемещаться с тросом в руках по крутому берегу неудобно. А также конец бонового заграждения возле крутого берега плыл заметно быстрее чем, во втором варианте, в связи с чем его труднее закрепить за опору при большей скорости. Стоит отметить, что успешная установка при таком способе была получена только с третьего раза, в отличии от второго варианта, где с первого раза удалось успешно установить заграждение. При проведении эксперимента также при начале установки заграждения с пологого берега образовался явный изгиб и заворот заграждения к обратной стороне возле крутого берега, что можно считать недопустимым «карманом», в отличии от другого варианта, где также есть изгиб, но при этом заграждение не меняет направление относительно течения. На основании перечисленного обоснован выбор берега для установки заграждения в пользу варианта установки с крутого берега.

При проведении экспериментов было выявлено, что на опоры действует значительная нагрузка даже на небольшой реке. Были неудачные попытки, когда опоры сдвигались и продавливали грунт перед собой (Рисунок 3.17 а) или изгибались под нагрузкой (опоры с сечением – «уголок»), а также был случай, когда опору полностью выдернуло из земли. На основе данных неудачных попыток опоры

в дальнейшем применялись из стальных труб 60х4, которые забивались на глубину не менее 1,5 м. Таким образом, подбор сечения опоры, глубина их забивки и свойства грунта играют большую роль для успешной установки бонового заграждения на реке.

Для того чтобы сэкономить время на установку заграждения, на предположительных рубежах задержания нефти предлагается заранее устанавливать опоры, особенно на крупных реках.



а)



б)

Рисунок 3.17 – Отклонение опоры при проведении эксперимента по установке заграждения

При исследовании установки бонового заграждения вдоль несущего каната было установлено, что необходимо натягивать несущий канат заранее, так как уже после установки бонового заграждения натянуть его не получится из-за давления потока воды, скорее порвется несущий канат, лебедка или поводки, чем «выпрямится» боновое заграждение, это было проверено при проведении экспериментов при попытке натянуть несущий канат при уже установленном боновом заграждении. При проведении эксперимента не использовались тиски (Рисунок 2.15) для снятия натяжения с лебедки, так как лебедка была рассчитана с запасом на такую нагрузку (до 40 кН). При проведении эксперимента поводки крепились к нижней части бона через каждые 4 м, за предусмотренные

конструкцией кольца, соединенные с несущим канатом. Было обнаружено, что поводки оттягивают и надрывают ткань нижней части бона (Рисунок 3.17 б). Для того, чтобы решить проблему с разрывом ткани бонового заграждения, необходимо предусмотреть дополнительную подшивку из прочной утолщенной ткани, которая будет воспринимать нагрузки от натяжения элемента продольного натяжения. На Рисунке 2.15 вид В представлена схема крепления подшивки.

На основании проведенных экспериментов были выполнены расчеты по п.3.1 с учетом дополнительных длин $a_{дон}$, $c_{дон}$, введение которых позволяет определить полную длину бонового заграждения $l_{полн}$ при неблагоприятных сценариях его установки. Параметр $a_{дон}$ при расчетах остается неизменным, так как он относится к удлинению в местах крепления к опоре. Длина $c_{дон}$ меняется в прямой зависимости от параметра c по формуле (3.7) с коэффициентом, равным 2,67, определенном экспериментально ($c_{дон}$ превышала c в 2,67 раза). Для большей наглядности была составлена зависимость между допустимыми углами установки боновых заграждений от ширины реки при различных скоростях течения. При этом было выбрано распространенное для реки соотношение $v_{max} / v_{min} = 1,5$, а также берег для начала установки заграждения – крутой, как более оптимальный с точки зрения допустимых углов установки. Данная зависимость представлена на Рисунке 3.18.

На Рисунке 3.18 для большей наглядности для максимальной скорости течения v_{max} приведена соответствующая ей средняя скорость $v_{ср}$.

Как видно из Рисунка 3.18, с уменьшением ширины перекрываемого русла реки уменьшается и допустимый угол установки бонового заграждения. Это связано с тем, что с уменьшением ширины русла реки величина удлинения бонового заграждения Δl пропорционально не уменьшается, так как в нее входят фиксированные длины a , $a_{дон}$, b . В связи с чем наблюдается такое явление, когда при малой ширине реки и высокой скорости течения не удастся добиться состояния, при котором не будут образованы «карманы» при установке бонового заграждения, т.е. не будет допустимого угла установки. В связи с чем при данных факторах, для того чтобы не возникали карманы, есть рекомендация в установке бонового заграждения

вдоль несущего каната, а в случае установки без несущего каната применять несколько рубежей задержания.

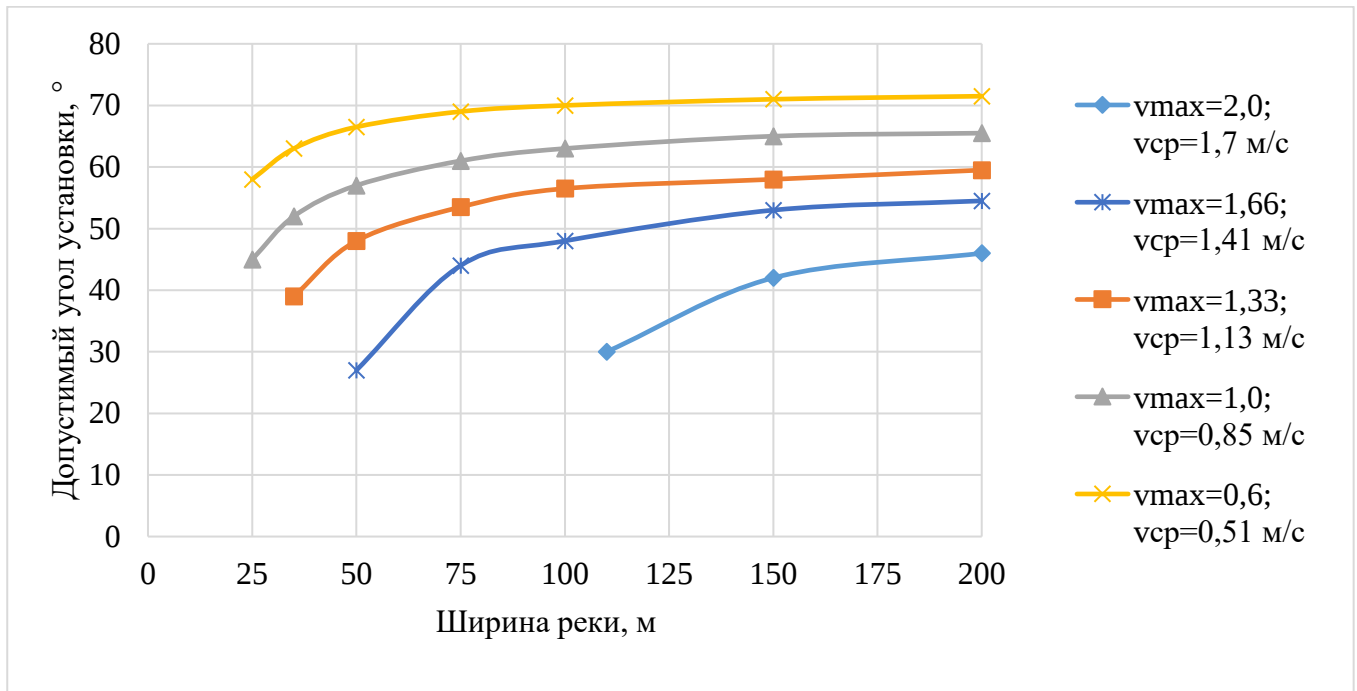


Рисунок 3.18 – Зависимость между допустимыми углами установки боновых заграждений от ширины реки при различных скоростях течения при неблагоприятных сценариях установки

Для способа установки бонового заграждения вдоль несущего каната по результатам проведенных экспериментов была выполнена проверка прочности опор и роликовых блоков.

В качестве опор использовались трубы диаметром 60х4 из стали Ст6, с $\sigma_m = 310$ МПа и $W = 1,13 \times 10^{-5} \text{ м}^3$. Расчет выполняется, как для балки с жесткой заделкой (Рисунок 3.19). Суть расчета заключается в сравнении напряжения, возникающего от изгиба с пределом текучести материала трубы, а также в определении запаса прочности.

Момент от натяжения троса

$$M = N \cdot b = 3,12 \cdot 0,25 = 0,78 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad (3.28)$$

где b – расстояние от поверхности земли до места крепления несущего каната достигало 0,25 м при проведении экспериментов;

N – величина натяжения несущего каната, достигающая 3,12 кН.

Максимальное напряжение, возникающее в трубе

$$\sigma_u = \frac{M}{W} = \frac{0,78 \cdot 10^3}{1,13 \cdot 10^{-5}} = 69,0 \text{ МПа.} \quad (3.29)$$

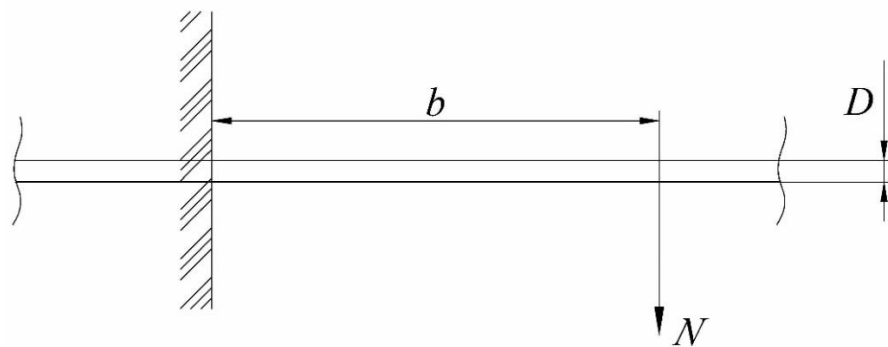


Рисунок 3.19 – Схема нагружения трубы

Так как $\sigma_u < \sigma_m$, следовательно, труба подходит в качестве опоры для данных условий, а коэффициент запаса прочности составляет 4,49.

Проверка прочности роликовых блоков заключалась в определении нагрузки, действующей на один поводок, сравнение ее с допустимым значением, а также в определении запаса прочности.

На поводки и роликовые блоки действует нагрузка от течения, поделенная на расстояние между оттяжками, с учетом неравномерного распределения нагрузки, определяемая по формуле

$$N_{\text{ролик}} = F_{\text{теч}} \cdot \frac{l_1}{l} \cdot k, \quad (3.30)$$

где $F_{\text{теч}}$ – нагрузка от течения, достигающая 1,98 кН при проведении эксперимента;

l_1 – расстояние между оттяжками, равная 4 м;

k – коэффициент неравномерного распределения нагрузки на каждую оттяжку, принятый равным 1,5.

$$N_{\text{ролик}} = 1,98 \cdot \frac{4}{20} \cdot 1,5 = 0,594 \text{ кН.}$$

В эксперименте применялись роликовые блоки, рассчитанные на нагрузку 6 кН, таким образом, данные роликовые блоки подходят для данных условий работы с коэффициентом запаса прочности более 10.

При проведении экспериментов по установке бонового заграждения вдоль несущего каната для уменьшения его провисания под действием течения он был предварительно натянут. При сравнении значений предварительного натяжения каната со значением нагрузки от течения выявлено, что она составляет в среднем 60 %. Таким образом с определенной точностью можно считать данное соотношение применимым и при других параметрах реки (ширины русла и скорости течения).

Была составлена зависимость между величиной предварительного натяжения несущего каната от ширины и средней скорости течения реки $v_{\text{ср}}$ (Рисунок 3.20). При расчете учитывалась высота подводной части заграждения, равная 0,35 м, и распространенное для реки соотношение $v_{\text{max}} / v_{\text{min}} = 1,5$. А также угол установки заграждения $\alpha = 30^\circ$.

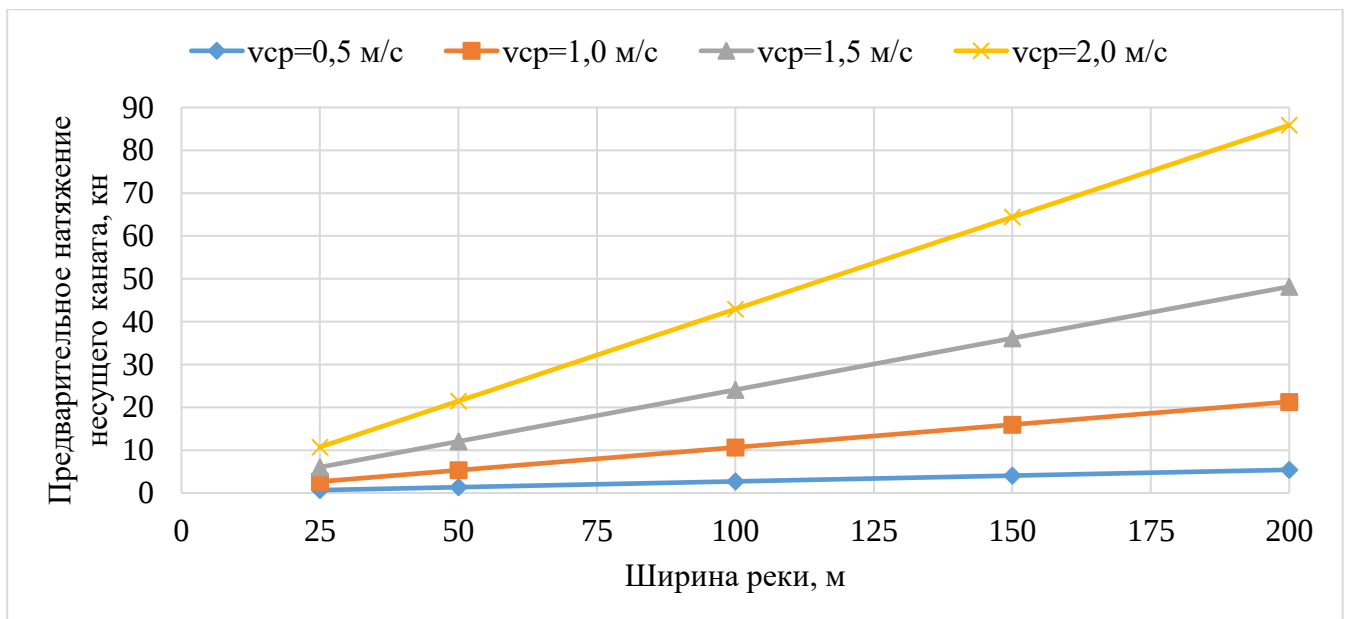


Рисунок 3.20 – Зависимость между предварительным натяжением несущего каната и шириной реки при разной средней скорости течения

Как видно из Рисунка 3.20, величина предварительного натяжения несущего каната варьируется в широком диапазоне в зависимости от ширины реки и скорости течения, при этом от скорости течения она меняется в квадратичной зависимости, в отличии от ширины реки.

Выводы по главе 3

1. По результатам расчета установлено и подтверждено экспериментально, что при начале установки бонового заграждения с пологого берега реки длина плети будет больше, чем при начале установки с крутого берега. Данный факт приводит к тому, что «карман» будет образован при меньшем угле установки бонового заграждения, кроме этого было выявлено, что осложняется процесс его установки. На основании данных факторов предпочтительнее начинать установку боновых заграждений на реках с крутого берега.

2. Расчетом определено и подтверждено экспериментально положение точки изгиба бонового заграждения, по которой далее определяется фактический угол установки заграждения. По достижению значения фактического угла установки 90° определялся допустимый запланированный угол установки заграждения. Составлена зависимость между допустимым углом установки заграждения от максимальной скорости течения в русле реки и ее ширины, из которой следует, что чем выше скорость течения и чем меньше ширина реки, тем меньший будет допустимый угол установки заграждения. Чем больше разница между максимальной и минимальной скоростью течения в русле, тем больше будет разница между вариантами начала установки с крутого и пологого берега в пользу первого.

3. Установлена зависимость между фактическим и запланированным углом установки заграждения, из которой следует, что чем меньший угол установки заграждения планируется, тем больше будет разница между фактическим и запланированным углом, а это значит, что при малом угле установки заграждения оно будет в большей части идти вдоль берега и перекроет русло только в конце по ходу течения. Так, при запланированном угле установки менее $11^\circ - 20^\circ$ по

отношению к направлению течения реки в зависимости от параметров русла реки график меняет свое направление, что говорит о том, что ниже данного угла нет смысла устанавливать боновое заграждение, так как фактический угол останется таким же или начнет увеличиваться.

4. Определена зависимость между предельными значениями скорости течения и ширины реки, при которых необходимо начинать использовать несущий канат для предотвращения разрыва бонового заграждения.

5. По результатам проведенных экспериментов по установке бонового заграждения вдоль несущего каната определено значение предварительного натяжения несущего каната для уменьшения его провисания при установке бонового заграждения, которое составляет примерно 60% от нагрузки от течения.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Выполнен анализ существующих методов и технических средств для локализации аварийных разливов нефти на подводных переходах нефтепроводов через реки. Разработана модель бонового заграждения с внутренним каркасом пружинного типа, которая обладает несминаемым каркасом, препятствующим переливу нефти через верхнюю часть бонового заграждения при локализации аварийных разливов нефти из трубопроводов, резервуаров и других емкостей на реках. При анализе удерживающей способности всплывающих боновых заграждений, устанавливаемых на подводных переходах нефтепроводов через реки выявлено, что они имеют малую высоту подводной части, для чего было внедрено гибкое полотнище в нижней части заграждения. Усовершенствован способ установки бонового заграждения вдоль несущего каната, где для облегчения процесса перемещения бонового заграждения вдоль несущего каната добавляется его предварительное натяжение, а также внедряются роликовые блоки, снижающие трение до 5 раз. Анализ величины натяжения несущего каната показал, что экспериментальные значения нагрузки от течения ниже расчетных на величину до 17 %, что можно объяснить такими факторами, как погрешностями при измерении скорости течения в русле реки.

2. Получена зависимость величины допустимого угла установки всплывающих боновых заграждений, установленных на подводных переходах нефтепроводов через реки от отношения глубины к ширине реки, расположения точек крепления заграждения к опорам относительно направления течения и ее скорости. Максимально допустимый угол их установки составляет от 55° до 80° по отношению к направлению течения реки в зависимости от комбинации данных факторов. Разработаны рекомендации по установке всплывающих боновых заграждений с определенным диаметром камеры плавучести в зависимости от толщины ледового покрова. Например, для диаметра камеры плавучести 0,15 м толщина льда должна быть не менее 0,027 м, иначе лед будет разрушен.

3. Для не всплывающих боновых заграждений установлена зависимость допустимого угла их установки от выбранного берега для начала их развертывания, ширины и распределения скоростей течения по руслу реки. Определено, что минимально допустимый запланированный угол установки не всплывающих боновых заграждений в зависимости от комбинации данных факторов составляет от 11° до 20° по отношению к направлению течения реки, так как при меньших его значениях из-за прогиба заграждения значительно увеличивается фактический угол установки. Расчетами определено и подтверждено экспериментально, что предпочтительнее начинать установку боновых заграждений на реках с крутого берега, так как при этом длина плети будет меньше, чем при начале установки с пологого берега, что уменьшает фактический угол установки заграждения и риск образования недопустимых «карманов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Липский В.К. Защита водных объектов при аварийных разливах нефти на нефтепроводах: диссертация на соискание ученой степени докт. технич. наук. – Минск., 2010. – 250 с.
- 2 Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 года, измененная Протоколом 1978 года к ней (MARPOL 73/78).
- 3 Международная конвенция по обеспечению готовности на случай загрязнения нефтью, борьбе с ним и сотрудничеству (OPRC).
- 4 Груздев А.А., Самойленко С.А., Красков В.А., Крам А.Л. Практика проведения учений по локализации и ликвидации аварийных разливов нефти // Трубопроводный транспорт нефти. – 2001. – №6. – С.15-17
- 5 Ким Д.П., Кислов А.И., Скибо В.И. Региональные учения по ликвидации аварий и их последствий на подводных переходах нефтепроводов через Енисей // Трубопроводный транспорт нефти. – 1996. – №9. – С. 21-24.
- 6 Кирнос В.И., Сабитов В.Я., Сабиров У.Н. Особенности ликвидации аварий на подводных переходах в зимних условиях // Трубопроводный транспорт нефти. – 1999. – №4. – с. 12-18.
- 7 Лебедич С.П., Хузин Р.А., Исмагилов А.Х. и др. Региональные учения по ликвидации аварий // Трубопроводный транспорт нефти. – 2000. – №2. – С.25-29.
- 8 Скибо В.И., Фридлянд Я.М., Козин И.В., Могилевич А.Г. Региональные учения по ликвидации аварий и их последствий на подводных переходах магистральных нефтепроводов в зимний период // Трубопроводный транспорт нефти. – 1998. – №9. – С.27-30.
- 9 Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7–ФЗ «Об охране окружающей среды».
- 10 Федеральный закон от 01.07.2007 № 74-ФЗ «Водный кодекс Российской Федерации».
- 11 Федеральный закон от 21.07.1997 г. № 116–ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

- 12 Федеральный закон Российской Федерации от 21.12.1994 № 68–ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
- 13 Федеральный закон от 30.11.1995 №174-ФЗ «Об экологической экспертизе».
- 14 Федеральный закон от 03.03.1995 №27-ФЗ «О недрах».
- 15 Федеральный закон от 13.05.1999 №96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха».
- 16 Постановление Правительства РФ от 16.12.2020 №2124 «Об утверждении требований к составу и оснащению аварийно-спасательных служб и (или) аварийно-спасательных формирований, участвующих в осуществлении мероприятий по ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов».
- 17 Постановление Правительства РФ от 31.12.2020 №2451 «Об утверждении Правил организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации, за исключением внутренних морских вод Российской Федерации и территориального моря Российской Федерации, а также о признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации».
- 18 Постановление Правительства РФ от 30.12.2020 №2366 «Об организации предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на континентальном шельфе Российской Федерации, во внутренних морских водах, в территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации».
- 19 Приказ Федеральной службы по надзору в сфере природопользования от 11.03.2021 №102 «Об утверждении методических рекомендаций по согласованию Федеральной службой по надзору в сфере природопользования планов предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов».
- 20 Приказ Министерства транспорта РФ от 30.05.2019 №157 «Об утверждении Положения о функциональной подсистеме организации работ по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в море с судов и объектов независимо от их ведомственной и национальной принадлежности».
- 21 Приказ Министерства транспорта РФ от 27.11.2020 №520 «Об утверждении Положения о функциональной подсистеме организации работ по

предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на внутренних водных путях с судов и объектов морского и речного транспорта единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций».

- 22 ГОСТ 34881-2022. Загрязнения боновые стационарные для локализации разлива нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия.
- 23 Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности» от 15 декабря 2020 года N 534.
- 24 РД 153-39.4-058-00. Типовой план по организации и технологии работ по ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов при авариях и повреждениях переходов магистральных нефтепродуктопроводов через крупные водные преграды (утв. Министерством энергетики РФ 4 ноября 2000 года).
- 25 Липский, В.К. Система организационно–технических мероприятий по защите водных объектов при залповых сбросах нефти: обзорная информация / В.К. Липский, Н.Л. Белорусова, Л.М. Спиридёнок, П.В. Коваленко. – Мн.: БЕЛНИЦ Экология, 2002. – 36 с.
- 26 Пластинин А.Е. Научные основы прогнозирования и анализа экологических последствий разливов нефти на внутренних водных путях: диссертация на соискание ученой степени докт. технич. наук. – Уфа., 2016. – 284 с.
- 27 Булатов А.И., Макаренко П.П., Шеметов В.Ю. Охрана окружающей среды в нефтегазовой промышленности. – М.: Недра, 1997. – 483 с.
- 28 Полозов М.Б. Экология нефтегазодобывающего комплекса: учебн.-метод. пособ. – Ижевск: изд-во «Удмуртский университет», 2012 г. – 174 с.
- 29 Гриценко А.И., Акопова Г.С., Максимов В.М. Экология. Нефть и газ. – М.: Наука, 1997. – 598 с.
- 30 Панов Г.Е., Петряшин Л.Ф., Лысяный Г.Н. Охрана окружающей среды на предприятиях нефтяной и газовой промышленности. – М.: Недра, 1986. – 244 с.

- 31 Булатов А.И. Волощенко Е.Ю, Кусов Г.В., Савенюк О.В. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин: Учеб. пособие. – Краснодар: Просвещение-Юг, 2011. – 603 с.
- 32 Техника и технологии локализации и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов: Справ. / И.А. Мерициди, В.Н. Ивановский, А.Н. Прохоров и др.; под ред. И.А. Мерициди. – СПб.: НПО «Профессионал», 2008. – 824 с.: ил.
- 33 Тетельман В.В., Язев В.А. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. Учебное пособие. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2009. – 352 с.
- 34 Макласов В.В., Креопалов В.В., Киселева А.И., Шкляр Т.Л., Нарциссова С.Ю. Обеспечение техногенной безопасности и актуальные проблемы экологии: учебное пособие / В.В. Макласов, В.В. Креопалов, А.И. Киселева, Т.Л. Шкляр, С.Ю. Нарциссова. Под ред. В.В. Попадейкина. – М.: Академия МНЭПУ. – 2020. – 278 с.
- 35 Gill C. The wreck of the Torrey Canyon / Booker F., Soper T. // David and Charles, Newton Abbot. – 1967. – P. 12.
- 36 Нельсон–Смит, А. Нефть и экология моря / А.Нельсон–Смит. – М.: «Прогресс», 1977. – 302 с.
- 37 Нунупаров, С.М. Предотвращение загрязнения моря судами / С.М. Нунупаров. – М.: «Транспорт», 1979. – 336 с.
- 38 Подавалов Ю.А. Экология нефтегазового производства / Ю.А. Подавалов. – Москва: Инфра-Инженерия, 2010. – 416 с.
- 39 Пушкарева М.В., Лейбович Л.О., Чиркова А.А., Коноплев А.В. Оценка многосредового риска для здоровья населения, проживающего на территориях интенсивной нефтедобычи // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2015. – №1 – С.27-30.
- 40 Сакович, Н.Е.: Методы и средства ликвидации последствий разливов нефти и нефтепродуктов: Монография / Н.Е. Сакович – Брянск. Издательство Брянской ГСХА, 2012. – 198 с.

- 41 Афонина Т.Е. и [др.]. Современное состояние земель, загрязненных нефтью при аварийных разливах, на территории иркутской области // Природообустройство. 2015. №5. С. 88-94.
- 42 Давыдова С.Л., Тагасов В.И. Нефть и нефтепродукты в окружающей среде: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2004. – 163 с.
- 43 Ларионов М.В. Теоретическая и прикладная экология: учебное пособие для вузов / М. В. Ларионов. – Саратов: Саратовский источник, 2019. – 186 с.
- 44 Габдуллин А.М. Исследование процессов локализации и сбора жидких углеводородов в системах добычи и трубопроводного транспорта: диссертация на соискание ученой степени канд. технич. наук. – Уфа., 2005. – 137 с.
- 45 Знобищев Г.П. Новые технологии обеспечения безопасности природно-территориальных комплексов в нефтегазовой отрасли: диссертация на соискание ученой степени канд. технич. наук. – Уфа., 2009. – 155 с.
- 46 Пиковский, Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде / Ю.И. Пиковский. – М.: Изд-во Московского университета, 1993. – 163 с.
- 47 Чижов, Б. Е. Деградационно–восстановительная динамика лесных фитоценозов после нефтяного загрязнения / Б. Е.Чижов, А. И. Захаров, Г.А. Гаркунов //Леса и лесное хозяйство Западной Сибири – 1998. – Вып. 6. – Тюмень: Изд-во ТГУ, 1998. – С. 160-172.
- 48 Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 376 с.
- 49 Липский, В.К. Исследование процессов фильтрации углеводородных жидкостей в пористые среды / В.К. Липский, М.Е.Хорун // Вестник Полоцкого государственного университета. Прикладные науки. – 2004. – № 12. – С. 122-127.
- 50 Липский, В.К. Прогнозирование последствий загрязнения земель при авариях на нефтепроводах / В.К. Липский, М.В. Лурье М.Е. Хорун // Вестник Полоцкого государственного университета. Прикладные науки. – 2005. – № 3. – С. 116-119.
- 51 Исмаилов Н.М., Пиковский Ю.И. Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. – М., Наука, 1988. – 214 с.

- 52 Егоров, Н.Н., Шипулин Ю.К. Особенности загрязнения подземных вод и грунтов нефтепродуктами // Водные ресурсы. – 1998. – Том. 25. – № 5. – С. 598–602
- 53 Мамаев, А.Б. Об испарении нефтяных пленок с водной поверхности / А.Б. Мамаев, М.П. Нестерова, А.В. Удовенко // Водные ресурсы. – 1991. – №3. – С. 192–195.
- 54 Лиштван, И. И. Миграция нефти в природных капиллярно–пористых системах / И. И. Лиштван, А. Э. Томсон, Н. Е. Сосновская, Т. В. Соколова, В. С. Пехтерева. // Природные ресурсы (Межведомственный бюллетень). – 2006. – № 3. – С. 113–120.
- 55 Васильев, С.В. Экологический риск воздействия на лесные и болотные экосистемы / С.В. Васильев //Исследования эколого–географических проблем природопользования для обеспечения территориальной организации и устойчивости развития нефтегазовых регионов России: Теория, методы и практика. – Нижневартовск: НГПИ, ХМРО РАЕН, ИОА СО РАН, 2000. – С. 170–174.
- 56 Иванов К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах. – Мн.: Гидрометеиздат, 1975. – 280 с.
- 57 Иванов, К.Е. Гидрология болот / К.Е. Иванов. – Л.: Гидрометеиздат, 1953. – 296 с.
- 58 Аветов Н.А., Шишконокова Е.А. Нефтяное загрязнение болот Западной Сибири // Природа – 2010. – №11. – С. 14–24.
- 59 Хасанов И.Ю. Нефтяные загрязнения болот и их очистка // Вестник академии наук Республики Башкортостан. – 2020. – №3 (99). – С. 33–40.
- 60 Поздеев А.Г., Кузнецова Ю.А., Лоскутов Ю.В., Трухан А.Е. Анализ последствий разрушения подводных переходов нефтепроводов и их влияния на экологическое состояние водотоков // Вестник Марийского государственного технического университета. – 2011. – №1. – С.59–74.
- 61 Черняев, В.Д. Ликвидация аварий на подводных переходах / В.Д. Черняев, К.А. Забела // Трубопроводный транспорт нефти. – 1995. – № 3 – С. 6–10.

- 62 Безопасность пересечений трубопроводами водных преград / К.А. Забела, [и др.]; под общ. ред. К.А. Забелы. – М.: ООО «Недра–Бизнесцентр», 2001. – 195 с.
- 63 Бородавкин, П.П. Охрана окружающей среды при строительстве и эксплуатации магистральных трубопроводов / П.П. Бородавкин, Б.И.Ким. – М.: Недра, 1981. – 160 с.
- 64 Телегин, Л. Г. Охрана окружающей среды при сооружении и эксплуатации газонефтепроводов / Л. Г. Телегин, Б.И.Ким. – М., 1988. – 188 с.
- 65 Московченко Д.В., Бабушкина А.Г. Нефтяное загрязнение поверхностных вод на территории ХМАО-Югры // Экология и промышленность России. – 2014. – №4. – С.34-38.
- 66 Галинуров И.Р. и [др]. Оценка отдалённых последствий нефтяного загрязнения паводково-пойменных комплексов малых рек // Нефтегазовое дело. – 2011. – №2. – С.152-166.
- 67 Патин С.А. Нефтяные разливы и их воздействие на морскую среду и биоресурсы. – М.: Изд-во ВНИРО, 2008. – 508 с.
- 68 Мокроусов В.И. К вопросу об авариях магистральных нефтепроводов / Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2015. – №11-1. – С. 175-180
- 69 Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. – М.: Ин-октаво, 2005. – 368 с.
- 70 Липский, В.К. Технические средства защиты водных объектов при аварийных разливах нефти / В.К. Липский, И.И. Лиштван. – Новополюцк: ПГУ, 2009. – 304с.
- 71 Липский, В.К. Технические средства для защиты водных объектов от нефтяных загрязнений / В.К. Липский, В.Е. Савенок // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: Сб. научн. трудов. / УО «ПГУ». – Новополюцк, 2006. – С. 194–215.
- 72 Чебан Е.Ю. Научно-методические основы совершенствования организации работ по предупреждению и ликвидации разливов нефти на внутренних водных путях:

диссертация на соискание ученой степени докт. технич. наук. – Н. Новгород., 2020. – 363 с.

- 73 Ресурсосберегающие технологии и экологическая безопасность на магистральных нефтепроводах / Н.Я. Багаутдинов, О.А. Макаренко, Б.Н. Мастобаев, А.М. Шаммазов. – СПб.: Недра, 2012. – 472 с.
- 74 Нельсон–Смит, А. Нефть и экология моря / А.Нельсон–Смит. – М.: «Прогресс», 1977. – 302 с.
- 75 Нунупаров, С.М. Предотвращение загрязнения моря судами. – М.: «Транспорт», 1979. – 336 с.
- 76 Комплексная система локализации и сбора нефти при аварийных разливах/ А.А. Калимуллин, И.Ю. Хасанов, Р.Ф. Каримов // Нефтяное хозяйство. – 2002. – № 4. – С. 104-106.
- 77 Хасанов И. Ю. Современные технологии и технические средства защиты природных комплексов от отрицательного воздействия при добыче и транспортировке нефти. – Уфа: Гилем, Башк. энцикл., 2015. – 256 с.
- 78 Применение боновых заграждений при ликвидации разливов нефти. Технический информационный документ №3 // Itopf: [сайт]. – URL: https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/TIPS_TAPS_new/TIP_3_2011_RU_FINAL.pdf (дата обращения: 04.07.2023).
- 79 Молчанова О.С., Нестерова М.П., Антонова Н.М. Средство борьбы с аварийными разливами нефти // Химия в интересах устойчивого развития. – 1996. – №4. – С. 133–138.
- 80 Молчанова О.С. [и др.] Физико–химические методы защиты водно–болотных экосистем от нефтяного загрязнения // Нефтяное хозяйство. – 1992. – № 3. – С. 35-37.
- 81 Проблемы химического загрязнения вод мирового океана: сб. науч. тр.: в 9 т. / под ред. М.П. Нестеровой. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. – Т. 8. – 206 с.
- 82 Каменщиков, Ф.А. Удаление нефтепродуктов с водной поверхности и грунта / Ф.А. Каменщиков, Е. И. Богомольный. – М: НИЦ «Регулярная и хаотическая

динамика»: Институт компьютерных исследований, 2006.
– 528 с.

- 83 Габдуллин А.М., Мингулов Ш.Г., Бадретдинов Р.Г., Хасанов И.Ю. Теоретические аспекты локализации нефтяного загрязнения на поверхности воды затопленными газовыми струями // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов: Сб. научн. тр. ИПТЭР. – Уфа: ТрансТЭК, 2004. – №63. – с.243-245.
- 84 Консейсао А.А. да. Ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов с поверхности воды с помощью нефтесборщиков адгезионного типа: диссертация на соискание ученой степени канд. технич. наук. – Уфа., 2002. – 136 с.
- 85 Консейсао А.А. да. Разработка новых сорбентов и адгезионных нефтесборщиков для сбора аварийных разливов углеводородов: диссертация на соискание ученой степени докт. технич. наук. – Уфа., 2008. – 339 с.
- 86 Патент РФ 2114244 Устройство для сбора нефти с поверхности воды / И.Ю. Хасанов. – 1998. №18.
- 87 Шаммазов А.А. Совершенствование методов и средств ликвидации последствий аварий на магистральных нефте- и нефтепродуктопроводах: диссертация на соискание ученой степени канд. технич. наук. – Уфа., 2000. – 132 с.
- 88 Шлапаков А.В. Выбор технологии и технических средств локализации разливов нефти и нефтепродуктов на акваториях нефтяных промыслов: диссертация на соискание ученой степени канд. технич. наук. – Москва., 2009. – 138 с.
- 89 Ахметзянов Н.С., Танатаров М.А., Абдрахимов Ю.Р. Методика определения эффективности применения сорбентов для удаления нефти с поверхности воды при отрицательных температурах окружающей среды // Доклад на II Всероссийской научно-технической конференции «Техническая диагностика, промышленная и экологическая безопасность». – Уфа, 1996 – С. 146-150.
- 90 Хасанов И.Ю., Рогозин В.И., Нагуманов К.Н. Сбор нефти с поверхности воды сорбентами волокнистой структуры // Наука – образование – производство в решении экологических проблем. – Уфа: УГАТУ, 2002. – С.162-164

- 91 Хлесткин Р.Н., Самойлов Н.А. Исследование сорбционных свойств поглотителей для сбора нефти и нефтепродуктов при аварийных разливах // Башкирский химический журнал. – 1998. – Т.5. - №3. – С. 56-58.
- 92 Монин, А.С. Черные приливы / А.С. Монин, В.И. Войтов. – М: Молодая гвардия, 1984. – 160 с.
- 93 Кормак, Д. Борьба с загрязнениями моря нефтью и химическими веществами / Д. Кормак. – М.: Транспорт, 1989. – 365 с.
- 94 Егорова Н.А., Малышкин Д.А. О модернизации конструкции боновых заграждений // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2014. – №2. С. 82-91.
- 95 Пятибрат В.П., Сальников А.В. Оценка эффективности боновых заграждений на водных потоках // Ресурсы европейского севера. Технологии и экономика освоения. – 2015. – №1. – С. 47-53.
- 96 Мальцева Т.А., Попова О.В. Боновые заграждения как эффективное средство ликвидации нефтяных разливов // Инженерный вестник Дона. – 2016. – №4. – С. 148-161.
- 97 Султанмагомедов С.М., Кунафин Р.Н., Султанмагомедов Т.С., Хасанов Р.Р., Кантемиров И.Ф. (2018). Система стационарных всесезонных боновых заграждений с переменной плавучестью – «Стабонза» и «Стабонза-шельф». Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 7, 86-95.
- 98 Пат. 2599560 Рос. Федерация. МПК E02B 15/00. Боновое заграждение переменной плавучести [Текст] / Кунафин Р.Н., Кунафин Т.Р.; заявитель и патентообладатель Кунафин Р.Н. - №2015129736/13; заявл. 20.07.2015; опубл. 10.10.2016 Бюл. №28. – 6 с.
- 99 Пат. 147605 Рос. Федерация, МПК E02B 15/06. Всплывающее боновое заграждение [Текст] / Михалев В.В.; заявитель и патентообладатель ООО «ЛЕССОРБ» – №2014127030/13; заявл. 02.07.2014; опубл. 10.11.2014, Бюл. №31. – 7 с.

- 100 Хайруллин Д.Р., Султанмагомедов С.М. Разработка всплывающего бонового заграждения, способного работать в ледовых условиях на реках / Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2020. №2 – С. 19-23.
- 101 В.Г. Шрам, Ю.Ф. Кайзер и др. Применение всплывающих боновых заграждений на примере локализации аварийного разлива нефтепродуктов в г. Норильске / Экология и промышленность России. – 2022. – №20. – С. 10-15.
- 102 Ликвидация разливов нефти на арктическом шельфе. Передовой международный опыт: научное издание / С. Поттер [и др.] – М., 2013. – 142 с.
- 103 Пат. 2646896 Рос. Федерация. МПК E02B 15/00. Бонное заграждение переменной плавучести на нефтяных морских платформах [Текст] / Бахтизин Р.Н., Кунафин Р.Н., Кунафин Т.Р., Султанмагомедов С.М.; заявитель и патентообладатель «УГНТУ» – №2017118889; заявл. 30.05.2017; опубл. 12.03.2018, Бюл. №8. – 7 с.
- 104 Мансуров М.Н., Сурков Г.А., Журавель В.И., Маричев А.В. Ликвидация аварийных разливов нефти в ледовых морях / Под. общ. ред. М.Н. Мансурова – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2004. – 424 с.
- 105 Гумеров А.Г., Азметов Х.А., Гумеров Р.С. Техническая эксплуатация подводных переходов трубопроводов. – М.: Недра, 2003. – 300 с.
- 106 Пат. 2370593 Рос. Федерация. МПК E02B 15/00. Способ защиты покрытого льдом водоема от разливов нефти [Текст] / Одаренко О.С., Одаренко О.Б.; заявитель и патентообладатель ООО «Северное море» – №2008106889/03; заявл. 15.02.2008; опубл. 20.10.2009, Бюл. №29. – 4 с.
- 107 Пат. 2605755 Рос. Федерация. МПК E02B 15/04. Способ установки бонового заграждения подо льдом проточного водоема для сбора нефтепродуктов [Текст] / Готовский А.В., Гомонай М.В.; заявитель и патентообладатель Готовский А.В., Гомонай М.В. – №2014143900/13; заявл. 30.10.2014; опубл. 27.12.2016, Бюл. №36. – 7 с.
- 108 Зубов В.Г. Механика. – М.: Наука, 1978. – 352 с.
- 109 СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.

- 110 Н82.00.00.000 РЭ. Ограждение боновое УЖ-2М-В 20/700 Руководство по эксплуатации. – ООО «Нефтетранстехника», 2022. – 25 с.
- 111 Комаровский Д.П., Липский В.К., Лурье М.В. Исследование обтекания бонового заграждения // Безопасность и надежность трубопроводного транспорта: Сб. науч. тр. – Новополоцк: ПГУ, 2000. – Вып. 1. – С. 175-182.
- 112 Комаровский Д.П., Стеняева Ю.В. Экспериментальная установка для исследования моделей боновых заграждений // Безопасность и надежность трубопроводного транспорта. Сб. науч. тр. – Новополоцк: ПГУ, 2002. Вып. 2. – С. 159-172.
- 113 Комаровский Д.П. Лабораторные исследования бонового заграждения // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: Материалы III науч.-техн. конф. – Новополоцк: ПГУ, 2000. – С. 198- 201.
- 114 Комаровский Д.П., Липский В.К., Лурье М.В. Взаимодействие слоя нефти на поверхности потока с боновым заграждением // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2002. – Т. 1, № 2. – С. 28-34.
- 115 Комаровский Д.П., Липский В.К. Взаимодействие нефтяного пятна на поверхности водотока с боновым заграждением // Природные ресурсы. – 2002. – № 4. – С. 113-116.
- 116 Комаровский Д.П., Лурье М.В., Липский В.К. Повышение удерживающей способности бонов на водотоках // Технологии транспорта и хранения нефти и нефтепродуктов. – 2014. – №3 (15). – С. 27-31.
- 117 Комаровский Д.П., Липский В.К., Лурье М.В. Критерий для оценки эффективности работы бонового заграждения на водотоке // Транспорт и хранение нефтепродуктов. – 2002. – № 4. – С. 15- 19.
- 118 Чебан Е.Ю. Совершенствование судовых средств локализации и ликвидации разливов нефти на внутренних водных путях: диссертация на соискание ученой степени канд. технич. наук. – Уфа., 2005. – 145 с.
- 119 Пат. №4320991 США. МПК E02B 15/04. Inflatable equipment for use a buoyant boom [Текст] / Bernard T. Rogers - №43,160; заявл. 29.05.1979; опубл. 23.03.1982. – 13 с.

- 120 Пат. №645547 СССР. МПК E02B 15/04. Боновое ограждение [Текст] / Пер Олоф Еберг - №1643252; заявл. 31.03.1971; опубл. 30.01.1979. – 3 с.
- 121 Пат. 5238327 США. МПК E02B 15/06. Dual-chamber inflatable oil boom [Текст] / Russell M. Blair, Edward T. Tedeschi. - №865,954; заявл. 09.04.1992; опубл. 24.08.1993. – 8 с.
- 122 Пат. 106263 Рос. Федерация. МПК E02B 15/06. Боновое ограждение [Текст] / Бурдин А.А., Фирсов А.Ю.; заявитель и патентообладатель ООО «Экосервис-Нефтегаз» - №2011102496/21; заявл. 25.01.2011; опубл. 10.07.2011. – 5с.
- 123 ГОСТ Р 53389-2009. Защита морской среды от загрязнения нефтью. Термины и определения.
- 124 Идрисов Р.Х. [и др.] Оценка эффективности средств для ликвидации аварийных разливов нефти при пересечении магистральными трубопроводами водных преград // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. – 2014. – №2. – С. 407-424.
- 125 ТУ 4834-002-20671179-99. Ограждение "УЖ-2М", 2000.
- 126 Рамазанов Д.С. Оценка эффективности боновых ограждений для ликвидации аварийных разливов нефти при пересечении магистральным трубопроводом водных преград / Труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня основания Томского политехнического университета. Проблемы геологии и освоения недр. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2016. – С. 1072-1074.
- 127 Рамазанов Д. С. Оценка эффективности боновых ограждений для ликвидации аварийных разливов нефти при пересечении магистральным трубопроводом водных преград / Д. С. Рамазанов; науч. рук. М. Р. Цибульникова // Проблемы геологии и освоения недр: труды XIX Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 70-летию юбилею Победы советского народа над фашистской Германией, Томск, 6-10 апреля 2015 г.: в 2 т. – Томск : Изд-во ТПУ, 2015. – Т. 2. – [С. 725-728].

- 128 Пат. 2556900 Рос. Федерация. МПК E02B 15/06, E02B 15/04. Устройство для локализации разливов нефти на реке и способ его постановки [Текст] / Одаренко О.Б., Евдокимов В.В., Иванов А.Ю., Козлов В.А.; заявитель и патентообладатель Одаренко О.Б. – №2014112773/13; заявл. 03.04.2014; опубл. 20.07.2015, Бюл. №20. – 5 с.
- 129 Султанмагомедов С.М, Хайруллин Д.Р., Кунафин Р.Н. Разработка бонового заграждения с внутренним каркасом пружинного типа / Socar proceedings, 2021. – С.105-114.
- 130 Султанмагомедов С.М, Хайруллин Д.Р., Разработка бонового заграждения с внутренним каркасом пружинного типа // Материалы 72-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. В 2 т. / отв. ред. Р.У. Рабаев. – Уфа: УНПЦ «Издательство УГНТУ», 2021. – 543 с.
- 131 Пат. 213645 Рос. Федерация. МПК E02B 15/06, E02B 15/04. Секция бонового заграждения [Текст] / Хайруллин Д.Р., Султанмагомедов С.М., Султанмагомедов Т.С.; заявитель и патентообладатель Хайруллин Д.Р. – №2022103534; заявл. 11.02.2022; опубл. 21.09.2022, Бюл. №27. – 6 с.
- 132 ГОСТ Р 50753-95. Пружины винтовые цилиндрические сжатия и растяжения из специальных сталей и сплавов. Общие технические условия
- 133 Липский В.К. [и др.] Выбор рубежей задержания при аварийных разливах на магистральных нефтепродуктопроводах // Вестник Полоцкого государственного университета. 2016. №16. С. 173-177.
- 134 Хайруллин Д.Р. [и др.] Разработка новых методов защиты склонов от водной эрозии / Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2020. – №5-6. – С. 67-70.
- 135 Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах: Серия 27. Выпуск 1 / Колл. авт. – 2-е изд., испр. – М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2002. – 120 с.
- 136 Руководство по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах

- магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов». Серия 08. Выпуск 30. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2016. – 114 с.
- 137 Туркина Г.И., Чура Н.Н., Туркин В.А. Оценка риска в планах ликвидации разливов нефти для объектов ее транспорта // Нефтяное хозяйство. – 2005. – №12.
- 138 География Еврейской автономной области: общий обзор [Электронный ресурс] / отв. ред. Е.Я. Фрисман. Электронные текстовые данные. – Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН, 2018. – 408 с.
- 139 ГОСТ 2688-80. Канат двойной свивки типа ЛК-Р конструкции 6х19 (1+6+6/6)+1 о. с. Сортамент. Издание (май 2011 г.) с изменениями N 1, 2.
- 140 ВСН 010-88 Строительство магистральных трубопроводов. Подводные переходы.
- 141 Хайруллин Д.Р., Султанмагомедов С.М. Совершенствование всплывающего бонового заграждения, способного работать в ледовых условиях на реках / Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2024. – №1. – С. 105-117.
- 142 Разработка способа установки боновых заграждений на реках при наличии ледового покрова // Трубопроводный транспорт-2022: тезисы докладов XVII Международной научно-практической конференции / редкол: Р.Н. Бахтизин, С.М. Султанмагомедов и др. – Уфа: изд-во УГНТУ, 2022. – С.261-263.
- 143 Макаревич А.А. Речной сток и русловые процессы: пособие / А. А. Макаревич, А. Е. Яротов. – Минск: БГУ, 2019. – 115 с.: ил.
- 144 Yang Shi, Shaowu Li. Experimental study on containment of moderate-viscous oil by floating boom subject to waves and currents // Applied Ocean Research. – 2019. – №94 (102003). – С.1-17.
- 145 Пат. 2808239 Рос. Федерация. МПК E02B 15/06, E02B 15/04. Способ установки бонового заграждения [Текст] / Хайруллин Д.Р., Султанмагомедов С.М., Султанмагомедов Т.С.; заявитель и патентообладатель Хайруллин Д.Р. – №2023103292; заявл. 08.10.2022; опубл. 28.11.2023, Бюл. №34. – 7 с.

- 146 Выбор мест установки боновых заграждений на реках // Трубопроводный транспорт – 2022: тезисы докладов XVII Международной научнопрактической конференции / редкол: Р.Н. Бахтизин, С.М. Султанмагомедов и др. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2022. – 407с.
- 147 Асламазов Л.Г., Варламов А.А. Удивительная физика. – М.: Наука. Гл. ред. физ. мат. лит., 1988. – 160 с. (Б-чка «Квант». Вып. 63.).
- 148 Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В. Речные излуины. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2004. – 371 с.
- 149 Хайруллин Д.Р., Султанмагомедов С.М., Хасанов Р.Р. Разработка способа установки бонового заграждения через реку при быстром течении / Экология и промышленность России. – 2024. – Т.28. – №2. – С. 19-25.
- 150 Хайруллин Д.Р., Султанмагомедов С.М., Султанмагомедов Т.С. Выбор берега при установке боновых заграждений на реках / Экология и промышленность России. – 2023. – Т.27. – №8. – С. 22-26.
- 151 Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М., «Наука». 1976. – 278 с.
- 152 Бойко А.Ф., Кудеников Е.Ю. Точный метод количества повторных опытов / Вестник Белгородского Государственного технологического университета им В.Г. Шухова. – 2016. – №8. – С.128-132.

Приложение А
(рекомендуемое)
Патенты

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 213645

Секция бонового заграждения

Патентообладатель: **Хайруллин Дамир Ринардович (RU)**

Авторы: **Хайруллин Дамир Ринардович (RU),
Султанмагомедов Султанмагомед Магомедтагирович (RU),
Султанмагомедов Тимур Султанмагомедович (RU)**

Заявка № **2022103534**

Приоритет полезной модели **11 февраля 2022 г.**

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации **21 сентября 2022 г.**

Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает **11 февраля 2032 г.**



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

документ подписан электронной подписью
Сертификат 68b80077e14e40f0a94e6bd24145d5c7
Владислав Зубов Юрий Сергеевич
Действителен с 26.05.2022 по 26.05.2023

Ю.С. Зубов

Рисунок А.1 – Патент на полезную модель «Секция бонового заграждения»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) RU (11) **2 808 239** (13) C1

(51) МПК

*E02B 15/06 (2006.01)**E02B 15/04 (2006.01)*

(52) СПК

*E02B 15/06 (2023.08)**E02B 15/04 (2023.08)*

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 28.11.2023)

(21)(22) Заявка: **2023103292**, 08.10.2022(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
08.10.2022Дата регистрации:
28.11.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 08.10.2022

(45) Опубликовано: **28.11.2023** Бюл. № **34**(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2556900 C1, 20.07.2015. RU
2556900 C1, 20.07.2015. CN 113882338 A,
04.01.2022. RU 102628 U1, 10.03.2011. CN
104652387 A, 27.05.2015. DE 1953587 A1,
09.07.1970.

Адрес для переписки:

450028, Башкортостан Респ., г. Уфа, ул.
Касимовская, 2, кв. 85, Хайруллин
Дамиру Ринардовичу

(72) Автор(ы):

**Хайруллин Дамир Ринардович (RU),
Султанмагомедов Султанмагомед
Магомедтагирович (RU),
Султанмагомедов Тимур
Султанмагомедович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

Хайруллин Дамир Ринардович (RU)

(54) Способ установки бонового заграждения

(57) Реферат:

Изобретение относится к охране окружающей среды, а именно к гидротехническим сооружениям, предназначенным для ограждения участка водной поверхности с целью предотвращения растекания нефти и нефтепродуктов. Способ установки бонового заграждения на реке с использованием стального троса включает стальной трос, натянутый под углом к направлению течения реки, к которому с помощью поводков крепятся соединенные между собой на берегу плавучие секции бонового заграждения. Стальной трос крепится на заранее установленные опоры и натягивается с помощью ручной лебедки, при этом используется промежуточная опора, на которую крепят переносные тиски для обжатия стального троса и снятия нагрузки с ручной лебедки, что позволяет закрепить стальной трос к основной опоре, убирая из цепи ручную лебедку. На обоих концах бонового заграждения предусмотрены оттяжки, с помощью одной из них крепят боновое заграждение к опоре до начала его буксировки, а другой к опоре, расположенной на противоположном берегу, после окончания буксировки. Буксировка бонового заграждения осуществляется при натяжении оттяжки рабочими на противоположном берегу, при этом в процессе буксировки бонового заграждения дежурит лодка, помогающая в случае необходимости устранить застревания между роликовыми блоками и стальным тросом. Поводки для крепления к стальному тросу оснащены карабинами, которые с одной стороны крепятся к элементу продольного натяжения бонового заграждения, расположенного в нижней части полотнища, с другой стороны крепятся к роликовым блокам, предварительно установленным на стальной трос.

Приложение Б
(рекомендуемое)
Справка о внедрении

УТВЕРЖДАЮ
Директор ООО «Нефтетранстехника»
Беспалов М.Г.
« » 20__ г.



АКТ

О внедрении научных и практических результатов кандидатской диссертации аспиранта
кафедры «Проектирование и строительство объектов нефтяной и газовой промышленности»
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»
Хайруллина Д.Р.

Научно-производственное предприятие «Нефтетранстехника» (ООО) занимается разработкой, изготовлением и ремонтом средств локализации и сбора разлитых нефти и нефтепродуктов при авариях на магистральных нефтепродуктопроводах, нефтепромыслах, наливных судах при бункеровке, а также ограждения для наливных пунктов.

Выводы и практические рекомендации, полученные в работе Хайруллина Дамира Ринардовича, в частности в патенте на изобретение №2809239 «Способ установки бонового заграждения» имеют практическую ценность и применяются на нашем предприятии при производстве боновых заграждений. Актуальными являются решения о повсеместном применении роликовых блоков при установке секций заграждения вдоль несущего каната и об усилении технологических отверстий в нижней части боновых заграждений для предупреждения разрыва секций заграждения, что позволяет повысить их надежность и снизить количество гарантийных случаев.

Главный инженер



Аляев И.В.